



بررسی عملکرد لوله های حرارتی ترموسیفون در انتقال حرارت با افزایش طول لوله

فرشید نعمتی^۱، هادی کارگر شریف آباد^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
 ۲- استادیار، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
 * سمنان صندوق پستی ۳۵۱۴۵۱۷۹، h.kargar@semnaniau.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>امروزه لوله های حرارتی به عنوان ابررسانا ها می توانند نقش اساسی در انتقال حرارت ایفا کنند که با توجه به نوع کاربرد در اندازه های مختلف طراحی می شوند. لوله گرمایی وسیله ای برای انتقال حرارت با ضریب هدایت گرمایی خیلی بالا می باشد که انرژی گرمایی را به وسیله تبخیر و میعان یک سیال عامل با افت دمای ناچیز منتقل می کند. هنگامی که گرما به ناحیه تبخیر می رسد سیال عامل تبخیر می شود و یک گرادیان فشار در لوله ایجاد می کند. این گرادیان فشار باعث می شود بخار در طول لوله حرکت کند تا به چگالنده برسد در چگالنده بخار میعان شده، گرمای نهان آن آزاد می شود. سپس سیال عامل توسط نیروی جاذبه در لوله های حرارتی از نوع ترموسیفون به ناحیه تبخیر باز می گردد. در این تحقیق جریان بخار و مایع در داخل لوله گرمایی نوع ترموسیفون مدلسازی شده است. فرض شده که جریان به صورت دائمی و دوبعدی و آرام می باشد و از نیروهای حجمی صرفنظر گردیده است. در این مقاله از روش حجم محدود و الگوریتم ساده استفاده شده است. هندسه این مدل با نرم افزار گمبیت رسم و شبکه بندی شده و سپس محاسبات عددی مورد نظر با بکارگیری یک بسته نرم افزاری کارآمد به نام انسیس فلونتت توسط پارانه انجام و نتایج حاصل با نتایج یک مقاله مقایسه شده و دما در دیواره و مرکز لوله حرارتی در هر سه ناحیه بررسی گردیده است.</p>	<p>مقاله پژوهشی کامل دریافت: ۱۹ فروردین ۱۳۹۸ پذیرش: ۲۵ خرداد ۱۳۹۸ ارائه در سایت: ۱۵ شهریور ۱۳۹۸</p> <p>کلیدواژگان لوله های حرارتی ترموسیفون شبیه سازی عددی انتقال حرارت</p>

Check thermosyphon heat pipe heat transfer performance by increasing the length of the tube

Farshid Nemati¹, Hadi Kargar Sharifabadi^{2*}

1- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

2- Energy and Sustainable Development Research Center, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

* P.O.B. 35145179 Semnan, Iran, h.kargar@semnaniau.ac.ir

Article Information

Original Research Paper
 Received 8 April 2019
 Accepted 15 June 2019
 Available Online 6 September 2019

Keywords

Heat pipe, thermosyphon
 numerical simulation
 heat transfer

ABSTRACT

The heat pipe as superconductors can play an essential role in heat transfer According to the application, are designed in different sizes The heat pipe for heat transfer with very high thermal conductivity that heat energy by evaporation and condensation of a working fluid with minimal temperature drop pass When the heat of evaporation area is the working fluid evaporates and creates a pressure gradient in the tube The steam pressure gradient along the tube makes the move to steam condenser condenses in the condenser is, the latent heat is released. The working fluid of the heat pipe by gravity thermosyphon returns to the evaporation zone In this study the vapor and liquid inside the heat pipe is modeled thermosyphon type It is assumed that the flow is permanent and peaceful two-dimensional and

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Farshid Nemati, Hadi Kargar Sharifabadi, Check thermosyphon heat pipe heat transfer performance by increasing the length of the tube, Journal of Mechanical Engineering and Vibration, Vol. 10, No. 2, pp. 7-13, 2019 (In Persian)

volumetric forces have been ignored. In this paper, the finite volume method and SIMPLE algorithm is used.

The geometry of the model with the software Gambit drawing grid and numerical calculations to using a software package Efficient called Ansys Fluent by subsidies carried out and the results with the results of a study comparing the temperature of the wall and the heat pipe in all three areas have been analyzed.

