The Journal of Engine Research
Summer 2025, Vol. 72, No. 2, pp. 1-8
Journal Homepage: www.engineresearch.ir

Original Research

Utilization of internal heat exchanger in air condition pipe at automotive industry

Mohammad Rasool Moazami Goodarzi[1]*, Arman Mir Fatahi[2], Kourosh Arbabiyan[3]

1- Design Expert for the HVAC System, SAPCO, Tehran, Iran
2- Design for the Automotive Power System Train, SAPCO, Tehran, Iran
3- Design for Automotive Power Train System, SAPCO, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Keywords:
Air Conditioning System
Refrigerant
Manufacturing AC Line
Internal Heat Exchanger
Vehicles

ABSTRACT

Due to the increasing effects of global warming, it is necessary to improve vehicle air conditioning systems. Among the various methods for enhancing cooling performance in the automotive industry, selecting the right approach—while considering time and cost priorities—is crucial. For this purpose, the use of an internal heat exchanger in the R134 refrigerant circuit, achieved through a modified manufacturing method, has gained significant attention in the automotive sector. This article presents the results of applying a new manufacturing method to an air conditioning pipe equipped with an internal heat exchanger in the Tara vehicle. The findings demonstrate that using an internal heat exchanger reduces the evaporator surface temperature, leading to a decrease in the average cabin and vent temperatures by approximately 7°C and 12°C, respectively, under highway driving conditions. In the traffic driving cycle, the results show that the internal heat exchanger reduces the average cabin temperature by about 5°C under optimal conditions.

© 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: rasuolmoazami@gmail.com (MR. Moazami Goodarzi)

Received 28 March 2025; Accepted 30 May 2025
E-ISSN: 2345-4121/ISSN: 1735-5214

Cite this article: Moazemi Goodarzi MR, Mir Fatahi A, Arbabiyan K. Utilization of internal heat exchanger in air condition pipe at automotive industry. The Journal of Engine Research. 2025 Jun 22;72(2):1-8. doi: 10.22034/ER.2025.2056618.1079

نشریه علمی تحقیقات موتور
تابستان ۱۴۰۴، جلد ۷۲، شماره ۲، صفحه ۱-۸
تارنمای نشریه: www.engineresearch.ir

مقاله پژوهشی

استفاده از مبدل حرارتی داخلی در لوله‌های گاز سامانهٔ خنک‌کاری صنعت خودروسازی

محمد رسول معظمی گودرزی[۱*]، آرمان میرفتاحی[۲]، کورش اربابیان[۳]

۱- طراحی مهندسی و خودکفایی سیستم تهویه مطبوع، شرکت ساپکو، تهران، ایران
۲- طراحی مهندسی و خودکفایی قوای محرکه، شرکت ساپکو، تهران، ایران
۳- طراحی مهندسی و خودکفایی قوای محرکه و سیستم‌های جانبی، شرکت ساپکو، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

کلیدواژه‌ها:
سامانهٔ تهویه مطبوع
مبرد
لوله‌های گاز سامانهٔ خنک‌کاری
مبدل حرارتی داخلی
خودرو

چکیده

با توجه به روند افزایش گرمایش جهانی لزوم توسعه و بهبود قطعات سامانهٔ تهویه مطبوع خودروها ضروری است. در میان روش‌های متنوع بهبود عملکرد خنک‌کاری سامانهٔ تهویه مطبوع در صنعت خودروسازی با توجه به اولویت زمان و هزینه، انتخاب روش مناسب بسیار اهمیت دارد. به همین منظور با هدف افزایش و بهبود عملکرد سامانهٔ تهویه مطبوع استفاده از مبدل حرارتی داخلی در مسیر عبور مبرد R134 از طریق تغییر فرآیند تولید لوله‌های گاز سامانهٔ خنک‌کاری در صنعت خودروسازی مورد توجه ویژه قرار گرفته است. در مقاله حاضر تأثیر تغییر فرآیند ساخت لوله‌های گاز سامانهٔ خنک‌کاری مجهز به مبدل حرارتی داخلی در خودروی تارا محصول شرکت ایران خودرو با انجام آزمون‌های صحه‌گذاری خودرویی مطابق استاندارد شرکتی ارایه شده است. همانطورکه در نتایج نشان داده شده است، در نتیجه استفاده از مبدل حرارتی داخلی در لولهٔ رفت و برگشت گاز سامانهٔ خنک‌کاری با توجه به کاهش دمای سطح کاربر، دمای میانگین اتاق و دمای دریچه‌ها در شرایط رانندگی بزرگراه در بهترین شرایط بترتیب حدود ۷ و ۱۲ درجهٔ سانتی‌گراد بهبود داشته است. در چرخهٔ رانندگی شهری، در نتیجه استفاده از مبدل حرارتی داخلی در لولهٔ رفت و برگشت گاز سامانهٔ خنک‌کاری، دمای میانگین اتاق و دمای دریچه‌ها در بهترین شرایط بترتیب حدود ۵ و ۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد بهبود داشته 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: rasuolmoazami@gmail.com (محمد رسول معظمی گودرزی)

