The Journal of Engine Research
Spring 2025, Vol. 72, No. 1, pp. 35-44
Journal Homepage: www.engineresearch.ir

Original Research

Analysis of the effect of placement of radiator and condenser fans in a sample vehicle on the cooling system

Hojjat Saberinejad*

Department of Mechanical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Keywords:
Cooling System
Radiator Fan
Condenser Fan
KULI Software

ABSTRACT

The cooling of vehicle with internal combustion engine has consistently been investigated by researchers. In the present study, the effect of the placement of the condenser fan and radiator fan on the engine cooling of a sample vehicle was examined using KULI software. Initially, information related to pressure drops resulting from the vehicle's front assembly and the components within the engine compartment was obtained through three-dimensional analysis. Subsequently, various data such as the engine's thermal load, coolant flow rate, and specifications of heat exchangers were input into the model constructed in the KULI software, and the results pertaining to the coolant temperature were compared with experimental tests conducted on the target vehicle under identical conditions. Subsequently, the impact of repositioning and removing the condenser fan, relocating the radiator fan, and utilizing two smaller fans on engine cooling was investigated. According to the results obtained, removing the condenser fan or installing it in the middle part of the condenser could improve engine cooling by 3% compared to the current configuration; however, the effect on the performance of the air conditioning system must also be examined. The use of two smaller fans, as opposed to one larger fan, did not have a significant effect on the vehicle's cooling performance.

© 2025 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: hsaberinejad@tvu.ac.ir (H. Saberinejad)

Received 26 April 2025; Accepted 22 May 2025
E-ISSN: 2345-4121/ISSN: 1735-5214

Cite this article: Saberinejad H. Analysis of the effect of placement of radiator and condenser fans in a sample vehicle on the cooling system. The Journal of Engine Research. 2025 May 22;72(1):35-44. doi: 10.22034/ER.2025.2058080.1088

نشریه علمی تحقیقات موتور
بهار ۱٤۰٤، جلد ۷۲، شماره ۱، صفحه ۳۵-٤٤
تارنمای نشریه: www.engineresearch.ir

مقاله پژوهشی

تحلیل اثر جانمایی پنکهٔ مبدل و چگالنده خودروی نمونه بر روی سامانهٔ خنک‌کاری

حجت صابری نژاد*

گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

کلیدواژه‌ها:
سامانهٔ خنک‌کاری
پنکهٔ مبدل
پنکه چگالنده
نرم‌افزار KULI

چکیده

خنک‌کاری خودرو با موتور احتراق داخلی همواره مورد بررسی پژوهشگران بوده است. در کار حاضر اثر جانمایی پنکهٔ چگالنده و پنکهٔ مبدل خودروی نمونه بر خنککاری موتور با استفاده از نرم‌افزار KULI بررسی شده است. در ابتدا اطلاعات مرتبط با افت فشارهای ناشی از مجموعه جلوی خودرو و قطعات موجود در محفظهٔ موتور با استفاده از تحلیل سه‌بعدی به دست آورده شده‌اند. سپس اطلاعات مختلف مانند بار حرارتی موتور، میزان شار مایع خنک‌کننده، مشخصات مبدل‌های حرارتی در طرح ساخته شده در نرم‌افزار KULI وارد و نتایج مربوط به دمای مایع خنک‌کاری با نتایج آزمون تجربی انجام شده برای خودروی هدف در شرایط یکسان مورد مقایسه قرار گرفتند. سپس تکثیر جانمایی و حذف پنکهٔ چگالنده، جابه‌جایی پنکهٔ مبدل و استفاده از دو پنکه کوچک‌تر بر روی خنک‌کاری موتور بررسی شد. مطابق نتایج به‌دست‌آمده، حذف و یا استفاده از پنکهٔ چگالنده در قسمت وسط چگالنده، ۳ درصد خنک‌کاری موتور را نسبت به حالت فعلی بهبود خواهد داد؛ هرچند که باید تأثیر بر روی عملکرد سامانه تهویه مطبوع نیز مورد بررسی قرار گیرد. استفاده از دو پنکه کوچک‌تر نسبت به استفاده از یک پنکه بزرگ‌تر، اثر قابل‌توجهی بر روی عملکرد خنک‌کاری خودرو نداشته است.

