



## بررسی تجربی توزیع دما در پرخوران موتور احتراق داخلی با استفاده از دوربین حرارتی

حامد بصیر<sup>۱\*</sup>، سید شهاب الدین علویون<sup>۲</sup>، سید محمد جعفری<sup>۳</sup>، حبیب اله مهرجو<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو، تهران، ایران، [h\\_basir@ip-co.com](mailto:h_basir@ip-co.com)

<sup>۲</sup> شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو، تهران، ایران، [sh\\_alaviyoun@ip-co.com](mailto:sh_alaviyoun@ip-co.com)

<sup>۳</sup> دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، [m\\_jafari@sbu.ac.ir](mailto:m_jafari@sbu.ac.ir)

<sup>۴</sup> دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، ایران، [mehrjoo1401@gmail.com](mailto:mehrjoo1401@gmail.com)

\* نویسنده مسئول

### اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۷ مرداد ۱۳۹۶

پذیرش: ۲۶ اسفند ۱۳۹۶

کلیدواژه‌ها:

آزمون تجربی

پرخوران

موتور بنزینی

دوربین حرارتی

حسگر حرارتی

### چکیده

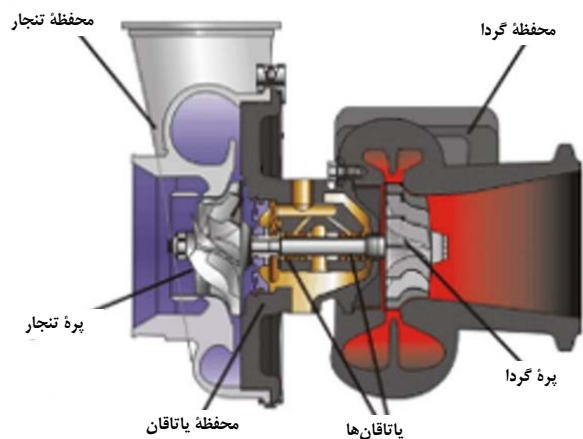
چگونگی اندازه‌گیری توزیع دما در مجموعه پرخوران شامل گردا، تنجار و یاتاقان، کار بسیار پیچیده و سختی است که به نصب چندین حسگرهای دمائی نیاز دارد. حتی ممکن است علی‌رغم نصب تعداد زیادی دماسنج، نتوان محل دمائی بیشینه و کمینه پرخوران را به دست آورد. در این پژوهش، بررسی تجربی توزیع دما در بدنه پرخوران موتور احتراق داخلی بنزینی با استفاده از دوربین حرارتی انجام شد. مقدار ضریب تابش گرمائی محفظه پرخوران از روشی جدید با کوره آزمایشگاهی دقیق، مشخص شد. با آزمون‌های تجربی در اتاق آزمون موتور، مجموعه‌ای از حسگرهای دما روی محفظه‌های گردا، تنجار و یاتاقان پرخوران نصب شدند تا دمای سطوح محفظه‌ها اندازه‌گیری شوند. آزمون‌های شامل آزمون‌های عملکردی و پایا و گذرا اند. در طی این آزمون‌ها، تأثیر پروانه خنک‌کننده بر دمای سطح گردا نیز بررسی شد. گرم و سرد شدن محفظه‌ها در آزمون‌های گذرا در شرایط کاری مختلف نیز بررسی شدند. بر اساس نتایج، دمای بیشینه محفظه گردا ۷۵۰ درجه سانتیگراد (د.س.) شد که وابستگی مستقیمی با دمای گازهای خروجی موتور دارد. دمای محفظه تنجار نیز تا ۱۷۰ د.س. خواهد رسید. بر اساس نتایج، توزیع حرارتی بسیار پیچیده قطعات پرخوران تنها با دوربین حرارتی قابل بررسی بود که در این تحقیق به دقت اجرا شد.



تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

## ۱- مقدمه

پره تنجار<sup>۱</sup> پرخوران از نوع گریز از مرکز است و هوای ورودی به تنجار بعد از تراکم به صورت شعاعی خارج می‌شود. در شکل ۱ قطعات داخلی پرخوران مشاهده می‌شود. محفظه تنجار معمولاً از آلومینیوم ساخته می‌شود. هوا از مرکز محفظه تنجار وارد و فشرده می‌شود. سپس در اثر نیروی گریز از مرکز که از چرخش بسیار تند تنجار ناشی می‌شود، به صورت شعاعی خارج می‌شود. گازهای خروجی از مسیر جداگانه از چندراهه دود وارد محفظه گردا<sup>۲</sup> خواهند شد.



شکل ۱. قطعات داخلی پرخوران [۱]

پره گردا نیز از نوع جریان شعاعی است که گازهای خروجی به صورت شعاعی به محفظه گردا وارد و به صورت محوری از آن خارج می‌شوند. محفظه گردا که گرم‌ترین قطعه پرخوران است عموماً از جنس چدن یا فولاد است و قابلیت تحمل گازهای داغ را تا دمای ۹۵۰ د.س. دارد [۱]. محفظه یاتاقان در پرخوران معمولاً از چدن ساخته می‌شود و در حد فاصل بین گردا و تنجار قرار دارد و آن‌ها را به هم مرتبط می‌کند. محفظه یاتاقان شامل یاتاقان‌ها و آببندها است. روغن پرفشار وارد محفظه یاتاقان می‌شود و به سمت یاتاقان‌ها جریان می‌یابد و بعد از روانکاری به صورت ثقیلی از پائین محفظه یاتاقان خارج می‌شود. لایه روغن بین یاتاقان و محفظه یاتاقان و همچنین بین محور و یاتاقان وجود دارد. در واقع روغن علاوه بر وظیفه روانکاری، مسئولیت خنک‌کاری و تمیز کردن را نیز بر عهده دارد [۲].

پرخوران موتورهای دیزل عموماً توسط جریان روغن و هوای عبوری از اطراف محفظه یاتاقان خنک می‌شود، اما در پرخوران موتورهای بنزینی گازهای خروجی داغ اند و در برخی از موتورها تا دمای ۱۰۵۰ د.س. نیز می‌رسد [۳]. لذا برای کاهش دمای محفظه یاتاقان علاوه بر خنک‌کاری انجام شده توسط روغن، از مسیر آبگرد نیز در محفظه یاتاقان استفاده

می‌شود که وجود مسیر آبگرد در محفظه یاتاقان باعث افزایش دوام و عمر پرخوران می‌شود [۴]. در مسیر گازهای خروجی از گردا، دریچه هدررو یا دریچه فرار وجود دارد. دریچه هدررو کمک می‌کند تا بتوان پرخورانی با گردای کوچکتر انتخاب نمود و با کنار گذر کردن بخشی از گازهای خروجی از گردا، مشکل سرعت بیش از حد را حذف کرد. استفاده از گردای کوچک مقدار تأخیر پرخوران را کاهش می‌دهد و عملکرد گذرای را بهبود می‌بخشد.

در طبیعت هر جسمی که دمایی گرمتر از صفر مطلق یا ۲۷۳- درجه سلسیوس داشته باشد، از خود امواج فرو سرخ منتشر می‌کند. این امواج بسته به ماهیت ساختاری، هندسه، سطح ظاهری و دمای جسم با شدت‌های مختلفی انتشار می‌یابد که این قدرت انتشار امواج فروسرخ را با ضریبی به نام ضریب تابش<sup>۳</sup> مشخص می‌کنند.

بر خلاف تصور عام که دوربین‌های گرمائی، دما را اندازه‌گیری می‌کنند، باید گفت این دوربین‌ها امواج فروسرخ را با توجه به شدت انتشارشان دریافت می‌کنند و بر اساس تنظیمات دستگاه از قبیل ضریب تابش، دمای محیط و فاصله تا هدف محاسبات را انجام می‌دهند و نتیجه را به صورت دما ارائه می‌کنند.

دیمتر بوهن و همکاران [۵] علاوه بر اندازه‌گیری دمای محفظه‌های پرخوران توسط حسگرهای دما، توزیع دما بر روی سطوح را با دوربین حرارتی اندازه‌گیری کردند، بر اساس این اندازه‌گیری‌ها، توزیع دمای دو بعدی روی سطوح جهت استفاده در تحلیل عددی مشخص شد.

نتایج شامل بررسی ۱۲ نقطه کاری مختلف پرخوران است. چهار عدد بی‌بعد از شار جرمی برای بررسی عدد رینولدز در تنجار انتخاب شدند. همچنین سه عدد دمای بی‌بعد ورودی گردا برای بررسی بارهای مختلف حرارتی پرخوران بررسی شدند. برای به دست آوردن ضریب تابش پوسته‌های پرخوران، دمای ورودی گردا را در دماهای (۳۲۳، ۳۷۳ و ۴۷۳ درجه کلوین) تنظیم کردند و پس از ثابت شدن دما، تصویربرداری با دوربین حرارتی از پرخوران انجام شد. به صورت همزمان با تصویربرداری، در نقاط مختلف دمای پوسته را با حسگرهای دما اندازه‌گیری کردند.