۱- مقدمه

لوله های گرمایی یکی از بهترین سیستم های شناخته شده در میان انواع مختلف سیستم های انتقال حرارت هستند. از مزیت های بکارگیری لوله های گرمایی، انتقال مقدار زیادی حرارت در فاصله های محسوس بدون نیاز به نیروی محرکه خارجی برای گردش است. لوله های گرمایی دستگاه های انتقال حرارت دو فازی با هدایت گرمایی موثر فوق العاده بالا هستند که می توانند ساختارهای استوانه ای یا مسطح داشته باشند. لوله های گرمایی از سه بخش اصلی تشکیل شده اند:

الف) منطقه تبخیر یا ناحیه اواپراتور که در یک انتهای لوله قرار دارد و در این منطقه گرما به محفظه وارد می شود.

ب) منطقه چگالش یا ناحیه کندانسور که در انتهای دیگر لوله است و گرما در این ناحیه دفع می گردد.

ج) ناحیه آدیاباتیک که بین دوناچه اواپراتور و کندانسور را شامل می شود. در لوله های گرمایی، بخار از بخش تبخیر کننده به بخش چگالنده به علت اختلاف فشار جریان می یابد. ضمناً مایع از بخش چگالنده به بخش تبخیر کننده توسط تولید نیروهایی، مانند نیروی موئینگی، نیروی گرانش، نیروی الکترواستاتیکی و غیره جریان می یابد. عملکرد لوله حرارتی به این صورت است که حرارت در منطقه اواپراتور به لوله حرارتی وارد شده و بدین وسیله سیال عامل داخل قسمت فتیله ای، در اثر دریافت گرمای نهان تبخیر، به بخار اشباع تبدیل می شود. بخار اشباع حاصل، در اثر اختلاف فشار به انتهای دیگر لوله حرارتی یا ناحیه کندانسور منتقل می شود. این منطقه در ناحیه خنک تری قرار داشته و از این رو بخار اشباع، گرمای نهان تبخیر خود را از دست داده و تقطیر می شود. مایع اشباع حاصل، از طریق ساختار فتیله ای توسط نیروی موئینگی به قسمت اواپراتور بازگردانده می شود و سیکل مجدداً تکرار می شود تا گرما به طور پیوسته از ناحیه گرم به ناحیه سرد منتقل شود. با توجه به کاربرد گسترده لوله های گرمایی، شناخت رفتار سیال در آن ها سهم بزرگی در پیش بینی خواص این نوع سیستم ها بر عهده دارد. لذا باید روش مناسبی برای تحلیل این لوله ها پیش بینی شود.

با توجه به محدودیت های سخت افزاری در تحلیل رفتار جریان در این نوع لوله ها، شبیه سازی های عددی به عنوان مکمل روش های آزمایشگاهی، روش مناسبی برای شبیه سازی این نوع سیستم ها هستند. هومینیک^۱ و همکاران [۱] در مطالعه ای در سال ۲۰۱۳ به مطالعه عددی انتقال حرارت در لوله های انتقال حرارت ترموسیفون با استفاده از نانوسیال پرداختند. نویسندگان در این مطالعه به طور عمده به اثر غلظت حجمی نانوذرات و دمای عملکرد بر انتقال حرارت لوله های حرارتی ترموسیفون با استفاده از نانوسیال متمرکز شدند. تجزیه و تحلیل برای نانوسیال آب- نانوذرات $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ و برای سه غلظت حجمی نانوذرات ۲، ۰ و ۵، ۳ درصد و در چهار دمای عملکرد ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درجه ی سانتی گراد انجام شد. نتایج عددی نشان داد که غلظت حجمی نانوذرات اثر قابل توجهی در کاهش اختلاف درجه حرارت بین اواپراتور و کندانسور دارد. نتایج تجربی و عددی نشان می دهند که لوله های حرارتی ترموسیفونی که از نانو سیال بهره مندند، ویژگی های انتقال حرارت بهتری نسبت به لوله های حرارتی ترموسیفونی که از آب بهره مندند، از خود نشان می دهند. علیزاده داخل^۲ و همکاران [۲] در مطالعه ای در سال ۲۰۱۰ به مدل سازی سی اف دی جریان و انتقال حرارت در یک ترموسیفون پرداختند. در این مطالعه مایع جریان دو فاز گاز-مایع و پدیده ی تبخیر و چگالش به طور هم زمان در یک ترموسیفون مدل شد. از تکنیک حجم سیال^۳ برای مدل سازی تعامل بین فازها استفاده شد. همچنین آزمایش هایی در ترموسیفون برای شرایط عملیاتی مختلف انجام شد. شبیه سازی انجام شده پروفایل دمایی را در ترموسیفون پیش بینی می کند و این پیش بینی ها با اندازه گیری های تجربی مقایسه شد و توافق خوبی مشاهده شد. فدلی^۴ و همکاران [۳] در مطالعه ای در سال ۲۰۱۳ به مدل سازی عددی توزیع دمایی جریان دو فاز در یک ترموسیفون بسته پرداختند. در این مقاله، با توجه به این که از طریق مشاهدات بصری و کارهای تجربی نمی توان به جزئیات این پدیده پی برد، یک مدل جامع CFD برای شبیه سازی جزئیات این جریان دو فازی و پدیده انتقال حرارت در طول ترموسیفون

