



## Enhancing the performance of a vapor compression refrigeration cycle by modifying the manufacturing process of the SLHX heat exchanger: transition from tangential to concentric configuration

Mohammad Jafar Nayeri<sup>1\*</sup>, Ali Moghadam<sup>1</sup>, Mahdi Kalantari<sup>2</sup>

1- Engineering Design for the Engine Cooling System, SAPCO, Tehran, Iran

2- Engineering Design for the Air Intake system, SAPCO, Tehran, Iran

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Refrigeration Cycle Performance  
Single-Phase/Two-Phase Flow  
SLHX Heat Exchanger  
Heat Transfer Coefficient

### ABSTRACT

In the process of designing, manufacturing, and optimizing heat exchangers used in vapor-compression refrigeration cycles, accurate analysis of heat transfer and fluid flow behavior plays a crucial role in improving energy efficiency and overall system performance. One of the main challenges in this area is investigating the impact of variations in the overall heat transfer coefficient on the thermal performance of the exchanger and the final efficiency of the refrigeration cycle. In this study, numerical modeling and simulation of fluid flow and heat transfer in a Suction-Line Heat Exchanger (SLHX) with two different geometric configurations—tangential and concentric—were conducted using COMSOL Multiphysics 5.5 and the drift-flux model for two-phase flow. The results show that the concentric configuration exhibits a higher heat transfer coefficient due to lower thermal resistance compared to the tangential design. In both configurations, pressure drop is linear in the single-phase region and increases sharply in the two-phase region due to accelerational losses. In the concentric configuration, due to the larger inner diameter of the capillary tube, the total pressure drop is lower, and flow choking occurs later than in the tangential arrangement. This type of heat exchanger not only prevents liquid refrigerant from returning to the compressor but also reduces the vapor quality at the evaporator inlet, enhancing its efficiency. Based on the simulation results, the average heat transfer coefficient in the concentric configuration was measured to be up to four times higher than in the tangential configuration. These findings can serve as a reference for optimal heat exchanger design in cooling and air-conditioning systems.



© 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: [Nayeri.mohammadjafar@gmail.com](mailto:Nayeri.mohammadjafar@gmail.com) (MJ. Nayeri)

Received 30 March 2025; Accepted 30 May 2025

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

**Cite this article:** Nayeri MJ, Moghadam A, Kalantari M. Enhancing the performance of a vapor compression refrigeration cycle by modifying the manufacturing process of the SLHX heat exchanger: transition from tangential to concentric configuration. The Journal of Engine Research. 2025 Jun 22;72(2):19-30. doi: [10.22034/ER.2025.2056805.1082](https://doi.org/10.22034/ER.2025.2056805.1082)

## بهبود عملکرد چرخه تبرید تراکمی با تغییر فرآیند ساخت مبدل خط مکش از آرایش مماسی به هم مرکز

محمدجعفر نیری<sup>۱\*</sup>، علی مقدم<sup>۱</sup>، مهدی کلانتری<sup>۲</sup>

۱- طراحی مهندسی و خودکفایی سیستم خنک کاری، شرکت ساپکو، تهران، ایران  
۲- طراحی مهندسی و خودکفایی سیستم هوارسانی، شرکت ساپکو، تهران، ایران

### چکیده

در فرآیند طراحی، تولید و بهینه‌سازی مبدل‌های حرارتی مورد استفاده در چرخه‌های تبرید تراکمی، تحلیل دقیق انتقال حرارت و رفتار جریان سیال نقش مهمی در افزایش بازده انرژی و بهبود عملکرد سامانه ایفا می‌کند. یکی از چالش‌های اساسی در این زمینه، بررسی تأثیر تغییرات ضریب کلی انتقال حرارت بر عملکرد حرارتی مبدل و بازده نهایی چرخه تبرید است. در این پژوهش، طراحی و شبیه‌سازی عددی جریان و انتقال حرارت در یک مبدل حرارتی از نوع لوله موئین-خط مکش با دو آرایش هندسی مختلف، شامل آرایش مماسی و هم‌مرکز، به کمک نرم‌افزار کامسول ۵.۵ و الگوی دریافت فلاکس برای جریان دوحالتی انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که آرایش هم‌مرکز به دلیل کمتر بودن مقاومت حرارتی، دارای ضریب انتقال حرارت بالاتری نسبت به آرایش مماسی است. همچنین، در هر دو هندسه، افت فشار در ناحیه تک‌حالت به صورت خطی بوده و با ورود به ناحیه دوحالتی، به دلیل حضور افت شتابی، به شدت افزایش می‌یابد. در آرایش هم‌مرکز به دلیل بزرگ‌تر بودن قطر داخلی لوله موئین، افت فشار کلی کمتر بوده و پدیده خفگی جریان دیرتر از آرایش مماسی رخ می‌دهد. این نوع مبدل علاوه بر جلوگیری از برگشت مایع مبرد به متراکم‌کننده، موجب کاهش کیفیت بخار ورودی به تبخیرکننده و در نتیجه افزایش بازده آن می‌گردد. براساس نتایج شبیه‌سازی، ضریب انتقال حرارت در آرایش هم‌مرکز به‌طور میانگین تا چهار برابر بیشتر از آرایش مماسی اندازه‌گیری شد. نتایج این تحقیق می‌تواند مبنایی برای طراحی بهینه مبدل‌های حرارتی در سامانه‌های سرمایشی و تهویه مطبوع باشد.