با مقایسه دمای اندازه‌گیری شده حسگرها و تصاویر دوربین حرارتی، ضرایب تابش پوسته‌ها محاسبه شدند. بر اساس نتایج آقای بوهن، بیشینه دمای پوسته گردا تقریباً به صورت خطی با دمای ورودی گردا افزایش می‌یابد و شار جرمی تأثیر کمی بر دمای متوسط آن دارد. شار جرمی تأثیر بیشتری بر دمای متوسط پوسته تنجار دارد، زیرا با افزایش نسبت فشار تنجار با افزایش شار جرمی، نیز افزایش می‌یابد.

هایلو تادس و همکاران [۶] در آزمون‌های تجربی انجام شده در یک تحقیق بر روی دستگاه آزمون پرخوران، از شش دماسنج نوع k به منظور ثبت توزیع دما در محفظه گردا استفاده کردند. علاوه بر این از

<sup>3</sup> Emissivity

<sup>1</sup> Compressor

<sup>2</sup> Turbine

ریچارد بروک و همکاران [۱۲] برای اندازه‌گیری طیف وسیعی از دمای سیال و سطح جسم در مجموع از ۴۰ عدد حسگر دما استفاده کردند. دما با استفاده از حسگرهای ۱٫۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که زمان پاسخ برای دماسنج با قطر ۱٫۵ میلی‌متر بین ۱۰ تا ۳۰ ثانیه خواهد بود. در حالی که زمان پاسخ دماسنج با قطر کوچکتر به طور قابل توجهی افزایش خواهد یافت. با این حال به دلیل محدودیت استحکامی حسگرهای با قطر کم امکان شکست آنها وجود دارد.

پایری و همکاران [۱۳] برای محاسبه ضریب انتقال حرارت جریان همرفتی، از پانزده دماسنج برای اندازه‌گیری دمای دیواره استفاده کردند که در پنج مقطع محوری و برای هر مقطع از سه دماسنج در موقعیت‌های شعاعی مختلف استفاده شد. قطر دماسنج‌های سطحی ۰٫۵ میلی‌متر و عدم قطعیت اندازه‌گیری آنها ۱٫۵ کلین بود.

در این پژوهش، ضریب تابش قطعات پرخوران موتور بنزینی به صورت دقیق مشخص شدند. به منظور تعیین ضریب تابش حرارتی محفظه‌های پرخوران از روشی جدید استفاده شد و به کمک کوره آزمایشگاهی با دقت زیادی مقدار ضرایب مشخص شدند. تجهیزات مورد نیاز برای آزمایش شامل دوربین حرارتی، کوره، دماسنج محیط و متر اندازه‌گیری بودند. برای حصول اطمینان از آزمایش و شرایط کارکرد کوره، آزمایش در دو نوع کوره عمودی و افقی با شرایط یکسان و مساوی انجام گرفت که به علت دقت کوره نوع عمودی به نتایج آزمون‌های با این نوع کوره اشاره می‌شود. همچنین در آزمون‌های تجربی انجام شده در اتاق آزمون موتور، مجموعه‌ای از حسگرهای دما بر روی محفظه گِردا، محفظه تنجار و محفظه یاتاقان پرخوران نصب شدند تا دمای سطوح محفظه‌ها اندازه‌گیری شوند. در این تحقیق آزمون عملکردی موتور بنزینی با پرخوران مورد نظر در نقاط کاری مختلف موتور انجام شد. با انجام این آزمون شما قادر به اندازه‌گیری دما و مشخص کردن داغترین نواحی در پرخوران خواهید بود.

## ۲- تعیین ضریب تابش

همان طور که می‌دانیم اجسام از خود امواج برقی‌آهنربائی<sup>۲</sup> گسیل می‌کنند که طیف پیوسته‌ای را می‌پوشاند و طول موج و مقدار توان گسیلی آن به دمای جسم بستگی دارد. سامانه‌های تصویر بردار حرارتی در ناحیه فرسرخ در طیف میان و بلند طیف برقی‌آهنربائی کار می‌کنند. این سامانه‌ها از پرتوئی که از خود اجسام تابش می‌شود، برای تصویربرداری استفاده می‌کنند. برای اجرای این آزمایش عکس‌های زیادی با ضریب تابش‌های مختلف صورت گرفت که در اینجا به چند نمونه آن اشاره خواهد شد.

یک دوربین گرمائی فرو سرخ برای تعیین ضریب تابش محفظه گِردا و اندازه‌گیری توزیع دمای محفظه‌های گردا و یاتاقان استفاده شد. نتایج آزمون‌های تجربی به دو بخش تقسیم شدند. قسمت اول نتایج حاصل از داده‌های اندازه‌گیری در عملکرد حالت پایا بود. در بخش دوم، داده‌های اندازه‌گیری آزمون گذرای پرخوران ارائه شدند. برای انجام آزمون‌های گذرا، دمای ورودی گردا بین دو دمای متفاوت و با یک شار جرمی بررسی شدند.

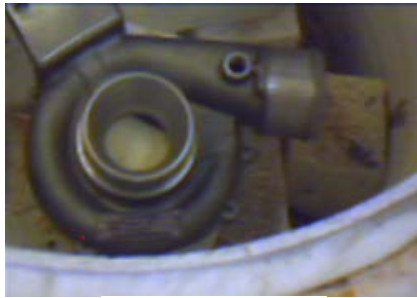
در تحقیقاتی که از دوربین حرارتی استفاده نشده است، تعداد زیادی حسگر دما نیاز است که نمونه‌ای از آن توسط بینز و همکاران [۷] انجام شد. در این تحقیق سه عدد پرخوران مجهز به حسگرهای دما بر روی سطح خارجی و داخلی را بررسی کردند که همه آن‌ها از یک نوع بودند و در موتور خودروهای سنگین نصب می‌شدند. ایشان نشان دادند که تابش سهم عمده‌ای از انتقال حرارت خارجی دارد و بر اساس نتایج مشخص شد که بیشترین مقدار انتقال حرارت خارجی از گردا به محیط و بیشترین انتقال حرارت داخلی از گردا به محفظه یاتاقان رخ می‌دهد. رومانگولی و همکاران [۸-۹] با پژوهشی آزمایشگاهی فرایند انتقال حرارت در پرخوران را روی موتور دو لیتری دیزل بررسی کردند. در حین آزمون، سرعت موتور بین ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ دور در دقیقه (د.د.) و بار موتور بین ۸ تا ۲۵۰ نیوتن متر جاروب شدند و اثر انتقال حرارت بر پرخوران در شرایط سرعت و بار ثابت موتور بررسی شد. بر اساس نتایج دمای سطح گردا در نزدیکی چند راهه دود موتور ۶۰ د.س. بیشتر از دمای سطح آن در جهت بیرون موتور است که دلیل اصلی آن تابش از سمت چند راهه دود به سمت پرخوران است.

حبیب آقا علی [۱۰-۱۱] با انجام آزمون‌های تجربی بر روی پرخوران و نصب حسگرهای مختلف در قسمت‌های مختلف، مقدار انتقال حرارت در هر قسمت را مشخص کرد و سپس با استفاده از مقدار انتقال حرارت به دست آمده، شبیه‌سازی یک بعدی موتور را بهبود بخشید. چند حسگر در سطوح قابل دسترس از پرخوران برای محاسبه انتقال حرارت خارجی استفاده شده است.

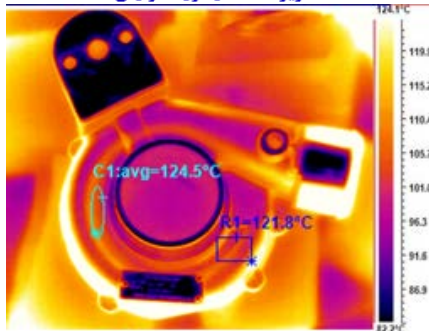
۷ عدد حسگر دما به صورت عمقی ۳ عدد حسگر به صورت سطحی بر روی دیواره سطحی گردا بر روی دیواره بدنه گردا، ۵ عدد حسگر دمای عمقی و ۲ عدد حسگر سطحی بر روی دیواره تنجار و ۲ عدد حسگر هم بر روی دیواره یاتاقان‌ها نصب گردید. حبیب آقاعلی و همکاران نشان دادند که استفاده از پروانه (خنک‌کاری خارجی) تأثیر زیادی بر روی توازن انرژی پرخوران می‌گذارد و به عنوان مشخصه کلیدی در تغییر ضریب جابجایی انتقال حرارت خارجی عمل می‌کند. به علاوه، تأثیر مدار خنک‌کاری آب خیلی بیشتر از انتقال حرارت خارجی محفظه یاتاقان و انتقال حرارت داخلی از محفظه یاتاقان به تنجار است.