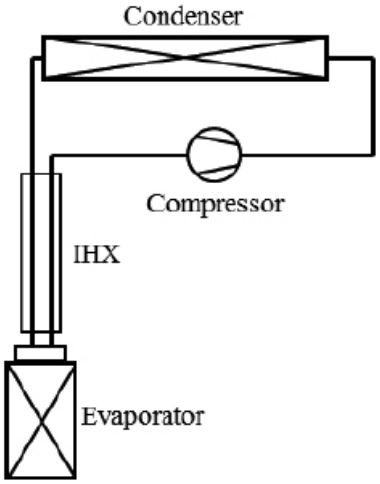
دریافت ۸ فروردین ۱۴۰۴؛ پذیرش ۹ خرداد ۱۴۰۴
شاپای الکترونیکی: ۴۱۲۱-۲۳۴۵ / شاپای چاپی: ۵۲۱۴-۱۷۳۵

Cite this article: Moazemi Goodarzi MR, Mir Fatahi A, Arbabiyan K. Utilization of internal heat exchanger in air condition pipe at automotive industry. The Journal of Engine Research. 2025 Jun 22;72(2):1-8. doi: 10.22034/ER.2025.2056618.1079

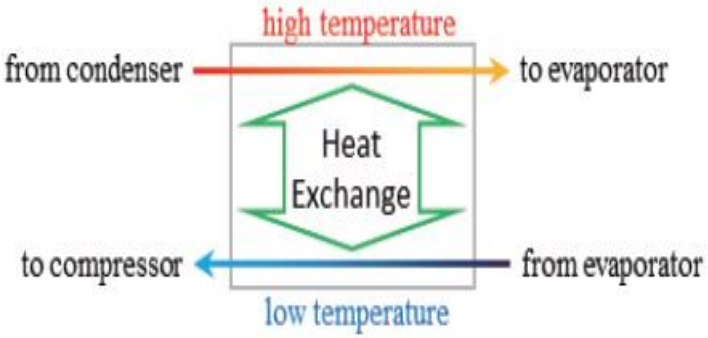
۱– مقدمه

با توجه به افزایش گرمایش جهانی، شرکت‌های خودروسازی به خصوص برای مشتری‌های حوزه خاورمیانه به دنبال راهکارهای بهبود عملکرد سامانهٔ تهویه مطبوع خودرو می‌باشند. نتایج مطالعات صورت گرفته نشان داد که از میان روش‌های متنوع بهبود عملکرد سامانهٔ تهویه مطبوع، استفاده از مبدل حرارتی داخلی با تغییر فرآیند ساخت و تولید اخیراً بصورت ویژه مدنظر قرار گرفته است [۱–۳].

در شکل ۱ چرخه سامانهٔ سرمایش مجهز به مبدل حرارتی داخلی و در شکل ۲ طرح کلی سازوکار تبادل حرارت مبدل حرارتی داخلی در لولهٔ رفت و برگشت گاز سامانهٔ خنک‌کاری نشان داده شده است. با تبادل حرارت بین مایع مبرد خروجی چگالندهٔ سامانهٔ خنک‌کاری با دما و فشار قوی و گاز مبرد خروجی از تبخیرکننده[1] با فشار ضعیف و دمای سرد، مبدل حرارتی داخلی می‌تواند ظرفیت سرمایش سامانهٔ تهویه مطبوع را بهبود بخشد [۴].