### اطلاعات مقاله

#### کلیدواژه‌ها:

عملکرد چرخه تبریدی  
جریان تک‌حالتی- دو حالتی  
مبدل حرارتی خط مکش  
ضریب انتقال حرارت



© 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: [Nayeri.mohammadjafar@gmail.com](mailto:Nayeri.mohammadjafar@gmail.com) (محمدجعفر نیری)

دریافت ۱۰ فروردین ۱۴۰۴؛ پذیرش ۹ خرداد ۱۴۰۴  
شاپای الکترونیکی: ۴۱۲۱-۲۳۴۵ / شاپای چاپی: ۱۷۳۵-۵۲۱۴

**Cite this article:** Nayeri MJ, Moghadam A, Kalantari M. Enhancing the performance of a vapor compression refrigeration cycle by modifying the manufacturing process of the SLHX heat exchanger: transition from tangential to concentric configuration. The Journal of Engine Research. 2025 Jun 22;72(2):19-30. doi: 10.22034/ER.2025.2056805.1082

## ۱- مقدمه

لوله موئین به عنوان یک وسیله انبساط در سامانه‌های برودتی و تهویه مطبوع با ظرفیت کمتر از ۳ تن تبرید نظیر تمام واحدهای تبرید مقیاس کوچک همانند سامانه تهویه خودرو و یخچال و یخسازهای خانگی به کار گرفته می‌شود. طراحی مناسب آنها عامل بسیار مهم و حیاتی در عملکرد و مقدار بازده سامانه‌های تبرید تراکمی است. آنها از ساده‌ترین انواع دستگاه‌های کنترل جریان مبرد هستند که معمولاً از یک لوله مسی به قطر ۰.۵ تا ۲ میلی‌متر و طول ۱ تا ۶ متر ساخته می‌شوند. عملکرد انبساط در این تجهیز، به سبب افت فشار حاصل از طول زیاد و قطر کم لوله حاصل می‌گردد و جریان جرمی مبرد عبوری از آن با اختلاف فشار در طرفین لوله که همان اختلاف فشار تبخیر و تقطیر می‌باشند متناسب است [۱].

در چند دهه گذشته، لوله‌های موئین معمولاً توسط محققان مختلفی به صورت نظری و تجربی بررسی شده‌اند. بیشتر مقالات موجود درباره لوله‌های موئین مستقیم بی‌دررو<sup>۱</sup> است. چندین مطالعه نیز روی لوله‌های موئین بادررو<sup>۲</sup> با مبردها و شرایط جریان مختلف بحث کرده‌اند. با توجه به اهمیت لوله موئین در سامانه‌های برودتی با ظرفیت پایین، برای مهندسان طراح و به خصوص برای محققان بسیار مهم است که از رفتار جریان مبردهای مختلف درون لوله‌های موئین با اندازه‌ها و هندسه‌های مختلف تحت شرایط جریان بی‌دررو و بادررو آگاه باشند [۲].

کلیم خان و کومار و ساهو در سال ۲۰۰۹ لوله‌های موئین بادررو ماریچ را به صورت تجربی مورد مطالعه قرار دادند و اثرات متغیرهای هندسی مختلف را بر روی شار مبرد R134a عبوری از لوله، مورد بررسی قرار دادند و نتایج را با حالت بی‌دررو مقایسه کردند و نشان دادند که شار مبرد در حالت بادررو علاوه بر قطر لوله موئین، مقدار زیر سرد شدن در ورودی لوله موئین تابعی از مقدار سوپرهیت مبرد در ورودی خط مکش و همچنین طول ناحیه مبدا حرارتی نیز است [۳].

زارع و همکاران در سال ۲۰۱۸ با استفاده از طراحی دریافت فلاکس، جریان حالت پایدار مبرد در مبدل حرارتی لوله موئین خط مکش با آرایش مماسی را با در نظر گرفتن مبرد R134a به عنوان سیال کاری چرخه، شبیه‌سازی کرده‌اند. هندسه لوله موئین به دو ناحیه طول ورودی و طول مبدل حرارتی با آرایش مماسی تقسیم می‌شود. در این تحقیق از پدیده شبه تعادلی حرارتی صرف نظر شده است. نتایج نشان می‌دهد که نرخ انتقال حرارت و افت فشار در لوله موئین بر رفتار مبرد تأثیر می‌گذارد، وقتی اثر نرخ انتقال حرارت از افت فشار قوی‌تر است. به دلیل اثر نسبت لغزش سیال در طراحی دریافت فلاکس، این طراحی برای شبیه‌سازی ویژگی‌های جریان از طراحی همگن دقیق‌تر و مناسب‌تر به نظر می‌رسد [۴].

موضوع پروژه حاضر، طراحی جریان و انتقال حرارت جهت مطالعه اثر تغییرات ضریب کلی انتقال حرارت بر مبدل خط مکش<sup>۳</sup> و عملکرد چرخه تبرید تراکمی است. به عبارت دیگر تحلیل و شبیه‌سازی سه‌بعدی عددی یک نوع مبدل حرارتی شامل لوله موئین مستقیم و خط‌مکش با آرایش مماسی و هم‌مرکز مورد نظر است.

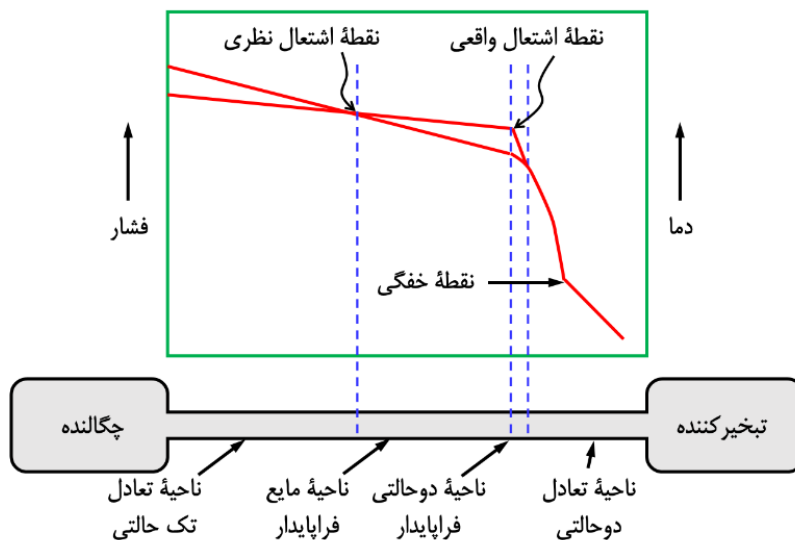
همانطور که در شکل ۱ مشخص شده است، مبرد در ورودی لوله موئین به صورت تک‌حالت مایع وارد شده و در ادامه لوله موئین تبدیل به مخلوطی از دو حالت می‌گردد. برای طراحی لوله موئین معمولاً آن را به دو قسمت تک‌حالت و دو حالت تقسیم‌بندی می‌کنند، اما در تحقیقات تجربی نشان داده شده است که مابین دو ناحیه تک‌حالت و دو حالت، دو ناحیه دیگر به نام‌های ناپایدار تک‌حالت و ناپایدار دو حالت وجود دارد. رفتار شبه‌تعادلی حرارتی سیال یک نمونه از رفتار ناپایدار جریان سیال مبرد در لوله است که به معنی عدم تبخیر سیال مبرد در لوله موئین در فشار اشباع ترمودینامیکی است. به اختلاف فشار بین نقطه اشباع ترمودینامیکی و نقطه اشباع واقعی، زیر فشار تبخیر گفته می‌شود که متغیر مهمی