<sup>2</sup> Electromagnetic waves

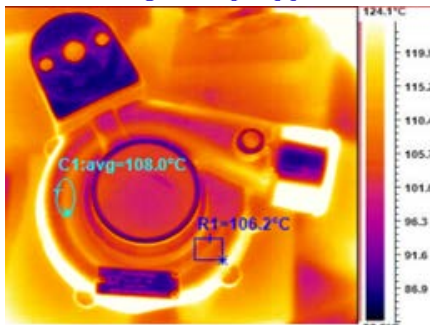
1 rpm



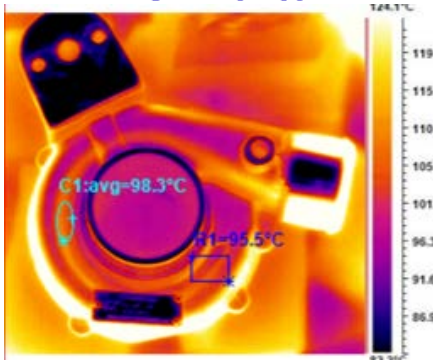
تصویر قطعه در کوره حرارتی



تصویر با ضریب تشعشع ۰.۵۵

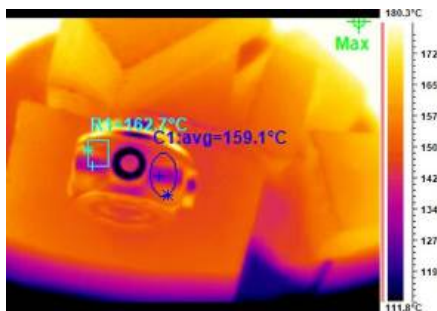


تصویر با ضریب تشعشع ۰.۶۵



تصویر با ضریب تشعشع ۰.۷۵

شکل ۲. نتایج تصویربرداری از محفظه تنجار با ضرایب تابش مختلف



شکل ۳. پوسته یاتاقان در دمای ۱۶۵ درجه و ضریب تابش ۰.۷۴

## ۲-۱- مشخصات کوره‌های ذوب آزمایشگاهی (عمودی)

در جدول ۱ مشخصات کوره نوع عمودی مورد استفاده در آزمون تشخیص ضریب تابش را مشاهده می‌شود که بیشینه دمای کاربردی کوره ۱۲۰۰ د.س. است.

جدول ۱. مشخصات کوره آزمون

| ویژگی               | مقدار (واحد) |
|---------------------|--------------|
| قطر داخلی کوره      | ۳۵ سانتی‌متر |
| ارتفاع              | ۵۰ سانتی‌متر |
| بیشینه توان         | ۱۴ کیلو وات  |
| دقت تثبیت دما       | ± ۳ د.س.     |
| بیشینه دمای کاربردی | ۱۲۰۰ د.س.    |

## ۲-۲- ضریب تابش محفظه تنجار

تنظیمات دوربین حرارتی در دمای کوره ۱۱۰ د.س. و برای ضریب تابش ۰.۵۵، ۰.۶۵ و ۰.۷۵ در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

جدول ۲. تنظیمات دوربین حرارتی

| ویژگی           | مقدار (واحد)         |
|-----------------|----------------------|
| دمای محیط       | ۲۷.۷ (د.س.)          |
| دمای کوره       | ۱۱۰ (درجه سانتیگراد) |
| رطوبت نسبی محیط | ۲۰ (درصد)            |

به علت اینکه تنجار دارای دمای کاری خنکتری نسبت به محفظه گردا است، به نتایج تصویربرداری با دوربین حرارتی در دمای ۱۱۰ د.س. اشاره خواهد شد. پوسته تنجار مورد آزمایش را با در نظر گرفتن شرایط ایمنی در داخل کوره گذاشته به مدت ۲۰ دقیقه صبر کرده تا دمای پوسته تنجار با دمای کوره به طور کامل هم دما شود. سپس تصویر برداری شروع می‌شود.

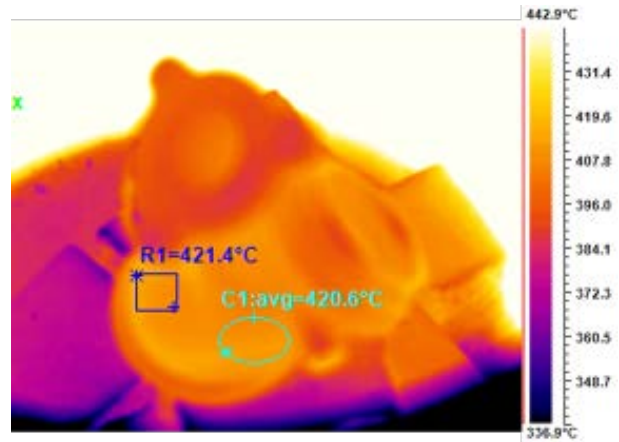
شکل ۲ نتایج این تصویر برداری در نرم افزار حرارتی را نشان می‌دهد، به علت اینکه دما در مناطق C1 و R1 با دمای کوره برابر هستند، می‌توان نتیجه گرفت عدد ۰.۶۵، ضریب تابش محفظه تنجار است. انتخاب این ضریب تابش در داغترین نقطه تا ۴ د.س. خطا خواهد داشت بدین معنی که دماهای تنجار می‌تواند در بیشترین حالت تا ۴ درجه گرمتر از عدد خوانده شده با دوربین باشد.

## ۲-۳- ضریب تابش پوسته یاتاقان

تصویر گرفته شده با دوربین حرارتی در شکل ۳ مشاهده می‌شود. نتایج این تصویر برداری در دمای کوره ۱۶۵ د.س. نشان می‌دهد، عدد ۰.۷۴، ضریب تابش محفظه یاتاقان است. ضریب تابش ۰.۷۴ برای یاتاقان تا ۶ د.س. خطا ایجاد خواهد نمود یعنی دماهای یاتاقان می‌تواند تا ۶ درجه گرمتر از عدد ثبت شده با دوربین حرارتی باشند.

### ۲-۴- ضریب تابش محفظه گردا

تصویر گرفته شده در دمای ۴۲۰ د.س. و ضریب تابش ۰,۹۲ در شکل ۴ مشاهده می‌شود.

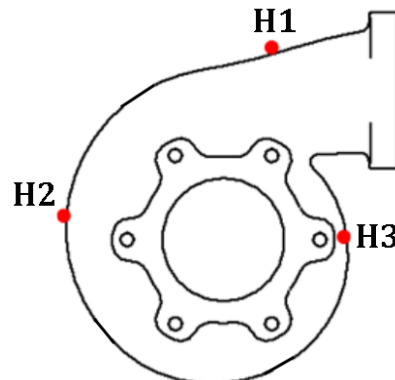


شکل ۴. محفظه گردا در دمای ۴۲۰ د.س. و ضریب تابش ۰,۹۲

نتایج این تصویر برداری نشان می‌دهد، دمای خوانش شده دورین تقریباً با دمای کوره برابر است، لذا می‌توان نتیجه گرفت عدد ۰,۹۲ ضریب تابش محفظه گردا است.

### ۳- فرآیند آماده سازی آزمون

در این آزمون تعدادی حسگر در فاصله یک میلیمتری سطوح پرخوران در مقاطع مختلف، اطراف محفظه تنجار، یاتاقان و گردا در پرخوران نصب می‌شوند تا دمای ماده در شرایط سخت کار موتور مثل نقاط تمام بار، اندازه‌گیری و ثبت گردد. در این پژوهش حسگرها با زوایای ۹۰ درجه در نقاط مختلف اطراف پوسته‌های پرخوران نصب می‌شوند. حسگرها در ارتفاع ۲ میلیمتری پایین‌تر از سطح پوسته گردا به منظور اندازه‌گیری دمای ماده در مجاورت عبور گازها نصب شدند. لازم به ذکر است که یکی از عمده‌ترین محدودیت‌های موجود در اضافه کردن نقاط بحث دسترسی به آنها است که گاهی به علت نداشتن دسترسی مناسب ناگزیر آن‌ها حذف می‌شوند. در شکل ۵ مکان دقیق حسگرهای دما بر روی محفظه گردا برای سوراخ کاری مشاهده می‌شود.