شکل ۱ چرخه سامانهٔ سرمایش مجهز به مبدل حرارتی داخلی [۴]



شکل ۲ سازوکار تبادل حرارت مبدل حرارتی داخلی [۴]

در راستای تلاش‌های صورت گرفته به منظور افزایش بازده ظرفیت خنک‌کنندگی سامانه‌های تهویه مطبوع با توجه به تغییر شرایط جوی، مسائل متعددی باید مدنظر قرار گیرند. به عنوان مثال، زمانی که امکان افزایش اندازه چگالنده[2] وجود نداشته باشد، افزایش نسبت قبل از سردکاری چگالنده و کاهش آنتالپی ورودی تبخیرکننده، منطقهٔ عملکردی اصلی

[1] Evaporator
[2] Condenser

چگالنده را کوچک کرده و بنابراین فشار تخلیهٔ متراکم‌کننده[1] افزایش می‌یابد. از طرفی با توجه به اینکه عملکرد خنک‌کنندگی چگالنده بستگی به شرایط هوای اطراف دارد، احتمال بروز برخی اثرات منفی مانند عدم دستیابی به تبادل حرارتی پایدار وجود دارد. همچنین با افزایش شار مبرد به علت افزایش سرعت چرخش متراکم‌کننده، مقدار توان مصرفی متراکم‌کننده نیز افزایش می‌یابد.

از طرف دیگر، با توجه به تبادل حرارت بین مبرد خروجی از چگالنده و گاز خروجی از تبخیرکننده در یک چرخهٔ مشابه، مبدل حرارتی داخلی هیچ تأثیری بر فشار تخلیه و دمای هوای اطراف ندارد. به همین دلیل با توجه به کاهش شار مبرد توان مصرفی متراکم‌کننده نیز کاهش می‌یابد. بنابر موارد مطرح شده، استفاده از مبدل حرارتی داخلی به عنوان اقدامی برای بهبود ظرفیت خنک‌کنندگی موثر است [۵].

از آنجایی که مبدل حرارتی داخلی می‌تواند آنتالپی قبل از تبخیرکننده را با تبادل گرما بین مبرد مایع با دما و فشار قوی قبل از شیر انبساط و مبرد گاز فشار ضعیف و دمای پایین خروجی تبخیرکننده، کاهش دهد، اختلاف آنتالپی بین ورودی و خروجی تبخیرکننده افزایش می‌یابد. به دلیل اینکه مبدل حرارتی داخلی در یک چرخه، حرارت را بین مبردها تبادل می‌کند، آنتالپی مکش متراکم‌کننده با کاهش مقدار آنتالپی قبل از تبخیرکننده بزرگتر می‌شود. از آنجایی که این امر چگالی مبرد مکش متراکم‌کننده را کوچک‌تر می‌کند، سرعت جریان مبرد نیز کاهش می‌یابد [۶].

مطالعهٔ انجام شده [۷] در خصوص تأثیر استفاده از مبدل حرارتی داخلی در سامانه‌های تهویه مطبوع نشان داده است که مقدار توان مصرفی متراکم‌کننده سامانهٔ خنک‌کاری حدود ۲ درصد کاهش و ضریب عملکرد خنک‌کاری سامانه حدود ۴ درصد افزایش یافته است.

همچنین مطالعه صورت گرفته [۸] روی تأثیر استفاده از مبدل حرارتی داخلی در پمپ‌های حرارتی نشان داده است که با توجه به تبادل حرارت صورت گرفته بین مبرد با دمای بالا و گاز با دمای پایین ضریب عملکرد خنک‌کاری حدود ۷٫۵ درصد افزایش یافته است.

نتایج مطالعه انجام گرفته [۹] روی تأثیر استفاده از مبدل حرارتی داخلی در مسیر لوله‌های گاز سامانهٔ خنک‌کاری خودروهای سواری نشان داده است که عملکرد خنک‌کاری سامانهٔ تهویه مطبوع حدود ۴ درصد بهبود داشته است.

مطابق نتایج بدست آمده از مطالعات قبلی، تأثیر مثبت استفاده از مبدل حرارتی داخلی در مسیر عبور مبرد سامانه‌های تهویه مطبوع را اثبات کرده است. لذا در مقاله حاضر برای اولین بار تأثیر استفاده از مبدل حرارتی داخلی در مسیر لوله‌های گاز سامانهٔ خنک‌کاری خودروهای سواری به منظور بررسی تأثیر آن در بهبود عملکرد خنک‌کاری سامانهٔ تهویه مطبوع خودروی تارا مورد ارزیابی قرار گرفته است.

