



Original Research

Experimental investigation of the effect of modifying the engine cooling circuit with the aim of improving the temperature of the cylinder head and block

Hooman Cheraghmakani, Mojtaba Mehrabi Vaghar*

Engine Laboratory, Irankhodro Powertrain Company (IPCo), Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Keywords:

Three-cylinder Engine
Integrated Exhaust Manifold
Engine Test
Experimental Investigation

ABSTRACT

One of the key technologies widely employed in modern engines is the use of integrated exhaust manifolds. In these manifolds, the engine's coolant is used to lower the temperature of the exhaust manifold walls. This approach can significantly enhance the engine's power and torque by mitigating the thermal limitations associated with exhaust systems. This article explores the significance of cooling integrated exhaust manifolds in the performance of internal combustion engines and investigates how improvements to the cooling circuit of these manifolds can reduce their wall temperature. To achieve this, experiments were conducted on a three-cylinder engine. Temperature and pressure sensors, along with flow meters, were strategically placed within the cooling circuit to measure temperature, pressure, and volumetric flow rates. The tests were performed under a standardized procedure at full load across various engine speeds. The experimental results indicated that optimizing the cooling circuit could lead to a more effective distribution of coolant flow, thereby lowering the temperature in the cylinder block, cylinder head, and walls of the integrated exhaust manifold. At an engine speed of 6000 RPM, under full load, and with an engine coolant outlet temperature of 90 degrees Celsius, modifications to the cooling circuit resulted in a temperature reduction of approximately 5 to 10 percent in the components associated with the coolant.



© 2024 Iranian Society of Engine, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license). (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

* Corresponding author

E-mail address: m_mehrabi@ip-co.com (M. Mehrabi Vaghar)

Received 16 November 2024; Accepted 22 December 2024

E-ISSN: 2345-4121/ISSN: 1735-5214

Cite this article: Cheraghmakani H, Mehrabi Vaghar M. Experimental investigation of the effect of modifying the engine cooling circuit with the aim of improving the temperature of the cylinder head and block. The Journal of Engine Research. 2024 Nov 21;71(3):45-55. doi: [10.22034/ER.2024.2045938.1068](https://doi.org/10.22034/ER.2024.2045938.1068)

بررسی تجربی اثر اصلاح مدار خنک کاری موتور با هدف بهبود دمای بستار و بدنه

هومن چراغ مکانی، مجتبی محرابی وقار*

آزمایشگاه موتور، شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (اپیکو)، تهران، ایران

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>یکی از فناوری‌های کلیدی که به طرز گسترده‌ای در موتورهای امروزی به کار گرفته می‌شود، استفاده از چندراهه دود یکپارچه است. در این نوع چندراهه‌ها، سیال خنک‌کننده موتور برای کاهش دمای دیواره چندراهه دود به کار می‌رود. با این روش، توان و گشتاور موتور می‌تواند به طور قابل توجهی افزایش یابد، چرا که محدودیت‌های دمایی دود خروجی کاهش می‌یابد. این مقاله به اهمیت خنک کاری چندراهه دود یکپارچه در عملکرد موتورهای احتراقی می‌پردازد و اثر بهبود مدار خنک کاری این نوع چندراهه‌ها بر کاهش دمای جداره آن را بررسی می‌کند. برای این منظور، آزمایش‌هایی بر روی یک موتور سه استوانه انجام شد. حسگرهای دما و فشار و شارسنج‌ها در نقاط مناسب مدار خنک کاری نصب شدند تا دما، فشار و شارهای حجمی اندازه‌گیری شوند. سپس آزمون‌ها طی یک رویه ثابت و استاندارد در حالت تمام بار برای مدارهای خنک کاری در سرعت‌های مختلف موتور اجرا شد. نتایج تجربی نشان داد که بهینه‌سازی مدار خنک کاری می‌تواند منجر به توزیع بهتر شار سیال خنک کاری شود و در پی آن، دما در بدنه استوانه، بستار و دیواره چندراهه دود یکپارچه کاهش یابد. در سرعت موتور ۶۰۰۰ د.د.د، در حالت تمام بار و دمای آب خروجی موتور ۹۰ درجه سانتیگراد با تغییر مدار خنک کاری دمای اجزاء مرتبط با سیال خنک کاری حدود ۵ تا ۱۰ درصد کاهش می‌یابد.</p>	<p>کلیدواژه‌ها: موتور سه استوانه چندراهه دود یکپارچه آزمون موتوری بررسی تجربی</p>



© 2024 Iranian Society of Engine, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license). (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

* نویسنده مسئول

پست الکترونیکی: m_mehrabi@ip-co.com (مجتبی محرابی وقار)

دریافت ۲۶ آبان ۱۴۰۳؛ پذیرش ۲ دی ۱۴۰۳

شاپای الکترونیکی: ۴۱۲۱-۲۳۴۵ / شاپای چاپی: ۵۲۱۴-۱۷۳۵

Cite this article: Cheraghmakani H, Mehrabi Vaghar M. Experimental investigation of the effect of modifying the engine cooling circuit with the aim of improving the temperature of the cylinder head and block. The Journal of Engine Research. 2024 Nov 21;71(3):45-55. doi: 10.22034/ER.2024.2045938.1068

۱- مقدمه

یکی از متغیرهای مهم در طراحی و عملکرد موتور، خنک‌کاری مناسب بدنه و بستار موتور است. خنک‌کاری مناسب اجزای موتور باعث عملکرد مطلوب اجزا در شرایط مختلف کارکردی موتور می‌شود. یکی از فناوری‌های مهمی که امروزه در موتورهای روز دنیا به وفور مورد استفاده قرار گرفته است استفاده از چندراهه^۱ دود یکپارچه به علت عبور گازهای داغ موضوع خنک‌کاری اهمیت ویژه‌ای دارد و اگر خنک‌کاری به درستی انجام نشود باعث مشکلاتی از قبیل ذوب شدن بستار می‌گردد [۱].

