



بررسی آزمایشگاهی پارامترهای موثر بر عملکرد حرارتی لوله‌های حرارتی نوسانی

محمد سیاحی^۱، مجتبی ماموریان^{۲*}، حسین ساچی^۳

۱- کارشناسی ارشد، تبدیل انرژی، دانشگاه فردوسی، مشهد

۲- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی، مشهد

۳- کارشناسی، مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی، مشهد

* مشهد، صندوق پستی ۹۱۷۷۹۴۸۹۷۴

سیستم‌های نوبن تهویه مطبوع، مدیریت گرمایی قطعات الکترونیکی و حرکت به سمت کوچک‌سازی قطعات توجه مهندسان را به خود جلب کرده است و این موضوع استفاده از ابزارهای انتقال حرارتی با عملکرد بالا را دریبی دارد. یکی از این ابزارها لوله‌های حرارتی نوسانی است، ابزاری ساده با هزینه پایین برای انتقال حرارت از منبع دما بالا به منبع دمای پایین که دارای بازدهی بالایی می‌باشد. در این مقاله طراحی و ساخت یک نمونه لوله حرارتی نوسانی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مدل طراحی شده مشتمل از ۶ دور لوله مسی با قطر داخلی ۲.۲ میلی‌متر و قطر خارجی ۴ میلی‌متر می‌باشد. ارتفاع هر دور ۲۸۰ میلی‌متر که طول قسمت اوپراتور و کندانسور ۱۰۰ میلی‌متر و قسمت آدیابتیک ۸۰ میلی‌متر است. یکی از مهم‌ترین پارامترهای موثر در لوله‌های حرارتی نوسانی نوع سیال عامل و نسبت پرشدنگی آن می‌باشد. در این مقاله از گاز R-22 و آب مقطر در چهار نسبت پرشدنگی استفاده شده است. نتایج نشان داد که دمای اوپراتور با افزایش توان ورودی افزایش یافته و عملکرد حرارتی آب مقطر از گاز بهتر می‌باشد. همچنین میزان پرشدنگی ۶۰ درصد آب مقطر بهترین عملکرد را در بین نسبت پرشدنگی‌های دیگر دارد.

کلیدواژگان: لوله حرارتی، لوله حرارتی نوسانی، سیال عامل، نسبت پرشدنگی

Experimental Investigation of the influence of filling ratio on the thermal performance of pulsating heat pipes

Mohammad Sayyahi, Mojtaba Mamourian*, Hosein Sabeghi

Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

* P.O.B. 9177948974 Mashhad, Iran. mamourian@um.ac.ir

ABSTRACT

Modern air conditioning systems, thermal management of electronic components and progress towards miniaturizing parts have attracted the attention of engineers towards using thermal transfer instruments with high-performance. One of these tools is pulsating heat pipes with low cost and high efficiency for transferring heat from the source with high temperature to low temperature source. In this paper, design and manufacture of a prototype pulsating heat pipe were analyzed. The designed model consists of 6 loops of copper pipes with 2.2 mm inner diameter and 4 mm external diameter. The height of the loop is 280 mm, length of the evaporator and condenser is 100 mm and the adiabatic section is 80 mm. One of the most important parameters in pulsating heat pipes is working fluid and filling ratio. In this paper, the gas R-22 and distilled water is used in four of filling ratio. The results showed that the evaporator temperature has increased with increasing input power and thermal performance of distilled water is better than gas. Also, the filling ratio of 60 percent of distilled water has the best performance among the other fillings ratio.

Keywords: Heat pipe, pulsating, working fluid, filling ratio

1- مقدمه

تحقیق بر روی مبدل‌های لوله حرارتی از اواسط دهه ۱۹۷۰ آغاز گشت و از آن زمان تاکنون کاربرد وسیعی در صنایع مختلف پیدا کرده که یکی از کاربردهای مهم لوله حرارتی استفاده آنها به عنوان مبدل جهت بازیافت حرارت اталافی دودکش‌ها می‌باشد. آزمایشات انجام شده نشان داده‌اند که لوله‌های حرارتی نوسانی توانایی انتقال بارهای حرارتی بیشتری نسبت به لوله‌های حرارتی معمول دارند و همچنین این وسایل می‌توانند حرارت را به مسافت‌های طولانی‌تری منتقل کنند.