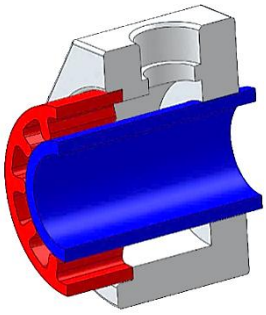
۲– مواد و روش‌ها

۲–۱– ساختار اصلی مبدل حرارتی داخلی

در فناوری مبدل حرارتی داخلی بجای استفاده از دو لولهٔ مجزا برای عبور مبرد، از یک نوع لولهٔ دوتایی با استفاده از روش ساخت نورد[2] استفاده می‌گردد. در این نوع لوله‌های گاز سامانهٔ خنک‌کاری مبرد گاز فشار ضعیف در لولهٔ داخلی و مبرد مایع با فشار قوی بین لولهٔ داخلی و لوله بیرونی جریان دارد (شکل ۳).

مزیت مبدل حرارتی داخلی اینست که با جایگزینی لوله فشار قوی و فشار ضعیف با مبدل حرارتی داخلی، تعویض سامانه‌های فعلی آسانتر می‌گردد. با این حال، طول منطقه تبادل حرارتی ممکن است محدود شود. به همین دلیل لازم است عملکرد تبادل حرارتی آن بهبود یابد و طول آن برای ظرفیت مورد نیاز کاهش یابد.

[1] Compressor
[2] Extrusion



شکل ۳ ساختار اصلی لوله مجهز به مبدل حرارتی داخلی

۲–۲– معیار بهبود عملکرد مبدل حرارتی داخلی

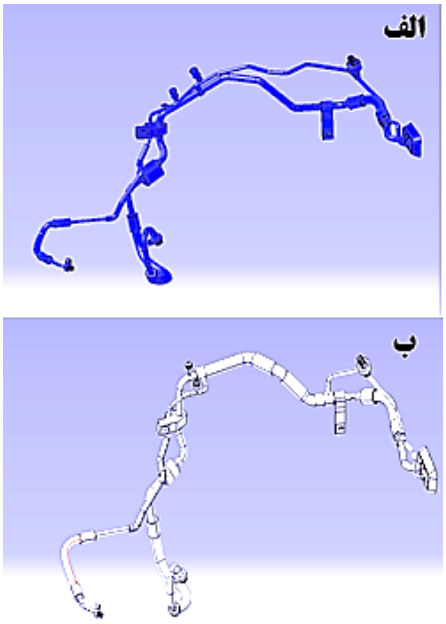
مقدار تبادل حرارت یک لوله دوتایی با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$Q = \Delta T / \left[\frac{1}{a_{lo}A_{lo}} + \frac{ln(A_{hi}/A_{lo})}{2\pi\lambda L}\frac{1}{a_{hi}A_{hi}}\right] \quad (۱)$$

در تبادل حرارتی لوله‌های دوتایی، به دلیل اینکه ضریب انتقال حرارت مبرد گاز فشار پایین در مقایسه با مبرد مایع فشار قوی، بسیار کم است، اولی به عنوان یک عامل قالب عمل می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که بهبود ضریب انتقال حرارت مبرد گازی فشار ضعیف موثرترین راه برای بهبود مقدار تبادل حرارت مبدل حرارتی داخلی است [۹].

با تمرکز بر دو نکته: (۱) بهبود ضریب انتقال حرارت با هم زدن جریان در سمت مبرد گاز فشار ضعیف تا حد امکان، (۲) امکان ساخت آسان و در هر مکان و کاهش هزینه‌ها، ایده‌هایی را برای توسعه مبدل حرارتی داخلی مطرح شده است. در فناوری مبدل حرارتی داخلی ساختار ساده‌ای متشکل از دو لوله با قطر متفاوت که لوله خارجی از داخل دارای شیارهای نورد شده است، استفاده می‌گردد [۱۰].