از این رو باید مدار خنک‌کاری به گونه‌ای طراحی شود که مایع خنک‌کن با شار حجمی مناسبی از مجاورت دیواره^۱ چندراهه^۱ دود عبور کند و گرمایی که گازهای داغ به جداره منتقل می‌شود را به خوبی جذب کرده و اجازه ندهد که دمای جداره بالا برود و از بروز مشکلات احتمالی جلوگیری کند [۲-۵].

در موتورهایی که از این فناوری استفاده می‌کنند، می‌توان بیشینه توان را بواسطه خنک نمودن گازهای خروجی که وارد پرخوران می‌شود، تا حد ممکن بالا برد. همچنین با استفاده از این فناوری می‌توان در شرایط راه اندازی اولیه موتور^۱ سیال خنک‌کننده موتور را با عبور دادن از دیواره^۱ چندراهه^۱ دود یکپارچه که با گازهای داغ خروجی از موتور در ارتباط است گرم نمود، که این پدیده در کاهش آلاینده‌گی موتور تأثیر بسزایی دارد. استوانه و بستار موتور در محل تماس با واشر بستار از قسمت‌هایی از موتور هستند که عملکرد موتور روی دمای کاری آنها تأثیر بسزایی می‌گذارد [۶].

تحقیقات زیادی بر روی اندازه‌گیری دمای قطعات داخلی و ارزیابی انتقال حرارت موتور بخصوص قطعات درگیر با احتراق انجام شده است [۷، ۸]. اکثر آنها با هدف بررسی تغییر متغیرهای احتراقی از قبیل جرکه و نوع احتراق موتور بر روی دمای محفظه^۱ احتراق انجام شده‌اند. تفاوت دما بین دیواره‌های داخلی و خارجی چندراهه^۱ دود دلیلی است که باعث بار حرارتی قابل توجهی بر روی چندراهه^۱ دود می‌شود. تجزیه و تحلیل اتصال حرارتی روشی مؤثر برای مطالعه توزیع دما و ویژگی‌های انبساط حرارتی است [۹].

ترجیلو و همکاران [۱۰] با اندازه‌گیری دمای قطعات محفظه^۱ احتراق توانستند الگویی برای تخمین اثر تغییر دمای قطعات توسعه بدهند که با تغییر هر متغیر اثر آن را در دمای قطعات تخمین بزنند.

مار و همکاران [۱۱] دمای بستار را در بالای محفظه^۱ احتراق اندازه‌گیری کردند. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج شبیه‌سازی مطابقت خوبی داشته‌است. فارمن و همکاران [۱۲] اقدام به اندازه‌گیری دمای بستار به کمک دماسنج فسفری در شرایط کاری موتور کردند. در این پژوهش تأثیر تغییرات نسبت هوا به سوخت و زمانبندی جرکه بر دمای بستار بررسی شده است.

رحمتی‌نژاد و همکاران دریافتند افزودن نانوذرات به سیال خنک‌کاری موتور باعث افزایش ضریب انتقال حرارت همرفتی می‌شود و افزایش کسر حجمی نانوذرات در سیال پایه موجب کاهش دمای خروجی از مبدل حرارتی شده که این عمل باعث افزایش اختلاف دمای ورودی و خروجی گردیده و نرخ انتقال حرارت افزایش می‌یابد. با استفاده از نانوسیال می‌توان اندازه^۱ مبدل حرارتی و حجم سامانه^۱ خنک‌کاری را کوچک نمود و در نتیجه مقدار آب در گردش و توان تلف شده موتور را کاهش داد [۱۳، ۱۴].

شکل ۱- الف یک نمونه مجموعه بستار موتور دارای چندراهه^۱ دود جداشتنی و در شکل ۲- ب یک نمونه مجموعه بستار موتور دارای چندراهه^۱ دود یکپارچه را نشان می‌دهد. پژوهش‌های زیادی بر روی خنک‌کاری موتورهای احتراقی انجام شده است. بیشتر آنها با هدف بررسی سامانه^۱ خنک‌کاری به منظور کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌های خروجی انجام شده‌است.

در این پژوهش دو مدار خنک‌کاری مختلف جهت بررسی دمای دیواره^۱ چندراهه^۱ دود یکپارچه بر روی یک موتور سه

¹ Warm up

استوانه مورد آزمون آزمایشگاهی قرار گرفته است. در شکل های ۲ و ۳ نمای کلی مدارهای خنک کاری آورده شده است، اعدادی که با رنگ قرمز مشخص شده است. محل نصب حسگرهای دما و فشار سیال خنک کن است. فهرست شارسنج های استفاده شده برای محاسبه شار حجمی سیال خنک کن مسیرهای مختلف مدار خنک کاری در جدول ۱ ارائه شده است.

