



بررسی تجربی اثر بار حرارتی لوله ترموسیفون با هدایت حرارت متغیر با استفاده از گوی مغناطیسی

هادی احمدی^{۱*}، محمد بهشاد شفیعی^۲، فریده عتابی^۳

۱- مرکز تحقیقات مهندسی سیستم های انرژی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، تهران

۲- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

۳- دانشیار، مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، تهران

*تهران، صندوق پستی ۲۹۸۴۵، h_ahmadi@srbiau.ac.ir

چکیده

پیشرفت روز افزون صنایع و همگام با آن بالا رفتن هزینه انرژی سراسر دنیا، باعث شده است که مهندسان همواره به دنبال وسایلی باشند که توانایی انتقال مقادیر بالای حرارت در مساحت های طولی و البته با افت درجه حرارت کم و همچنین مصرف انرژی کمتر نسبت به تجهیزات سنتی داشته باشند. در این بین لوله های حرارتی از نوع ترموسیفون توجه زیادی را به خود جلب کرده اند. هدف اصلی این پروژه بررسی عملکرد نوع خاصی از لوله های حرارتی ترموسیفون با ضریب هدایت متغیر است که با تغییرات در بار گرمای ورودی یا دمای تبخیر کننده بتوانیم دمای تبخیر کننده را ثابت نگه داریم. این کار را با استفاده از قراردادن گوی فلزی در قسمت تبخیر کننده لوله ترموسیفونی انجام دادیم. بنا به شرایط موجود و گفته شده، اساس کار نیازمند تجهیزات آزمایشگاهی بود که با فراهم ساختن آنها برای اندازه گیری مقدار در صد پرشدگی لوله از سیال عامل، میزان اتلاف و ضریب انتقال حرارت جابه جایی و کلی بر روی لوله حرارتی با ضریب متغیر را بررسی کردیم. نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد لوله حرارتی در بار حرارتی ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ وات بر متر مربع با توجه به تغییرات اندازه قسمت تبخیر کننده متفاوت است. بهترین عملکرد ترموسیفون با مقایسه این داده ها در بیشترین مقدار بار حرارتی ۱۲۰ وات و در کمترین طول غیر فعال قسمت تبخیر کننده بین ۰ تا ۱،۵ سانتی متر بود.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۶ دی ۱۳۹۶

پذیرش: ۲۵ اسفند ۱۳۹۶

ارائه در سایت: ۱۵ اردیبهشت ۱۳۹۷

کلیدواژگان

ترموسیفون

هدایت حرارت متغیر

لوله حرارتی

Experimental Study of Thermosyphon variable conductivity heat pipe loads using magnetic balls And calculate the overall heat transfer coefficient

Hadi ahmadi^{1*}, Mohammad Behshad Shafii², Farideh Atabi³

1- Energy Engineering Research Center, Science and Research Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Sharif University, Tehran, Iran

3- Department of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran

*P.O.B29845 Tehran, Iran, h_ahmadi@srbiau.ac.ir

Article Information

Original Research Paper

Received 27 December 2017

Accepted 16 March 2018

Available Online 5 May 2018

Keywords

Thermosyphon

Variable Conductivity

Heat pipe

ABSTRACT

Increasing development of industry And keep pace with the rising cost of energy around the world Has meant that engineers are always looking for items The ability have to transfer large amounts of heat in the area of long and low, with a drop in temperature as well as lower power consumption than traditional equipment . Thermosyphon heat pipe type have attracted much attention. The main purpose of this project Evaluate the performance of a particular type of thermosyphon heat pipe with variable conductivity. The heat input to changes in load or temperature evaporation temperature of the evaporator can be fixed. We did this by using the metal balls in the evaporator tube thermosyphon . According to the current situation

Please cite this article using:

Hadi ahmadi, Mohammad Behshad Shafii, Farideh Atabi, Electronic Experimental Study of Thermosyphon variable conductivity heat pipe loads using magnetic balls And calculate the overall heat transfer coefficient, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 9, No. 1, pp. 7-19, 2018 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

and said Laboratory equipment was required by the With to provide for measuring The rate of fluid filling tube , We study on heat pipe with variable coefficients The loss and the overall heat transfer coefficient. The results showed that Performance of the heat pipe is different in the thermal load 30, 60, 90, 120 watts per square meter due to changes in the size of the evaporator . The best performance of themosyphon was by comparing the data on the maximum amount of heat load of 120 watts at least during the inactive part of the evaporator between 0 to 1.5 cm.

۱- مقدمه

در چندین سال گذشته وسایل انتقال حرارت مانند لوله گرمایی و ترموسیفون نقش بسیار مهمی را در زمینه های متنوع مهندسی مانند مدیریت انتقال حرارت در دستگاه های الکتریکی ، پیش گرم کن ها و انتقال حرارت در واکنش های انفجاری ، راکتور ها و نیروگاه های هسته ای و غیره ایفا کرده اند. [۱] به علت ضریب و شدت بالای انتقال حرارت در فرآیندهای مختلف، مهندسیین طراح برانند که در چرخه های انتقال حرارت از نوع خاصی از لوله های حرارتی استفاده کنند. نمونه خیلی مهم از پدیده های انتقال حرارت ، ترموسیفون با انتقال حرارت هدایت متغیر است. [۱] در لوله گرمایی معمولی ، دمای عملکرد توسط شرایط چشمه و چاه مشخص می شود. بنابراین تغییرات در بار گرمایی ورودی یا دمای تبخیر کننده باعث تغییرات در دمای کندانسور می شود. بنابراین ضریب هدایت لوله گرمایی معمولی وقتی که خیلی بلند است ، تقریباً پارامتری ثابت است. بنابه کاربردهای خاص ، نیاز است که دمای کندانسور یا تبخیر کننده با تغییرات بار گرمایی ورودی، ثابت نگه داشته شود . لوله گرمایی معمولی به خاطر ضریب هدایت ثابت ، در کنترل این نوع درجه حرارت ناتوان است. [۱] دستگاهی برای این نوع عملکرد طراحی شده است که لوله گرمایی با ضریب هدایت متغیر (VCHP) نامیده شده است. [۲] اهمیت این نوع سیستم به دلیل طراحی ساده و ساخت آسان ، اختلاف دمای کم دو سر آن ، کاربرد در گستره دمای بالا و توانایی آن در کنترل و انتقال گرمای بالا در دما های گوناگون ، نسبت به سایر سیستم هاست. روش های مختلفی برای متعادل کردن تغییرات در دمای عملکرد در مقابل تغییرات شرایط عملکرد توسط تغییر یافتن ضریب هدایت گرمایی کل لوله گرمایی یا ترموسیفون به کار رفته است. از این روش ها می توان به لوله های گرمایی با مایع اضافی ، لوله گرمایی مدوله شده یا تنظیم شده با جریان بخار ، لوله گرمایی تنظیم شده با جریان مایع و لوله گرمایی حامل گاز غیر قابل تراکم و چگالش اشاره کرد. [۲] در لوله گرمایی با مایع اضافه ، که از سیال عامل مایع اضافی ، برای بی اثر کردن و غیر فعال