شکل ۵. شمای نصب حسگرهای دما بر روی محفظه گردا

### ۳-۱- نوع حسگرها نصب شده بر روی بدنه پرخوران

در این آزمایش با توجه به دقت و محدوده دمایی مورد نیاز از حسگر دما نوع k استفاده شده است. این حسگرها یکی از پرکاربردترین حسگرها است. محدوده عملکرد دمایی آن ۱۲۰۰ تا ۲۰۰۰ د.س. است و معمولاً در دماهای گرم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

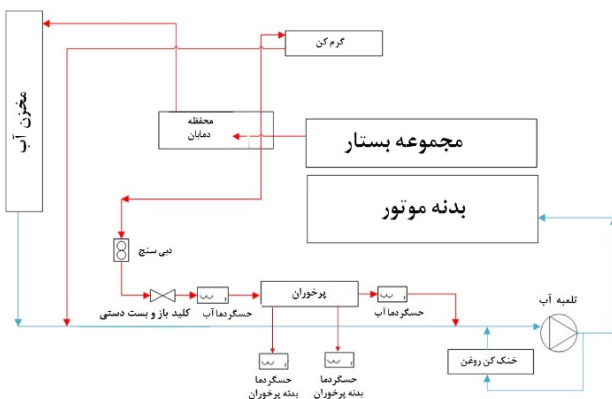
### ۳-۲- مشخصات موتور مورد آزمون

مشخصات موتور مورد آزمون در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

| ویژگی              | مقدار (واحد)                           |
|--------------------|--|
| تعداد استوانه      | ۴ استوانه                              |
| نوع سوخت           | بنزینی                                 |
| حجم موتور          | ۱,۷ لیتر                               |
| بیشینه توان        | ۱۱۰ کیلووات در ۵۵۰۰ د.د.               |
| بیشینه گشتاور      | ۲۱۵ نیوتن متر در محدوده ۴۸۰۰-۲۲۰۰ د.د. |
| استاندارد آلایندگی | یورو ۴                                 |

جدول ۳. مشخصات موتور مجهز به پرخوران مورد آزمون

نقشه شمای مجموعه آزمایش موتور و ابزار استفاده شده در آن شکل ۶ مشاهده می‌شود.



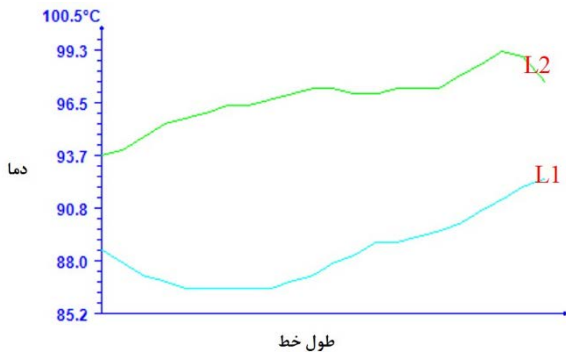
شکل ۶. نقشه شمای مجموعه آزمایش حرارتی موتور

### ۴- روش آزمون

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 دورین را اعمال می‌کنیم. لازم به یادآوری است که ضریب تابش توسط آزمایش تجربی در کوره گرمائی مشخص شده است و مقدار دما و رطوبت اتاق آزمون توسط حسگرهای اتاق آزمون مشخص می‌شود.

از سمت چپ خط تشخیص می‌دهد و یا اگر خطی را به صورت عمود رسم کنید نرم افزار ابتدای خط را از سمت بالا به پایین خوانش می‌کند، نمودار خطوط رسم شده به وسیله نرم‌افزار حرارتی در شکل ۸ نمایش داده شده است.

در حین کارکرد موتور، آب از مسیر خنک‌کاری موتور وارد محفظه یاتاقان می‌شود. به دلیل وجود مسیر خنک‌کاری آب در نیمه بالایی محفظه یاتاقان دمای ناحیه خط L1 از دما ناحیه خط L2 سردتر است، زیرا خط L1 بر روی مسیر آبگرد محفظه یاتاقان قرار دارد ولی خط L2 خارج از مسیر آبگرد خنک‌کاری است.



شکل ۸. نمودار خطوط رسم شده در نمای روبرو محفظه یاتاقان

همان‌طور که از تغییرات خط L2 مشاهده می‌شود، دمای میانگین این خط بسیار نزدیک با دمای میانگین خوانش شده با حسگرهای دما است، که نشان دهنده دقت خوب ضرب تابش انتخاب شده است. همچنین تأثیر آب خنک‌کاری در محفظه یاتاقان زیاد است که باعث دفع حرارت عبوری از گردا به سمت تنجار می‌شود، انرژی حرارتی منتقل شده به آب از حرارت تولید شده در یاتاقان‌ها بر اثر اصطکاک و حرارت جابجایی از محفظه یاتاقان به آب ناشی می‌شود.

#### ۴-۲-۱- نتایج آزمون برای محفظه گردا

ویژگی‌های کارکرد موتور در دور موتور ۲۰۰۰ و بار متوسط ترمزی ۴٫۸ در جدول ۵ مشاهده می‌شود.

| جدول ۵. ویژگی‌های کارکرد موتور برای محفظه گردا |                                    |
|--|------------------------------------|
| مقدار (واحد)                                   | ویژگی                              |
| ۲۰۰۰ (د.د.د.)                                  | دور موتور                          |
| ۶۵٫۸ نیوتن متر                                 | گشتاور                             |
| $T1 = 385^{\circ}C$                            | دمای میانگین حسگرهای محفظه یاتاقان |
| $T2 = 347^{\circ}C$                            |                                    |
| روشن   | پروانه خنک‌کن                      |
| ۴٫۸۶ بار                                       | فشار متوسط مؤثر ترمزی              |
| ۱۳٫۷ کیلو وات                                  | توان                               |

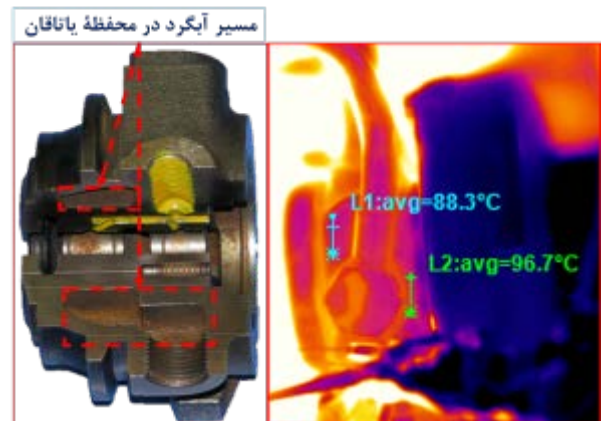
#### ۴-۱- نتایج آزمون محفظه یاتاقان

در جدول ۴ ویژگی‌های کارکرد موتور در دور ۲۰۰۰ و بار ترمزی ۴٫۸ بار، برای آزمون حرارتی محفظه یاتاقان مشاهده می‌شود. موتور در اتاق آزمون با این دور و گشتاور کار کرد تا همدمای کامل بین دود خروجی از موتور و محفظه پرخوران حاصل شود. سپس با توجه به شرایط کاری موتور دوربین حرارتی تنظیم و از محفظه یاتاقان عکس برداری شد.

جدول ۴. ویژگی‌های کارکرد موتور در سرعت ۲۰۰۰ د.د.د. و بار ترمزی ۴٫۸

| ویژگی                              | مقدار (واحد)   |
|------------------------------------|----------------|
| دور موتور                          | ۲۰۰۰ د.د.د.    |
| گشتاور                             | ۶۴٫۶ نیوتن متر |
| دمای میانگین حسگرهای محفظه یاتاقان | ۱۰۲٫۰ د.س      |
| پروانه خنک‌کن                      | روشن           |
| فشار متوسط مؤثر ترمزی <sup>۱</sup> | ۴٫۸ بار        |
| توان                               | ۱۳٫۶ کیلو وات  |

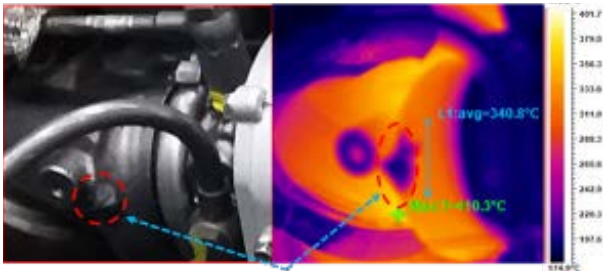
با توجه به آزمایش‌های ضرب تابش در کوره گرمایی عدد ضرب تابش را برای محفظه یاتاقان ۰٫۷۴، انتخاب می‌کنیم. پس از عکس برداری با دوربین حرارتی از محفظه یاتاقان، تصاویر با نرم افزار بررسی می‌شوند. شکل ۷ تصویر گرفته شده با دوربین حرارتی از محفظه یاتاقان است که در نرم‌افزار تحلیل حرارتی مشاهده می‌شود و شکل سمت چپ نمای برش خورده محفظه یاتاقان است که مسیر آبگرد محفظه یاتاقان را نمایش می‌دهد.