<sup>1</sup> Adiabatic

<sup>2</sup> Diabatic

<sup>3</sup> Suction Line Heat Exchanger (SLHE)

در تحلیل ناحیه شبه تعادلی حرارتی است. در این تحقیق ضمن صرف نظر نمودن از ناحیه شبه تعادلی حرارتی، به بررسی رفتار جریان مبرد و انتقال حرارت آن در ناحیه دو حالت پرداخته شده است. در چرخه‌های تبرید تراکمی مقیاس کوچک جدید فرآیند انتقال حرارت بین لوله موئین و خط مکش در مبدل خط مکش اهمیت بسیاری دارد. بررسی تغییرات ضریب کلی انتقال حرارت در این مبدل حرارتی تأثیر مهمی بر بازده چرخه تبرید تراکمی خواهد داشت.



شکل ۱ نمودار تغییرات فشار و دمای مبرد در طول لوله موئین بادررو

در این تحقیق با بررسی رفتار جریان مبرد عبوری از لوله موئین و متغیرهای موثر بر انتقال حرارت مبدل حرارتی لوله موئین خط مکش به دنبال بهبود عملکرد انرژی چرخه تبرید، کاهش گشتاور راه‌اندازی متراکم‌کننده و جلوگیری از برگشت مبرد به متراکم‌کننده است. همچنین با در نظر گرفتن اثرات تخریبی مبردهایی چون R12 و نیاز به جایگزینی آن با مبرد R134a، ضروری است که برای انتخاب صحیح لوله موئین نحوه رفتار مبرد بررسی گردد.

## ۲- روش تحقیق

در این تحقیق طرح جریان مبرد عبوری و انتقال حرارت مبدل حرارتی لوله موئین خط مکش برای دو آرایش هم‌مرکز و مماسی بررسی می‌شود. بنابراین فرضیات اساسی مسئله عبارتند از:

- رفتار ترموفیزیکی مبرد توسط معادلات ترمودینامیکی تعریف می‌شود.
- به دلیل ناچیز بودن انتقال حرارت خط مکش و لوله موئین به محیط، از آن صرف نظر شده است.
- مشخصات و شکل لوله در تمام طول ثابت است.
- هندسه مبدل برای هر دو آرایش هم‌مرکز و مماسی به صورت مستقیم و افقی در نظر گرفته شده است.
- در طراحی از منطقه شبه تعادلی حرارتی صرف نظر شده است.

در این پژوهش، سیال کاری مورد استفاده در چرخه تبرید، مبرد R134a در نظر گرفته شده که فاقد ذرات روغن است. پس از ورود مبرد مایع به لوله موئین، به دلیل افت فشار تدریجی در طول مسیر، فشار آن به کمتر از فشار اشباع می‌رسد و این امر باعث آغاز فرآیند تبخیر و تبدیل تدریجی آن به حالت دو حالتی (مایع-بخار) می‌شود. هدف از این تحقیق، بررسی تغییرات ضریب کلی انتقال حرارت در یک مبدل حرارتی لوله موئین-خط مکش در چرخه تبرید است.

برای این منظور، دو پیکربندی هندسی مختلف شامل آرایش مماسی و هم‌مرکز این مبذل در نرم‌افزار کامسول ۵،۵ طراحی شده است.

برای حل معادلات جریان دوحالتی و تعیین توزیع دما در خط‌مکش، لازم است مقدار حرارتی که بین لوله موئین و خط مکش متراکم‌کننده تبادل می‌شود، مشخص گردد. در این پژوهش، با الگوبرداری از پژوهش ژو و بنسال، برای محاسبه نرخ انتقال حرارت بین دو لوله، از یک الگوی مقاومتی یک بعدی استفاده شده است [۵]. در شکل ۲، مقطع لوله موئین در حالت با دررو (با تبادل حرارت) نمایش داده شده و در شکل ۳ نیز نحوه قرارگیری لوله موئین-خط‌مکش در حالت تماس مماسی نشان داده شده است. فرآیند انتقال حرارت در این سامانه شامل مراحل بدین صورت است:

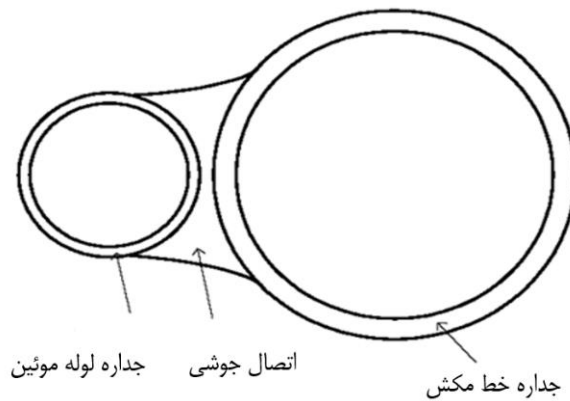
۱. انتقال حرارت جابجایی از سیال درون لوله موئین به دیواره آن