^۳.VOF (volume of fluid)

^۴ Bandar Fadhli

^۱. Humnic

^۲. Alizadehdakhel

در این مقاله لوله گرمایی از نوع ترموسیفون و طول لوله برابر ۲ متر و قطر آن ۱۷,۵ میلیمتر می باشد. هدف از این مطالعه بررسی تاثیر افزایش طول لوله های حرارتی در راندمان انتقال حرارت می باشد.

۲- روابط حاکم

۲-۱- دینامیک سیالات محاسباتی

دینامیک سیالات محاسباتی

در طی سال های اخیر به کمک کامپیوترهای سریع، مهندسين قادر به انجام محاسبات عددی قابل توجهی برای پیش بینی پدیده های مهندسی و بهبود فرآیند طراحی شده اند. استفاده از روش های عددی، یکی توانایی به پیش نمایش راه حل یک مشکل است که هنوز به مرحله آزمایش نرسیده است و دیگری برای بهبود نتایج تجربی موجود است. دینامیک سیالات محاسباتی^۴ روشی استاندارد برای طراحی و تجزیه و تحلیل مسائل مرتبط مهندسی شامل پدیده های چند فیزیکی شده است.

تکنیک های حل

عموماً یکی از سه روش و تکنیک زیر برای حل معادلات حاکم استفاده می شود.

۱. روش اختلاف محدود^۵: معادلات دیفرانسیلی برای هر گره گسسته می شود.

۲. روش حجم محدود^۶: معادلات حاکم روی المان های مش انتگرال گیری می شود.

۳. المان محدود^۷: تغییرات متغیرها داخل یک المان به صورت یک تابع تقریب زده می شود و باقیمانده (یا ترم خطا) مینیمم می شود. نرم افزارهای تجاری مانند CFX، fluent، از روش حجم محدود استفاده می کنند.

حل عددی بر اساس روش حجم محدود برای جریان های چند فازی مشکل تر از جریان های تک فازی است. دلایل این مشکل بودن حل این است که خط اتصال های بین فازها ساکن نمی باشد و خواص فیزیکی مانند چگالی و گرانبوی در خط اتصال های بین فازهای مختلف تغییر می کند که همین مساله باعث نیاز به تلاش بسیار زیاد محاسباتی می شود. تکنیک VOF، برای حل این مسائل با مشخص نمودن حرکت تمامی فازها و تعریف حرکت خط اتصال های بین فازها استفاده می شود. روش مزبور را می توان برای مدل کردن دو سیال غیر قابل امتزاج برای ردیابی سطح به یک