شکل ۷. نمای روبروی محفظه یاتاقان

عکس گرفته شده با دوربین حرارتی در نرم‌افزار تحلیل تصاویر تحلیل می‌شود. در نرم افزار تحلیل حرارتی برای تحلیل دمایی مناطق مختلف می‌توان از روش‌های زیادی استفاده کرد. در اینجا با کشیدن خطوط روی قطعه مورد نظر، دمای میانگین خط و نمودار دمایی آن مشخص می‌شود. قانون نحوه خوانش دمای این خطوط بدین صورت است که شما اگر هر خطی را به صورت افقی رسم کنید نرم افزار ابتدای خط را

<sup>1</sup> Brake Mean Effective Pressure (BMEP)



ناحیه سیاه‌رنگ کنار خط L1 چسب حرارتی اتصال حسگر دما به بدنه محفظه گردا است.

شکل ۱۱. تصویر محفظه گردا پرخوران



شکل ۱۲. نمودار تغییرات دما محفظه گردا پرخوران

مقایسه نتایج نشان می‌دهد که دمای حسگر نصب شده بر روی محفظه گردا برابر با ۳۴۷ د.س. بود، در حالی که برای تصاویر دوربین حرارتی در شکل ۸۰ دمای میانگین خط L1 در محدوده نزدیک حسگر نیز ۳۴۰٫۸ د.س. است. بر اساس مقایسه نتایج دوربین حرارتی و حسگر دما مقدار خطای دوربین حرارتی ۱٫۸ درصد است که قابل قبول است.

#### ۴-۲-۶- توزیع دما در ناحیه دریچه هدر رو

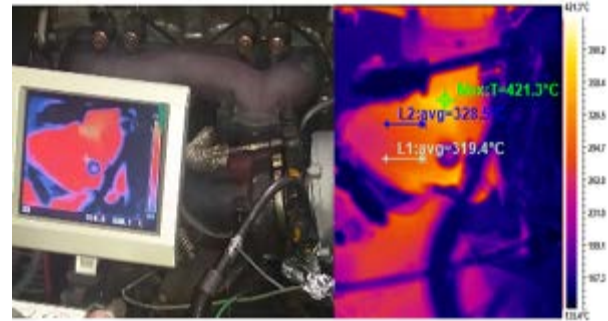
ویژگی‌های کارکرد موتور برای تصاویر محفظه گردا در جدول ۶ مشاهده می‌شود.

جدول ۶ مشخصات موتور در دور ۲۰۰۰ د.د. و بار متوسط ترمزی ۱۴٫۹

| ویژگی                              | مقدار (واحد)        |
|------------------------------------|---------------------|
| دور موتور                          | ۲۰۰۰ د.د.           |
| گشتاور                             | ۲۰۲ نیوتن متر       |
| دمای میانگین حسگرهای محفظه یاتاقان | $T1 = 697^{\circ}C$ |
|                                    | $T2 = 615^{\circ}C$ |
| پروانه خنک‌کن                      | روشن                |
| فشار متوسط مؤثر ترمزی              | ۱۴٫۹ بار            |
| توان                               | ۴۳ کیلو نیوتن       |

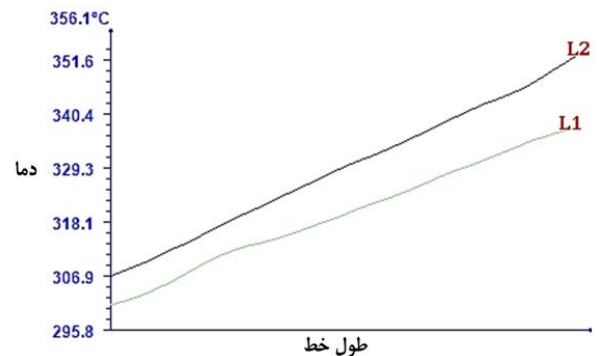
برای تحلیل توزیع دما بر روی محفظه گردا پرخوران تصویر گرفته شده با دوربین حرارتی به وسیله نرم افزار تحلیل حرارتی ارزیابی می‌شود، در شکل ۱۳ تصویر گردا مشاهده می‌شود.

برای تحلیل توزیع انتقال حرارت محفظه گردا تصویر گرفته شده با دوربین مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، نمای سمت چپ شکل ۹ دوربین حرارتی و پرخوران در اتاق آزمون و شکل سمت راست تصویر محفظه گردا در داخل نرم افزار است.



شکل ۹. تصویر محفظه گردای پرخوران

نمودار توزیع انتقال حرارت خطوط L1 و L2 بر روی محفظه گردا پرخوران در شکل ۱۰ قابل مشاهده است. تغییرات حرارتی خطوط L1 و L2 شیب دمایی یکسانی دارند و دما در ورودی گردا بیشتر از خروجی گردا است. هرچه از ناحیه پایین گردا L1 به سمت ناحیه بالایی گردا L2 حرکت کنیم دما به مقدار کم افزایش می‌یابد.



شکل ۱۰. نمودار توزیع انتقال حرارت محفظه گردا

#### ۴-۲-۲- تحلیل توزیع انتقال حرارت در ناحیه نصب

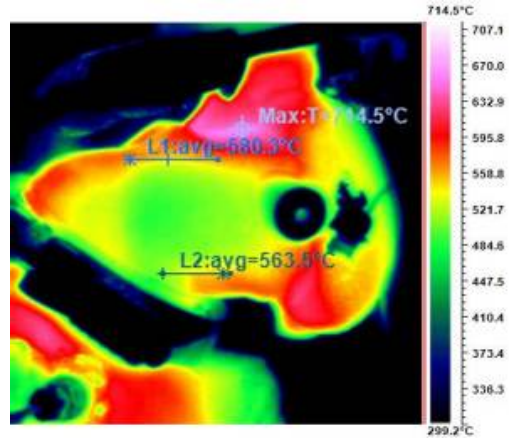
##### حسگر دما

برای مقایسه دمای خوانش حسگر دما با دوربین حرارتی، عکس برداری از نمای حسگر دما انجام می‌شود، در شکل ۱۱ نمای سمت راست تصویر دوربین حرارتی به وسیله نرم افزار مشاهده می‌شود، ناحیه سیاه رنگ مشخص شده در تصویر کنار خط L1 چسب حرارتی اتصال حسگر دما به بدنه محفظه گردا است که با این چسب، حسگر دما به محفظه گردا متصل شده است. در شکل سمت چپ نمای تصویر برداری با دوربین معمولی و محل دقیق حسگر دما مشاهده می‌شود.

نمودار توزیع دما خط L1 محفظه گردا پرخوران در شکل ۱۲ قابل مشاهده است.



شکل ۱۵. نمای برش خورده محفظه گردا برای نمایش دربیچه هدر رو

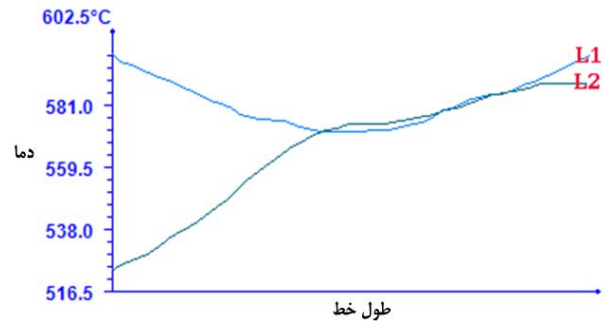


شکل ۱۳. نمای گردا در دور ۲۰۰۰ و بار متوسط ترمزی ۱۴,۹



شکل ۱۶. نمای برش خورده محفظه گردا، خط چین عبور گازها را از مسیر دربیچه هدر رو را نمایش می‌دهد

نمودار خطوط دمایی رسم شده از گردا در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۴. نمودار دمایی گردا در دور ۲۰۰۰ و بار متوسط ترمزی ۱۴,۹

بر اساس نمودار حرارتی خط L2 که در ناحیه پایین‌تری از سطح دربیچه هدر رو قرار دارد، هرچه به سمت خروجی گردا و ورودی واکنشگر دود برویم، دمای بدنه محفظه گردا کاهش پیدا می‌کند، ولی خط L1 که در مسیر دورد های خروجی از محفظه دربیچه هدر رو قرار دارد تقریباً دارای تغییرات دمایی کمتر است، در حالی که دما در ناحیه گشودگی دربیچه هدر رو (سطح بالای محفظه گردا) بیشترین مقدار را دارد. منظور از ناحیه گشودگی دربیچه هدر رو، ناحیه بالایی محفظه گردا است که در شکل ۱۵ و ۱۶ نشان داده شده است. با توجه به اینکه بخشی از گازهای داغ بدون عبور از روی پره‌های گردا، مستقیماً از مسیر دربیچه هدر رو خارج می‌شوند، لذا باعث افزایش دمای بدنه در این ناحیه می‌شوند.