تمامی لوله‌های حرارتی که از نظر شکل ظاهری و عملکرد ترمودینامیکی و دینامیک سیالاتی مشابه ساختار نشان داده شده در "شکل ۱" اند به عنوان لوله‌های حرارتی نوسانی خوانده می‌شوند.

ساختمان آنها مشتمل از تعدادی لوله باریک با تعدادی پیچ و خم است که به طور نسبی از سیال عامل پر شده است. این لوله‌ها می‌توانند اتصالی به دو

لوله‌های حرارتی در بسیاری از موارد یکی از بهترین گزینه‌ها برای انتقال گرمای و سایل موثری برای بازیافت حرارت اталافی محسوب می‌شوند. از مزیت کاربرد لوله‌های حرارتی می‌توان به ساخت و طراحی آسان، افت دمای کم در طول لوله حرارتی، کاربرد در بازه وسیعی از دما، توانایی کنترل و انتقال نرخ‌های بالای حرارت در دمای‌های مختلف اشاره کرد. از جمله کارایی‌های لوله‌های حرارتی نوسانی می‌توان به خنک‌کردن و سایل‌کتریکی و تراشه‌های کوچک بدون نیاز به فن اشاره کرد. این وسایل توانایی بکارگیری در بازیابهای حرارتی نیروگاهی و دستگاه‌های تهویه مطبوع را نیز دارا می‌باشند. یکی از کاربردهای مهم لوله حرارتی استفاده آنها به عنوان مبدل جهت بازیافت حرارت اталافی دودکش‌ها می‌باشد. مبدل لوله حرارتی در بسیاری از موارد نظیر: دیگ بخار، کوره‌ها و خشک‌کن برای ذخیره انرژی استفاده می‌شود.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

M.Sayyahi,M.Mamourian,H.Sabeghi, Experimental Investigation of the influence of filling ratio on the thermal performance of pulsating heat pipes, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 149-152, 2016 (in Persian) (فارسی)

6- ابعاد مبدل نسبت به گرمایی که منتقل می‌کند خیلی کوچک است؛
 7- برتری مهم و اصلی این مبدل‌ها نسبت به مبدل‌های دیگر، نزدیکی عملکرد به حالت دما ثابت، افت فشار کم و درصد خطای در نظرگرفته شده در هنگام طراحی، هزینه نصب و راه اندازی کم می‌باشد.
 ابتدا هوای درون لوله حرارتی توسط سیستم خلا خالی می‌شود و سپس بطور جزیی با سیال عامل پر می‌شود (به نسبت بین حجم سیال درون لوله‌ها به حجم کل لوله‌ها نسبت پرشدگی گفته می‌شود)، به دلیل قطر کم لوله‌ها و در نتیجه نیروی کشش سطحی و همچنین فشار اولیه پایین سیال درون لوله‌ها سیال عامل بصورت مخلوطی از قطرات مایع و حباب‌های بخار بطور نامتقارن و کاملاً تصادفی در لوله‌ها پخش می‌شود. هیچ کنترل خارجی روی نحوه توزیع اولیه حباب‌ها در لوله‌ها وجود ندارد. سپس شار حرارتی از طریق یک منبع حرارتی به اوپرатор اعمال می‌شود و در نتیجه فشار بخار در قسمت اوپرатор افزایش می‌یابد. در کندانسور نیز به دلیل سرد شدن بخش بخار، فشار کاهش می‌یابد. این اختلاف فشار، نیروی رانشی ایجاد می‌کند که موجب ایجاد حرکات نوسانی بخش سیال و به دنبال آن پخش بخار می‌گردد. در نتیجه، لوله حرارتی نوسانی، حرارت را بوسیله حرکت نوسانی و مداوم مخلوط دوفازی بین تبخیرکننده و چگالنده منتقل می‌کند. در این وسایل انتقال حرارت محسوس و نهان توانان صورت می‌گیرد که این به نوبه خود مزیت دیگری است که در لوله حرارتی نوسانی نسبت به لوله‌های حرارتی متعارف که فقط انتقال حرارت نهان دارد، وجود دارد. قطرات مایع و حباب³-های بخار بدلیل نوسانات و ارتعاشات فشار که در درون سیستم بوجود می‌آید منتقل می‌شوند و حرارت را نیز به همراه خود منتقل می‌کنند. لوله حرارتی نوسانی الزاماً یک مبدل حرارتی غیر تعادلی است که بوسیله ترکیب پیچیده‌ای از انواع گوناگون پدیده‌های ناپایدار دوفازی کار می‌کند. موفقیت عملکرد آنها وابسته به نوسانات مداوم و پیوسته حباب‌ها است که به نوبه خود متأثر از حالات و شرایط ناپایداری درون سیستم است.