© 2025 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: hsaberinejad@tvu.ac.ir (حجت صابری نژاد)

دریافت ۶ اردیبهشت ۱۴۰۴؛ پذیرش ۱ خرداد ۱۴۰۴
شاپای الکترونیکی: ۴۱۲۱-۲۳۴۵ / شاپای چاپی: ۵۲۱۴-۱۷۳۵

Cite this article: Saberinejad H. Analysis of the effect of placement of radiator and condenser fans in a sample vehicle on the cooling system. The Journal of Engine Research. 2025 May 22;72(1):35-44. doi: 10.22034/ER.2025.2058080.1088

۱– مقدمه

مدیریت حرارتی یک راهکار مهم چیره شدن بر چالش مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها در صنعت خودرو است [۱–۳]. سامانهٔ خنک‌کاری در عملکرد بهینه و مناسب موتورهای احتراق داخلی نقش حیاتی ایفا می‌کند. جهت ارزیابی عملکرد این سامانه باید هرکدام از اجزای آن شامل مبدل، پنکه، تلمبه آب موتور[1] و غیره بررسی شوند. عملکرد مبدل خودرو به‌عنوان یک مبدل حرارتی تحت تأثیر سه عامل مهم ابعاد و مشخصات مربوطه، مقدار متوسط هوای عبوری از سطح آن و مقدار مایع خنک‌کننده عبوری از لوله‌های داخلی آن است. در مورد مقدار هوای عبوری از سطح مبدل، عواملی همچون مشخصات عملکردی پنکه و قاب[2] مربوطه، افت فشار اجزای قبل از مبدل در قسمت جلوی خودرو شامل چگالنده و مجموعه سپر جلو و افت فشار اجزای موجود در محفظهٔ موتور تأثیرگذار هستند؛ بنابراین بررسی میزان تأثیر افت فشار ایجاد شده به‌واسطه هرکدام از اجزای اشاره شده در عملکرد حرارتی مبدل خودرو ضروری است.

در رویکرد شبیه‌سازی عددی سامانهٔ خنک‌کاری خودرو، رویکرد شبیه‌سازی یک‌بعدی و رویکرد شبیه‌سازی سه‌بعدی شناخته شده است. هردوی این رویکردها مزایا و معایب خود را دارند [۴، ۵]. شبیه‌سازی سه‌بعدی می‌تواند برای نشان دادن جزئیات و ویژگی‌های جریان سیال و انتقال حرارت استفاده شود، اما نمی‌تواند ارتباط سامانه‌های چندگانه ترمودینامیکی را شبیه‌سازی و بحث کند [۶]. شبیه‌سازی یک‌بعدی می‌تواند تغییرات ترمودینامیکی گذرا را شبیه‌سازی کند، اما نمی‌تواند ویژگی‌های جریان سیال، ناشی از ساختارها و موقعیت‌ها را نشان دهد. بنابراین، روش شبیه‌سازی هم‌زمان شبیه‌سازی یک‌بعدی و سه‌بعدی برای مقابله با این مشکلات گسترش یافته است [۷، ۸].

از طریق این دیدگاه، شبیه‌سازی سامانه‌های ترمودینامیکی چندگانه را می‌توان با ویژگی‌های جریان سیال و انتقال حرارت شبیه‌سازی کرد. با پیدایش و گسترش نرم‌افزارهای مهندسی و شبیه‌سازی، بررسی سامانهٔ خنک‌کاری و اجزای آن به‌مراتب راحت‌تر و کم‌هزینه‌تر شده است. بسیاری از سازندگان و طراحان در صنعت خودروسازی از نرم‌افزاری طراحی و شبیه‌سازی جهت طراحی سامانه‌های مهندسی خودرویی بهینه بهره می‌برند. نرم‌افزار یک‌بعدی KULI برای شبیه‌سازی سامانهٔ خنک‌کاری خودرو در بسیاری از مطالعات استفاده شده است [۸، ۹].

جاما و همکاران [۱۰] به بررسی توزیع هوای عبوری از مبدل یک خودروی نمونه در تونل باد پرداختند. تأثیر پوشاندن نواحی مختلف ورودی هوای سپر خودرو در چهار حالت بررسی شد. پوشاندن قسمت ورودی هوا به‌صورت افقی بهترین نتیجه را در ایجاد توزیع هوای یکنواخت بر روی مبدل داشت.

پانگ و همکاران [۱۱] به بررسی تأثیر شکل‌های مختلف هندسه جلوی خودرو بر جریان عبوری از مبدل‌های حرارتی مبدل و چگالنده پرداختند. ایشان هم‌چنین جهت جلوگیری از افزایش ناگهانی دمای مایع خنک‌کاری پس از key-off، پیشنهاد کار کردن تلمبهٔ آب و پنکه برقی بعدازاین عمل را مطرح کردند.