۲. انتقال حرارت رسانشی از دیواره لوله موئین به اتصال جوشی

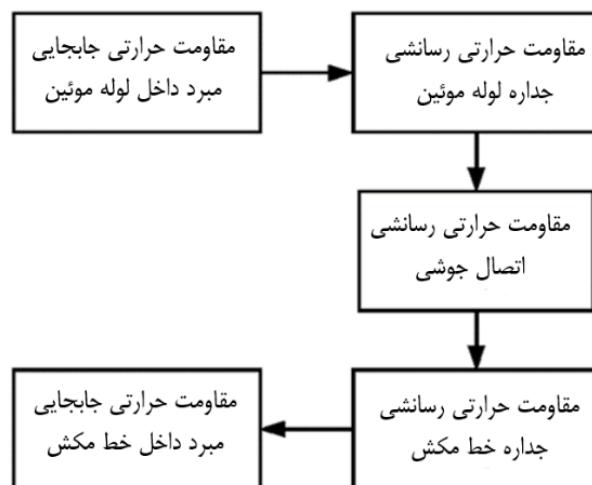
۳. انتقال حرارت رسانشی از اتصال جوشی به جداره خط‌مکش

۴. انتقال حرارت جابجایی از دیواره خط‌مکش به سیال درون آن

در آرایش هم‌مرکز، همین مسیر انتقال حرارت طی می‌شود با این تفاوت که لوله موئین در مرکز خط‌مکش قرار گرفته و از انتقال حرارت خط‌مکش با محیط بیرونی صرف نظر شده است. در این حالت، مقاومت‌های حرارتی مورد بررسی، شامل: مقاومت جابجایی بین سیال و دیواره لوله موئین و مقاومت جابجایی سیال درون خط‌مکش هستند.



شکل ۲ سطح مقطع مبذل حرارتی لوله موئین-خط مکش



شکل ۳ سطح مقطع مبذل حرارتی لوله موئین-خط مکش

## ۲-۱- محاسبه انتقال حرارت بین لوله موئین و خط مکش

بنابراین انتقال حرارت بین لوله موئین و خط مکش و همچنین هدایت حرارتی کلی UA از معادله زیر بدست می‌آید:

$$Q = AU(T_c - T_s) \quad (1)$$

$$\frac{1}{AU} = \frac{1}{H_c D_c \pi dz} + \frac{\ln\left(\frac{D_{c,o}}{D_c}\right)}{2(\pi K_{c,w} dz)} + \frac{\delta}{K_j w dz} + \frac{\ln\left(\frac{D_{s,o}}{D_s}\right)}{2(\pi K_{s,w} dz)} + \frac{1}{H_s D_s \pi dz} \quad (2)$$

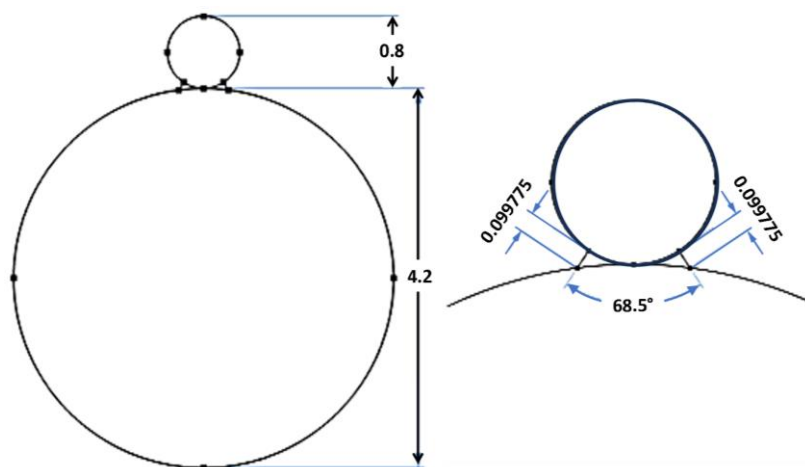
ممکن است در خصوص معادله ۱ استفاده از اختلاف دمای ساده به جای اختلاف دمای لگاریتمی مورد توجه قرار بگیرد. با کوچک فرض کردن طول بخش‌ها، که برای حل عددی فعلی ۱ میلی‌متر در نظر گرفته شده است عدم قطعیت ناشی از این تقریب به حداقل می‌رسد. برای جریان دوحالتی، مقاومت حرارتی اصلی این مبدل حرارتی در سمت خط مکش است، به این دلیل که ضریب انتقال حرارت جابجایی در ناحیه دوحالتی عدد بزرگی است که باعث می‌شود مقاومت حرارتی جابجایی در لوله موئین اندک باشد. بنابراین ضریب انتقال حرارت جابجایی بی‌نهایت فرض می‌گردد. اعتبار این فرض توسط ژو و بنسال تأیید شده است [۵]. به همین دلیل از  $h_c$  در معادله ۳ صرف‌نظر می‌شود. برای بدست آوردن ضریب جابجایی در خط مکش نیز از معادله ۳ استفاده شده است که بدین صورت است:

$$Nu = \left[ \left(\frac{f}{8}\right) (Re - 1000) Pr \right] / \left[ 1 + 1.27 \left(\frac{f}{8}\right)^{0.5} \left(Pr^{\frac{2}{3}} - 1\right) \right] \quad (3)$$

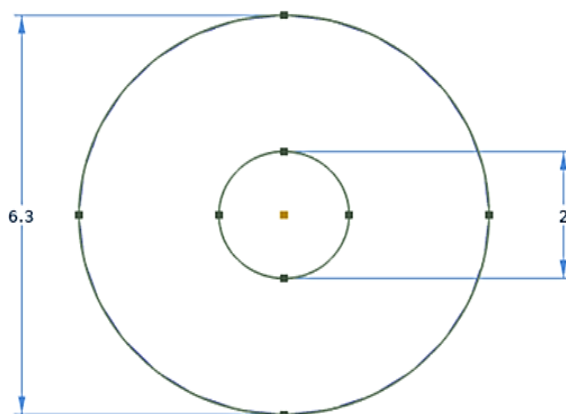
که fs ضریب اصطکاک کلبروک و یا چرچیل می‌باشد.