اولین بهره‌برداری و استفاده از نقطه‌نظر مهندسی از سیستم لوله‌های حرارتی نوسانی توسط هیستاترو آکاچی در سال 1990 انجام گرفت [1]. او اولین نمونه‌ها از خانواده لوله‌های حرارتی نوین را در 24 شکل مختلف ساخت. این مجموعه لوله‌های حرارتی چرخای نامیده شدند. همه این ساختارهای پیشنهادی دارای یک مشخصه مشترک بودند و آن وجود یک شیر یک طرفه در مسیر لوله برای تحمیل یک جهت قراردادی بود. حداقل قطر داخلی لوله‌های به کار رفته در این مجموعه دو میلی‌متر بود. در آن زمان ادعای شد که لوله‌های حرارتی جدید بر کمبودها و مشکلاتی که لوله‌های معمولی دارند فائق می‌آیند. برای مثال دیده شده که سیال‌های عاملی که برای استفاده در لوله‌های حرارتی معمولی مناسب نیستند، در این لوله‌ها می‌توانند به کار گرفته شوند و دارای کارایی بالاتر یا لاقل مشابه باشند. مازاوا [2] در سال 1995 برای اولین بار روی یک نمونه از این لوله‌های حرارتی آزمایشاتی انجام داد. آکاچی و پلاسک [3] در سال 1997 در تحقیقی از این نوع لوله حرارتی برای خنک‌سازی قطعات الکترونیکی استفاده کردند و ترکیبات مختلفی را در ساخت لوله حرارتی مورد استفاده قراردادند، از جمله: لوله‌های استیل با سیال عامل نیتروژن مایع، لوله‌های مسی با سیال‌های عامل آب، R-134a، R-133 و آلومینیوم و متانول، آن‌ها در تحقیقات خود مقاومت حرارتی سیستم‌های مختلف را مورد مقایسه قرار دادند. یک مدل عددی توسط شفیعی و همکارانش [4] در سال 2001 برای لوله‌های حرارتی باز و بسته ارائه شد.

صورت سیکل باز یا سیکل بسته داشته باشند و برخلاف لوله‌های حرارتی متعارف، در ساختمان آن‌ها از هیچ فتیله‌ای استفاده نشده است. حداقل یک منبع حرارتی با سیستم در ارتباط است که به آن اوپرатор¹ یا هیتر و حداقل یک منبع دریافت کننده حرارت با سیستم در ارتباط است که به آن کندانسور² گفته می‌شود. یک بخش آدبیاتیک می‌تواند به صورت اختیاری بین اوپرатор و کندانسور در صورت زیاد بودن فاصله بین آنها قرار گیرد.

دلایل برتری این مبدل‌ها نسبت به تجهیزات دیگر را می‌توان عوامل زیر معرفی کرد.