نامجوشی و همکاران [۱۲] به بررسی تأثیر سایز و جانمایی مبدل و شکل لوور شبکه جلوی خودرو بر روی بهینه کردن جریان هوای عبوری از سامانهٔ خنک‌کاری پرداختند. شبیه‌سازی عددی خنک‌کاری موتور کششی ۲۵۰ کیلوواتی یک اتوبوس برقی با دو پنکه جداگانه توسط نرم‌افزار KULI توسط ردی و همکاران [۱۳] انجام شد. نتایج آن‌ها مصرف برق پنکه را برای دمای خروجی سیال خنک‌کننده مبدل بهینه کرد. مطالعه عددی–تجربی بر روی رویکردی برای رسیدن به سامانه خنک‌کننده بهینه با پیکربندی فشرده در موتورهای با استاندارد آلایندگی مرحله ۶ کشور هندوستان (BSVI) با نرم‌افزار KULI انجام شد [۱۴].

نتایج منتشر شده نشان می‌دهد که تطابق مناسبی بین نتایج طرح نرم‌افزاری با نتایج آزمایش وجود دارد. تجزیه و تحلیل اندازه و قرارگیری مبدل‌های حرارتی در محدودیت‌های اندازه داده شده برای یک موتور جدید در یک ماشین

[1] Engine Water Pump
[2] Shroud

ساختمانی با استفاده از نرم‌افزار KULI توسط دوانگان و همکاران انجام شد [۱۵]. این رویکرد به تعیین اندازه و موقعیت بهینهٔ مبدل‌های حرارتی با در نظر گرفتن انتقال حرارت، جریان سیال، افت فشار و توزیع دما کمک کرد.

تحلیل اثر نانوسیال در سامانه خنک‌کاری موتور XU7 توسط رحمتی‌نژاد و همکاران [۱۶] انجام شد. نتایج آن‌ها نشان داد که ضریب انتقال حرارت همرفت می‌تواند ۲۰ درصد بهبود داده شود. افزایش کسر حجمی نانوسیال می‌تواند خواص فیزیکی سیال خنک‌کننده موتور را تغییر داده و با بهبود ضریب انتقال حرارت دمای سیال خروجی مبدل را کاهش دهد [۱۷].

در کار حاضر ابتدا با استفاده از تحلیل سه‌بعدی دینامیک سیالات محاسباتی مشخصه‌های افت فشار سیال در اثر عبور از قطعات جلوی خودرو شامل سپر و جلوپنجره، دیاق، خنک‌کن میانی، مبدل و چگالنده در سرعت‌های مختلف با نرم‌افزار فلوئنت محاسبه شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار KULI طرح سامانهٔ خنک‌کاری خودروی نمونه ایجاد و اطلاعات موردنیاز وارد نرم‌افزار گردید. نتایج خروجی از نرم‌افزار با نتایج آزمایشگاهی آزمایش خنک‌کاری خودروی موردنظر مقایسه و صحت طرح تأیید شد. سپس در ادامه اثر تغییر در جانمایی پنکهٔ چگالنده و مبدل، حذف پنکهٔ چگالنده و استفاده از دو پنکهٔ کوچک‌تر به‌جای یک پنکه بزرگ در عملکرد سامانهٔ مبدل بررسی شد. با توجه به بررسی پژوهش‌های پیشین اثر جانمایی پنکهٔ چگالنده و مبدل در محفظه خودرو و اثرپذیری آن از جریان هوای گذر کننده از قطعات جلوی خودرو، به‌طور دقیق مطالعه نشده است. نتایج با استفاده از ترکیب تحلیل سه‌بعدی حل میدان جریان هوا (دینامیک سیالات محاسباتی) با تحلیل یک‌بعدی حرارتی جریان سیال خنک‌کننده مبدل و چگالنده انجام شد.