کردن قسمتی از بخش کندانسور ، استفاده می شود، تغییرات در بار گرمایی ورودی ، تغییرات در فشار سیال کنترل در دمنده را نتیجه می دهد. حرکت محفظه هوا ، مقدار سیال عامل داخل بخش کندانسور را تغییر می دهد که قسمتی از بخش کندانسور را غیر فعال می کند. این تغییرات ضریب هدایت کلی ، قادر می سازد که لوله گرمایی شرایط چاه گرمایی مورد نظر خود را حفظ کند. در سیستم لوله گرمایی مدوله شده یا تنظیم شده با جریان بخار، تغییر دادن ضریب هدایت کلی لوله گرمایی تنظیم شده با جریان بخار انجام می شود. در این سیستم ، تغییر در بار گرمایی ورودی ، سیال کنترل در داخل محفظه هوا را تغییر می دهد. حرکت حاصل از محفظه هوا هم باعث باز شدن و یا هم بسته شدن شیر دریچه کنترل بخار می شود. افت فشار و دمای حاصل ، تغییرات در بار گرمایی ورودی را موازنه و متعادل می کند و اجازه می دهد که لوله گرمایی با شرایط چاه گرمایی ثابت ، عمل کند. [۲] در لوله گرمایی تنظیم شده با جریان مایع ، تغییر دادن ضریب هدایت کلی از طریق مدولاسیون و تعدیل جریان مایع ، معرفی می شود. این نوع VCHP می تواند با دو شکل باشد مانند دیود گرمایی معمولی که دارای قابلیت جریان حرارت جهت دار است و کم رایج ترین VCHP است که نرخ باز گشت مایع را در فتهای تغییر می دهد تا شرایط هم دما فراهم گردد. نوع دوم لوله گرمایی تنظیم شده با جریان مایع ، به واسطه مکانیزم فوق العاده حساس و ظریف به طور کامل تکمیل و اجرا نشده است و به کنترل نرخ جریان مایع در فتهای نیاز دارد . به هر حال دیودهای گرمایی مشترک هستند و در خیلی کاربردها استفاده قرار می گیرند. و در نهایت رایج ترین لوله گرمایی با ضریب هدایت متغیر ، لوله گرمایی حامل گاز است ، این نوع لوله گرمایی با ضریب هدایت متغیر، از مقدار ثابتی از گاز غیر قابل امتزاج برای کنترل دمای دمای عملکرد، استفاده می کند . [۲] در حین عملکرد لوله گرمایی حامل گاز غیر قابل کندانس امتزاج توسط بخار به سمت بخش کندانسور هدایت می شود. از آن جایی که گاز، غیر قابل کندانس شدن است ، در بخش کندانسور باقی می ماند، و به شکل مانعی برای جریان بخار و کندانس شدن در می آید. این مانع به طور موثر، انتقال حرارت

¹-Variable Conductance Heat Pipes

جابه جایی را در قسمت غیر فعال کندانسور، حذف می کند. بنابراین فراهم کردن مکانیزم کنترل برای شرایط چاه گرمایی لازم است. زمانی که ورود گرما افزایش پیدا می کند، افزایش در دما و فشار بخار را داریم. این افزایش در فشار بخار، توده گاز غیر قابل کندانس را متراکم و فشرده می کند و باعث فعال شدن بیشتر بخش کندانسور می شود. از آنجایی که بیشتر کندانسور برای انتقال حرارت جابه جایی، در دسترس است، انتقال حرارت از کندانسور افزایش پیدا می کند و دمای کندانسور ثابت باقی می ماند این کنترل اجازه می دهد که لوله گرمایی حامل گاز در شرایط تقریباً هم دمای کندانسور با تغییرات باز گرمایی ورودی تبخیر کننده، کار می کند به هرحال مقدار تغییرات باز گرمایی ورودی که برای کندانسور هم دما نگه داشته شده است، به خصوصیات فیزیکی مختلف سیال عامل و گاز غیر قابل امتزاج و نیز ساختار لوله گرمایی، بستگی دارد. [۲]

۱-۱- کارهای صورت گرفته

ویلیام ج اندرسون و همکاران [۳] در سال ۲۰۰۸ تحقیقی تحت عنوان لوله های حرارتی با ضریب متغیر در سیستم های استرلینگ رادیو ایزوتوپ انجام دادند. در این تحقیق سیستم رادیو ایزوتوپ استرلینگ حرارت به طور پیوسته از ماژول GPHS^۱ حذف می شود تا ماژول GPHS و عایق کاری دور آن در دمای قابل قبولی بماند. به طور طبیعی تبدیل کننده استرلینگ این سرمایه را فراهم می کند. اگر در این سیستم موتور استرلینگ خاموش شود عایق کاری طراحی شده برای جلوگیری از خسارت به GPHS از بین می رود اما همچنان فعالیت دستگاه خاتمه یافته است. به همین خاطر لوله حرارتی با ضریب هدایت متغیر با جنس قلبیایی طراحی شده است و اجازه چندین بار قطع و وصل شدن موتور استرلینگ را می دهد. این لوله حرارتی برای ژنراتور رادیو ایزوتوپ استرلینگ پیشرفته (ASRG)^۲ با حداکثر دمای هیتر ۸۵۰ درجه سانتی گراد طراحی شد. لوله حرارتی با اختلاف دمای ۳۰ درجه سانتی گراد روشن می شود که حداکثر کافی برای ریست استاندارد در عملکرد ASRG نیست. ولی حداقل کافی برای حفظ کردن عمر هیتر، هست این لوله گرمایی جرم کمی دارد و اتلاف گرمایی کمتر برای عملکرد نرمال دارد. به علاوه در این طراحی لوله حرارتی با ضریب هدایت متغیر با سیال عامل سدیم و پتاسیم (NAK) ساخته شد و تست شد. از آنجایی که NAK به طور نرمال در لوله های حرارتی مورد

استفاده قرار نمی گیرد این مزیت را به همراه دارد که در دمای عملکرد مخزن مایع است در حالی که سدیم یا پتاسیم به تنهایی یخ می زنند. لوله حرارتی با ضریب هدایت متغیر دارای دو کندانسور است. یکی هد هیتر را شبیه سازی می کند و دیگری رادیاتور را شبیه سازی می کند. آزمایشات به طور موفقیت آمیز عملکرد با کندانسور با هد هیتر شبیه سازی شده خاموش و روشن ر نشان می دهد. در حالی که اجازه داده شده است دمای مخزن حول ۴۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی گراد تغییر کند ماکزیمم رنج مورد انتظار می باشد. در تطابق با تست های قبلی لوله گرمایی NAK اختلاف دمای تبخیر کننده تقریباً ۷۰ درجه سانتی گراد بوده است که این اختلاف دما به واسطه تقطیر NAK در تبخیر کننده می باشد. ریچارد بونر و همکاران [۴] در سال ۲۰۰۸ در شرکت فن آوری های خنک کننده پیشرفته در شهر لنکستر، کنترل دما برای مبدل های گرمایی غیر فعال توسط لوله های گرمایی هدایت متغیر انجام دادند. از آنجایی که مبدل های حرارتی از جریان خروجی که اغلب شامل فرآیندهایی است که به دما بسیار حساس هستند تغذیه می کنند، برای همین کنترل دما در این مجموعه ضروری به نظر می رسید. با استفاده از لوله های VCHP برای کنترل دمای خروجی مبدل حرارتی، مقداری گاز غیر قابل میعان تجویز شد. با انقباض و منبسط شدن گاز غیر قابل میعان در قسمت کندانسور لوله حرارتی، فشار کاری بخار اشباع و درجه حرارت لوله تغییر یافت. در نتیجه دمای اواپراتور VCHP بدون در نظر گرفتن شرایط عملیاتی، تقریباً ثابت در نظر گرفته شد. مدل ناپایدار برای مبدل VCHP شامل داده های تجربی برای کنترل دمای خروجی جریان هیدروژن که بیشتر در سلول سوختی کاربرد دارد استفاده می شود. نتایج این نوع تحقیق در نیروی دریایی برای کاربرد در سلول های سوختی طراحی و ساخته شد. داده های تجربی نشان داد که مدل VCHP برای حفظ کنترل دمای فعال در طراحی اندازه واقعی مورد تایید قرار گرفت. در سال ۲۰۰۹ ویلیام ج اندرسون و همکاران [۵]، در شرکت فناوری های خنک کننده پیشرفته در هلند، تحقیقی با عنوان رادیاتور با لوله های هدایت متغیر برای محیط سیاره مریخ و ماه انجام دادند. در این تحقیق رادیاتور های عملیاتی باید طوری طراحی می شد که جوابگویی تغییرات دمایی در بازه ۲۱۰-۳۱۵ کلوین برای شرایط شب و روز دو سیاره مریخ و ماه می شد. لوله های حرارتی هدایت متغیر توانست این شرایط در حال تغییر را تنظیم کند. با طراحی این نوع رادیاتور به کمک لوله های