1- مبدل‌های لوله حرارتی قسمت متحرک مکانیکی ندارند، لذا تعمیر و نگهداری آنها به حداقل می‌رسد؛

2- تماس بین جریان‌های اتلافی و گرم شونده وجود ندارد؛

3- به لحاظ عملکرد مستقل لوله‌های حرارتی، امکان نصب لوله‌ها در فضاهای محدود و به شکل‌های مختلف وجود دارد؛

4- ضربی بالای تبادل گرما و سطح زیاد انتقال گرما، بازده عملکرد مبدل را بسیار زیاد می‌کند؛

5- لوله‌های عملکرد کلی سیستم را مختل نمی‌کند؛ چند لوله عملکرد کلی سیستم را مختل نمی‌کند؛

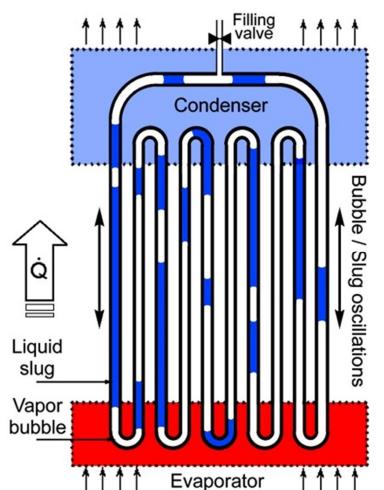


Fig. 1 Schematic of pulsating heat pipe

شکل 1 شماتیک لوله حرارتی نوسانی

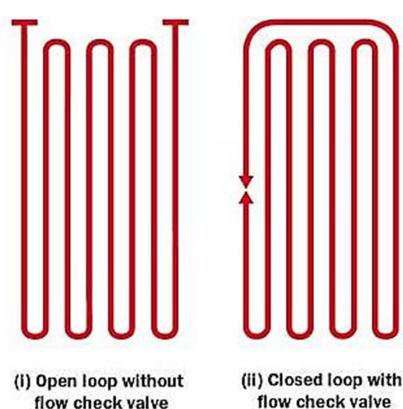


Fig. 2 Schematic of open and closed loop pulsating heat pipe

شکل 2 شماتیک لوله حرارتی نوسانی سیکل باز و سیکل بسته

¹ evaporator

² condenser

³ Bubble/ Slug

در این مقاله پس از ساخت و طراحی یک نمونه لوله حرارتی نوسانی به بررسی تاثیر سیال عامل و نسبت پرشدگی به عنوان پارامترهای موثر بر عملکرد لوله حرارتی نوسانی پرداخته شد.

2- سیستم آزمایشگاهی

سیستم آزمایش طراحی و ساخته شده برای انجام آزمایش‌ها در "شکل 3" نشان داده شده است. این سیستم یک لوله حرارتی نوسانی سیکل بسته می‌باشد.

لوله حرارتی ساخته شده از جنس مس شامل 6 دور لوله با قطر داخلی 2.2 میلی‌متر و قطر خارجی 4 میلی‌متر است. ارتفاع هر دور لوله 280 میلی-متر می‌باشد که متشکل از اوپراتور و کندانسور به طول 100 میلی‌متر و ناحیه آدیباتیک به طول 80 میلی‌متر است. از آب مقطر در چهار نسبت پرشدگی 0.25، 0.50، 0.75 درصد و همچنین گاز R-22 با فشار 10 psi به عنوان سیال عامل استفاده شده است. توان حرارتی مورد نیاز قسمت اوپراتور توسط سیم حرارتی از جنس کروم نیکل با مقاومت الکتریکی 28.8 اهم استفاده شده است. چهار توان ورودی (0.75, 0.50, 0.25) وات به سیستم داده شده که توانست دیمیر این توان‌ها کنترل می‌شود. ناحیه آدیباتیک با عایقی از جنس پتوی سرامیکی که تحمل دمایی بالایی دارد عایق شده تا اتلاف حرارتی تقریباً صفر شود. قسمت کندانسور شامل یک آکواریوم با ورودی آب سرد از سمت چپ و یک خروجی آب از سمت راست می‌باشد که در ابتداء و انتهای آن از دو دماسنج مقاومتی (PT100) برای مشاهده دمای آب استفاده شده است. برای کنترل مقدار دبی آب از یک روتامتر در ورودی آب که در تمام آزمایشات مقدار 100 لیتر بر ساعت تنظیم شده است، استفاده می‌شود. دما به وسیله 8 ترموموکوپل تیپ K که در قسمت کندانسور و اوپراتور هر کدام 4 ترموموکوپل استفاده شده به صورت گذرا توسط دیتالاگر لیتون مدل BTM خوانده می‌شود. از یک پمپ خلا دارای توانایی 0.005 Tor برای خلا کردن سیستم قبل از هر بار آزمایش به مدت 15 دقیقه استفاده شده است.