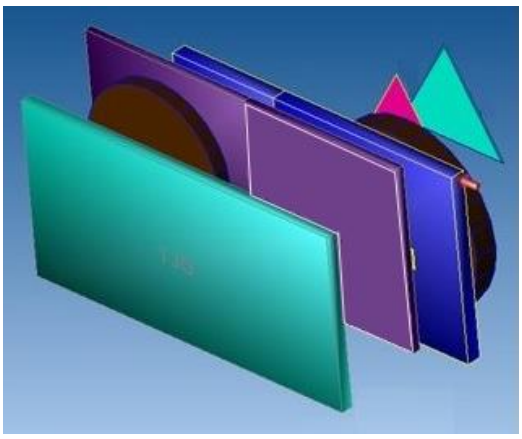
۲- مواد و روش‌ها

نرم‌افزار KULI متعلق به شرکت اتریشی MAGNA است که در نقاط مختلف دنیا در زمینه‌های مهندسی، طراحی و تولید در صنعت خودرو فعال است. نرم‌افزار KULI به‌صورت تخصصی بر سامانهٔ خنک‌کاری قوای محرکه و سامانه تهویه مطبوع متمرکز است که می‌توان توسط آن با شبیه‌سازی یک‌بعدی به‌صورت یکپارچه به بررسی عملکرد اجزای این سامانه‌ها پرداخت. شکل ۱ نشان دهنده طرح ساخته شده در نرم‌افزار جهت ارزیابی وضعیت خنک‌کاری موتور هست. طرح ساخته شده شامل اجزای مختلف IG، ARes، RAD، Stage Fan ، BiR و CP است. IG یاInlet Grid جهت در نظر گرفتن افت فشار ناشی از سپر جلو و گریل و در نظر گرفتن اثرات آیرودینامیکی به طراحی اضافه می‌شود. جزء Ares نماینده قطعه چگالنده است که در آن مقدار توان حرارتی چگالنده و افت فشار ناشی از آن تعریف می‌شود. در جزء RAD تمامی مشخصات مربوط به مبدل خودرو اعم از مشخصات سمت آب و سمت هوا اعمال می‌شود. Stage Fan جهت تعریف مشخصات پنکه برقی است که در آن مشخصات عملکردی پنکه در ولتاژهای مختلف وارد می‌شود. BiR اثرات تمامی قطعات موجود در محفظهٔ موتور را در نظر می‌گیرد. جزء CP هم برای در نظر گرفتن حرکت خودرو و آیرودینامیک خودرو به طراحی اضافه می‌شود.

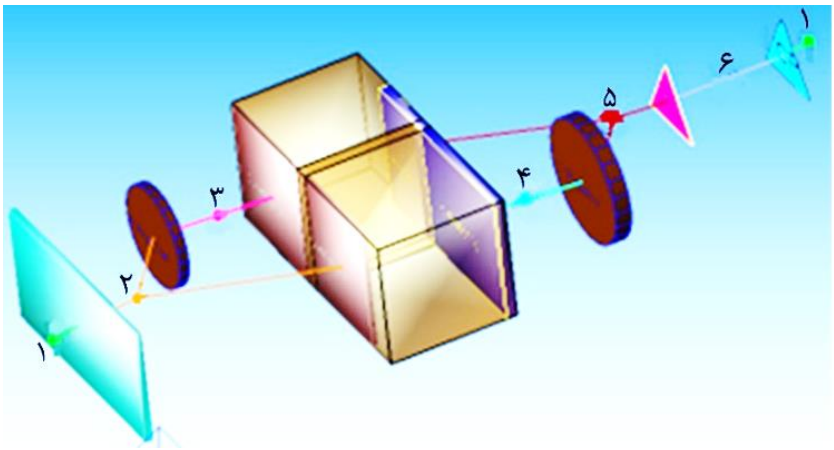
بعد تشکیل اجزای مختلف بایستی قطعات مربوط به Air-Side با گره‌های تعریف شده به هم متصل شوند. همچنین با استفاده از تعریف block شکل ۲ نشان دهنده ارتباط قطعات سمت هوا است. سپس مدار مربوط به جریان آب درون مبدل سامانهٔ خنک‌کاری به‌صورت مجزا در محیط Water Circuit تعریف می‌شود. مشخصات حرارتی موتور و تلمبهٔ آب در این قسمت اعمال می‌شوند.

برای شبیه‌سازی سه‌بعدی و محاسبه سرعت و افت فشار داخل محفظهٔ موتور از نرم‌افزار فلوئنت استفاده شد. شکل ۳ اجزای محفظهٔ موتور نمونه را نشان می‌دهد. با استفاده از روش حجم محدود برای گسسته‌سازی معادلات اندازه حرکت و آشفتگی از تقریب پیش‌رو مرتبه دوم استفاده شده است. معادلات جبری به‌طور ضمنی با روش تکراری خط به خط

گوس–سایدل توسط برنامهٔ تجاری نرم‌افزار فلوئنت حل شده‌اند. وابستگی بین فشار و سرعت توسط روش سیمپل[1] و فشار توسط طرح پرستو[2] محاسبه شد. برای معادله پیوستگی، سرعت در راستای محور و شعاع و معادلات آشفتگی معیار همگرایی 10^{-6} انتخاب شد. معادلات آشفتگی با استفاده از روش $k-\varepsilon$ قابل تحقق[3] شبیه‌سازی شده‌اند. در ورودی تونل باد مجازی شرط مرزی سرعت ورودی[4] انتخاب شد. سرعت جریان هوا در این وجه طراحی برابر با سرعت بیشینه خودرو (۱۵۵ کیلومتر بر ساعت معادل ۴۳٫۰۵ متر بر ثانیه) است. در خروجی تونل باد شرط مرزی فشار خروجی است. مقدار تنش برشی برابر با صفر برای دیواره‌ها و بالای تونل باد مجازی مشخص شد. وجه پایین تونل باد مجازی دیواره متحرک و سرعت آن برابر با سرعت بیشینه خودرو است. شدت آشفتگی و نسبت لزجت آشفته بترتیب ۰٫۱ درصد و ۲۰۰ انتخاب شد. سرعت چرخشی تایرهای خودرو بر اساس قطر آن‌ها مشخص شده است. مقدار سرعت چرخشی پنکهٔ مبدل ۲۹۹۰ دور در دقیقه است. طرح تحلیل سه‌بعدی و شرایط مرزی در شکل ۴ ارائه شده است.