## ۲-۲- طراحی جریان و انتقال حرارت مبدل حرارتی لوله موئین-خط مکش

در این تحقیق به منظور طراحی جریان و انتقال حرارت جهت مطالعه اثر تغییرات ضریب کلی انتقال حرارت مبدل خط مکش، از نرم‌افزار کامسول ۵،۵ استفاده شده است. برای به دست آوردن نتایج، معادلات پایستگی اندازه حرکت (دوحالتی) و انتقال حرارت حل شد. پیش از حل معادلات، هندسه و خواص مواد وارد نرم افزار گردید. در ادامه برای دستیابی به اهداف این تحقیق، دو هندسه مختلف از این مبدل در نرم افزار طراحی شده و برای هر هندسه اثر متغیرهایی چون نسبت شار جرمی، دمای قبل از خنک‌کاری و ... در انتقال حرارت آن بررسی شده است. ابعاد مبدل حرارتی لوله موئین-خط مکش با آرایش مماسی و آرایش هم‌مرکز به ترتیب در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است. برای طراحی مبدل حرارتی لوله موئین-خط مکش با آرایش مماسی، از اتصال جوشی استفاده شده است. واحد ابعاد ذکر شده بر روی شکل میلی‌متر است.

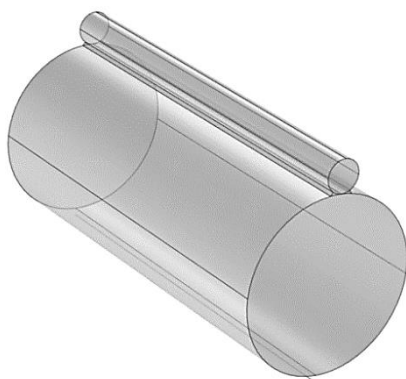


شکل ۴ سطح مقطع مبدل حرارتی لوله موئین-خط مکش طراحی شده با آرایش مماسی

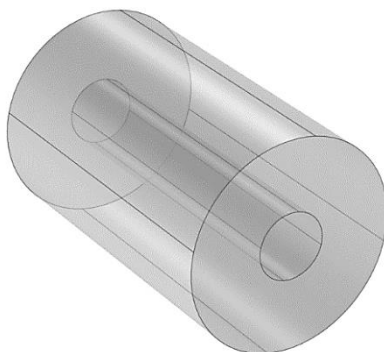


شکل ۵ سطح مقطع مبدل حرارتی لوله موئین-خط مکش طراحی شده با آرایش هم مرکز

همانگونه که در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده است، آرایش مماسی این مبدل از بهم چسبیدن لوله موئین با خط مکش متراکم کننده بوسیله یک اتصال جوشی تشکیل شده و در آرایش هم مرکز لوله موئین در مرکز خط مکش قرار می گیرد [۱۰-۶].

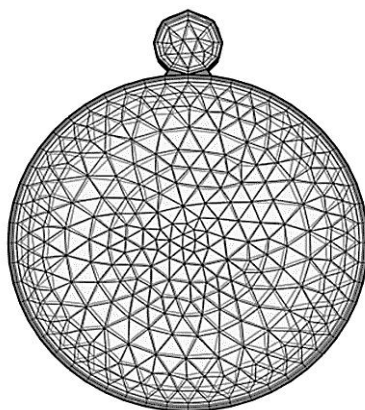


شکل ۶ طرح آرایش مماسی مبدل حرارتی خط مکش

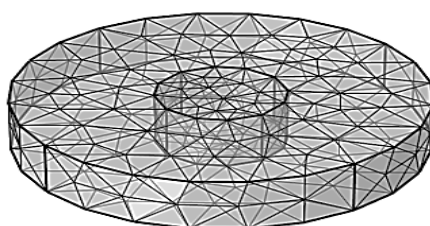


شکل ۷ طرح آرایش هم مرکز مبدل حرارتی خط مکش

تعریف خواص ترموفیزیکی سیال کاری این مبدل در نرم افزار به گونه ای انجام شده است که بتوان تشکیل هسته و دو حالتی شدن و همچنین بررسی رفتار جریان به عنوان مخلوطی از دو حالت را انجام داد. در نهایت پس از تعریف هندسه، مواد و فیزیک مسئله مورد بررسی این تحقیق در نرم افزار، دانه بندی هر دو پیکربندی مطابق شکل ۸ و ۹ بدست آمد.