ساخته شد. در این شبیه سازی آب به عنوان سیال کاری استفاده شد. تبخیر، چگالش و فرآیندهای تغییر فاز در ترموسیفون با اضافه کردن یک تابع توسط کاربر (UDF) به کد فلونت، بهبود بخشیده شد. دمای متوسط سطح در امتداد ترموسیفون با نتایج تجربی در شرایط مشابه مقایسه شد. نشان داده شد که نتایج پیش بینی شده با نتایج تجربی تطابق خوبی دارد. عملکرد حرارتی ترموسیفون نیز در توان عملیاتی حرارتی های مختلف توصیف شد و مشاهده شد که افزایش توان حرارتی ورودی بالای ۱۷۲ وات باعث بهبود عملکرد حرارتی ترموسیفون می شود. استورچ^۱ و همکاران [۴] در مطالعه ای در سال ۲۰۱۱ به مشاهدات بصری در داخل یک لوله حرارتی زمین گرمایی پرداختند. بازدهی لوله های حرارتی زمین گرمایی با توجه به قانون فروریزش فیلم تبخیر، به ترشدگی سطح داخلی لوله بستگی دارد. با توجه به این که هیچ روش اندازه گیری استاندارد برای بررسی فرآیندهای داخل یک لوله حرارتی زمین گرمایی به خصوص فرآیند سقوط فیلم مایع در دسترس نمی باشد، بنابراین نویسندگان مشاهدات بصری را لازم دانستند. نویسندگان برای فراهم نمودن مشاهدات بصری از فرآیندهای درونی داخل یک لوله حرارتی زمین گرمایی با سیال عامل پروپان، یک سیستم قفل فشار برای سر لوله حرارت ایجاد کردند. بنابراین به وسیله آن، یک دوربین کوچک می تواند برای مشاهدات بصری وارد بخش لوله ی حرارتی شود. انجانکار^۲ و همکاران [۵] به بررسی تجربی اثر طول کندانسور بر عملکرد ترموسیفون پرداختند. در این مطالعه عملکرد حرارتی یک ترموسیفون دو فازی بسته عمودی با سرعت جریان های مختلف به کندانسور و میزان حرارت مختلف وارد به اواپراتور با طول های مختلف کندانسور به صورت تجربی بررسی شده است. اسمایی و همکاران [۶] به تجزیه و تحلیل عملکرد حرارتی نانو سیال در یک لوله گرمایی ترموسیفون با استفاده از مدل سازی CFD پرداختند. در این مطالعه مدل دینامیک سیالات محاسباتی برای شبیه سازی یک ترموسیفون با جریان دو فازی شامل تغییر فاز انتقال حرارت ارائه داده شد. فدل^۳ و همکاران [۳] به مدل سازی عددی توزیع دما در یک ترموسیفون دو فازی بسته پرداختند. در این مطالعه، یک مدل جامع CFD برای شبیه سازی جزئیات جریان دو فاز و انتقال حرارت در طول بهره برداری از یک لوله گرمایی و یا ترموسیفون ارائه شد. آب به عنوان سیال کاری استفاده شد.

⁵ Finite difference

⁶ Finite volume

⁷ Finite element

¹. Storch

² P.G. Anjanekar

³ Bandar Fadhil

⁴ Computational Fluid Dynamics(CFD)

$$+ \sum_{j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \sum_{i=1}^3 \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \right] + S_{f,i}$$

معادله مومنتم در سراسر دامنه‌ی محاسباتی حل شده و سرعت محاسبه شده در میان فازها به اشتراک گذاشته می‌شود.

۲-۵- معادله انرژی برای مدل VOF

معادله‌ی انرژی برای مدل VOF به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\rho E) \\ & + \sum_{j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho E u_j) \\ & = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \left(\frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij}) u_i \right) - \sum_{j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_j} q_j + S_E \end{aligned} \quad (4)$$

که در این معادله، E انرژی کل بر واحد جرم می‌باشد و S_E ترم منبع انرژی مورد استفاده برای محاسبه انتقال حرارت در طول فرآیند تبخیر و چگالش است.

هدایت حرارتی در مدل VOF از معادله‌ی زیر بدست می‌آورد:

$$k = \sum_{m=1}^2 \alpha_m k_m \quad (5)$$

همچنین مدل VOF، با درجه حرارت (T) و انرژی (E) به عنوان یک متغیر متوسط‌گیری شده از جرم رفتار می‌کند که در معادله‌ی زیر دیده می‌شود:

$$E = \frac{\sum_{k=1}^2 \alpha_k \rho_k E_k}{\sum_{k=1}^2 \alpha_k \rho_k} \quad (6)$$

که در این از E_k انرژی بر واحد جرم هر فاز است که بر پایه‌ی گرمای ویژه‌ی هر فاز و دما می‌باشد. خط واصل بین دو فاز توسط کسر حجمی ردیابی می‌شود. بنابراین می‌توان با موازنه‌ی جرمی در خط اتصال فازها، معادله‌ی بقای کسر حجمی را به صورت زیر بیان کرد:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + u \cdot \nabla \alpha = 0 \quad (7)$$

مدل VOF متکی بر این واقعیت است که هر سلول در دامنه‌ی محاسباتی توسط یک فاز و یا ترکیبی از این دو فاز اشغال می‌شود.