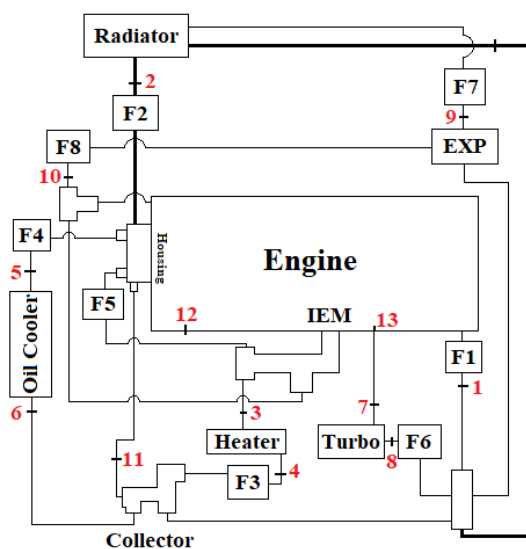


(الف)

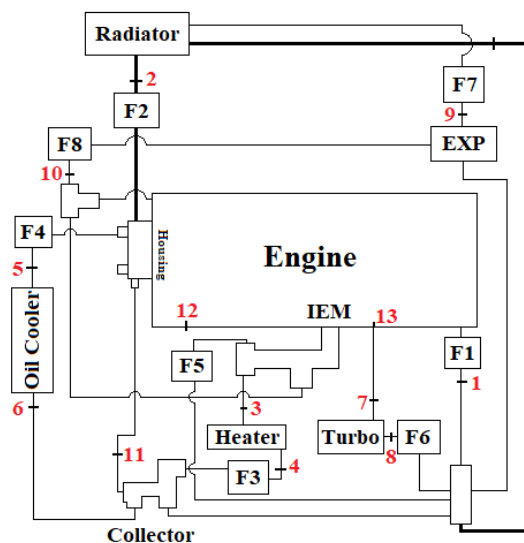


(ب)

شکل ۱ الف) چندراهه دود جداشدنی، ب) چندراهه دود یکپارچه با بستار



شکل ۲ طرح مدار خنک کاری طرح شماره یک



شکل ۳ طرح مدار خنک کاری طرح شماره دو

جدول ۱ فهرست شارسنجها

شارسنج سیال عبوری از	نماد اختصاری
تلمبه	F1
مبدل حرارتی	F2
خنک کن اتاق	F3
خنک کن روغن	F4
چندراهه دود یکپارچه	F5
پرخوران	F6
هواگیری مبدل حرارتی	F7
هواگیری بستار و هواگیری چندراهه دود یکپارچه	F8

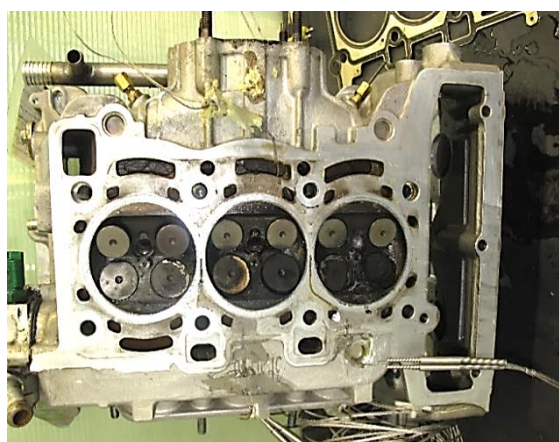
تغییرات مسیر خنک کاری و تأثیر آن روی دمای قطعات درگیر با آن برای دستیابی به بهبود همزمان مسیر خنک کاری و پایین آوردن دمای قطعات درگیر با سیال خنک کاری از ویژگی های بارز این تحقیق است. روش اندازه گیری دما و محل کاشت حسگرهای دما جزو نوآوری هایی است که در این کار پژوهشی نمود تازه ای پیدا می کند. این روش کاشت حسگر باعث می شود با خطای کمتر بتوان در بالاترین نقطه استوانه و بستار اثر اصلاح مسیر خنک کاری را تحلیل نمود.

۲- آزمون تجربی

رویه و نقاط کاری این آزمون با توجه به این که هدف از این تحقیق کاهش دمای دیواره چندراهه دود یکپارچه می باشد باید بیشینه دما معیار آزمون قرار بگیرد. از همین جهت آزمون در نقاط تمام بار موتور یعنی در حالتی که دریچه گاز کاملاً باز می باشد انجام گرفت. سرعت موتور نیز از سرعت ۱۶۰۰ تا ۶۰۰۰ دور در دقیقه (د.د.د.) تا سرعتی که بیشینه حرارت در قطعات موتور به وجود می آید با گامهای ۱۰۰۰ د.د.د. بالا برده شد.