شکل ۸ دانه‌بندی آرایش مماسی مبدل حرارتی خط مکش



شکل ۹ دانه‌بندی آرایش هم‌مرکز مبدل حرارتی خط مکش

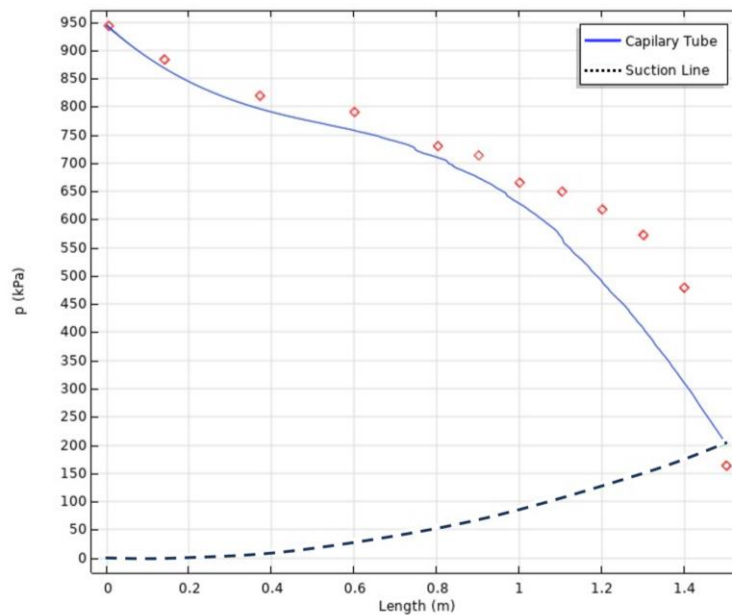
### ۳- نتایج و بحث

پس از وارد کردن هندسه آرایش مماسی و هم‌مرکز به نرم‌افزار و انجام تنظیمات شرایط اولیه برای حل مسئله، نتایج بدست آمده شامل نمودار توزیع فشار در طول لوله موئین و نمودار ضریب کلی انتقال حرارت این مبدل گزارش و بررسی شده است. همچنین لازم به ذکر است که طراحی انجام شده برای آرایش مماسی و هم‌مرکز توسط مقاله تجربی صحت‌سنجی شده است. در ادامه نتایج خروجی از حل مسئله به کمک طراحی عددی با داده‌های [۸] برای آرایش مماسی و [۹] برای آرایش هم‌مرکز مقایسه می‌شود.

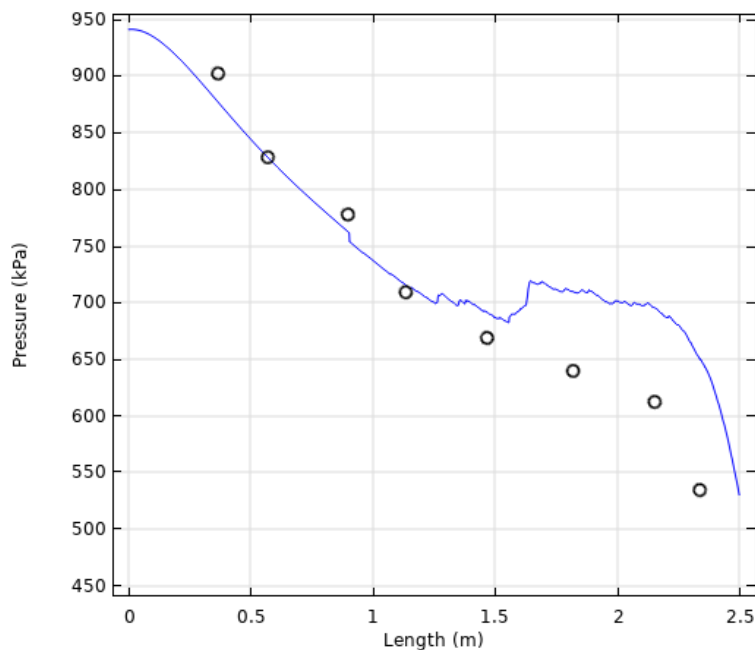
#### ۳-۱- توزیع فشار در طول مبدل حرارتی لوله موئین - خط‌مکش و صحت‌سنجی

شکل ۱۰، بیانگر افت فشار مبرد در لوله موئین و خط‌مکش مبدل در آرایش مماسی است. به دلیل اینکه مبدل حرارتی لوله موئین - خط‌مکش از نوع جریان مخالف است، برای تحلیل این نمودار باید افت فشار جریان در لوله موئین را از سمت چپ به راست و افت فشار جریان در خط‌مکش را از سمت راست به چپ مورد بررسی قرار داد. در آرایش مماسی برای فشار ورودی ۹۴۰ کیلوپاسکال و نسبت شار جرمی ۲۵۲ نتایج حل مسئله با نتایج [۸] با دقت قابل قبولی یکسان است. به دلیل تراکم‌پذیری جریان در منطقه دو حالت، شرایط جریان بحرانی یا خفگی جریان به طور کلی در لوله‌های موئین یافت می‌شود.

مبرد در انتهای لوله موئین به دلیل تغییر علامت تغییرات فشار دچار خفگی می‌شود (تغییرات فشار بی‌نهایت می‌شود). شکل ۱۱، بیانگر افت فشار مبرد در لوله موئین مبدل در آرایش هم‌مرکز است. در آرایش هم‌مرکز برای فشار ورودی ۹۴۰ کیلوپاسکال و نسبت شار جرمی ۱۹۷ نتایج حل مسئله با نتایج [۹] با دقت قابل قبولی یکسان است. مادامی که جریان در حالت تک‌حالت قرار دارد افت فشار به صورت خطی است. به دلیل بزرگتر بودن قطر داخلی لوله موئین در آرایش هم‌مرکز نسبت به آرایش مماسی، مقدار افت فشار کل در هندسه دوم کمتر از هندسه اول است. به همین سبب پدیده خفگی در هندسه اول زودتر از هندسه دوم رخ می‌دهد.



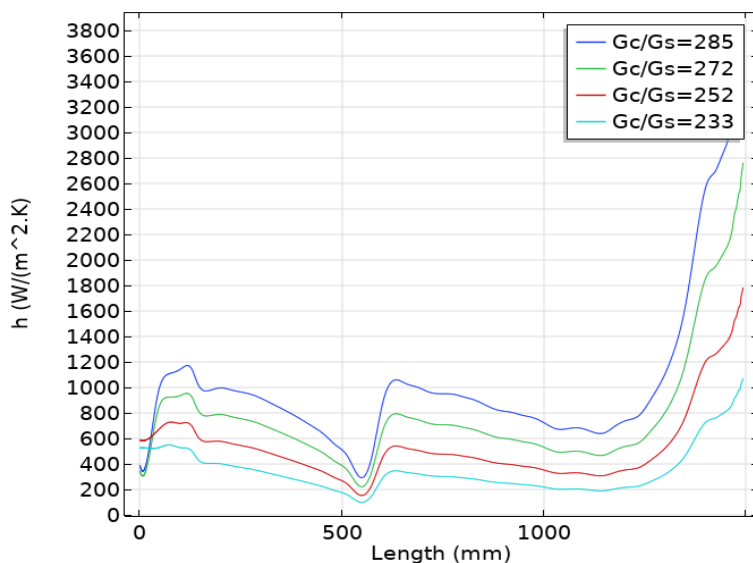
شکل ۱۰ توزیع و مقایسه فشار در آرایش مماسی لوله موئین