¹ General Purpose Heat Source

² Advanced Stirling radioisotope generator

همکاران [۷] در دانشگاه لیل فرانسه، به منظور مدیریت حرارتی خودرو تحقیقاتی روی لوله های هدایت متغیر انجام دادند. هدف از این پژوهش کاهش مصرف انرژی موتور خوردور بعد از استارت اولیه بوسیله کنترل حرارت چرخه خنک کننده روغن بود. مدل تئوری براساس روش گره و پایلوت آزمایشگاهی به منظور مطالعه عملکرد لوله حرارت هدایت متغیر از جنس مس و نیتروژن بعنوان گاز غیر قابل میعان و سیال عامل آب ارائه شد. کارایی vchp به عنوان سویچ حرارتی با دمای استارت ۸۰ درجه سانتی گراد تعریف شد. تاثیر تغییر شیب زاویه در این آزمایش مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین اثر دبی جرمی هوا در کندانسور و شیب زاویه بر عملکرد VCHP بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان داد که عملکرد vchp با زاویه شیب کمتر که سبب بازگشت مایع به اواپراتور می شود بهبود می یابد. مدل نقطه های نیز نشان داد که لوله فلزی معمولی و لوله استاندارد معمولی و ظرف لوله ای برای خنک کاری سیستم با کنترل تاخیری مناسب نیست. مخزن گاز غیر قابل میعان متصل به vchp سیستم هدایت متغیر سازگار با کنترل تاخیر در vchp استارت می کند. این مدل توانست به عنوان یک سوئیچ در طول استارت خودرو برای برآورد مصرف سوخت و میزان آلودگی تولید شده استفاده قرار بگیرد و برای جلوگیری از هر نوع رسوب عایق شده حاصل از روغن متصل به vchp مورد استفاده می گیرد. در سیستم توان رادیو ایزوتوپ استرلینگ گرما را باید بطور مداوم از ماژول GPHS حذف شود و با عایق کاری دور آن در دمای قبولی بماند. بدین منظور کالین تاروو و کارل.س و ویلیام اندرسون [۸] در سال ۲۰۱۳ در مرکز تحقیقاتی گلن و ناسا پروژه ای تحت عنوان لوله های حرارتی با ضریب هدایت متغیر برای خنک سازی مولد منع گرما و مبدل استرلینگ انجام دادند. تبدیل کننده استرلینگ سرمایه لازم را فراهم می کند. اگر در این سیستم موتور استرلینگ خاموش شود، عایق کاری طراحی شده برای جلوگیری از صدمه و خسارت به GPHS از بین می رود. بدین جهت لوله حرارتی با ضریب هدایت متغیر با جنس فلز قلبیایی طراحی شده و با اجازه چندین با قطع و وصل شدن موتور استرلینگ این امکان را می دهد. در برنامه های قبلی ناسا، فن آوری های خنک کننده پیشرفته، یک سری از VCHP های با سیال عامل سدیم را بعنوان خنک کننده پشتیبان برای سیستم های استرلینگ توسعه داد. بهره برداری از این VCHP ها با استفاده از شبیه سازی استرلینگ برای سر هیترو و GPHS نشان داده شد. در فعالیت های اخیر مرکز تحقیقات گلن- ناسا از

VCHP و تزریق سیال عامل گاز غیر قابل میعان (NCG)^۱ در هر یک از این لوله ها رادیاتور، بخش فعال کندانسور با تغییر دادن بار حرارتی یا دمای مخزن تنظیم شد. در لوله های حرارتی با هدایت حرارتی ثابت بدون گاز NCG، ممکن بود در اثر تصعید یا تبخیر همه سیال عامل در کندانسور به یخ تبدیل شود یا این که پدیده خشک شدگی رخ دهد. در این تحقیق کارایی VCHP با سیال عامل آب و جنس تیتانیوم برای شرایط محیطی سیاره ماه و مریخ شبیه سازی شد. نتایج نشان داد که لوله حرارتی VCHP برای یک دوره انجماد ۱۵ روزه قادر به حفظ افت درجه حرارت تا ۱۵ درجه کلون می باشد. عملکرد بهتری نسبت به لوله های حرارتی معمولی داشت. در سال ۲۰۱۱ چنگ منگ شی و همکاران [۶] در دانشکده مهندسی برق چونگ کینگ چین، تحلیلی در مورد انتقال حرارت لوله های گرمایی هدایت متغیر در سیستم پیش گرم کن هوا انجام دادند. ماتریس انتقال حرارت بدست آمده برای پیش گرم کن هوا شامل چند واحد انتقال حرارت گسسته با سطح مقطع برابر یا متفاوت برای جریان سیال موازی شده و عمود بر آن ثبت گردید. با استفاده از ماتریس انتقال حرارت دما، دمای جریان خروجی سیستم با توجه به پیش گرم کن هوا و دمای جریان ورودی محاسبه گردید. طول فعال کندانسور لوله حرارتی هدایت متغیر با توجه به مدل رابطه ای سطح تعیین کردند. بین پیش گرم کن هوا با لوله های هدایت متغیر و پیش گرم کن هوا با لوله معمولی از نظر درجه حرارت جداره لوله و انتقال حرارت سطح ناحیه و درجه حرارت جریان خروجی مقایسه کردند. عملکرد پیش گرم کن هوا با لوله هدایت متغیر بهتر بود. با توجه به اساس کار در کاربرد صنعت واقعی به منظور اثر ضد خوردگی و ضد رسوب در شرایط کاری مختلف برای این نوع پیش گرم کن های هوا با کسر جرمی ۵ درصد تا ۶ درصد استفاده می شود. ماتریس انتقال حرارت مبدل حرارتی که از چند واحد انتقال حرارت تشکیل شده تحت جریان موازی و بالعکس بدست آوردند. رابطه دمای ورودی و خروجی از همین ماتریس بدست آورده شد. از آنجا که هدایت متغیر این نوع لوله های در پیش گرم کن ها دارای قابلیت منحصر به فردی است پیشنهاد داده شد که در بویلر های صنعتی با شرایط متغیر بزرگ مورد استفاده قرار گیرد. همچنین این نوع مبدل حرارتی هدایت متغیر برای ذغال سنگ با درصد گوگرد بالا عملکرد بسیار خوب از نظر عملیات رسوب زدایی و ضد زنگ زدگی دارد. در سال ۲۰۱۲ مرین لریشه و

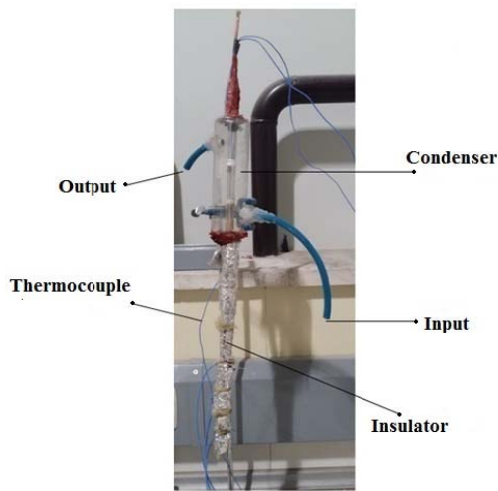
¹ -Non Condensable Gas

مقطر شد. علاوه بر این با افزایش جرم گاز غیر قابل میعان توزیع درجه حرارت در طول لوله نیز افزایش یافت. مقاومت حرارتی کل لوله با سیال عامل آب با نانو سیال اکسید مس پایین تر از سیال عامل آب مقطر شد. همچنین با افزایش میزان گرمای ورودی و جرم گاز غیر قابل میعان، مقاومت حرارتی کل لوله نیز کاهش یافت. طول کندانسور غیر فعال با افزایش جرم گاز غیر قابل میعان افزایش و با افزایش غلظت نانو ذرات در سیال کاهش می یابد. نتایج بدست آمده نشان داد که افزایش شار حرارتی ورودی دمای جداره سطح لوله و طول کندانسور فعال افزایش و مقاومت حرارتی کل کاهش می یابد. با افزایش جرم گاز غیر قابل میعان، موجب کاهش طول فعال کندانسور و افزایش مقاومت حرارتی لوله می شود. افزایش غلظت نانو ذرات نیز سبب کاهش دمای سطح و طول فعال کندانسور می شود و مقاومت حرارتی نیز کاهش می یابد. همچنین نتایج نشان داد که نانو سیال اکسید مس پتانسیل قابل توجه به عنوان سیال کاری برای لوله های حرارتی افقی با عملکرد حرارتی بالا دارد.