در سرعت های مذکور موتور آن قدر ثابت باقی می ماند تا دما، فشار و شار حجمی سیال خنک کن که توسط حسگرهای دما و فشار و شارسنجها خوانش می شود ثابت باقی بمانند. پس از آن موتور به سرعت بعدی برده می شود. همچنین دمای سیال خنک کن خروجی موتور با کنترلر PID روی دمای ۹۰ درجه سانتیگراد تنظیم شد. برای هر نقطه

داده برداری‌ها به مدت یک دقیقه انجام شده است و از داده‌ها میانگین‌گیری شده است. همچنین برای اندازه‌گیری دمای دیوارهٔ چندراههٔ دود نیز از حسگر نوع K استفاده شد که تا دمای ۱۰۰۰ درجه سلسیوس توانایی خوانش دارد. یکی از فعالیت‌های مهم برای آماده‌سازی آزمون نصب حسگر دمای دیوارهٔ چندراههٔ دود یکپارچه بود. برای این کار از روش خاص و دقیقی استفاده شد. در قسمت جداره سوراخ باریکی تعبیه شد که نوک حسگر دما دقیقاً با فاصله یک میلی‌متری از جداره قرار بگیرد و دمای جداره را بدرستی خوانش کند. بعد از آن با چسب مخصوصی که هم‌جنس بستار و بدنه بود روی آن پوشانده شد. پر کردن چسب در اطراف نوک حسگر باعث می‌شد تا از تماس نوک حسگر با سطح هدف اطمینان حاصل شود. مشکلی که بعضاً در این اندازه‌گیری‌ها ممکن است به وجود بیاید وجود فاصله هوایی در اطراف نوک حسگر و یا درگیری نقطه‌ای یا بسیار کم نوک حسگر با محل اندازه‌گیری است. تنظیم تمام حسگرها قبل از استفاده در کوره مخصوص بررسی شده است. دقت حسگرهای اندازه‌گیری دما ± 1 درجه سانتی‌گراد است. در شکل ۴ عکس محل کاشت حسگر دمایی دیوارهٔ چندراههٔ دود مشخص می‌شود.



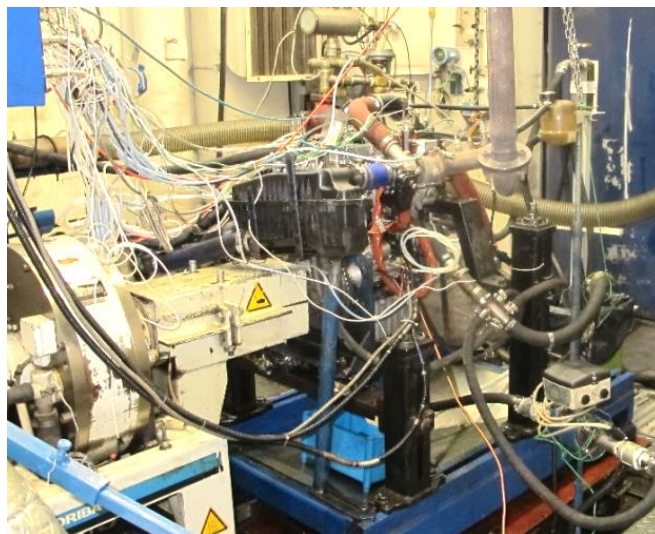
شکل ۴ بستار موتور بعد از کاشت حسگر دما

تفاوت دو مدار خنک‌کاری انتخاب شده در این پژوهش در مسیر سیال عبوری از چندراههٔ دود یکپارچه است و سایر مسیرها برای هر دو طرح یکسان است. در طرح شمارهٔ یک مسیر سیال عبوری از چندراههٔ دود یکپارچه به ورودی دمابان و خنک‌کن اتاق متصل می‌گردد و در طرح شمارهٔ دو سیال عبوری از چندراههٔ دود یکپارچه به خنک‌کن اتاق و قبل تلمبه متصل می‌شود. شار حجمی عبوری کلی از چندراههٔ دود یکپارچه برابر با مجموع شارهای عبوری شارسنج‌های F3 و F5 در نظر گرفته شده است. (به دلیل کم بودن شار مسیر هواگیری چندراههٔ دود یکپارچه از مقدار عددی این شار در محاسبات صرف نظر شده است). شار حجمی کلی عبوری از چندراههٔ دود یکپارچه از معادلهٔ ۱ بدست می‌آید.

$$F = F3 + F5 \quad (1)$$

آزمون‌های این پژوهش، در اتاق مجهز آزمون موتوری انجام شده است. شکل ۵ اتاق آزمون به همراه تجهیزات بکار رفته در آن را نشان می‌دهد. تجهیزاتی که در این آزمون‌ها مورد استفاده قرار گرفت، عبارت است از:

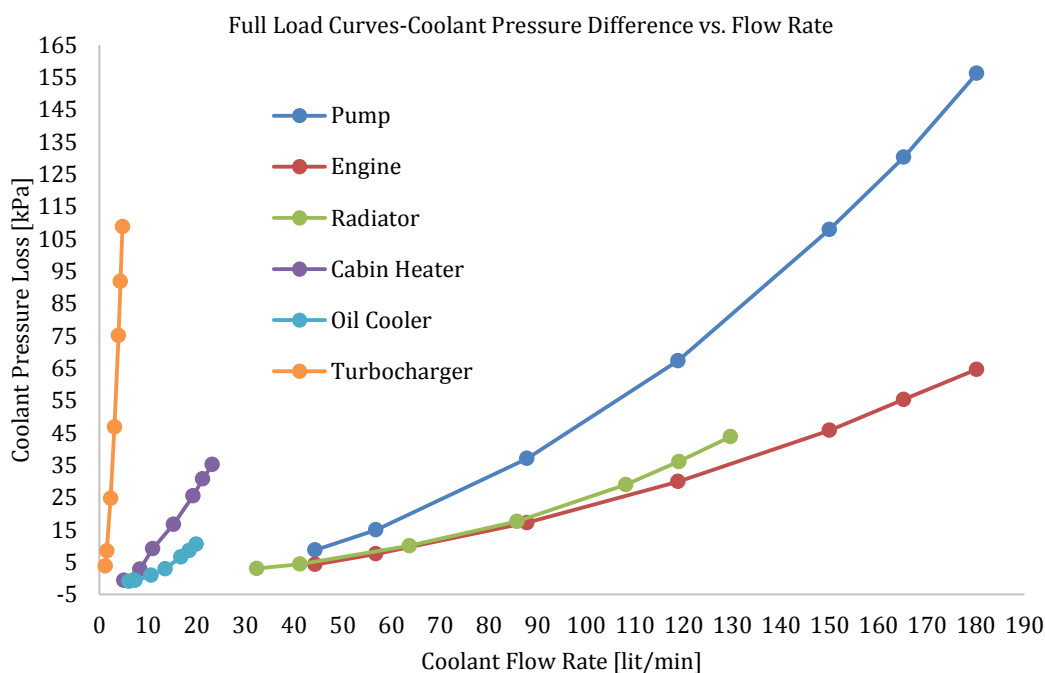
- لگام ترمز
- نرم افزار و سخت افزارهای خوانش و پایش موتور
- دستگاه اندازه‌گیری نرخ و فشار گازهای نشتی محفظهٔ لنگ
- سامانهٔ سرمایش و گرمایش
- تجهیزات پایش دما و فشار سیال خنک‌کاری و روانکاری موتور



شکل ۵ اتاق آزمون به همراه تجهیزات آن

۳- نتایج و بحث

در این بخش، کلیه نتایج بدست آمده از آزمون‌های تجربی ارائه شده و به دقت مورد بحث قرار می‌گیرد. شکل ۶ منحنی‌های اختلاف فشار ورودی و خروجی بر حسب شار حجمی سیال خنک کن برای قطعات مختلف مدار خنک کاری را نشان می‌دهد.



شکل ۶ منحنی‌های اختلاف فشار بر حسب شار حجمی سیال خنک کن برای قطعات مختلف مدار خنک کاری

شار حجمی سیال خنک کن در مسیرهای مختلف بر حسب سرعت موتور برای طرح شماره ۱ که توسط شارسنج‌ها اندازه‌گیری شده است در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود تمامی شارهای حجمی با افزایش سرعت موتور به طور خطی افزایش پیدا می‌کنند.

جدول ۲ شار حجمی سیال خنک‌کن در مسیرهای مختلف برای طرح شماره یک بر حسب سرعت موتور

سرعت موتور (د.د.د.)	F1 (ل.د.د.)	F2 (ل.د.د.)	F4 (ل.د.د.)	F6 (ل.د.د.)
۱۶۰۰	۴۴,۳	۳۲,۳	۶,۱	۱,۲
۲۰۰۰	۵۶,۸	۴۱,۲	۷,۳	۱,۶
۳۰۰۰	۸۷,۸	۶۳,۷	۱۰,۷	۲,۳
۴۰۰۰	۱۱۸,۹	۸۵,۸	۱۳,۶	۳,۱
۵۰۰۰	۱۴۹,۹	۱۰۸,۲	۱۶,۸	۳,۹
۵۵۰۰	۱۶۵,۲	۱۱۹	۱۸,۵	۴,۴
۶۰۰۰	۱۸۰,۲	۱۲۹,۶	۱۹,۹	۴,۸

جدول ۳ شار حجمی سیال خنک‌کن در مسیرهای مختلف برای طرح شماره یک بر حسب سرعت موتور

سرعت موتور (د.د.د.)	F3 (ل.د.د.)	F5 (ل.د.د.)	F (ل.د.د.)
۱۶۰۰	۵	۲,۳	۷,۴
۲۰۰۰	۸,۴	۲,۸	۱۱,۲
۳۰۰۰	۱۱	۳,۷	۱۴,۷
۴۰۰۰	۱۵,۲	۴,۳	۱۹,۵
۵۰۰۰	۱۹,۳	۴,۹	۲۴,۲
۵۵۰۰	۲۱,۲	۵,۳	۲۶,۶
۶۰۰۰	۲۳,۲	۵,۹	۲۹,۱

شار حجمی سیال خنک‌کن در مسیرهای مختلف بر حسب سرعت موتور برای طرح شماره دو که توسط شارسنج‌ها اندازه‌گیری شده است در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود. تمامی شارهای حجمی با افزایش سرعت موتور به طور خطی افزایش پیدا می‌کنند.