در پژوهش حاضر مطابق شکل ۴، با تغییر فرایند ساخت لوله‌های گاز سامانهٔ خنک‌کاری به جای استفاده از دو لوله مجزا جهت عبور مبرد (شکل ۴–الف) با کمک فرآیند ساخت نورد، از لولهٔ رفت و برگشت گاز سامانهٔ خنک‌کاری مجهز به مبدل حرارتی داخلی (شکل ۴–ب) استفاده گردید. لازم به ذکر است نمونه‌های اولیه از طریق تولیدکننده‌های خارجی تأمین گردید و با توجه به هزینه‌های بالا به منظور تولید انبوه، دستگاه نورد داخلی طراحی و نمونه‌های داخلی ارزیابی شد.

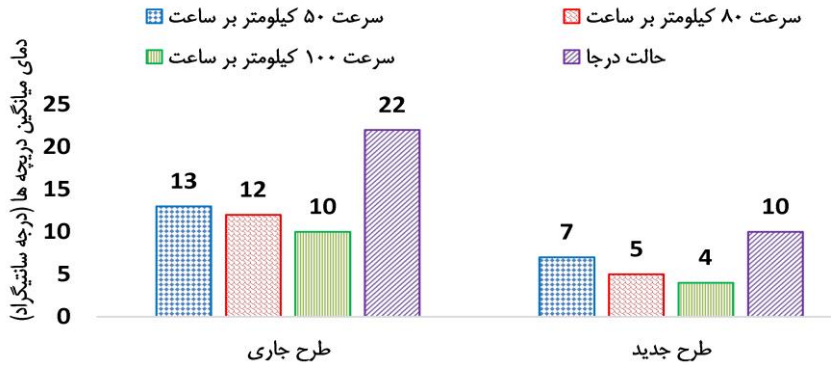


شکل ٤ لولهٔ رفت و برگشت گاز سامانهٔ خنک‌کاری مجهز به مبدل حرارتی داخلی

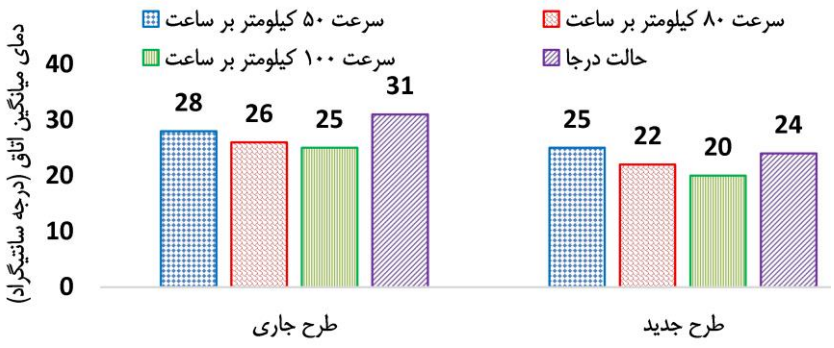
۳– نتایج و بحث

به منظور بررسی تأثیر استفاده از مبدل حرارتی داخلی در مسیر لولهٔ رفت و برگشت گاز سامانهٔ خنک‌کاری، آزمون جاده خودرویی روی خودروی تارا در دو چرخهٔ رانندگی در بزرگراه (مدت ۳۰ دقیقه سرعت ثابت ۵۰ کیلومتر بر ساعت + مدت ۳۰ دقیقه سرعت ثابت ۸۰ کیلومتر بر ساعت + مدت ۳۰ دقیقه سرعت ثابت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت + مدت ۳۰ دقیقه حالت سکون) و چرخهٔ رانندگی شهری (مدت ۱ ساعت چرخهٔ رانندگی شهری به صورت هر چرخه ۲۰ ثانیه حرکت با سرعت ۲۰ کیلومتر بر ساعت و ۴۰ ثانیه حالت سکون) در جنوب کشور دمای محیط ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد مطابق استاندارد شرکتی انجام پذیرفت.