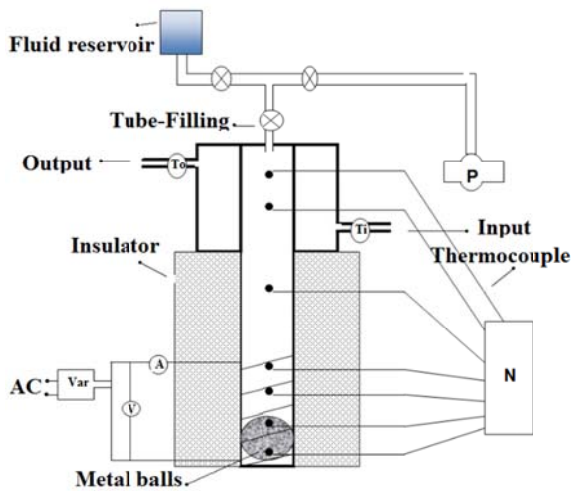
۲- روش تحقیق

قبل از مراحل آماده سازی و ساخت پایلوت آزمایشگاه، سیال عامل را انتخاب می کنیم. سیال عامل در لوله حرارتی بعنوان واسطه اصلی انتقال گرما و نقش ویژه ای در آن دارد. استون علی رقم کاستی های عملکرد حرارتی مزایایی از جمله: سازگاری با جنس دیواره، پایداری دمایی خوب، گرمای نهان بالا و ضریب هدایت گرمایی بالا و ویسکوزیته پایین مایع و بخار و کشش سطحی بالا دارد. بنابراین استون سیال عامل انتخابی برای لوله ترموسیفون جهت آزمایش می شود. اولین قدم در فرایند ساخت انتخاب لوله به طول ۴۵ سانتی متر از جنس شیشه پیرکس بود. قطر داخلی این لوله ۰٫۹ سانتی متر و قطر خارجی ۱٫۲ سانتی متر شد. سپس گلوله فلزی آهنی به قطر ۰٫۸ سانتی متر را انتخاب می کنیم و داخل لوله قرار می دهیم. سپس انتهای لوله را با دستگاه جوش حرارت می دهیم و آن را می بندیم. مرحله بعدی شستشوی لوله است. ابتدا با تری کلرو اتیلن لوله را شستشو داده و سپس با استون و بعد از آن با متانول و در آخر با آب مقطر شستشو می دهیم. دلیل استفاده از این مواد، تری کلرو اتیلن چربی را حل می کند و سپس استون تری کلرو اتیلن را حل می کند و متانول نیز استون را حل می کند و در نهایت آب مقطر متانول را حل می کند. ۱۵ سانتی متر از لوله را سیم هیتر می پیچیم که قسمت اواپراتور یا تبخیر

VCHP با سیال عامل سدیم و جنس استیل به دو منظور ساخته و آزمایش شد. یکی بازگشت به سیستم خنک کنندگی بالا در سیستم پیشرفته مولد استرلینگ ایزوتوپ و دیگری برای سیستم مدیدیرت حرارتی با طول عمر بالا بود. VCHP برای فعال کردن و خروج گاز از سیستم تبدیل کننده با افزایش دما تا ۱۹ درجه سانتی گراد طراحی گردید. این افزایش دما تا ۱۹ درجه سانتی گراد بخار جزئی به اندازه ای کم است که از خطر استاندارد ASRG برای عملیات و خراب شدن عایق چند لایه جلوگیری کند. تا این که از سیستم خنک کننده پشتیبان بر روی مبدل استرلینگ به منظور طول عمر بالا استفاده شد. VCHP این امکان را می دهد که سیستم خنک کننده تا: ۱) در دمای پایین تر در مدت انتقال استراحت کند ۲) قبل از سرد شدن مائول به دما پایین تر تا رسیدن به فشار اتمسفر برسد. ۳) در دمای اسمی رو سطح کار کند. ارائه این مقاله نتایج تجربی از یکپارچه سازی VCHP با یک سری از عملیات تبدیل کننده استرلینگ و توصیف روش مورد استفاده برای دستیابی به عملیات مشترک است. در نتیجه VCHP ها با درجه حرارت بالا در مبدل استرلینگ مورد آزمایش قرار گرفت و همه اهداف آزمون بدست آمده نشان دهنده اثبات مفهوم لوله حرارتی در این سیستم ها شد. آزمون مشترک NASA-ACT اولین عملیات مشترک یک VCHP برای تبدیل کننده سیستم استرلینگ بود. خنک کنندگی بالا در ASRG به وسیله VCHP این امکان را داد که سیستم استرلینگ با رسیدن دمای هد هیترا با حداقل افزایش دما حدود ۱۶ درجه سانتی گراد خاموش شود و تا رسیدن به شرایط اولیه دوباره راه اندازی می شود. همچنین VCHP ها در این سیستم قادر به پیش بینی هر عملکرد غیر عادی سیستم استرلینگ هستند. اختلاف نتایج تجربی و مدل ریاضی در این آزمایش کمتر بود. بطوری که نتایج استفاده از VCHP از جنس قلیایی به عنوان پشتیبان خنک کننده اولیه سیستم استرلینگ بهترین عملکرد را داشت. در سال ۲۰۱۴ یک تحقیق تجربی توسط حسن غنی حمید و همکاران [۹] که به بررسی اثر نانو سیال و جرم گاز غیر قابل میعان در عملکرد حرارتی لوله حرارتی هدایت متغیر انجام گرفت. نانو سیال مورد استفاده در سیال عامل آب مبتنی بر اکسید مس با کسر جرمی ۱ و ۳ و ۵ درصد مورد اندازه گرفت. عملکرد لوله حرارتی برای این سه مقدار و حرارت ورودی و جرم گاز غیر قابل میعان (هوا) بررسی شد. توزیع درجه حرارت در طول جداره لوله با استفاده از سیال عامل نانو سیال اکسید مس پایین تر از لوله حرارتی با سیال عامل آب



شکل ۱ نمونه ساخته شده دستگاه vchp



شکل ۲ مدار آزمایش (p=پمپ خلاء , N=نشانهگر دما , A=آمپر متر , V=ولت متر , Var=مقاومت متغیر)

کننده نام دارد. برای ساخت کندانسور نیز از شیشه پلکسی گلس استفاده می کنیم که به دو طرف آن اتصالات شلنگ وصل می کنیم. (با مته سوراخ کرده و این اتصالات را می چسبانیم). شیشه پلکسی را که شکل استوانه ای است به طول ۱۵ سانتی متر از لوله گرمایی در انتهای آن پوشش داده می شود. سنسور های دما از نوع ترموکوپل K می باشد که چهار عدد در قسمت اواپراتور و یک عدد در قسمت آدیاباتیکی و دو عدد در بخش کندانسور قرار داده می شود. نحوه ی اتصال ترموکوپل ها به این شرح است در قسمت اواپراتور سنسور های دما به فاصله ۳ سانتی متر از هم یعنی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ سانتی متر در چهار نقطه وصل می شوند. برای عایق کاری قسمت اواپراتور و آدیاباتیکی ، از پشم سنگ استفاده می کنیم و سپس با فویل آلومینیوم روی آن را می پوشانیم. سر سنسور ها را لخت کرده و به سوکت وصل کرده و سوکت ها را به دیتا لاگر وصل می کنیم. شلنگ ها را به خروجی و ورودی کندانسور وصل کرده و همچنین منبع تغذیه را به سر المنت حرارتی وصل می کنیم. (شکل ۱)

در ادامه کار برای قسمت اواپراتور برای به حرکت درآوردن گلوله فلزی، از آهن ربا استفاده می کنیم. چون حرارت زیاد در این قسمت باعث از بین رفتن خاصیت مغناطیسی آهن ربا می شود باید نوع خاصی از آن را برای این کار انتخاب کنیم که آهن ربای ساماریوم کبالت برای این کار مناسب است. بعد از خلاء کردن ترموسیفون با پمپ خلاء ، آن را با ۳ نسبت پرشدگی مختلف پر می کنیم. بدین صورت که نسبت پر شدگی ۱۰٪ با ۲،۸ سی سی سیال عامل و نسبت پرشدگی ۲۰٪ با ۵،۷ سی سی سیال عامل و نسبت پرشدگی ۳۰ درصد با ۸،۵ سی سی سیال عامل ، لوله ترموسیفون را شارژ می کنیم. که پس از بررسی نتایج بهترین عملکرد را با نسبت پرشدگی ۲۰٪ مشاهده می کنیم و مبنای کارمان برای ادامه آزمایشات همین نسبت پرشدگی را قرار می دهیم. ساچمه را ابتدای لوله در قسمت اواپراتور قرار داده و دیتا را ثبت می کنیم. ولتاژ و آمپر را طوری تنظیم می کنیم که حرارت بطور متناوب ۵وات افزایش دهیم. (شکل ۲)