### ۳-۴- محفظه تنجار

طبق آزمون‌های صورت گرفته انتقال حرارت در تنجار به دو صورت انجام می‌پذیرد، معمولاً در دوره‌های کند (شرایط نیمه بار) انتقال حرارت از محفظه یاتاقان به تنجار است و در دوره‌های تند (شرایط تمام بار) انتقال حرارت از تنجار به محفظه یاتاقان صورت می‌گیرد. در این مقاله تأثیر پروانه خنک‌کاری بر روی توزیع دمای بدنه تنجار بررسی خواهد شد. ویژگی‌های کارکرد موتور برای تصاویر محفظه تنجار در جدول ۷ مشاهده می‌شود.

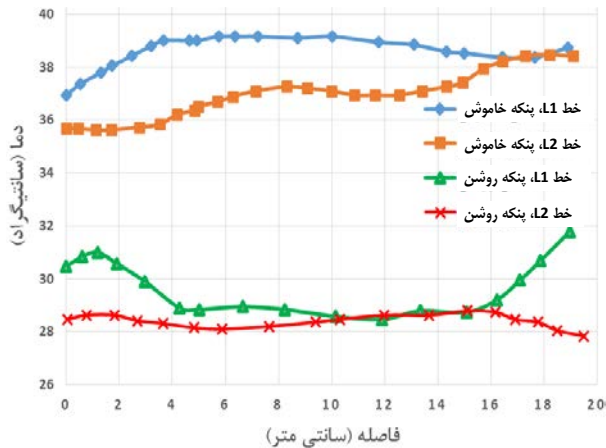
| جدول ۷. ویژگی‌های کارکرد برای محفظه تنجار |                |
|---|----------------|
| ویژگی                                     | مقدار (واحد)   |
| دور موتور                                 | ۲۰۰۰ د.د       |
| گشتاور                                    | ۶۴,۶ نیوتن متر |
| پروانه خنک‌کن                             | خاموش / روشن   |
| فشار متوسط مؤثر ترمزی                     | ۴,۸ بار        |
| توان                                      | ۱۳,۷ کیلو وات  |

برای تصویر برداری از محفظه تنجار ضریب تابش ۰,۶۵ انتخاب می‌شود. در شکل ۱۷ تصویر محفظه تنجار در وضعیت پروانه خنک‌کن خاموش مشاهده می‌شود.



شکل ۱۷. محفظه تنجار در وضعیت پروانه خنک‌کن خاموش

به دلیل وجود پروانه خنک‌کن، خنک‌کاری دمای کل قطعه کمتر شده از حالت پروانه خنک‌کن خاموش است و حتی باعث شده که دمای کل قطعه نزدیک به ۱۰ درجه سانتی‌گراد سردتر شود. اندازه‌گیری مقدار تأثیر پروانه خنک‌کن بر روی محفظه تنجار در دور موتور ۲۰۰۰ و بار متوسط ترمزی ۴٫۸ در دو حالت پروانه خنک‌کن خاموش و پروانه خنک‌کن روشن در شکل ۲۱ قابل مشاهده است.



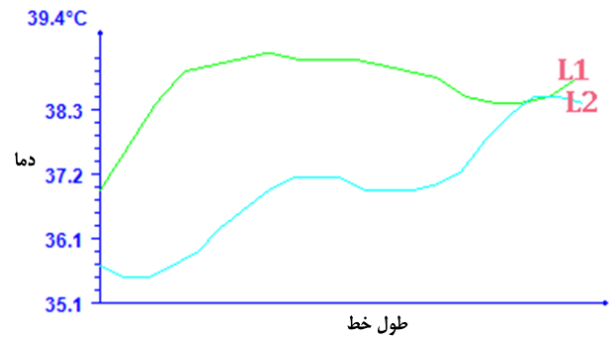
شکل ۲۱. مقایسه دمای تنجار در حالت پروانه خنک‌کن خاموش و روشن

مقایسه تغییرات حرارتی خطوط رسم شده بر روی محفظه تنجار نشان می‌دهد به دلیل وجود پروانه خنک‌کن در حالت پروانه خنک‌کن روشن دما خطوط به صورت خطی تغییر می‌کند و تغییرات دمایی کمی داریم و در حالت پروانه خنک‌کن خاموش تغییرات دما به صورت غیرخطی بود و تغییرات دما متفاوت است و اینکه در زمان روشن بودن پروانه خنک‌کن، دمای بدنه تنجار در طول خطوط مشخص شده تقریباً ثابت باقی می‌ماند. مقدار تأثیر دمایی پروانه خنک‌کن، خنک‌کاری حدود ۲۴ درصد است.

### ۵- آزمون سرد شدن<sup>۱</sup>

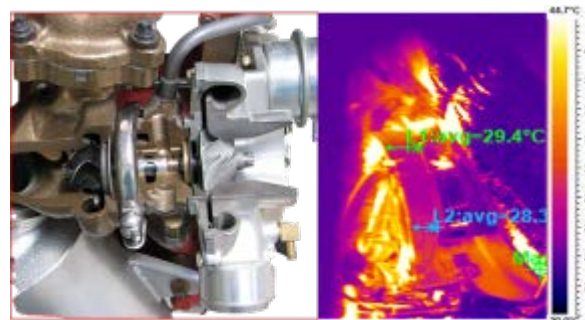
برای اجرای آزمون خنک شدن محفظه گردا، با در نظر گرفتن موارد ایمنی ابتدا دوربین حرارتی را در بهترین ناحیه برای انجام عکس برداری در اتاق آزمون مستقر می‌کنیم، بعد صبر می‌کنیم تا دمای محفظه در نقطه کاری ۵۵۰۰ د.د.د. و شرایط تمام بار به حالت پایدار برسد، سپس موتور را خاموش می‌کنیم. همزمان با شروع داده‌برداری، به وسیله دوربین حرارتی نیز از محفظه گردا تصویربرداری می‌کنیم و برای اینکه بتوانیم اطلاعات حسگرها را با تصاویر دوربین حرارتی تطابق دهیم با زمان سنج زمان دقیق، زمان تصویربرداری یادداشت می‌شود. در شکل ۲۲ منحنی دمای خنک شدن محفظه گردا نسبت به زمان (بر اساس تصاویر دوربین حرارتی) مشاهده می‌شود.

نمودار توزیع انتقال حرارت محفظه تنجار پرخوران در شکل ۱۸ قابل مشاهده است.



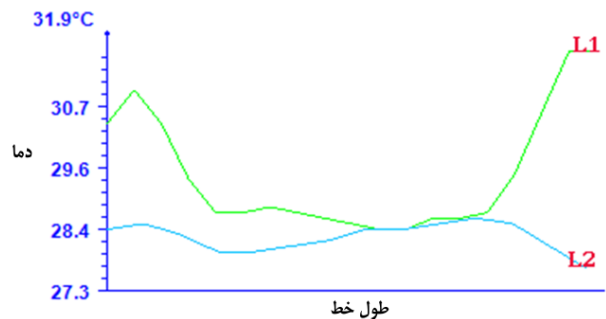
شکل ۱۸. نمودار حرارتی محفظه تنجار حالت پروانه خنک‌کن خاموش

مقایسه خطوط L1 و L2 نشان می‌دهد دما در راستای محفظه حلزونی از سمت ورودی به سمت محفظه یاتاقان رو به کاهش است. دلیل افزایش دما در ورودی محفظه تنجار گرم بودن دمای هوای متراکم شده در ورودی تنجار است. در شکل ۱۹ تصویر محفظه تنجار در وضعیت پروانه خنک‌کن روشن مشاهده می‌شود.



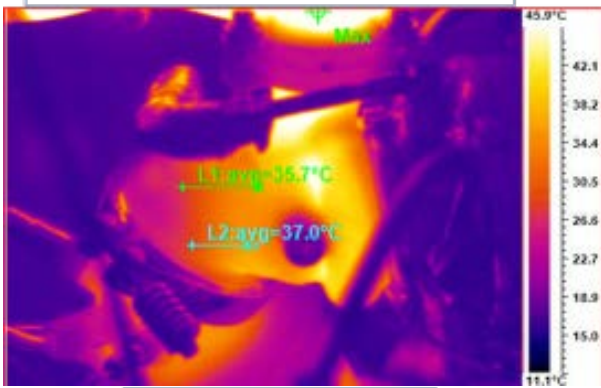
شکل ۱۹. محفظه تنجار در وضعیت پروانه خنک‌کن روشن

نمودار توزیع دمای محفظه گردا در شکل ۲۰ قابل مشاهده است.