به عبارت دیگر، اگر α_L کسری حجم مایع است و α_V کسر حجمی بخار باشد، سه شرایط زیر امکان‌پذیر است:

الف) $\alpha_L = 1$: سلول تماماً توسط مایع اشغال شده است.

مش ثابت اعمال کرد. در مدل VOF، مجموعه‌ای از معادلات ناوییر-استوکس از طریق دامنه محاسباتی حل می‌شود و با تعریف کسر حجمی هر فاز، برای ردیابی حرکت فازهای مختلف استفاده می‌شود. در مدل VOF، مجموع کسر حجمی تمام فازها در هر حجم کنترل برابر با یک است. در مدل‌سازی CFD، معادلات ناوییر-استوکس به صورت هم‌زمان حل می‌شوند.

۲-۲- معادلات ناوییر-استوکس برای مدل VOF

معادلات حاکم پیوستگی جرم، مومنتوم و انرژی برای توصیف حرکت سیال در ترموسیفون استفاده می‌شود که در این بخش توضیح داده خواهد شد.

۲-۳- معادله پیوستگی برای مدل VOF

با اعمال اصل فیزیکی بقای جرم به مایع، معادله پیوستگی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho) + \sum_{j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = S_M \quad (1)$$

در معادله‌ی ۱-۳-۱۶ ρ چگالی سیال دو فاز، u_j مولفه‌ی سرعت و S_M ترم جرمی مورد استفاده برای محاسبه انتقال جرم در طول تبخیر و چگالش است.

در این معادله و همچنین معادلات مومنتوم و انرژی که در ادامه آورده می‌شود، چگالی (ρ) و ویسکوزیته (μ) سیال به کسر حجمی هر فاز α_k بستگی دارد که از معادلات زیر محاسبه می‌شوند:

$$\begin{aligned} \rho &= \sum_{k=1}^2 \alpha_k \rho_k \\ \mu &= \sum_{k=1}^2 \alpha_k \mu_k \end{aligned} \quad (2)$$

۲-۴- معادله مومنتوم برای مدل VOF

نیروهای گرانشی، فشاری، اصطکاک و کشش سطحی به عنوان نیروهای وارد بر سیال در نظر گرفته شده است. به منظور در نظر گرفتن اثر کشش سطحی در امتداد خط واصل بین دو فاز، مدل نیروی سطحی پیوسته که توسط برک‌بیل^۱ همکاران [۲۲] پیشنهاد شد ($S_{f,i}$)، به معادله‌ی مومنتوم اضافه می‌شود. با در نظر گرفتن نیروهای فوق، معادله‌ی حرکت برای مدل VOF به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \sum_{j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial P}{\partial x_i} \quad (3)$$

1. Brackbill

ب) $\alpha_L = 0$: سلول تماماً توسط بخار اشغال شده است.

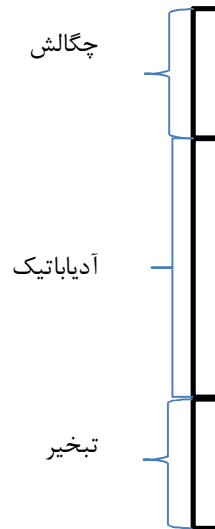
پ) $0 < \alpha_L < 1$: سلول توسط مایع و بخار اشغال شده است.

در ترم‌های منبع انتقال جرم و حرارت معادلات پیوستگی جرم و انرژی پیشنهاد شده توسط دی اسپچر^۱ [۲۳] آورده شده است.

۳- معرفی مسئله

در راندمان لوله های حرارتی عامل های مختلفی مانند طول و عرض لوله و نوع سیال عامل تاثیر گذارند. در این مقاله ترموسیفون به صورت یک لوله مسی که از سه قسمت تبخیر و ایزوله و قسمت چگالش تشکیل شده، شبیه سازی می شود. آب به عنوان سیال عامل می باشد و تاثیر طول لوله را در انتقال حرارت از ناحیه تبخیر به ناحیه چگالش بررسی می کنیم.