نتایج بررسی تغییرات میانگین دمای اتاق و دریچه‌های داخل خودرو چرخهٔ رانندگی بزرگراه در شکل ۵ و ۶ نشان داده شده است. در اثر استفاده از مبدل حرارتی داخلی در مسیر لولهٔ رفت و برگشت گاز سامانهٔ خنک‌کاری، میانگین دمای دریچه‌های خروجی هوای اتاق در چرخهٔ بزرگراه بهبود قابل توجهی را نشان داده است. همانطورکه مشخص شده است با افزایش سرعت حرکت خودرو، میانگین دماها به‌علت تبادل حرارت بهتر چگالندهٔ سامانهٔ خنک‌کاری با هوای ورودی به محفظه موتور کاهش یافته است. با توجه به تبادل حرارت صورت گرفته در مسیر عبور مبرد در سامانه مجهز به مبدل حرارتی داخلی، دمای میانگین دریچه‌های خروجی هوا و اتاق خودرو در سرعت‌های مختلف بترتیب از ۶ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد و ۳ تا ۷ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته و در سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت دمای دریچه خروجی هوا به ۴ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش یافته است که بهترین عملکرد در میان تمام خودروهای داخلی است. در حالت سکون بعنوان حالت بحرانی برای سرنشین خودرو بهبود ۱۲ درجه‌ای دمای دریچه‌ها مشاهده شده است. دمای میانگین اتاق خودروی تارا با استفاده از مبدل حرارتی داخلی در تمام سرعت‌های مورد ارزیابی قرار گرفته در حالت آسایش تعریف شده برای سرنشین قرار دارد که این موضوع مؤید اثر قابل توجه استفاده از این نوع فناوری در خودروهای داخلی است.

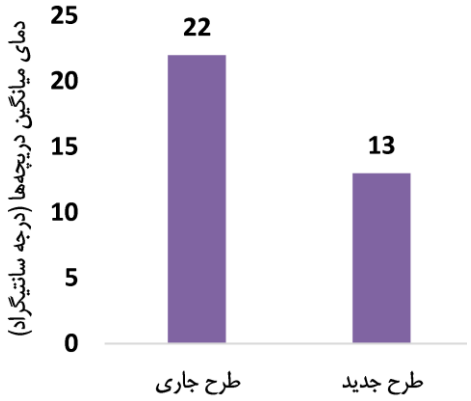


شکل ۵ تغییرات دمای میانگین دریچه‌های خروجی اتاق داخل خودروی تارا در چرخهٔ رانندگی بزرگراه

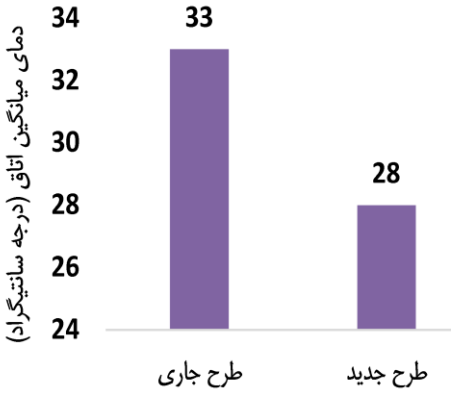


شکل ٦ تغییرات دمای میانگین اتاق داخل خودروی تارا در چرخهٔ رانندگی بزرگراه

نتایج بررسی تغییرات میانگین دمای اتاق و دریچه‌های داخل خودرو چرخهٔ رانندگی شهری در شکل ۷ و ۸ نشان داده شده است. با توجه به مطالعات صورت گرفته، بیشترین مقدار شکایت مشتریان در صنعت خودروسازی حوزه سامانهٔ تهویه مطبوع مربوط به عملکرد ضعیف سامانه خنک‌کاری در چرخهٔ رانندگی ترافیک شهری است. همانطورکه نشان داده شده است، در اثر استفاده از مبدل حرارتی داخلی در مسیر لولهٔ رفت و برگشت گاز سامانهٔ خنک‌کاری، میانگین دمای دریچه‌های خروجی هوای اتاق بهبود قابل توجهی را نشان داده است. همانطورکه مشخص شده است در این چرخهٔ رانندگی نسبت به حالت قبل، مقدار بهبود مشاهده شده کمتر است که با توجه به سرعت حرکت خودرو منطقی است. در این حالت دمای میانگین دریچه‌های خروجی هوا از ۲۲ به ۱۳ و دمای میانگین اتاق خودرو از ۳۳ به ۲۸ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است.