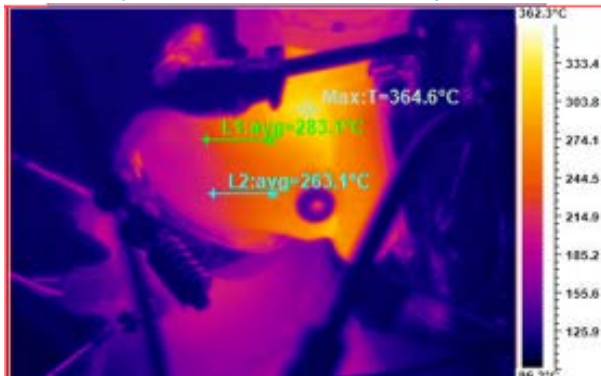


شکل ۲۰. نمودار حرارتی محفظه تنجار حالت پروانه خنک‌کن خاموش

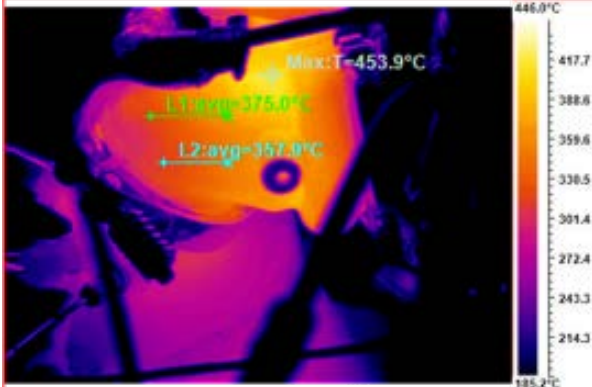
در آزمون گرم شدن موتور نمودار تغییرات دما نسبت به زمان با توجه به داده‌های دوربین حرارتی در شکل ۲۵ مشاهده می‌شود.



۳۰ ثانیه پس از شروع عکس برداری



۲۳۱ ثانیه پس از شروع عکس برداری

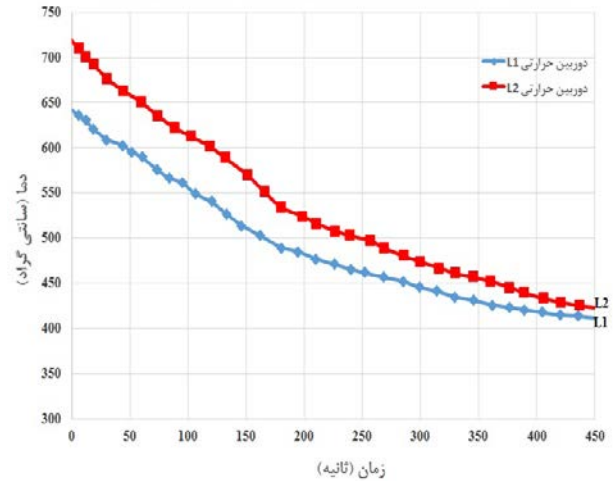


۴۱۰ ثانیه پس از شروع عکس برداری



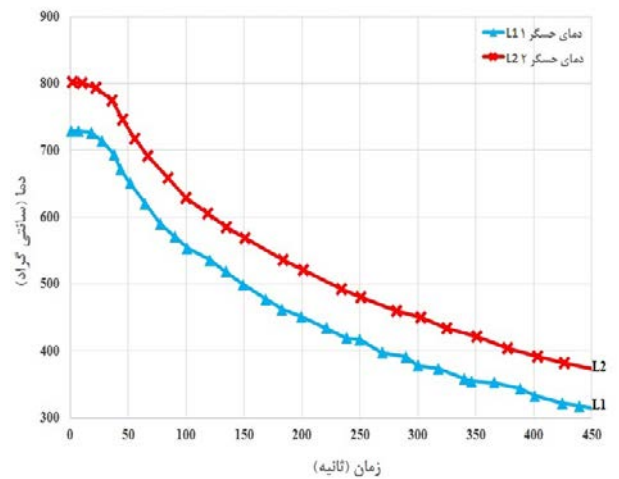
۶۸۹ ثانیه پس از شروع عکس برداری

شکل ۲۴. توزیع انتقال حرارت در حالت گرم شدن محفظه گردا پرخوران



شکل ۲۲. دمای خنک شدن محفظه گردا نسبت به زمان

در شکل ۲۳ منحنی دمای خنک شدن محفظه گردا نسبت به زمان (بر اساس داده‌های حسگرهای دما) مشاهده می‌شود. بر اساس منحنی‌های سرد شدن می‌توان نتیجه گرفت که شیب نمودار تقریباً برابر بوده است.



شکل ۲۳. دمای خنک شدن محفظه گردا نسبت به زمان

### ۵-۱ آزمون گرم شدن

برای اجرای آزمون گرم شدن محفظه گردا با در نظر گرفتن موارد ایمنی ابتدا دوربین حرارتی را در بهترین ناحیه برای انجام عکس برداری مانند آزمون قبل در اتاق آزمون مستقر می‌کنیم، سپس نقطه کاری ۲۰۰۰ د.د.د. و گشتاور ۲۸ نیوتن متر را تنظیم می‌شود. همزمان که شروع به اطلاعات برداری از حسگرهای موتور می‌کنیم به وسیله دوربین حرارتی از محفظه گردا تصویربرداری می‌کنیم و برای اینکه بتوانیم اطلاعات حسگرها را با تصاویر دوربین حرارتی تطابق دهیم با زمان‌سنج، زمان دقیق عکس‌ها را یادداشت می‌کنیم.

در شکل ۲۴ توزیع انتقال حرارت در حالت گرم شدن محفظه گردا پس از گذشت به واحد زمان ثانیه مختلف مشاهده می‌شود.

لازم به ذکر است که تأثیر پروانه خنک کننده بر دمای سطح محفظه تنجار نیز بررسی شد. همچنین آزمون های گذرا شامل آزمون های گرم شدن و سرد شدن محفظه ها در شرایط کاری مختلف نیز بررسی شدند. بر اساس نتایج، دمای بیشینه محفظه گردا ۷۵۰ د.س. شد که با دمای گازهای خروجی موتور وابستگی مستقیم دارد. دمای محفظه یاتاقان توسط دمای آب و روغن عبوری از آن تنظیم می شوند. دمای محفظه تنجار نیز تا دمای ۱۷۰ د.س. خواهد رسید. بر اساس نتایج، توزیع حرارتی بسیار پیچیده قطعات پرخوران تنها با دوربین حرارتی قابل بررسی بود که در این تحقیق با دقت زیادی اجرایی شد.

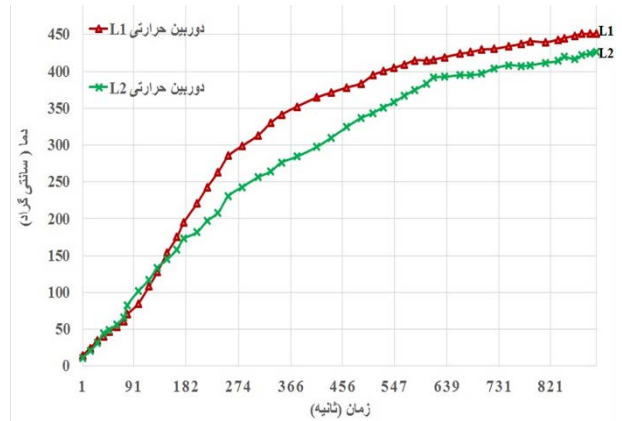
بررسی توزیع دمای محفظه تنجار در نقطه کاری با دور موتور ۲۰۰۰ و بار متوسط ترمزی ۴٫۸ نشان می دهد دما در راستای محفظه حلزونی از سمت ورودی به خروجی تنجار رو به افزایش است. دلیل افزایش دما، زیاد بودن دمای هوای متراکم شده در تنجار است.