شکل ۱ نمای دو بعدی ترموسیفون فوق همراه با اندازه های آن در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ نمای دو بعدی ترموسیفون

جدول ۱- مشخصات هندسه لوله گرمایی

مقادیر (mm)	موقعیت استفاده (*)
۱۲۰۰	طول آدیاباتیک
۴۰۰	طول اوپراتور
۴۰۰	طول کندانسور
۱۷,۵	قطر لوله گرمایی

۴- نتایج

۴-۱- اعتبار سنجی

جهت اعتبار سنجی نتایج بدست آمده با نتایج پژوهش علیزاده داخل^۲ و همکاران [۲] مقایسه شده است.

ابتدا مسئله را با شرایط پژوهش علیزاده داخل^۲ و همکاران [۲] را حل می کنیم و نتایج را باهم بررسی می کنیم.

یک لوله حرارتی در نرم افزار گمبیت رسم نموده و با استناد به مقاله آقای علیزاده داخل^۲ و همکاران [2] به تعداد ۴۷۱۲۴ شبکه بندی می کنیم. شایان ذکر است که این شبکه در هر دیواره دارای ۵ ردیف لایه مرزی با ریشه اولیه 0.1mm و با ضریب رشد ۱,۲ می باشد.

مسئله با انسیس فلونت ۱۵ با الگوریتم سیمپل حل میشود. مدل دو فازي با شرایط ناپایا و آرام و گام زمانی ۰,۰۰۱ و با ۱۰۰۰۰ تکرار در نظر گرفته می شود شایان ذکر است که در تمامی شرایط شار حرارتی ورودی و خروجی طبق مقاله ۲۹۳۱۸ وات بر متر مربع در نظر گرفته شده است. در جدول ۲ مشخصات هندسه لوله گرمایی فوق آمده است.

جدول ۲- مشخصات هندسه لوله گرمایی

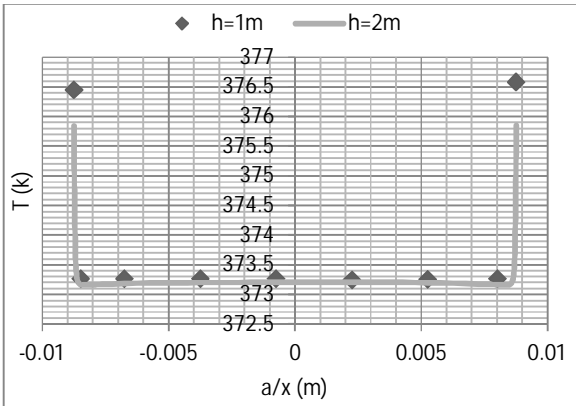
مقادیر (mm)	موقعیت استفاده (*)
۶۰۰	طول آدیاباتیک
۲۰۰	طول اوپراتور
۲۰۰	طول کندانسور
۱۷,۵	قطر لوله گرمایی

در شکل ۲ دمای دیواره لوله با مشخصات مندرج در جدول ۲ پس از حل بررسی و با دمای دیواره لوله بدست آمده در مقاله علیزاده داخل^۲ و همکاران [۲] مقایسه می شود. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود دما در منطقه تبخیر بالا بوده و در منطقه چگالش به دلیل انتقال حرارت به سمت بیرون لوله حرارتی، پایین می آید. در نتیجه با توجه به نمودار شکل ۲ شاهد اختلاف زیادی در نقاط مشابه نمی باشیم و اعتبار سنجی درست می باشد.