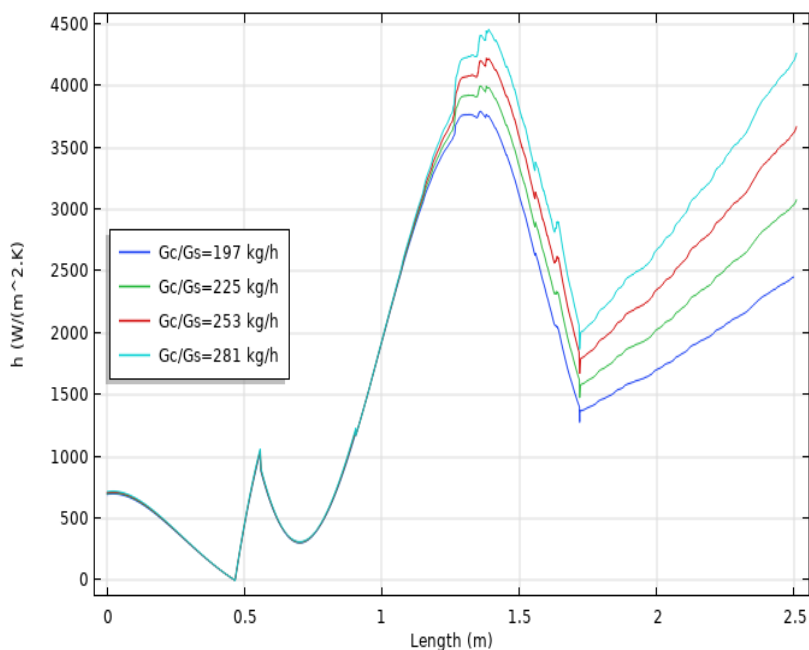
شکل ۱۱ توزیع و مقایسه فشار در آرایش هم‌مرکز لوله موئین

### ۳-۲- تغییر ضریب کلی انتقال حرارت در طول مبدل حرارتی لوله موئین - خط مکش

در نهایت ضریب انتقال حرارت در لوله موئین برای هندسه شبیه‌سازی بررسی شد. در جریان دو حالتی داخل ضریب هدایت حرارتی بسیار بیشتر از ضریب هدایت حرارتی جریان تک‌حالت گاز درون خط‌مکش است. به همین دلیل روند تغییرات ضریب کلی انتقال حرارت این مبدل معادل رفتار ضریب هدایت حرارتی مبرد درون لوله موئین است. شکل ۱۲ و ۱۳ به ترتیب بیانگر ضریب کلی انتقال حرارت در طول مبدل حرارتی لوله موئین - خط‌مکش در آرایش مماسی و هم‌مرکز است.



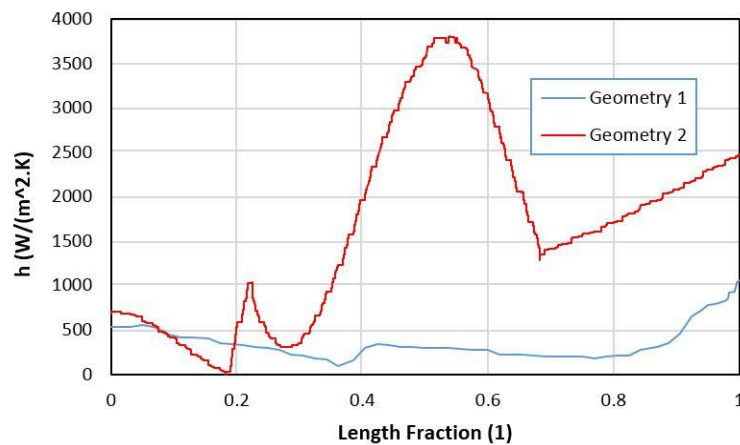
شکل ۱۲ تغییر ضریب انتقال حرارت در طول آرایش مماسی مبدل حرارتی لوله موئین - خط مکش



شکل ۱۳ تغییر ضریب انتقال حرارت در طول آرایش مرکز مبدل حرارتی لوله موئین - خط مکش

همانگونه که در این نمودار مشخص شده است، افت اولیه ضریب کلی انتقال حرارت ناشی از افزایش ضخامت لایه مرزی بوده و افزایش بعدی به دلیل تغییر حالت و آشفته‌گی جریان به وجود آمده است. پس از آن به دلیل تبدیل بیشتر سیال به گاز ضریب کلی انتقال حرارت مجدداً کاهش یافته و در آخر نیز به دلیل اثر خروجی ضریب انتقال حرارت افزایش یافته است. تغییر حالت موجب تبدیل حالت مایع به گاز و افزایش حجم چشمگیر سیال می‌شود. همین عامل باعث افزایش شدید سرعت سیال خواهد شد. زمانی که تغییر حالت نزدیک خروجی باشد، افزایش حجم موجب هل دادن سیال به سمت خروجی و افزایش مقدار  $h$  خواهد شد. لازم به ذکر است، نوسان موجود در نمودارها مربوط به تغییر رفتار نوسانی خواص ماده (تشکیل حباب) در طول لوله است. همانطور که دیده می‌شود، با کاهش فشار و نزدیک شدن به انتهای لوله (تغییر حالت بیشتر) نوسان بیشتری در نمودارها دیده می‌شود.

در آخر نمودار تغییرات ضریب کلی انتقال حرارت در طول مبدل حرارتی لوله موئین- خط مکش برای آرایش‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفته است. همانگونه که در شکل ۱۴ مشخص شده است، به دلیل اینکه مقاومت حرارتی در هندسه دوم کمتر از هندسه اول است، ضریب انتقال حرارت در آرایش هم‌مرکز بیشتر از آرایش مماسی است.