3- نتایج

برای انجام آزمایشات ابتدا سیستم را خلا، سیس سیال عامل را تزریق کرده و توان ورودی دستگاه را تنظیم نمودیم. برای نشان دادن بهترین حالت، از مقاومت حرارتی که برای لوله‌های حرارتی نوسانی به صورت زیر تعریف می‌شود، استفاده شده است:



Fig. 3 system setup

شکل 3 سیستم آزمایش

مدل آن‌ها شامل سه ناحیه جهت حرارت دادن و دو ناحیه جهت گرفتن حرارت بود. آن‌ها نشان دادند اثر جاذبه بر عملکرد لوله حرارتی نوسانی ناچیزتر از اثر قطر، نسبت پرشدگی و توان ورودی بود و نتیجه گرفتند که تعداد بخش‌های بخار به تعداد ناحیه حرارتی کاهش می‌یابد و ارتباطی به تعداد اولیه بخش بخار ندارد و نیز یک لوله حرارتی نوسانی با دو خم می‌تواند به صورت دو لوله U شکل مدل شود. چارون‌ساوان و همکارانش [5] در سال 2003 تاثیر پارامترهای مانند قطر داخلی، تعداد خم، سیال کاری و زاویه شیب را بر روی لوله حرارتی نوسانی بررسی کردند و نشان دادند که جاذبه و تعداد خم بیشترین تاثیر را بر روی لوله حرارتی نوسانی می‌گذارند. خندکار و همکارانش [6] در سال 2004 به طور خلاصه به بررسی ترمومهندسی‌دانمایک پیچیده و پارامترهای مستقل تاثیرگذار لوله‌های حرارتی نوسانی پرداختند. آنان از دو سیال آب و اتانول با درصد پرشدگی 50 درصد در توان‌های ورودی متفاوت تاثیر دمای اوپراتور بر حسب زمان را بررسی و نشان دادند شار حرارت ورودی که باعث افزایش دمای اوپراتور و تبدیل آرایش جریان از قطره-حباب به حالت حلقوی می‌گردد. همچنین با نسبت پرشدگی‌های متفاوت مقاومت حرارتی را بررسی کردند، نتایج نشان دهنده مقداری بهینه معمولاً بین 40-60 درصد می‌باشد. از نتایج دیگر آنان می‌توان به تاثیر قطر بر نحوه فرارگیری قطرات سیال و حباب‌های بخار، تاثیر شار حرارت ورودی که باعث بالا رفتن دمای اوپراتور و تبدیل آرایش جریان از قطره-حباب به حالت حلقوی، حد تعداد دورها در لوله حرارتی در عملکرد لوله حرارتی و بررسی تغییر شکل حباب و قطره‌ها در حالت افقی و عمودی اشاره کرد. مینا و همکارانش [7] با طراحی، ساخت و تست پیش‌گرمکن لوله حرارتی نوسانی انتها بسته با شیر یک طرفه، نقش آن در کاهش رطوبت نسبی در سیستم‌های خشک‌کن برای بازیافت حرارت تلف شده از سیکل خشک‌کن را بررسی کردند. آن‌ها از سیال R-134 با درصد پرشدگی 50% و لوله مسی با قطر داخلی 2 میلی‌متر استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند با افزایش دما نرخ انتقال حرارت افزایش و با افزایش سرعت هوای ورودی نرخ انتقال حرارت کاهش می‌یابد. جیان و همکاران [8] در سال 2011 آزمایشات خود را بر روی عملکرد گرمایی لوله‌ی Al₂O₃/water حرارتی نوسانی با دو نوع سیال عامل از نانو سیالات، SiO₂/water انجام دادند. تمام این آزمایشات در نسبت پرشدن 50% انجام گرفت. نتایج آنها نشان داد نانو سیال Al₂O₃/water در مقایسه با آب خالص عملکرد گرمایی را افزایش و مقاومت حرارتی کاهش می‌یابد. در حالی که استفاده از نانوسیال SiO₂/water عملکرد گرمایی لوله حرارتی نوسانی را بدتر و مقاومت حرارتی را نسبت به آب افزایش می‌دهد. لیو و همکارانش [9] در سال 2013 تاثیر توان ورودی، نسبت پرشدگی‌های مختلف و زاویه شیب سیستم بر عملکرد راهاندازی سیستم با سیال عامل آب، اتانول و متانول بررسی کردند. آنها نشان دادند که مقدار بهینه نسبت پرشدگی برای راهاندازی سیال آب 41%، 41%، 52% و برای متابولوین 35 تا 41 درصد می‌باشد. همچنین با افزایش زاویه شیب از 0 تا 90 درجه عملکرد راهاندازی بهبود و با افزایش توان ورودی راهاندازی سریع‌تر و پایداری بهتر می‌گردد. هنوز ماهیت دقیق پدیده‌هایی که در لوله‌های حرارتی نوسانی اتفاق می‌افتد بدليل پیچیدگی و گستردگی پدیده‌های انتقال حرارت بطور کامل شناخته نشده‌اند. داده‌های بدست آمده محدود بوده، لذا نیاز به آزمایشات گستردگر کاملاً ضروری است. به طور کلی پارامترهای زیادی بر عملکرد لوله‌های حرارتی نوسانی تاثیر گذارند که می‌توان به نسبت پرشدگی، شار حرارتی، نوع سیال عامل، قطر داخلی، طول اوپراتور، اختلاف دمای اوپراتور و کندانسور و تعداد دور اشاره کرد.