۳- محاسبه ی گرمای تلف شده در لوله حرارتی ترموسیفون

میزان گرمای ورودی

$$Q_{in} = V \times I \quad (1)$$

میزان گرمای خروجی

$$Q_{out} = \dot{m} \times C_p \times (T_{out} - T_{in}) \quad (2)$$

گرمای اتلاف شده

$$Q_{loss} = Q_{in} - Q_{out} \quad (3)$$

تلفات گرمایی از راه تابش در قسمت تیخیر کننده و آدیاباتیکی

$$NU^{1/2} = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{1/6} \right]} \right\} = 16.73 \quad (11)$$

میزان ضریب جابه جایی آزاد برابر با مقدار زیر می شود:

$$h = \frac{NU \times K}{D} = 35.27 \text{ W/K.M}^2 \quad (12)$$

تلفات چگالنده برابر است با:

$$Q_{\text{loss}} = h \times (\pi \times D \times L) \times \Delta T = 0.6 \text{ W} \quad (13)$$

که مقدار تلفات در قسمت چگالنده در حدود ۰٫۵ درصد انرژی ورودی گرم کن الکتریکی محاسبه شد:

$$\% \varepsilon = \frac{Q_{\text{loss}}}{Q_{\text{in}}} \times 100 = \frac{0.6}{120} \times 100 = 0.5 \text{ درصد} \quad (14)$$

اتلاف برای قسمت چگالنده نسبت به توان ورودی ناچیز بوده و می توان از آن صرف نظر کرد.

۳-۲- محاسبه اتلاف حرارت در قسمت تبخیر کننده و آدیاباتیک

با توجه به این که کلاهدک انتهایی تبخیر کننده تقریباً بطور کامل عایق بندی شده دیگر اتلافی از این قسمت وجود ندارد و فقط اتلاف از جداره خارجی عایق به دو صورت جابه جایی و تابش داریم. برای محاسبه اتلاف حرارت در قسمت تبخیر کننده و آدیاباتیک ، دمای جداره خارجی عایق بوسیله یک ترمومتر دیجیتالی اندازه گیری می شود. متوسط دمای سه نقطه مجزا که به ترتیب در فواصل ۵، ۱۵ و ۲۰ سانتیمتری از انتهای لوله قرار گرفته اند . مشخصات قسمت تبخیر کننده و آدیاباتیک و دمای جداره عایق و محیط بصورت زیر می باشد:

$L_e = 15 \text{ CM}$	$L_{e+a} = 30 \text{ CM}$
$L_1 = 5 \text{ CM}$	$T_{w1} = 41.2^\circ \text{C}$
$L_2 = 15 \text{ CM}$	$T_{w2} = 37.7^\circ \text{C}$
$L_3 = 20 \text{ CM}$	$T_{w3} = 31.6^\circ \text{C}$
$T_{\infty} = 19^\circ \text{C}$	$T_{(w)\text{ave}} = 36.8^\circ \text{C}$

دمای فیلم هوا بر روی جداره خارجی، متوسط دمای محیط و دمای جداره خارجی عایق در نظر گرفته می شود:

$$T_f = 27.9^\circ \text{C} = 300.9 \text{ K}$$

$$Q_{\text{Rad/Eva}} = \varepsilon \times \sigma \times A \times (T_{W(ev)}^4 - T_{\infty}^4) \quad (4)$$

$$Q_{\text{rad/Ad}} = \varepsilon \times \sigma \times A \times (T_{W(ev)}^4 - T_{\infty}^4) \quad (5)$$

متوسط دمای سطح کندانسور و تبخیر کننده

$$T_{We(ave)} = \frac{\sum T_{ei}}{n} \quad (6)$$

$$T_{Wc(ave)} = \frac{\sum T_{ci}}{n} \quad (7)$$

$$U = \frac{Q_{out}}{T_e - T_c} \quad (8)$$

۳-۱- محاسبه گرمای تلف شده در کندانسور

به علت استفاده نشدن عایق در قسمت کندانسور و وجود انتقال حرارت بین آب و محیط آزمایشگاه اتلاف حرارت در قسمت کندانسور وجود دارد . لذا آزمایش لوله گرمایی با مشخصات قسمت کندانسور بصورت زیر می باشد:

$$Q_{in} = 120 \text{ W}$$

$$T_{Wc} = 22^\circ \text{C} = 295 \text{ K}$$

$$T_{\infty} = 19^\circ \text{C} = 292 \text{ K}$$

$$D = 1.2 \text{ CM}$$

$$L_c = 15 \text{ CM}$$

سیال عامل : استون

دمای فیلم هوای اطراف جداره خارجی چگالنده:

$$T_f = \frac{(T_{Wc} - T_{\infty})}{2} = 293.5 \text{ K} \quad (9)$$

خواص فیزیکی هوا در دمای فیلم عبارتست از:

$$\alpha = 21.5 \times 10^{-6} \text{ M}^2/\text{S} \quad \nu = 14.89 \times 10^{-6} \text{ M}^2/\text{S}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = 3.41 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

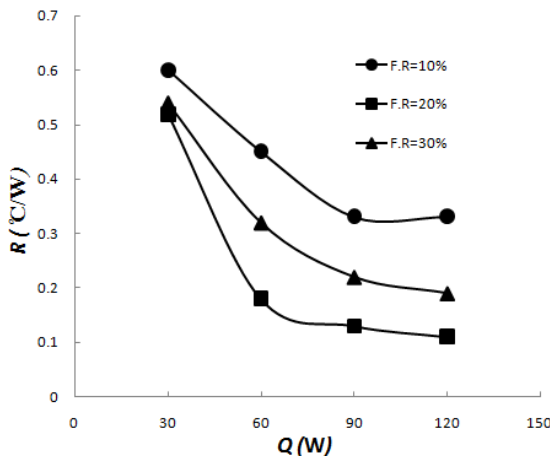
$$K = 25.3 \times 10^{-3} \text{ W/M.K} \quad Pr = 0.706$$

با استفاده از خواص فیزیکی هوا ، مقدار عدد رایلی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$Ra = \frac{(T_w - T_{\infty}) \times L^3 \times g \times \beta}{\nu \times \alpha} = 1078945.3 \quad (10)$$

عدد ناسلت در جریان جابه جایی آزاد بر روی استوانه قائم از رابطه زیر محاسبه می شود:

هسته ای و در مراحل بعدی حد طغیان به دنبال دارد و در مواردی موجب آسیب رسیدن به ترموسیفون خواهد شد. درست است که در این شرایط مقاومت حرارتی با افزایش بار حرارتی روند کاهشی دارد ولی در مقایسه با درصد پرشدگی ۲۰ درصد این مقاومت بیشتر است:



شکل ۳ مقایسه مقاومت ترموسیفون در سه درصد پر شدگی

بدین ترتیب حد بین این دو درصد پرشدگی یعنی ۲۰ درصد، با افزایش شار حرارتی به ترموسیفون نقاط خشک توسط لایه ای از سیال عامل پوشیده می شوند و از طرف دیگر فشار بخار و در نتیجه میزان تماس بخار با جداره چگالنده افزایش می یابد که این امر موجب کاهش مقدار مقاومت حرارتی ترموسیفون می شود و در نهایت افزایش عملکرد را به همراه دارد.