جدول ۴ شار حجمی سیال خنک‌کن در مسیرهای مختلف برای طرح شماره دو بر حسب سرعت موتور

سرعت موتور (د.د.د.)	F1 (ل.د.د.)	F2 (ل.د.د.)	F4 (ل.د.د.)	F6 (ل.د.د.)
۱۶۰۰	۴۹,۲	۲۶,۶	۷,۳	۱,۱
۲۰۰۰	۶۲,۹	۳۴,۱	۹,۱	۱,۴
۳۰۰۰	۹۶,۹	۵۳,۱	۱۳	۲,۲
۴۰۰۰	۱۳۰,۹	۷۱,۹	۱۶,۲	۲,۹
۵۰۰۰	۱۶۴,۴	۹۰	۱۹,۶	۳,۶
۵۵۰۰	۱۷۹,۹	۹۸,۳	۲۱,۴	۴
۶۰۰۰	۱۹۲,۴	۱۰۵,۳	۲۲,۷	۴,۳

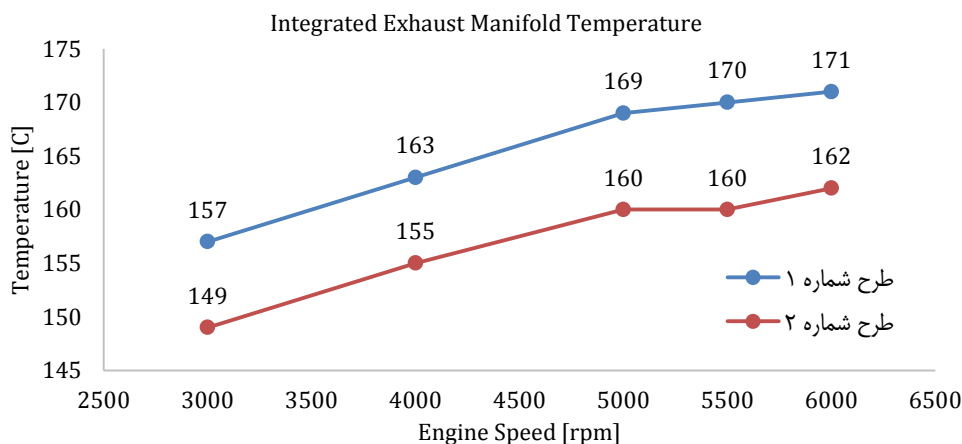
با مقایسه شار حجمی‌های سیال خنک‌کن در طرح‌های شماره یک و دو می‌توان مشاهده کرد که شار سیال خنک‌کن در مسیر تلمبه در سرعت ۶۰۰۰ د.د.د. در طرح دو ۱۹۲,۴ لیتر در دقیقه (ل.د.د.) است که نسبت به شار سیال خنک‌کن در مسیر تلمبه در طرح یک که ۱۸۰,۲ ل.د.د. است حدود ۱۲ ل.د.د. افزایش داشته است.

جدول ۵ شار حجمی سیال خنک‌کن در مسیرهای مختلف برای طرح شماره دو بر حسب سرعت موتور

سرعت موتور (د.د.د.)	F3 (ل.د.د.)	F5 (د.د.د.)	F (ل.د.د.)
۱۶۰۰	۳,۲	۱۴,۲	۱۷,۵
۲۰۰۰	۳,۹	۱۷,۷	۲۱,۶
۳۰۰۰	۷,۵	۲۶,۱	۳۳,۶
۴۰۰۰	۱۴,۳	۳۳	۴۷,۳
۵۰۰۰	۱۵,۷	۴۰,۸	۵۶,۵
۵۵۰۰	۱۶,۶	۴۴,۳	۶۰,۹
۶۰۰۰	۱۷,۴	۴۷,۴	۶۴,۸

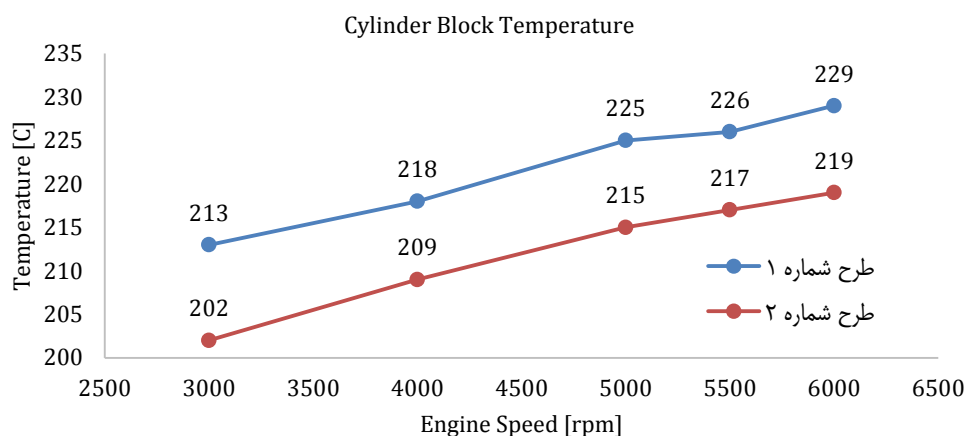
شار سیال خنک‌کن در مسیر خنک‌کن اتاق در طرح دو نسبت به طرح یک حدود ۶ ل.د.د. کاهش یافته است ولی با توجه به این مقدار کاهش باز هم در محدوده قابل قبول قرار دارد. شار سیال خنک‌کن در مسیر چندراهه دود یکپارچه F5 در طرح دو نسبت به طرح یک افزایش قابل توجهی داشته است و از مقدار ۵,۹ به ۴۷,۴ ل.د.د. افزایش پیدا کرده است. شار حجمی کلی عبوری از چندراهه دود یکپارچه که مجموع شارهای حجمی عبوری از مسیر خنک‌کن اتاق و مسیر چندراهه دود یکپارچه است نیز در طرح دو نسبت به طرح یک افزایش پیدا کرده است و از مقدار ۲۹,۱ ل.د.د. به مقدار ۶۴,۸ ل.د.د. تغییر کرده است که نشان می‌دهد در طرح دو شار حجمی سیال خنک‌کن بیشتر شده است و پتانسیل بیشتر برای کاهش دمای دیواره چندراهه دود یکپارچه در طرح دو وجود دارد. با بررسی نتایج داده‌های دمایی حسگر دیواره چندراهه دود یکپارچه ملاحظه می‌گردد در طرح دو نسبت به طرح یک تمامی دماها در سرعت‌های مختلف موتور کاهش پیدا کرده‌اند.