نتایج به صورت خلاصه به این شرح اند:

۱. تأثیر مسیر آبگرد برای خنک کاری در محفظه یاتاقان زیاد است، زیرا باعث دفع حرارت عبوری از گردا به سمت تنجار می شود، همچنین انرژی حرارتی منتقل شده به آب از حرارت تولید شده در یاتاقان ها بر اثر اصطکاک و حرارت جابجایی از محفظه یاتاقان به آب ناشی می شود.
۲. دمای محفظه یاتاقان در مناطق نزدیک به محفظه گردا بیشتر از ناحیه مجاور به محفظه تنجار است. دمای داغ سطح محفظه گردا روی محفظه یاتاقان تأثیر می گذارد و دمای ناحیه مجاور را نیز افزایش می دهد. همچنین انتقال حرارت تابشی از محفظه های تنجار و گردا نیز در افزایش دمای جسم تأثیرگذار است.
۳. علت گرم بودن دمای سطح مقابل دریچه هدر رو در محفظه گردا این است که بخشی از گازهای داغ بدون عبور از روی پره های گردا، مستقیماً از مسیر دریچه هدررو خارج می شوند، لذا باعث افزایش دمای بدنه در این ناحیه می شوند.
۴. مقایسه تغییرات حرارتی محفظه تنجار نشان می دهد به دلیل وجود پروانه خنک کن روشن دما به صورت خطی تغییر می کند و تغییرات دمایی کم است. در حالت پروانه خنک کن خاموش، دما به صورت غیرخطی است و تغییرات آن یکسان نیست. در زمان روشن بودن پروانه خنک کن، دمای بدنه تنجار در طول خطوط مشخص شده تقریباً ثابت باقی می ماند، همچنین مقدار تأثیر دمایی پروانه خنک کاری حدود ۲۴ درصد است.

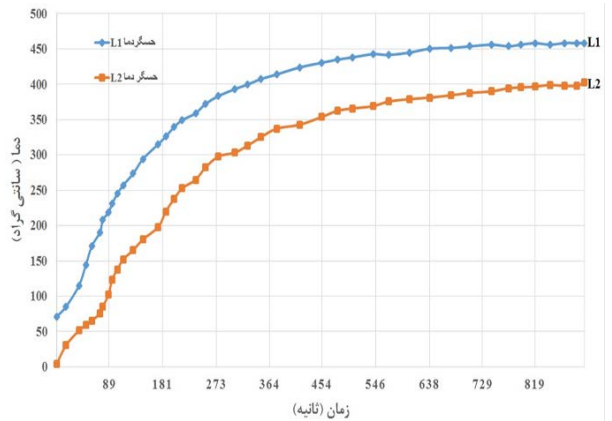
### تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله، مراتب تشکر و قدردانی خود را از شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (ایپکو) برای حمایت های مالی اعلام می دارند.



شکل ۲۵. منحنی دمای گرم شدن محفظه گردا نسبت به زمان با توجه به داده های دوربین حرارتی

در آزمون گرم شدن موتور دمای گرم شدن محفظه گردا نسبت به زمان با توجه به داده های حسگرهای دما در شکل ۲۶ مشاهده می شود.



شکل ۲۶. منحنی دمای گرم شدن محفظه گردا نسبت به زمان با توجه به داده های حسگرهای دما

### ۱۰- نتیجه گیری

در این پژوهش، به منظور تعیین ضریب تابش حرارتی محفظه های پرخوران از روشی جدید استفاده شد و به کمک کوره آزمایشگاهی با دقت زیادی مقدار ضرایب مشخص شدند. در آزمون های تجربی انجام شده در اتاق آزمون موتور، مجموعه ای از حسگرهای دما بر روی محفظه گردا، محفظه تنجار و محفظه یاتاقان پرخوران نصب شدند تا دمای سطوح محفظه ها اندازه گیری شوند. در این تحقیق آزمون عملکردی موتور بنزینی با پرخوران مورد نظر در نقاط کاری مختلف موتور انجام شد. در حین آزمون های موتوری مجموعه ای از آزمون های پایا و گذرا بر روی موتور انجام شدند. برای آزمون های پایا، در ابتدا موتور به مدت ۲۰ دقیقه در سرعت ۱۵۰۰ د.د.د. و گشتاور ۲۵ نیوتن متر گرم شد و سپس در هر نقطه کاری بعد از ۵ دقیقه تصویر برداری با دوربین حرارتی انجام شد.

Germany.

- [7] N. Baines, K. D. Wygant, and A. Dris, "The analysis of heat transfer in automotive turbochargers," J. Eng. Gas Turbines Power, vol. 132, no. 4, p. 42301, 2010.
- [8] Romagnoli and R. Martinez-Botas, "Heat transfer on a turbocharger under constant load points," in ASME Turbo Expo 2009: Power for Land, Sea, and Air, 2009, pp. 163-174.
- [9] Romagnoli and R. Martinez-Botas, "Heat transfer analysis in a turbocharger turbine: An experimental and computational evaluation," Appl. Therm. Eng., vol. 38, pp. 58-77, 2012.
- [10] H. Aghaali, "On-engine turbocharger performance considering heat transfer. KTH Royal Institute of Technology, 2012.
- [11] H. Aghaali and Hans-Erik Angstrom, Steve De Vos and Kristian, Haehndel, BMW Group - RMIT University, Torsten Frank and Frieder Christel, BMW Group Sylvester Abanteriba, RMIT University, 2013.
- [12] Richard D. Burke Department of Mechanical Engineering, University of Bath, Bath BA2 7AY, UK.
- [13] Francisco Payri, Pablo Olmeda, Francisco J. Arnau, Artem Dombrovsky, Les Smith, a CMT - Motores Térmicos, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 València, Spain, b Jaguar Land Rover Ltd, Abbey Road, Whitley, CV3 4LF Coventry, UK.

## فهرست علائم

ε

د.د.د.

ضریب تابش

دور در دقیقه

## مراجع

- [1] Supplier. Business, The Automotive Turbocharger and Supercharger Report, 2013 Edition
- [2] Hung Nguyen-Schäfer (auth.), Rotordynamics of Automotive Turbochargers Springer, 2015.
- [3] V. Simon, G. Oberholz, M. Mayer, "Exhaust Gas Temperature 1050°C, An Engineering Challenge", BorgWarner Turbo Systems, 2000.
- [4] "Water-Cooled Turbochargers", Garrett by Honeywell White Paper.
- [5] Dieter Bohn, Norbert Moritz and Michael Wolff, "CONJUGATE FLOW AND HEAT TRANSFER INVESTIGATION OF A TURBO CHARGER: PART II - EXPERIMENTAL RESULTS", Institute of Steam and Gas Turbines, Aachen University, Templergraben 55, D-52056 Aachen, Germany, Proceedings of ASME Turbo Expo 2003 Power for Land, Sea, and Air Proceedings of June 16-19, 2003, Atlanta, Georgia, USAAMSE Turbo Expo 2003
- [6] Hailu Tadesse, Christian Rakut, Mathias Diefenthal, Manfred Wirsum Institute for Power Plant Technology, Steam and Gas Turbines, RWTH Aachen University, Templergraben 55, 52056 Aachen,



## Thermal investigation of turbocharger using infra-red camera

H. Basir<sup>1\*</sup>, S. S. Alaviyoun<sup>2</sup>, S. M. Jafari<sup>3</sup>, H. Mehrjou<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Irankhodro Powertrain Company (IPCo), Tehran, Iran, [h\\_basir@ip-co.com](mailto:h_basir@ip-co.com)

<sup>2</sup>Irankhodro Powertrain Company (IPCo), Tehran, Iran, [sh\\_alaviyoun@ip-co.com](mailto:sh_alaviyoun@ip-co.com)

<sup>3</sup>Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, [m\\_jafari@sbu.ac.ir](mailto:m_jafari@sbu.ac.ir)

<sup>4</sup>Islamic Azad University, Islamshahr Branch, Iran, [mehrjoo1401@gmail.com](mailto:mehrjoo1401@gmail.com)

\*Corresponding Author

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: 8 August 2017

Accepted: 17 March 2018

#### Keywords:

Experimental test

Turbocharger

Gasoline engine

Thermal camera

Temperature sensor

### ABSTRACT

In this research, thermal investigation of gasoline engine turbocharger is performed using thermal imaging camera. In order to specify emissivity factor of turbocharger housings, new method is established using furnace. In addition, temperature sensors are mounted inside wall of turbine, compressor and bearing housings to measure temperature of turbocharger while running in engine test cell. Steady and unsteady tests with different working points are performed in engine test cell. Also, effect of exhaust fan is investigated on temperature distribution of compressor housing. Results show that maximum temperature of turbine housing wall is 750°C which has linear dependency to exhaust gas temperature, and also, to compare the reading temperature of the temperature sensor with the camera, take a photo of the location of the temperature sensor. Maximum temperature of compressor housing reach 170°C. According to results, temperature distribution of turbocharger housings is only achievable with infra-red camera (thermal camera).