مشاهده می کنیم گلوله در نقطه صفر، یعنی ابتدای لوله، عملکرد لوله مانند یک لوله معمولی است و با حرکت دادن گلوله تا نقطه ۱،۵ سانتی متر ابتدای لوله، تغییرات دمای تبخیر کننده جزئی است و تا نقطه ۴،۵ سانتی متر ابتدای لوله هم تغییرات دمای قسمت تبخیر کننده لوله به همین نحو است. از نقطه ۴،۵ سانتی متر تا انتهای تبخیر کننده تغییرات دمایی با شیب بیشتری صورت می گیرد (شکل ۴). به هر حال، علت اصلی پدیده این تغییرات در نرخ شارهای مختلف این می تواند باشد که هنگامی که گلوله در ابتدای لوله است، عملکرد لوله همانند لوله گرمایی معمولی است ولی هنگامی که آن را از ابتدا لوله تا ۱،۵ سانتی متر به طرف انتها حرکت دهیم پشت گلوله فلزی که به سمت ابتدای لوله حرارتی در قسمت تبخیر کننده

خواص فیزیکی هوا در دمای فیلم برابر است با:

$$\alpha = 22.5 \times 10^{-6} \text{ M}^2/\text{S} \quad \nu = 15.89 \times 10^{-6} \text{ M}^2/\text{S}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = 3.32 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} \quad K = 26.3 \times 10^{-3} \text{ W/M.K}$$

$$Pr = 0.707$$

با استفاده از خواص فیزیکی هوا، مقدار عدد ریلی از رابطه (۱۰) و عدد ناسلت در جریان جابه جایی آزاد بر روی استوانه قائم از رابطه (۱۱) بصورت زیر بدست می آیند:

$$Ra = 44192269 \quad Nu = 48.16$$

با توجه به اینکه طول عایق ۳۰ سانتی متر و قطر آن ۳،۷ سانتی متر است ضریب انتقال حرارت از رابطه (۱۲) به مقدار $h = 4.2 \text{ W/K.M}^2$ بدست می آید. میزان اتلاف از طریق جابه جایی آزاد نیز بصورت زیر محاسبه می شوند:

$$Q_{\text{loss conv}} = h \times (\pi \times D \times L) \times \Delta T = 2.6 \text{ W} \quad (15)$$

میزان اتلاف از طریق تابش از رابطه زیر بدست می آید:

$$Q_{\text{loss rad}} = \epsilon \times \sigma \times A \times (T_{W(\text{ev})}^4 - T_{\infty}^4) = 0.28 \text{ W} \quad (16)$$

$$\epsilon = 0.087 \quad \sigma = 5.6 \times 10^{-8} \text{ W/M}^2 \text{ K}^4$$

بنابراین میزان اتلاف حرارتی کل برابر است با:

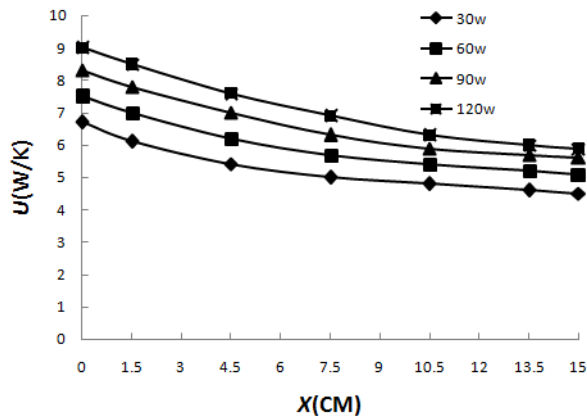
$$Q_{\text{loss}} = Q_{\text{loss cov}} + Q_{\text{loss rad}} = 2.88 \text{ W} \quad (17)$$

بعبارتی میزان اتلاف حرارتی برابر با ۲،۴ درصد انرژی ورودی گرم کن الکتریکی محاسبه شده است.

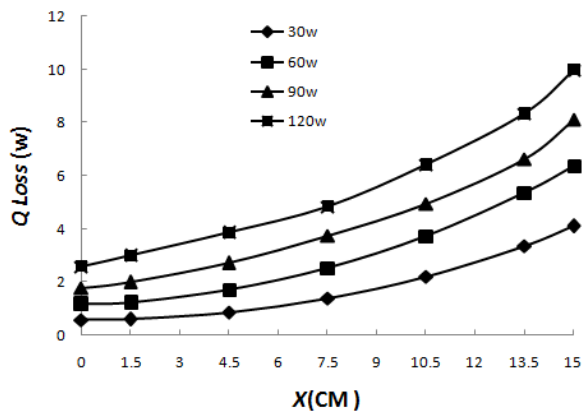
$$\% \epsilon = \frac{Q_{\text{loss}}}{Q_{\text{in}}} \times 100 = 2.4 \% \quad (18)$$

۴- نتایج و بحث

در این آزمایش ابتدا باید لوله ترموسیفون را برای درصد پرشدگی ایده آل در نظر بگیریم تا بتوانیم ادامه روند آزمایش را بر اساس همان درصد پرشدگی ایده آل و مناسب انجام دهیم. نتایج بدست آمده برای درصد پرشدگی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ در شکل ۳ بدست آمد. در نسبت پرشدگی پایین (۱۰٪)، با افزایش ناگهانی دما در قسمت تبخیر کننده و به دنبال آن افزایش تبخیر سیال عامل در این ناحیه موجب پدیده خشک شدگی بعد از توان حرارتی ۹۰ وات به بعد و به دنبال آن مقاومت حرارتی روند افزایش پیدا می کند که این عملکرد ترموسیفون را می کاهد. اما در افزایش درصد پرشدگی تا حد ۳۰ درصد، پدیده جوشش



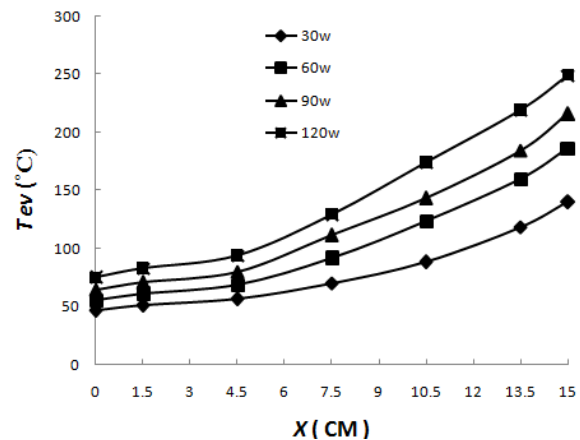
شکل ۶ توزیع ضریب کل انتقال حرارت ترموسیفون نسبت به جابه جایی گلوله در تبخیر کننده



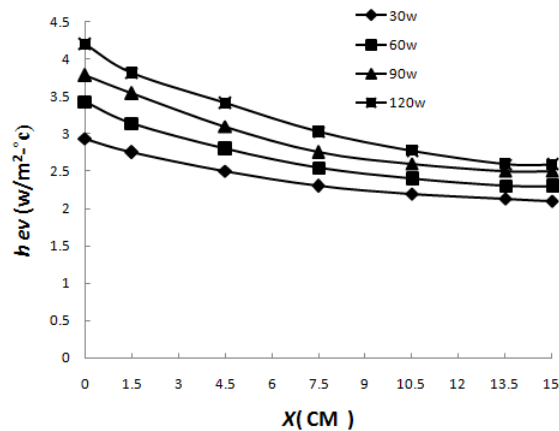
شکل ۷ توزیع افت حرارتی بر حسب جابه جای گلوله در تبخیر کننده

هنگامی که گلوله در فاصله ۴,۵ سانتی متری ابتدای لوله قرار می گیرد ناحیه پشت گلوله سرعت تبخیر و به عبارتی عبور حباب های بخار از فاصله بین گلوله و لوله با شدت بیشتری صورت می گیرد که این عاملی است بر افزایش دما در پشت گلوله که موجب می شود عبور جریان هنگام برگشت به پشت گلوله کمی به سختی صورت بگیرد و لذا پشت ناحیه فضای خالی بخار شکل می گیرد . در فاصله ۷,۵ سانتی متر از ابتدای لوله وقتی گلوله فلزی در این ناحیه قرار می گیرد ناحیه پشت گلوله به طور چشمگیری افزایش می یابد و سرعت عبوری حباب بخار از بین جداره لوله و گلوله به شدت افزایش می یابد . گلوله در این لحظه شروع به لرزیدن می کند . پشت گلوله ناحیه بخار بیشتر از سیال عامل باقی مانده در این قسمت است . می توانیم این نقطه را بحرانی ترین نقطه انتخاب کرد . چون تغییرات

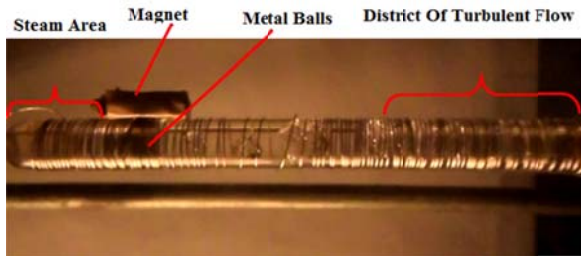
است قسمتی از سیال عامل تبخیر می شود و از فاصله بین دیواره لوله و گلوله رد می شود و به سمت دیگر گلوله فلزی می رود . به عبارتی پشت گلوله فلزی و جلوی گلوله فلزی سیال عامل می تواند به راحتی جابه جا و رفت و برگشت صورت بگیرد . این فرایند تقریباً در تمامی نمودار ها برابر است . توزیع ضریب انتقال حرارت جابه جایی قسمت تبخیر کننده و ضریب کل انتقال حرارت لوله نسبت به جابه جایی گلوله با افزایش شار حرارتی در شکل ۵ و شکل ۶ روند کاهشی نیز دارد. ولی در شکل ۷ افت حرارتی روند افزایشی نشان می دهد.