در طرح شماره یک بدلیل اینکه مسیر خروجی سیال خنک‌کننده از چندراهه به قسمت فشار قوی بستار وصل شده است، جریان کمی در آن برقرار شده است و این جریان کم علاوه بر محدود نمودن توان و گشتاور موتور در سرعت‌های تند بواسطه داغ شدن دمای گازهای خروجی، باعث خرابی و ذوب شدن بستار نیز می‌شود. از این رو در طرح شماره دو همان طور که گفته شد برای برقراری جریان در دیواره چندراهه دود یکپارچه، خروجی آن به مکش تلمبه نزدیک شده و از این اختلاف فشار برای افزایش دادن شار سیال خنک‌کننده در چندراهه دود استفاده شد. بدین صورت در طرح شماره دو مسیر خنک‌کاری موتور با هدف بهبود خنک‌کاری چندراهه دود یکپارچه ارتقاء پیدا نمود. دمای دیواره چندراهه دود یکپارچه در سرعت‌های مختلف عملکردی موتور برای طرح‌های شماره یک و دو در شکل ۷ نشان داده شده است.



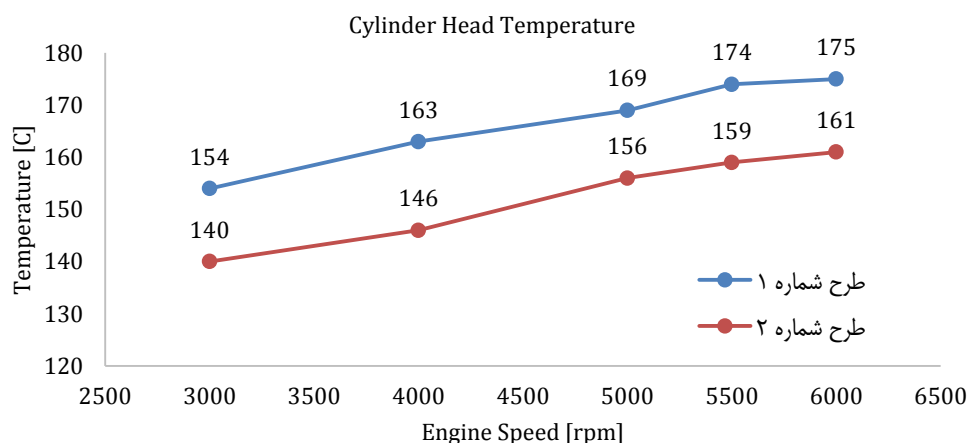
شکل ۷ دمای دیواره چندراهه دود یکپارچه برای طرح‌های شماره یک و دو

همچنین دمای بین استوانه ۱ و ۲ در ناحیه بالای استوانه‌ها برای بررسی اثر اصلاح مسیر خنک‌کاری اندازه‌گیری شد که نتایج نشان از بهبود نسبی دمای بین بدنه‌ها داشت. در شکل ۸ نتایج تغییر دما در بدنه نشان داده شده است.



شکل ۸ دمای بین استوانه ۱ و ۲ برای طرح‌های شماره یک و دو

در ادامه دمای بستار نیز در ناحیه بین دریچه‌های دود نیز اندازه‌گیری شد که نتایج نشان از اثر گذاری مثبت اصلاح مسیر خنک‌کاری داشت. در شکل ۹ می‌توان این اندازه‌گیری را برای استوانه شماره ۱ مشاهده نمود.