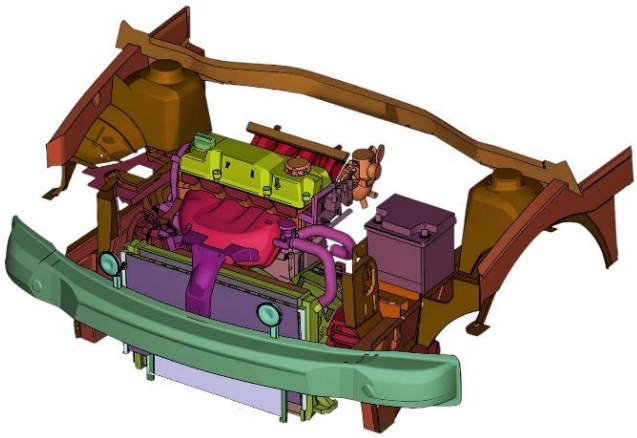


شکل ۱ طرح ساخته شده در نرم‌افزار KULI برای شرایط قرارگیری پنکهٔ چگالنده و مبدل خودرو (وضعیت پایه)

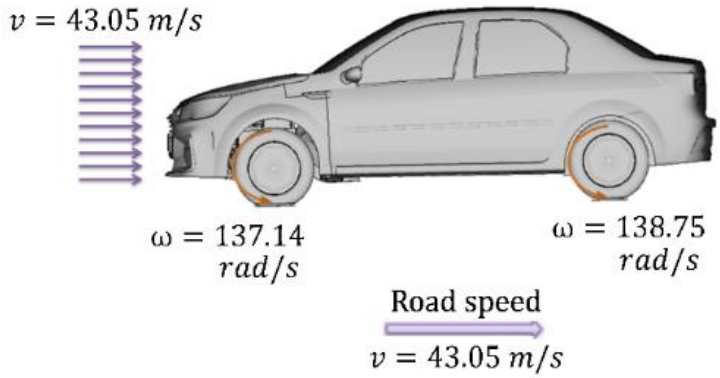


شکل ۲ ارتباط قطعات خنک‌کاری Air-Side

[1] SIMPLE
[2] PRESTO
[3] Realizable
[4] Velocity Inlet



شکل ۳ اجزای محفظهٔ موتور خودروی نمونه



شکل ٤ شرایط مرزی تحلیل سه‌بعدی خودروی نمونه در فلوئنت

۳- نتایج و بحث

برای بررسی اعتبار شبیه‌سازی، جدول ۱ نشان دهنده نتایج طرح تهیه شده در نرم‌افزار در شرایط مشابه با آزمایش تجربی خودرو در آزمایشگاه شرایط جوی[1] مرکز تحقیقات سایپا است. شرایط آزمون انجام شده در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱ مقایسه نتایج شبیه‌سازی و تجربی

مشخصه	نتایج شبیه‌سازی	نتایج تجربی
دمای ورودی مبدل (°C)	۹۹	۱۰۳
دمای خروجی مبدل (°C)	۹۵	۱۰۰

جدول ۲ شرایط آزمایش و شبیه‌سازی

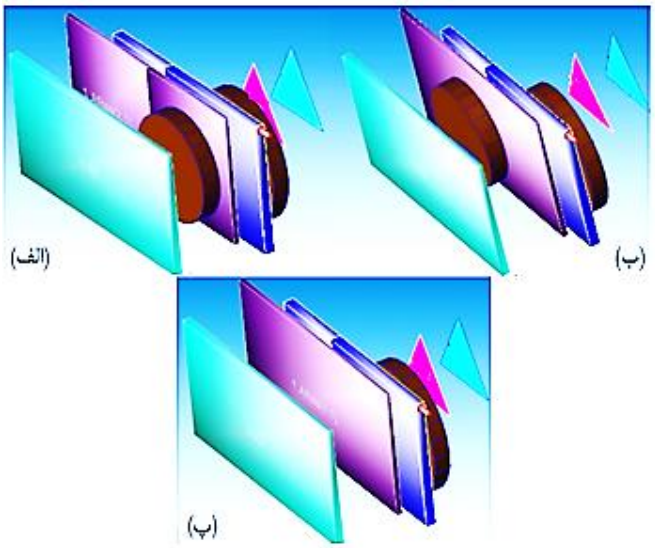
مشخصه	مقدار
سرعت خودرو (km/hr)	۱۰۰
دمای هوا محیط (°C)	۴۵
رطوبت محیط (٪)	۳۰