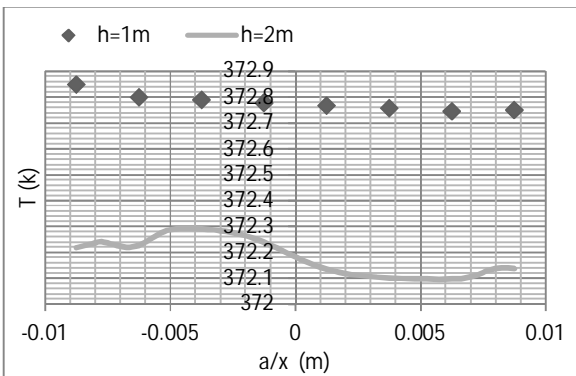
2. Alizadehdakhel

1. De Schepper

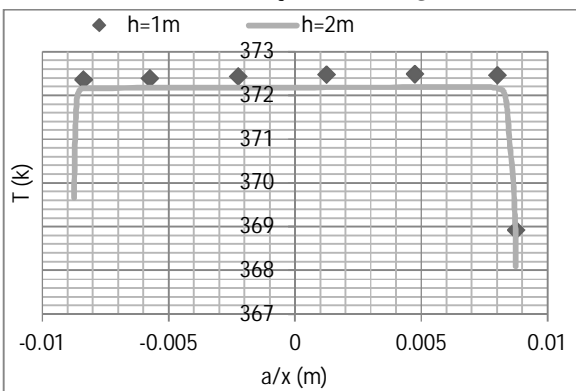
قرار گرفته است ، مشاهده می شود که در راستای افقی به دلیل آدیاباتیک بودن لوله دما تقریباً یکسان می باشد در حالی که در شکل ۷ عکس نتایج مربوط به شکل ۵ را مشاهده می کنیم زیرا که انتقال حرارت به سمت بیرون لوله حرارتی بوده و در نزدیکی بدنه لوله انتقال حرارت شدیدتر می باشد.



شکل ۵ مقایسه دما در منطقه تبخیر

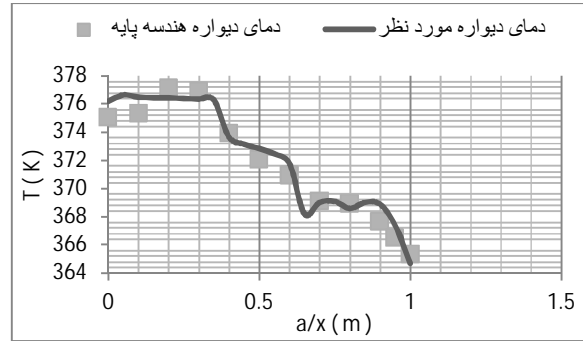


شکل ۶ مقایسه دما در منطقه آدیاباتیک

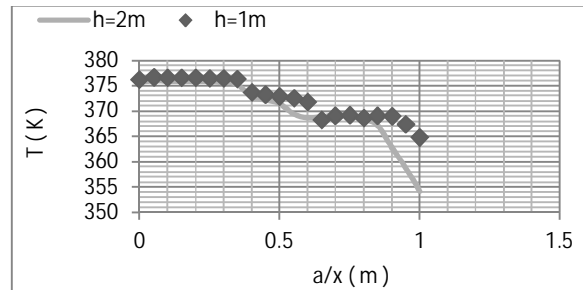


شکل ۷ مقایسه دما در منطقه چگالش

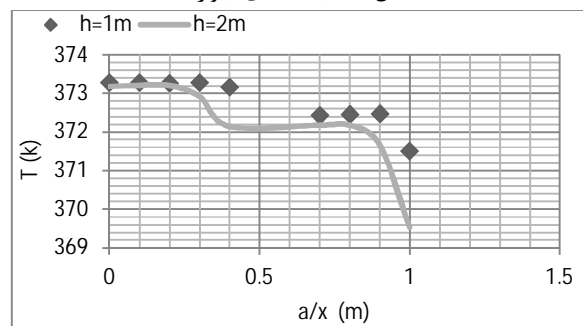
در شکل ۸ نمودار فاز بخار در دو هندسه با طول های مختلف با هم مقایسه شده و نتایج مشابه ای بدست آمده است. لذا همانطور که می بینیم فاز بخار در منطقه تبخیر کمترین مقدار و در منطقه چگالش بیشترین مقدار را در بر دارد.



شکل ۲ مقایسه دمای دیواره لوله با هندسه پایه جهت اعتبار سنجی در نمودار شکل ۳ طبق مشخصات جدول ۱ هندسه را با دو برابر کردن طول لوله تغییر داده و مسئله را حل می کنیم و دمای دیواره لوله را در نقاط مشابه و متناسب با هندسه پایه بررسی می کنیم. چنانکه مشاهده می شود با ازدیاد طول لوله اختلاف زیادی در روند انتقال دما در نقاط مختلف لوله به وجود نمی آید. همین کار را در مرکز لوله نیز به صورت عمودی تکرار می کنیم و با توجه به نمودار شکل ۴ نتایج مشابه ای را بدست می آوریم.