شکل ۹ دمای بستار بین دریچه‌ها در استوانه ۱

همان طور که نتایج نشان می‌دهد پس از اصلاح مسیر دمای دیواره چندراهه دود در بیشترین سرعت موتور دمای دیواره چندراهه حدود ۱۰ درجه کاهش یافته است.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج آزمون‌ها نشان می‌دهد که پس از اصلاح مسیر خنک‌کاری، دمای اجزای مرتبط با سامانه خنک‌کاری حدود ۵ تا ۱۰ درصد کاهش می‌یابد. علاوه بر این، می‌توان اذعان داشت که هرچه توازن بهتری میان شار اجزای مختلف مسیر خنک‌کاری برقرار شود، بازدهی سامانه خنک‌کاری افزایش خواهد یافت و این موضوع می‌تواند به جلوگیری از خرابی‌ها و محدودیت‌های عملکرد موتور کمک کند. همچنین با بهینه‌سازی مسیرهای عبور سیال خنک‌کن، می‌توان نقطه کاری تلمبه را تغییر داده و شار بیشتری از آن دریافت کرد که به بهبود بازدهی تلمبه منجر خواهد شد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود از شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (ایپکو) برای حمایت‌های خود در پیشبرد این تحقیق، را ابرار می‌نماید.

References

- [1] Kuhlbach K, Mehring J, Borrmann D, Friedfeldt R. Cylinder head with integrated exhaust manifold for downsizing concepts. *MTZ worldwide*. 2009 Apr;70(4):12-7. doi: [10.1007/BF03226940](https://doi.org/10.1007/BF03226940)
- [2] Borrmann D, Kuhlbach K, Friedfeldt R, Mehring J, Fritscher R. Cylinder head integrated exhaust manifold IEM applied to gasoline downsizing concepts. 17th Aachen Motorenkolloquium; 2008; Aachen, Germany.
- [3] Neshan MA, Keshavarz A, Jazayeri A, Ghasemian A. Thermo-fluid analysis of the exhaust manifold integrated with cylinder head. In *Internal Combustion Engine Division Spring Technical Conference 2012 May 6* (Vol. 44663, pp. 965-972). American Society of Mechanical Engineers. doi: [10.1115/ICES2012-81121](https://doi.org/10.1115/ICES2012-81121)
- [4] Incropera FP, DeWitt DP, Bergman TL, Lavine AS. *Fundamentals of heat and mass transfer*. New York: Wiley; 1996 Feb 16.
- [5] Neshan MA, Keshavarz A, Khosravi K. Integration of exhaust manifold with engine cylinder head towards size and weight reduction. *The Journal of Engine Research*. 2022 Nov 27;30(30):55-65.
- [6] Heywood JB. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. 2nd ed. New York, USA: McGraw-Hill; 2018.
- [7] Chang J, Güralp O, Filipi Z, Assanis D, Kuo TW, Najt P, Rask R. New heat transfer correlation for an HCCI engine derived from measurements of instantaneous surface heat flux. *SAE transactions*. 2004 Jan 1:1576-93. doi: [10.4271/2004-01-2996](https://doi.org/10.4271/2004-01-2996)
- [8] Han Z, Reitz RD. A temperature wall function formulation for variable-density turbulent flows with application to engine convective heat transfer modeling. *International journal of heat and mass transfer*. 1997 Feb 1;40(3):613-25. doi: [10.1016/0017-9310\(96\)00117-2](https://doi.org/10.1016/0017-9310(96)00117-2)
- [9] Haiqiang L, Hong Q, Bo Z. Failure and thermal-mechanical coupling analysis of exhaust manifold of a gasoline engine. In *Structures 2024 Dec 1*;70,107572. Elsevier. doi: [10.1016/j.istruc.2024.107572](https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.107572)
- [10] Carvajal-Trujillo E, Jiménez-Espadafor FJ, Villanueva JA, García MT. Methodology for the estimation of head inner surface temperature in an air-cooled engine. *Applied Thermal Engineering*. 2012 Mar 1;35:202-11. doi: [10.1016/j.applthermaleng.2011.10.032](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.10.032)
- [11] Marr MA, Wallace JS, Chandra S, Pershin L, Mostaghimi J. A fast response thermocouple for internal combustion engine surface temperature measurements. *Experimental thermal and fluid science*. 2010 Feb 1;34(2):183-9. doi: [10.1016/j.expthermflusci.2009.10.008](https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2009.10.008)
- [12] Fuhrmann N, Litterscheid C, Ding CP, Brübach J, Albert B, Dreizler A. Cylinder head temperature determination using high-speed phosphor thermometry in a fired internal combustion engine. *Applied Physics B*. 2014 Aug;116:293-303. doi: [10.1007/s00340-013-5690-0](https://doi.org/10.1007/s00340-013-5690-0)
- [13] Rahmatinejad B, Rahimi Asiabaraki H, Azimpour Shishevan F. Investigation of the effect of AL2O3 nanofluid in M13NI engine cooling system. *The Journal of Engine Research*. 2023 Mar 21;70(1):47-65. doi: [10.22034/ER.2023.1975318.0](https://doi.org/10.22034/ER.2023.1975318.0) [In Persian]
- [14] Rahmatinejad B, Rahimi Asiabaraki H, Azimpour Shishevan F, Mohtadi Bonab MA. Experimental analysis of the effect of using aluminum oxide nanofluid in improving the heat transfer of XU7 engine radiator. *The Journal of Engine Research*. 2023 June 22;70(2):66-79. doi: [10.22034/ER.2023.2011671.1015](https://doi.org/10.22034/ER.2023.2011671.1015) [In Persian]