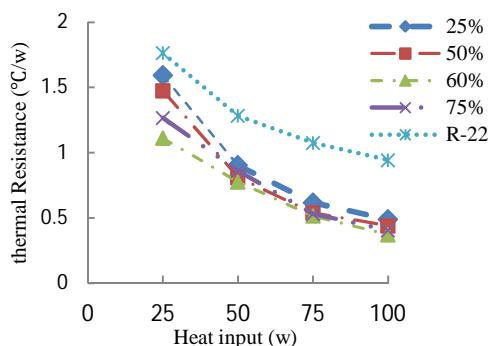


Fig. 5 Variation of thermal resistance with heat power

شکل ۵ تغییرات مقاومت حرارتی با توان حرارتی

5- فهرست عالیم

مقاطومت حرارتی ($\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{w}}$
دماهی اواپراتور ($^{\circ}\text{C}$
دماهی کندانسور ($^{\circ}\text{C}$
توان (w)	Q

6- مراجع

- [1] Akachi, H., *Structure of a heat pipe: US, 4921041.*
- [2] Maezawa, S., KY. Gi, A. Minamisawa, H. Akachi, *Thermal performance of capillary tube thermosyphon*. in Proc. 9th Int. Heat Pipe Conf. 1995.
- [3] Akachi, H. and F. Polasek. *Thermal control of IGBT modules in traction drives by pulsating heat pipes*. in *Proceedings of 10th International Heat Pipe Conference*. 1997.
- [4] Shafii, M.B., A. Faghri, and Y. Zhang, *Thermal modeling of unlooped and looped pulsating heat pipes*. *Journal of Heat Transfer*, 2001. 123(6): p. 1159-1172.
- [5] Charoensawan, P., S. Khandekar, M. Groll., *Closed loop pulsating heat pipes: Part A: parametric experimental investigations*. *Applied thermal engineering*, 2003. 23(16): p. 2009-2020.
- [6] Khandekar, S., M. Groll, P. Charoensawan. *Closed and open loop pulsating heat pipes*. in *K-4, Proceedings of 13th International Heat Pipe Conference*, China Academy of Space Technology, Shanghai, China. 2004.
- [7] Meena, P., S. Rittidech, and N. Poomsa-Ad, *Application of closed-loop oscillating heat-pipe with check valves (CLOHP/CV) air-preheater for reduced relative-humidity in drying systems*. *Applied Energy*, 2007. 84(5): p. 553-564.
- [8] Qu, J. and H. Wu, *Thermal performance comparison of oscillating heat pipes with SiO₂/water and Al₂O₃/water nanofluids*. *International Journal of Thermal Sciences*, 2011. 50(10): p. 1954-1962.
- [9] Liu, X., Y. Chen, and M. Shi, *Dynamic performance analysis on start-up of closed-loop pulsating heat pipes (CLPHPs)*. *International Journal of Thermal Sciences*, 2013. 65: p. 224-233.