[1] Climatic Chamber

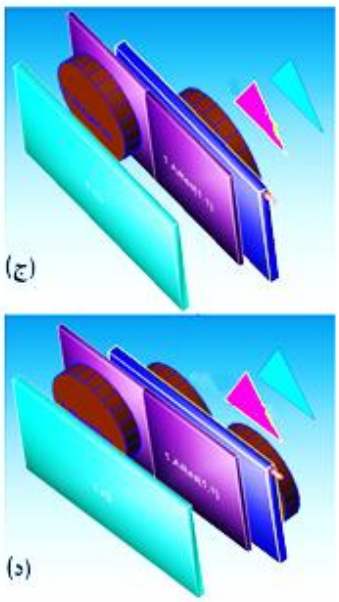
با توجه به نتایج جدول ۱ اختلاف بین شبیه‌سازی عددی و تجربی بترتیب برای دمای ورودی و خروجی مبدل ۴ و ۵ درصد بوده است. دلایل اختلاف نتایج عددی و تجربی می‌تواند به دلیل خطای در آزمون‌های تجربی و عدم قطعیت‌ها و هم‌چنین خطای در شبیه‌سازی به دلیل در نظر نگرفتن تمامی عوامل مؤثر درنتیجه نهایی باشد. به‌عنوان مثال، آزمون تجربی انجام شده تحت شرایط بار حرارتی تابشی ۱۰۰۰ وات بر مترمربع بر خودرو بوده که این موضوع در حل نرم‌افزاری قابل اعمال نبوده است.

برای بررسی اثر موقعیت پنکهٔ چگالنده و مبدل بر روی راندمان خنک‌کاری خودرو، علاوه بر وضعیت پایه نشان داده شده در شکل ۱، پنج وضعیت مختلف بررسی شده است. در شکل ۵ سه حالت مختلف بررسی تأثیر پنکهٔ چگالنده بر روی راندمان خنک‌کاری خودرو اشاره می‌شود. توجه شود که هدف اصلی استفاده از این پنکه، خنک‌کاری چگالنده و عملکرد سامانهٔ تهویه مطبوع خودرو است. در بررسی اول تأثیر جابه‌جایی پنکه در راستای Y (عرضی) خودرو و درنهایت حذف این پنکه بر روی عملکرد خنک‌کاری خودرو بررسی می‌شود. همچنین تأثیر پنکهٔ مبدل بر روی عملکرد سامانهٔ خنک‌کاری بررسی شد. در حالت اول تأثیر جابه‌جایی پنکه به سمت وسط مبدل و در حالت دوم تأثیر استفاده از دو پنکه کوچک‌تر به‌جای یک پنکه بزرگ‌تر بررسی شد. این دو حالت در شکل ۶ ترسیم شده است. در ادامه خروجی تحلیل سه‌بعدی نرم‌افزار فلوئنت، تغییرات سرعت و فشار جریان هوا بر روی چگالنده و مبدل که ورودی نرم‌افزار KULI است، بررسی شد. نتایج تغییر توزیع سرعت در پشت پنکهٔ مبدل در شکل ۷ نشان داده شده است. انحراف جریان هوا در اطراف مبدل تحت تأثیر پنکه به‌وضوح قابل مشاهده است. توزیع سرعت روی مبدل به دلیل اجزای جلوی مبدل که جریان هوا را منحرف می‌کنند، غیریکنواخت است. همچنین میانگین وزنی بر پایه سطح مقدار سرعت و شار جرمی جریان هوا در روی چگالنده و مبدل برای حالت‌های مختلف قرارگیری پنکه در شکل ۸ نشان داده شده است. موقعیت الف و موقعیت پ دارای بیشترین شار جرمی هوا و سرعت بر روی مبدل هستند.