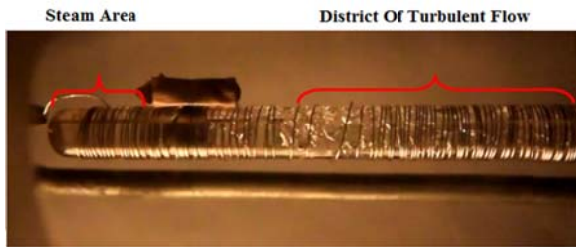
شکل ۸ توزیع دمای قسمت تبخیر کننده لوله نسبت به جابه جایی گلوله در تبخیر کننده



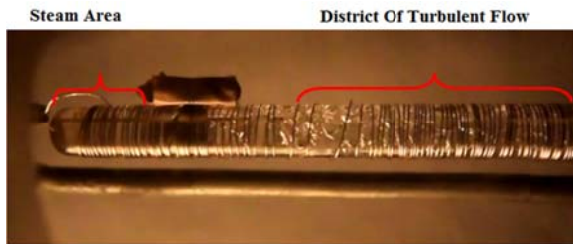
شکل ۹ توزیع ضریب انتقال حرارت جابه جایی قسمت تبخیر کننده لوله نسبت به جابه جایی گلوله در تبخیر کننده



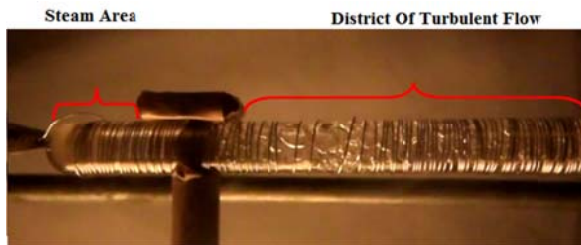
شکل ۸ روند جریان حبابی در ترموسیفون در شار حرارتی ۳۰ وات



شکل ۹ روند جریان حبابی در ترموسیفون در شار حرارتی ۶۰ وات



شکل ۱۰ روند جریان حبابی در ترموسیفون در شار حرارتی ۹۰ وات



شکل ۱۱ روند جریان حبابی در ترموسیفون در شار حرارتی ۱۲۰ وات

ناگهانی دما و مقاومت حرارتی از این نقطه شروع می شود . سرعت عبوری حباب بخار از ناحیه پشت گلوله به طرف انتهایی لوله به حدی است که عملاً برگشت سیال به پشت گلوله تقریباً نزدیک به صفر است . گلوله با جابه جایی در نقاط ۷,۵ سانتی متر به انتها یعنی در نقاط ۱۰,۵ و ۱۳,۵ و ۱۵,۵ سانتی متر با افزایش ناگهانی دما توأم می شود . ناحیه پشت گلوله عملاً فقط فاز بخار است و تمامی سیال عامل به سمت دیگر گلوله رفته و پشت گلوله عملاً اتفاق خاصی نمی افتد و خشک شدگی کامل صورت گرفته که این ناحیه عملاً قسمت غیر فعال تبخیر کننده است . در قسمت جلوی گلوله فلزی که به سمت انتها است فیلم مایع عبوری از جداره لوله کف تر از ابتدای لوله است پس شدت تبخیر در این قسمت کمتر خواهد بود , همچنین از ابتدای تبخیر کننده تا طول فعال تبخیر کننده چون فیلم مایع در این منطقه به حداقل خود می رسد شدت تبخیر به حداکثر میزان خود می رسد. از طول فعال تبخیر کننده تا انتهای تبخیر کننده چون عمل تبخیر در پشت گلوله انجام می شود و همچنین با حرکت گلوله به سمت جلو (به سمت انتهای تبخیر کننده) چون مقدار بخار در پشت گلوله زیاد می شود و با توجه به اصطحکاک بین فصل مشترک بخار- مایع و همچنین سرعت بخار برای عبور از فضا باعث می شود همه مایع به سمت پشت گلوله نرود و کل مایع به ابتدای تبخیر کننده نمی رسد و در وسط راه بخار می شود و باعث می شود دمای ابتدای تبخیر کننده افزایش ناگهانی داشته باشد و پدیده خشک شدگی کامل اتفاق می افتد و در آن قسمت فقط انتقال حرارت هدایتی داریم. تغییرات دما با جابه جایی گلوله از ابتدای تبخیر کننده به انتهای تبخیر کننده افزایش می یابد و این افزایش از نقطه ۴,۵ سانتی متر ابتدای لوله به بعد بطور ناگهانی و با شیب زیاد است به طوری که افزایش شار حرارتی ورودی نیز در این روند به کمک این پدیده می آید. یکی از علل افزایش ناگهانی دما با جابه جایی گلوله در طول در قسمت تبخیر کننده همانطور که قبلاً گفته شد نوع و شدت حباب های بخاری عبوری از فضای بین گلوله و جداره لوله بود که نتایج این تحلیل در شکل های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ قابل مشاهده است.

می شود که گلوله فلزی در حالت لرزش است و پشت گلوله فلزی فقط بخار است. با جابه جایی گلوله از نقطه ۴,۵ سانتی متر ابتدای لوله به نقطه ۷,۵ سانتی متر آن همانطور که در نمودار شکل ۱۱ مشخص است مشاهده می شوند فرکانس حباب عبوری نسبت به حالت قبل بیشتر می شود و این بعلت افزایش دمای قسمت تبخیر کننده و کاهش طول فعال تبخیر کننده است. با بررسی عوامل به این نتیجه می رسیم که میزان شار حرارتی به سیال عامل بر رفتار حباب ها تاثیر گذار است. افزایش فشار کششی، باعث افزایش بیشینه رشد حباب ها می شود. میزان تعداد حباب ها بر دمای اواپراتور نیز تاثیر مستقیم دارد لذا هر چه تعداد حباب بیشتر باشد دمای آن محدوده نیز افزایش می یابد. حرکت گلوله بر نوع و شکل حباب تاثیر چندانی ندارد ولی بر سرعت عبوری آن تاثیر دارد بطوریکه با حرکت دادن گلوله از فاصله ۴,۵ سانتی متر ابتدای تبخیر کننده به ۷,۵ سانتی متر آن باعث سرعت بیشتر حباب عبوری بین دیواره لوله و گلوله فلزی می شود.

۵- نتیجه گیری و پیشنهاد ها

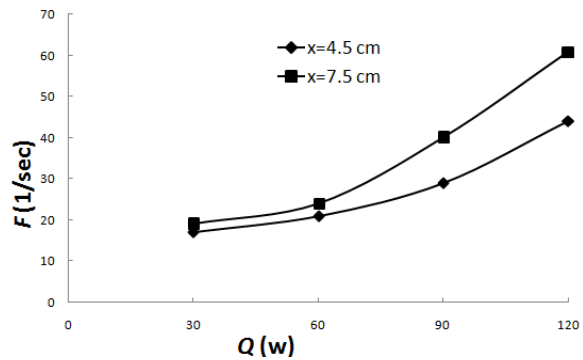
در این تحقیق یک روش تجربی برای ساخت لوله ترموسیفون با هدایت حرارت متغیر با استفاده از گلوله فلزی برای بررسی عوامل موثر در لوله ترموسیفون ارائه شد، بطوریکه مقطع لوله ترموسیفون برای سه قسمت برابر تبخیر کننده و آدیاباتیک و کندانسور انتخاب می شود. برای قسمت تبخیر کننده با استفاده از شارهای حرارتی ورودی ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ وات آزمایش هایی صورت گرفت. نتایجی که برای این آزمایش ها بدست آمد این بود که:

- دو عامل اصلی شامل جابه جایی گلوله در تبخیر کننده و تغییر شار ورودی تبخیر کننده در تعیین عملکرد ترموسیفون نقش داشتند.