$$R = \frac{T_e - T_c}{Q} \quad (1)$$

در "شکل ۴" دمای میانگین اواپراتور در نسبت پرشدگی 60% نشان داده شده که نشان دهنده افزایش دمای اواپراتور با افزایش توان ورودی می‌باشد. همچنین مشاهده می‌گردد که با افزایش توان ورودی فرکانس نوسان‌ها افزایش می‌یابد که نشان دهنده افزایش نیروی محركه سیستم می‌باشد.

همان‌گونه که در "شکل ۵" مشاهده می‌شود دمای اواپراتور و کندانسور برای هر سیال و نسبت پرشدگی آب متفاوت می‌باشد. با توجه به معادله (1) ملاحظه می‌شود که مقاومت حرارتی کمتر نشان دهنده عملکرد حرارتی بهتر سیستم است. تفاوت بارز نمودار مقاومت حرارتی بین گاز و آب نشان دهنده نقش سیال عامل در عملکرد حرارتی دستگاه می‌باشد.

همان‌طور که "شکل ۵" مشاهده می‌شود مقاومت حرارتی سیال R-22 از آب مقطر بزرگتر بوده که نشان دهنده عملکرد حرارتی پایین‌تر نسبت به آب می‌باشد. همچنین نسبت پرشدگی 60% آب مقطر بهترین عملکرد را در سیستم دارا می‌باشد. در درصد پرشدگی‌های پایین با افزایش توان احتمال پیدا شدن خشک شدنی و در درصدهای بالا احتمال اسداد قطرات مایع وجود دارد.

4- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

همان‌طور که ملاحظه شد با افزایش توان ورودی دمای اواپراتور افزایش می‌یابد. با توجه به افزایش توان ورودی سیستم نیروی محركه افزایش یافته در نتیجه فرکانس نوسان‌های سیستم افزایش می‌یابد. همچنین سیال آب مقطر از گاز R-22 دارای مقاومت حرارتی پایین‌تر است که نشان دهنده عملکرد حرارتی بهتر آب نسبت به گاز می‌باشد. نسبت پرشدگی 60% کمترین مقاومت حرارتی و بالاترین عملکرد حرارتی را دارا می‌باشد که در این نسبت تولید حباب و اثر نوسانات در تعادل هستند.

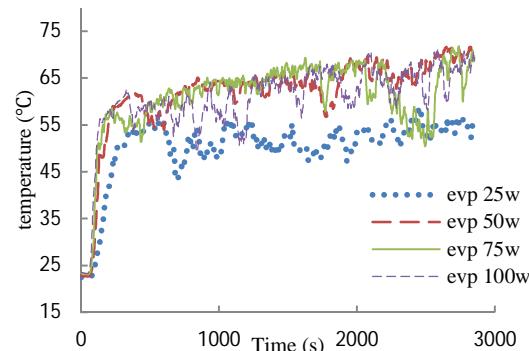


Fig. 4 Evaporator temperature vs. time for heat input

شکل ۴ تأثیر توان ورودی بر دمای میانگین اواپراتور بر حسب زمان