شکل ۷ تغییرات دمای میانگین دریچه‌های خروجی اتاق داخل خودروی تارا در چرخهٔ رانندگی شهری



شکل ۸ تغییرات دمای میانگین اتاق داخل خودروی تارا در چرخهٔ رانندگی شهری

۴– نتیجه‌گیری

در نتیجه استفاده از مبدل حرارتی داخلی در مسیر لولهٔ رفت و برگشت گاز سامانهٔ خنک‌کاری خودروی تارا به صورت لوله دوتایی با توجه به تبادل حرارت صورت گرفته بین مبرد با دمای گرم و گاز با دمای سرد و در نتیجه کاهش دمای سطح تبخیرکننده، دمای میانگین اتاق داخل خودرو در شرایط رانندگی بزرگراه و شهری در بهترین شرایط بترتیب حدود ۷ و ۵ درجهٔ سانتی‌گراد بهبود داشته است. این تجزیه و تحلیل و آزمایش‌های انجام شده، اثر بهبود ضریب انتقال حرارت و مقدار تبادل گرما را در سمت فشار ضعیف توسط ساختار نورد شده را تأیید کرده است. با این عملکرد بالاتر، این محصول توسعه یافته می‌تواند به صرفه‌جویی در مصرف انرژی و سوخت کمک کند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از همکاران مهندسی محصول ایران خودرو و تیم مهندسی شرکت صنایع سندان ایرانیان بعنوان حامیان و همکاران اعلام می‌دارند.

فهرست علائم

مقدار تبادل حرارت، W	Q
اختلاف دما بین مبرد فشار قوی و مبرد فشار ضعیف، K	ΔT
ضریب انتقال حرارت مبرد گاز فشار ضعیف، W/m^2K	a_{lo}
ناحیهٔ انتقال حرارت در سمت فشار ضعیف، m^2	A_{lo}
ضریب انتقال حرارت مبرد مایع فشار قوی، W/m^2K	a_{hi}
ناحیهٔ انتقال حرارت در سمت فشار قوی، m^2	A_{hi}
هدایت حرارتی لولهٔ داخلی، W/mK	λ
طول مبدل حرارتی داخلی، m	L

References

[1] Patil S, Nagarhalli PV, Srivastava S. Development of Internal Heat Exchanger for Truck AC System Application. SAE Technical Paper; 2022 Nov 9. doi: 10.4271/2022-28-0453

[2] Zhang W, Černicin V, Hrnjak P. The role of internal heat exchanger in an R744 vapor compression system in the Air-conditioning mode under various conditions. InProceedings of 19th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue 2022. Purdue University, Ray W. Herrick Laboratories.

[3] Navarro-Esbrí J, Molés F, Barragán-Cervera Á. Experimental analysis of the internal heat exchanger influence on a vapour compression system performance working with R1234yf as a drop-in replacement for R134a. Applied Thermal Engineering. 2013 Sep 25;59(1-2):153-61. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.05.028

[4] Yau Y, Poh H. Study on Flow behavior and heat exchange characteristics of a capillary tube-suction line heat exchanger. Heat Transfer Engineering. 2019 Apr 21;40(7):574-87. doi: 10.1080/01457632.2018.1436420

[5] Mehdipour R, Baniamerian Z, Sakhaei B. Mathematical simulation of a vehicle radiator by genetic algorithm method and comparison with experimental data. The Journal of Engine Research. 2022 Nov 27;30(30):15-23.

[6] Cho H, Ryu C, Kim Y. Cooling performance of a variable speed CO2 cycle with an electronic expansion valve and internal heat exchanger. International Journal of Refrigeration. 2007 Jun 1;30(4):664-71. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2006.10.004

[7] Mota-Babiloni A, Navarro-Esbrí J, Pascual-Miralles V, Barragán-Cervera Á, Maiorino A. Experimental influence of an internal heat exchanger (IHX) using R513A and R134a in a vapor compression system. Applied Thermal Engineering. 2019 Jan 25;147:482-91. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.10.092

[8] Hermes CJ. Alternative evaluation of liquid-to-suction heat exchange in the refrigeration cycle. International journal of refrigeration. 2013 Dec 1;36(8):2119-27. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2013.06.007

[9] Desai AD, Sapali SN, Parthasarathi GV. Development of Efficient R-134a A/C System of a Medium Size Car. International Energy Journal. 2011;12(3).

[10] Goudarzi K, Azizi G. Effect of the tube insert in vehicle radiator on thermal performance. The Journal of Engine Research. 2022 Nov 27;29(29):39-46.