شکل ۱۴ مقایسه تغییر ضریب کلی انتقال حرارت در طول مبدل حرارتی لوله موئین- خط مکش در آرایش مماسی و هم‌مرکز

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، عملکرد حرارتی و افت فشار مبدل حرارتی لوله موئین-خط مکش با دو آرایش هندسی مماسی و هم‌مرکز با استفاده از شبیه‌سازی عددی در نرم‌افزار کامسول بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده از توزیع فشار و ضریب کلی انتقال حرارت در طول مبدل، با داده‌های تجربی مقایسه و صحت‌سنجی شدند. تحلیل‌ها نشان داد که در آرایش هم‌مرکز به دلیل کاهش مقاومت حرارتی، ضریب کلی انتقال حرارت بیشتر از آرایش مماسی است که این امر منجر به بهبود عملکرد مبدل و افزایش بازده چرخه تبرید می‌گردد. همچنین مشاهده شد که در هر دو آرایش، تغییر حالت مبرد نقش اساسی در افزایش ضریب انتقال حرارت ایفا می‌کند.

بررسی دقیق نمودار تغییرات ضریب جابجایی حرارتی نشان داد که مقدار پیک ضریب انتقال حرارت در آرایش هم‌مرکز حدود  $3700 \text{ W/m}^2\text{K}$  و در آرایش مماسی حدود  $800 \text{ W/m}^2\text{K}$  است که بیانگر افزایش بیش از ۴٫۵ برابری در عملکرد حرارتی نقطه‌ای است. همچنین، میانگین کلی ضریب انتقال حرارت در آرایش هم‌مرکز تقریباً چهار برابر بیشتر از آرایش مماسی برآورد می‌شود. این تفاوت چشمگیر در بازده حرارتی تأییدی بر برتری آرایش هم‌مرکز در بهبود تبادل گرما در مبدل خط مکش است.

با توجه به نتایج این تحقیق، انتخاب صحیح هندسه مبدل حرارتی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر بهینه‌سازی انرژی، افزایش بازده تبرید و کاهش احتمال برگشت مایع به متراکم‌کننده داشته باشد. پیشنهاد می‌شود در طراحی‌های آتی برای سامانه‌های تبرید با ظرفیت پایین، استفاده از آرایش هم‌مرکز به عنوان گزینه‌ای با بازدهی بزرگتر مدنظر قرار گیرد.

#### فهرست علائم

$A$	سطح تماس حرارتی بین لوله‌ها، $\text{m}^2$
$U$	ضریب کلی انتقال حرارت، $\text{W/m}^2\text{K}$
$Q$	مقدار تبادل حرارت، $W$
$\Delta T$	اختلاف دما بین مبرد فشار بالا و مبرد فشار پایین، $K$

$H_c$	ضریب جابجایی حرارتی سمت لوله موئین، $W/m^2K$
$D_c$	قطر داخلی لوله موئین، m
$D_{CO}$	قطر خارجی لوله موئین، m
$K_{CW}$	هدایت حرارتی دیواره لوله موئین، $W/mK$
$\delta$	ضخامت ناحیه جوش بین دو لوله، m
$K_j$	هدایت حرارتی ناحیه جوش، $W/mK$
$W$	عرض ناحیه جوش، m
$D_s$	قطر داخلی خط مکش، m
$D_{SO}$	قطر خارجی خط مکش، m
$K_{SW}$	هدایت حرارتی دیواره خط مکش، $W/mK$
$H_s$	ضریب جابجایی سمت خط مکش، $W/m^2K$
$dz$	ضخامت یا طول تفاضلی برای محاسبات عددی، m
$Nu$	عدد ناسلت
$f$	ضریب اصطکاک داریسی-ویسباخ
$Re$	عدد رینولدز
$Pr$	عدد پرانتل

## References

- [1] Zolfaghari AR, Ebrahimi-Naghani P, Nayeri MJ. Cooling generation and distribution methods in air conditioning systems. 2nd ed. Tehran: Noavaran; 2018. [In Persian]
- [2] Güngör U, Hoşöz M. R1234YF SOĞUTUCU AKIŞKANI KULLANAN İÇ ISI DEĞİŞTİRİCİLİ BİR OTOMOBİL KLİMA SİSTEMİNİN PERFORMANSININ R134A'LI SİSTEM İLE KARŞILAŞTIRILMASI. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi.;29(3):783-802. doi: 10.17482/uumfd.1525619 [In Turkish]
- [3] Alkan A. Experimental study on the impact of indoor unit airflow velocity on the performance of an automotive heat pump system with a suction line heat exchanger. Heliyon. 2024 Sep 15;10(17). doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e36719
- [4] Zareh M, Khayat M, Fouladi H. Numerical simulation of two phase refrigerant flow through non-adiabatic capillary tubes using drift flux model. Journal of Mechanical Science and Technology. 2018 Jan;32(1):381-9. doi: 10.1007/s12206-017-1238-2
- [5] Güngör U, Hoşöz M. R1234YF S soğutucu akışkanı kullanan iç ısı değiştiricili bir otomobil klima sisteminin performansının R134A'lı sistem ile karşılaştırılması. 2024. doi: 10.17482/uumfd.1525619 [In Turkish]
- [6] 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. [In Persian]
- [7] 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.
- [8] Chen D, Lin S. Underpressure of vaporization of refrigerant R-134a through a diabatic capillary tube. International Journal of refrigeration. 2001 May 1;24(3):261-71. doi: 10.1016/S0140-7007(00)00019-0
- [9] Seixlack AL, Navas RA. Modeling of transient flow through capillary tube-suction line heat exchangers. In International Heat Transfer Conference 13 2006. Begel House Inc.
- [10] Cabello R, Andreu-Nácher A, Sánchez D, Larrondo R. Energy influence of the internal heat exchangers placement in a cascade refrigeration plant. A theoretical and experimental analysis. Applied Thermal Engineering. 2024 May 1;244:122690. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2024.122690