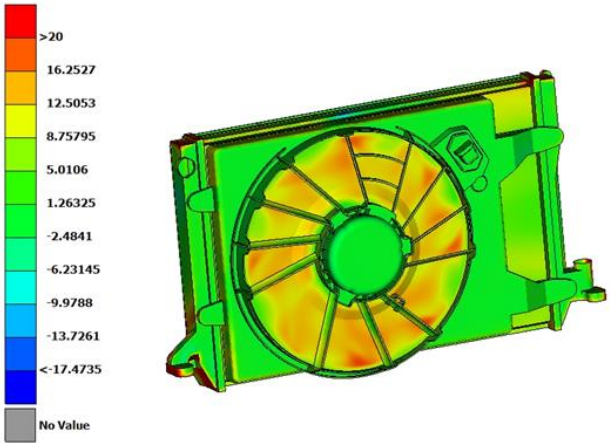
دمای ورودی مبدل (خروجی موتور) در جدول ۳ که تحلیل نتایج نرم‌افزار KULI برای وضعیت پنکهٔ چگالنده در موقعیت‌های الف، ب و پ است، نشان داده شده است. مطابق نتایج جدول ۳، جابه‌جایی پنکهٔ چگالنده به سمت وسط چگالنده و هم‌چنین حذف آن، ۳ درجه در دمای ورودی مبدل بهبود ایجاد می‌کند که نشان دهنده بهبود در هوادهی به مبدل نسبت به حالت اصلی است. در حالت جابه‌جایی پنکه به انتهای دیگر چگالنده نسبت به حالت اصلی، وضعیت نسبت به وضعیت اصلی تغییری پیدا نمی‌کند.



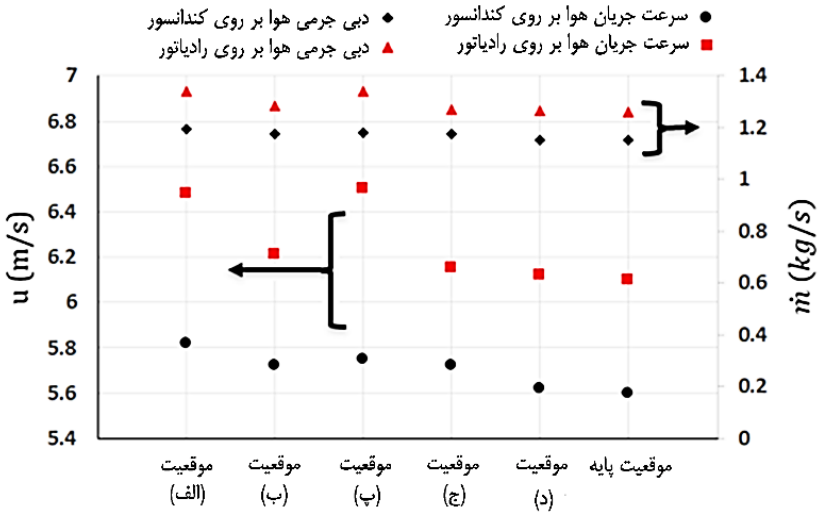
شکل ۵ حالت‌های مختلف بررسی تأثیر پنکهٔ چگالنده، الف) پنکهٔ وسط، ب) پنکه کناری، پ) بی پنکه



شکل ٦ حالت‌های بررسی پنکهٔ مبدل، ج) پنکه در وسط مبدل، د) استفاده از دو پنکه کوچک‌تر



شکل ۷ توزیع سرعت در پشت پنکهٔ مبدل



شکل ۸ شار جرمی هوا و سرعت آن بر روی مبدل و چگالنده

جدول ۳ نتایج تأثیر حالت‌های مختلف پنکهٔ چگالنده

حالت مورد بررسی	دمای ورودی مبدل (°C)
حالت اصلی بر روی خودرو	۹۹
حالت الف	۹۶
حالت ب	۹۹
حالت پ	۹۶

نتیجه اثر حالت‌های ج و د بر دمای آب ورودی مبدل در جدول ۴ مشخص شده است. بر اساس نتایج جدول ۴، جابه‌جایی پنکهٔ مبدل به سمت وسط و استفاده از دو پنکه کوچک‌تر به‌جای یک پنکه بزرگ‌تر، تغییری در دمای آب ورودی به مبدل و خنک‌کاری موتور ایجاد نمی‌کند. طبق جدول ۴، جابه‌جایی پنکهٔ مبدل به سمت وسط تنها یک درجه سانتی گراد درجه حرارت آب ورودی به مبدل را کم می‌کند. و نشان دهنده عدم تأثیر آن بر توزیع هوا بر روی مبدل است.