شکل ۳ مقایسه دمای دیواره

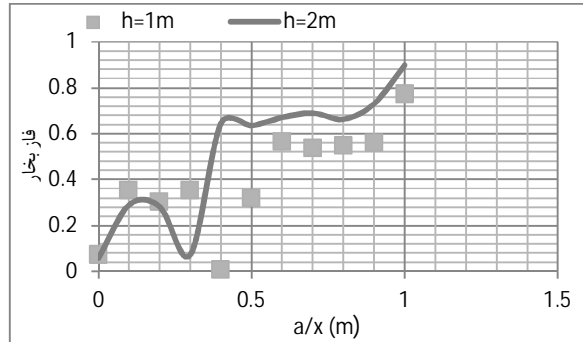


شکل ۴ مقایسه دما در مرکز لوله

در شکل ۵ دما را به صورت افقی در ناحیه تبخیر بررسی می کنیم. همانطور که مشاهده می شود دما در دیواره لوله بالاتر از قسمت مرکزی لوله بوده چرا که در بدنه لوله انتقال حرارت از بیرون به سمت داخل لوله بیشتر می باشد و در داخل لوله به دلیل وجود سیال دما نسبتاً پایین تر می باشد. این موضوع در هر دو مورد هندسه پایه و هندسه تغییر یافته صدق می کند و نتایج مشابه ای را شاهد می باشیم. اما در شکل ۶ که منطقه آدیاباتیک مورد بررسی

۶- مراجع

- [1] Huminic, Gabriela, and Angel Huminic. "Numerical study on heat transfer characteristics of thermosyphon heat pipes using nanofluids." *Energy Conversion and Management* 76 (2013): 393-399.
- [2] Alizadehdakhel, Asghar, Masoud Rahimi, and Ammar Abdulaziz Alsairafi. "CFD modeling of flow and heat transfer in a thermosyphon." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37.3 (2010): 312-318.
- [3] Fadhl, Bandar, Luiz C. Wrobel, and Hussam Jouhara. "Numerical modelling of the temperature distribution in a two-phase closed thermosyphon." *Applied Thermal Engineering* 60.1 (2013): 122-131.
- [4] Storch, Th, et al. "Visual observations inside a geothermal heat pipe." *Proc. of VIII Minsk International Seminar "Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources"*, Minsk, Belarus. 2011.
- [5] Anjekar, P. G., and Dr RB Yarasu. "Experimental analysis of condenser length effect on the performance of thermosyphon." *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 2.3 (2012): 494-499.
- [6] Asmaie, L., et al. "Thermal performance analysis of nanofluids in a thermosyphon heat pipe using CFD modeling." *Heat and Mass Transfer* 49.5 (2013): 667-678.



شکل ۸ نمودار فاز در مرکز لوله

۴-۲- نتیجه گیری

با نتایج بدست آمده هدف این پروژه که شبیه سازی انتقال حرارت در لوله های حرارتی که به شکل دو بعدی بوده برآورده شد اما هدف دیگر در این پژوهش بدست آوردن جواب های قابل قبول و منطقی برای حل مسأله می باشد که این پاسخ های شبیه سازی با داده های طراح که از نرم افزار انسیس فلونت بدست آمده ، مورد راستی آزمائی قرار گرفت . پس از مقایسه ی نتایج می توان گفت ، جواب های قابل قبول و منطقی از این شبیه ساز گرفته شد. در مدل سازی مسائل و مشکلات مختلفی باعث به وجود آمدن خطاهای مختلف در مدل سازی می شود. به این ترتیب در این مقاله نشان داده شده است که لوله های حرارتی با طول بیشتر نیز می تواند مدل سازی شود و در تحقیقات علمی و صنایع گوناگون مورد استفاده قرار گیرد.

۵- فهرست علائم

E انرژی کل بر واحد جرم
 S_m ترم جرمی
 S_e ترم منبع انرژی
 u_j سرعت (ms^{-1})
 T دما (K)

علائم یونانی

ρ چگالی (kgm^{-3})
 μ لزجت دینامیکی ($kgm^{-1}s^{-1}$)
 α_k کسر حجمی هر فاز

زیرنویس ها

VOF کسر حجمی مایع
 CFD دینامیک سیالات محاسباتی