- هر چه گلوله فلزی از ابتدای تبخیر کننده دور شود یا عبارتی هر چه طول فعال تبخیر کننده کم تر و طول غیر فعال آن بیشتر شود، افزایش مقاومت حرارتی و عملکرد لوله کاهش می یابد.

- شار حرارتی تاثیر مستقیم بر عملکرد لوله دارد بطوریکه با افزایش آن، عملکرد لوله نیز افزایش می یابد و پدیده انتقال حرارت در لوله افزایش می یابد.

در این تحقیق مشاهده شد که هر چه شار حرارتی کمتر باشد عملکرد لوله نیز کاهش می یابد اما این نتیجه با نتایج مرلین لریشه و همکاران (۲۰۱۲) که شار حرارتی کمتر عملکرد لوله



شکل ۱۲ فرکانس حباب عبوری از فضای بین گلوله و دیواره ترموسیفون در دو نقطه مختلف

با افزایش شار حرارتی ورودی به ترموسیفون، بخار ایجاد می شود که حاصل از فصل مشترک دامنه نامحدود سیال عامل و بخار است. تاثیر کشش سطحی بین بخار و سیال عامل منجر به پیدایش این فصل مشترک می شود که در اصطلاح رژیم جریانی یا الگوی جریان نامیده می شود. رژیم جریانی معمولاً بوسیله موقعیت و شکل هندسی خط لوله و جهت جریان و خواص فیزیکی و شدت جریان شار حرارتی وارد بر دیواره لوله تحت تاثیر قرار می گیرد. در این آزمایش با توجه به تصاویر ضبط شده و نمودار، نتیجه می گیریم که نوع جریان حبابی است. با قرار دادن گلوله فلزی در در نقطه ابتدا ۴,۵ سانتی متر و سپس ۷,۵ سانتی متر ابتدای اواپراتور با شار حرارتی مختلف مشاهده شد که حباب هاب اولیه در وات های بین ۳۰ و ۶۰ بصورت درشت و قطر تقریباً یکسان از فضای بین گلوله فلزی و دیواره لوله با سرعت معین عبور می کنند. در این محدوده جریان فاز مایع بصورت پیوسته و حباب ها بصورت پراکنده اما منظم حرکت می کنند. با افزایش شار حرارتی از ۶۰ وات به ۱۲۰ وات، جریان جوشش با شدت بیشتر و حباب ها با سرعت بالا از منطقه بین دیواره لوله و گلوله فلزی حرکت می کنند. جریان متلاطم و حباب ها با اندازه های متفاوت ظاهر می شوند و این باعث ایجاد ضربه به گلوله فلزی و بدنه لوله می شود که به این جریان، جریان ضربه ای گفته می شود. در شکل (۷) مشاهده می شود که گلوله در نقطه ۴,۵ سانتی متر ابتدای لوله با یک وات مشخص حرارت داده میشود و ناحیه تلاطم که در ابتدای گلوله به سمت انتهای تبخیر کننده است در یک فاصله معین ایجاد می شود هر چه شار حرارتی افزایش دهیم طول این ناحیه افزایش و فاصله آن به سمت گلوله کمتر می شود و دما نیز همزمان با نزدیک شدن این ناحیه به گلوله افزایش می یابد. در جریان حبابی، دمای مایع به شدت بالا رفته و عملاً مشاهده

عدد رایلی	Ra
عدد رینولدز	Re
دما (K)	T
ضریب کل انتقال حرارت (w/k)	U

علائم یونانی

ضریب پخش حرارت (M^2/S)	α
ضریب تراکم پذیری (1/K)	β
ضریب تابش	ϵ
ثابت بولتزمن ($W/M^2.K^4$)	σ

زیر نویس ها

متوسط	ave
آدیاباتیک	a
کندانسور	c
تبخیر کننده	e
جابه جایی	conv
افت	loss
ورودی	in
خروجی	out
محیط	∞
جداره لوله	w

بهتر می شود در تضاد است آن هم بعلت نوع لوله که لوله مورد نظر ما ترموسیفون و لوله آنها از نوع گرمایی فتیله دار بود و در مقایسه با نتایج آقای چنگ شی و همکارانش (۲۰۱۱) عملکرد لوله با توجه به شرایط متغیر سطح مقطع و طول فعال کندانسور تغییر می کند در حالی که در آزمایش ما سطح مقطع ثابت و طول فعال اوپراتور متغیر می باشد و عملکرد لوله نسبت به طول فعال اوپراتور تغییر می کند. از سوی دیگر ضریب انتقال حرارت جابه جایی سیستم مورد آزمایش ما با کاهش طول فعال اوپراتور ، کاهش یافت در حالی در آزمایش حمید غنی و همکارانش (۲۰۱۴) با تغییرات جرم گاز غیر قابل میعان طول کندانسور فعال کمتر و ضریب انتقال حرارت جابه جایی نیز کاهش یافت . به طور کل بازه کنترل هدایت حرارت در این آزمایش، و طراحی ساده و آسان و جدید و نوآور بودن و یکپارچه این نوع سیستم و کنترل عملکرد لوله در مقایسه با مراجع گفته شده از شرایط قابل قبول و بهتری برخوردار است. در این آزمایش نتایجی که برای میزان تاثیر بار حرارتی بر عملکرد لوله داشت کمی بیشتر از حد انتظار بود یعنی مقدار افت حرارتی بیشتر از حد طبیعی مورد نظر بود و آن هم به دلیل انتخاب لوله از جنس شیشه بود که برای ثبت و مشاهده جریانات و فرآیند درون لوله بود برای همین پیشنهاد می گردد اگر جنس لوله از مس بود بدلیل انتقال حرارت بهتر در طول لوله نسبت به سایر جنس ها ، عملکرد لوله به مراتب بهتر می شد . همچنین برای ادامه کار پیشنهاد می گردد خاصیت مغناطیسی اعمال شده که بوسیله آهن ربا انجام می شد این قسمت بصورت کنترل شده و با انتخاب مقدار معین از جریان مغناطیسی برای جابه جایی گلوله در قسمت تبخیر کننده باشد.

۷-مراجع

[1] P. D. Dunn and, D.A. Reay, *Heat Pipes* .pp 201-233, 1994 .
 [2] A. Faghri ,*Heat Pipe Science and Technology*, Taylor & Francis, Washington, DC,pp 493-570 , 1995.
 [3] W. Anderson , C. Tarau , *Variable Conductance Heat Pipes for Radioisotope Stirling Systems* Space Technology and Applications International Forum (STAIF), Albuquerque, New Mexico,pp 679-688, 2008.
 [4] R. W. Bonner ,*Passive Heat Exchanger Temperature Control Using Variable Conductance Heat Pipes* ,Engineering Services and Products, Advanced Cooling Technologies, Inc., 1046 New Holland Avenue, Lancaster, PA 17601, pp 618-625,2008.
 [5] W. G. Anderson, M. C. Ellis, and K. L. Walker , *Variable Conductance Heat Pipe Radiators for Lunar and Martian Environments* ,AIP Conference Proceedings, Volume 1103, pp 57-66,2009
 [6] C. Shi , Y. Wang , Q. Liao , Y. Yang , *Analysis and application of variable conductance heat pipe air preheater* .Journal of Thermal Science, Volume 20, Issue 3 , pp 248-253,2011
 [7] M. Leriche , S. Harmand , M. Lippert , B. Desmet , *An experimental and analytical study of a variable conductance heat pipe: Application to vehicle thermal management* ,journal of applied thermal engineering , Volume 38, PP 48-57,2012
 [8] C. Tarau , C. Schwendeman , W. G. Anderson , P. A. Cornell , *Variable Conductance Heat Pipe Cooling of Stirling Convertor and General Purpose Heat Source* ,International Energy Conversion Engineering Conference , pp 143-156, 2013.

۶-فهرست علائم

A	سطح مقطع (cm^2)
D	قطر (cm)
H	ضریب انتقال حرارت جابه جایی ($W/K.M^2$)
K	ضریب هدایت گرمایی (w/km^2)
L	طول (cm)
Nu	عدد ناسلت
P	فشار ($kgm^{-1}s^{-2}$)
Pr	عدد پرائتل
Q	شار گرما (w)
R	مقاومت گرما ($^{\circ}C/w$)

- [9] H. G. Hameed, A.A. Rageb , *Experimental Investigation of Thermal Performance of Variable Conductance Cylindrical Heat Pipe Using Nanofluid* International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS Vol:14 No:06 ,pp 27-32 ,2014.