جدول ٤ نتایج تأثیر جابه‌جایی پنکهٔ مبدل

حالت مورد بررسی	دمای ورودی مبدل (°C)
حالت اصلی بر روی خودرو	۹۹
جابه‌جایی پنکه به سمت وسط	۹۸
استفاده از دو پنکه کوچک‌تر	۹۹

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر جانمایی پنکهٔ چگالنده و مبدل و استفاده از دو پنکه با اندازهٔ کوچک‌تر به‌جای تک پنکه با سایز بزرگ‌تر، بر روی عملکرد سامانهٔ خنک‌کاری خودروی نمونه در شرایط مشخص با استفاده از نرم‌افزار KULI و فلوئنت بررسی شد. جانمایی پنکهٔ چگالنده در وسط این قطعه و یا حذف آن، موجب بهبود حدود ۳ درصدی در دمای آب ورودی به مبدل می‌گردد. جابه‌جایی پنکهٔ مبدل به سمت وسط مبدل نسبت به حالت جانمایی فعلی تأثیر مهمی بر دمای آب مبدل نداشت. استفاده از دو پنکه کوچک‌تر به‌جای تک پنکه بزرگ‌تر فعلی هیچ تغییری در عملکرد سامانهٔ خنک‌کاری خودروی تحت بررسی در شرایط کارکردی در نظر گرفته شده ایجاد نکرد.

References

[1] 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 [In Persian]

[2] 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 [In Persian]

[3] Nikroo N, Qasemian A, Ghaedi Kachooee M. Numerical investigation on improvement of cooling system based on heat pipe for LCO battery by using NTGK model. The Journal of Engine Research. 2024 Jun 21;71(2):69-90. doi: 10.22034/ER.2024.2025010.1033 [In Persian]

[4] Pang SC, Kalam MA, Masjuki HH, Hazrat MA. A review on air flow and coolant flow circuit in vehicles' cooling system. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2012 Nov 1;55(23-24):6295-306. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.07.002

[5] Banjac T, Wurzenberger JC, Katrašnik T. Assessment of engine thermal management through

advanced system engineering modeling. Advances in Engineering Software. 2014 May 1;71:19-33. doi: 10.1016/j.advengsoft.2014.01.016

[6] Bäder D, Indinger T, Adams NA, Unterlechner P, Wickern G. Interference effects of cooling airflows on a generic car body. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2013 Aug 1;119:146-57.doi: 10.1016/j.jweia.2013.05.009

[7] Wang H, Wang S, Wang X, Li E. Numerical modeling of heat transfer through casting–mould with 3D/1D patched transient heat transfer model. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2015 Feb 1;81:81-9. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.09.045

[8] Wang G, Gao Q, Zhang T, Wang Y. A simulation approach of under-hood thermal management. Advances in Engineering Software. 2016 Oct 1;100:43-52. doi: 10.1016/j.advengsoft.2016.06.010

[9] Kiran N, Vignesh MS. A Case Study of Engine Cooling System Simulation and Modelling for Air Conditioning Application in a Medium Duty Truck. SAE Technical Paper; 2024 Sep 19. doi: 10.4271/2024-28-0106

[10] Jama H, Watkins S, Dixon C, Ng E. Airflow distribution through the radiator of a typical Australian passenger car. In: Proceedings of the 15th Australasian Fluid Mechanics Conference; 2004 Dec 13-17; Sydney, Australia. Sydney: The University of Sydney; 2004.

[11] Pang SC, Kalam MA, Masjuki HH, Badruddin IA, Ramli R, Hazrat MA. Underhood geometry modification and transient coolant temperature modelling for robust cooling networks. Int. J. Mech. Mater. Eng.. 2012;7(3):251-8.

[12] Namjoshi J, Wagle S, Kundawala M, Srivastava M. Design and Optimisation of Cooling System for Tracked Vehicle Powerpack. Defence Science Journal. 2017 Jul 1;67(4). doi: 10.14429/dsj.67.11538

[13] Reddy KR, Kiran N. Optimization of electric vehicle radiator fan duty cycle using KULI 1D transient simulation. ARAI Journal of Mobility Technology. 2022 Jan 15;2(1):152-7. doi: 10.37285/ajmt.1.1.9

[14] Palpandi N, Vadduri R, Kiran N. Simulation to Test Results Correlation Study in a Medium Duty Truck. SAE Technical Paper; 2023 Sep 14. doi: 10.4271/2023-28-0037

[15] Dewangan N, Kattula N, Goklani M. Numerical Analysis and Design Optimization of Cooling System for Construction Vehicles. SAE Technical Paper; 2024 Sep 19. doi: 10.4271/2024-28-0116

[16] 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 Jun 22;70(2):66-79. doi: 10.22034/ER.2023.2011671.1015 [In Persian]

[17] Rahmatinejad B, Abbasgholipour M, Mohammadi Alasti B. Experimental Evaluation of Heat Transfer of MF 285 Tractor Radiator, using Nano-fluid AL2O3+ Water. Journal of Agricultural Machinery. 2022;12(3):281-99. doi: 10.22067/jam.2020.58870.0 [In Persian]