



Thermal Performance of Hydrophobic Vapor Chamber and the Influence of Different Parameters on It

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Nikmehr M.¹ MSc,
Kalantar V.*¹ PhD,
Sefid M.¹ PhD

How to cite this article

Nikmehr M, Kalantar V, Sefid M. Thermal Performance of Hydrophobic Vapor Chamber and the Influence of Different Parameters on It. Modares Mechanical Engineering, 2020;20(6):1475-1485.

ABSTRACT

Using vapor chambers is a useful way to control the temperature of electronic components. In this study, two vapor chambers with identical dimensions have been tested. The condensation part of one of them is hydrophobic, the second is simple and there is no hydrophobic operation. In this study, the effect of lateral surface insulation on both vapor chambers, the effect of other parameters, including vapor chamber angle with the horizon, different heat loads produced by the heat source (printed circuit board), geometric deformation of the heat source in a fixed area, and also, change the location of the heat source installation on the evaporator floor, on the thermal performance of the vapor chamber, due to the hydrophobicity of the condensation part of the vapor chamber, has been studied as experimental work and compared with the simple vapor chamber. Also, the impact of installing the heat source on the entire floor of the evaporation section, by increasing the area of it, in both vapor chambers have been investigated. Experimental results show that hydrophobicity and increase of heat, in total and in most cases, decrease the thermal resistance of the vapor chamber. The thermal performance of the vapor chamber has also been improved by installing the printed circuit board across the evaporator floor and it depends on other parameters investigated in this study. Also, insulating the side surfaces, increases the thermal resistance in the simple vapor chamber and reduces thermal resistance in the vapor chamber with the hydrophobic condensation section.

Keywords Hydrophobic, Heat Transfer, Vapor Chamber, Insulation

CITATION LINKS

[1] Effect of evaporator's length on pulsating heat pipes thermal performance [2] Experimental and theoretical study of a vapour chamber based heat spreader for avionics applications [3] Application of two-phase vapor chamber technique for hard disk drive cooling of PCs [4] A novel vapor chamber and its performance [5] Experimental investigation on thermal performance of aluminum vapor chamber using micro-grooved wick with reentrant cavity array [6] Feasibility study of an aluminum vapor chamber with radial grooved and sintered powders wick structures [7] Multi objective optimization of heat pipe thermal performance while using aluminium oxide nanofluid [8] Experimental studies of thermal resistance in a vapor chamber heat spreader [9] An experimental study of an anti-gravity vapor chamber with a tree-shaped evaporator [10] Experimental investigation on flow and heat transfer performance of a novel heat fin-plate radiator for electronic cooling [11] Development and characterization of a flat laminate vapor chamber [12] Experimental Investigation of the influence of nanofluid on the heat performance of pulsating heat pipe [13] Two-phase closed thermosyphon vapor-chamber system for electronic cooling [14] A vapor chamber using extended condenser concept for ultra-high heat flux and large heater area [15] Influence of a sintered central column on the thermal hydraulic performance of a vapor chamber: A numerical analysis [16] The experimental investigation of a vapor chamber with compound columns under the influence of gravity [17] Experimental investigation of vapor chambers with different wick structures at various parameters [18] Wickless network heat pipes for high heat flux spreading applications [19] Combined effects of the filling ratio and the vapour space thickness on the performance of a flat plate heat pipe [20] A correlation to predict the heat flux on the air-side of a vapor chamber with overturn-U flattened tubes [21] A multi-artery vapor chamber and its performance [22] Dip coated superhydrophobic and anticorrosive silica coatings [23] Experimental investigation of the effect of different parameters on the thermal performance of the vapor chamber for cooling the electronic board

¹Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Yazd University, Yazd, Iran

*Correspondence

Address: Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Yazd University, Yazd, Iran
Phone: +98 (35) 31232492
Fax: +98 (35) 38210699
vkalantar@yazd.ac.ir

Article History

Received: October 22, 2019
Accepted: December 23, 2019
ePublished: June 20, 2020

عملکرد حرارتی محفظه بخار آبگریز شده و تاثیر عوامل مختلف بر آن

مسعود نیک‌مهر MSc

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

ولی کلانتر PhD

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

محمد سفید PhD

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

چکیده

استفاده از محفظه‌های بخار راه‌کاری مفید برای کنترل دمای قطعات الکترونیکی است. در این تحقیق، دو محفظه بخار با ابعاد یکسان مورد آزمایش قرار گرفته است. بخش چگالش یکی از آنها آبگریز شده و دومی به‌صورت ساده و بدون عملیات آبگریز نمودن باقی مانده است. در این پژوهش با توجه به تاثیر خاصیت آبگریزی بخش چگالش محفظه بخار، تاثیر عایق‌نمودن سطح پیرامونی در هر دو محفظه بخار و تاثیر سایر پارامترهای مختلف، شامل زاویه محفظه بخار با افق، حرارت‌های مختلف تولیدشده توسط منبع حرارتی (برد مدار چاپی)، تغییر شکل هندسی منبع حرارتی در مساحت ثابت و همچنین تغییر محل نصب منبع حرارتی در کف تبخیرکننده، بر عملکرد حرارتی محفظه بخار، به‌عنوان کاری تجربی، بررسی و با محفظه بخار ساده مقایسه شده است. تاثیر قرارگرفتن منبع حرارتی در تمام کف بخش تبخیر، با افزایش دادن مساحت آن نیز در هر دو محفظه بخار مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که آبگریز نمودن و افزایش میزان حرارت، در مجموع و در اکثر حالات آزمایش باعث کاهش مقاومت حرارتی محفظه بخار شده است. همچنین عملکرد حرارتی محفظه بخار با نصب برد مدار چاپی در تمامی کف تبخیرکننده بهبود یافته است و به سایر پارامترهای بررسی‌شده در این تحقیق وابسته است. همچنین عایق‌نمودن سطح جانبی در محفظه بخار ساده باعث افزایش مقاومت حرارتی و در محفظه بخار دارای بخش چگالش آبگریز باعث کاهش مقاومت حرارتی شده است.

کلیدواژه‌ها: آبگریز، انتقال حرارت، محفظه بخار، عایق

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲

*نویسنده مسئول: vkalantar@yazd.ac.ir

مقدمه

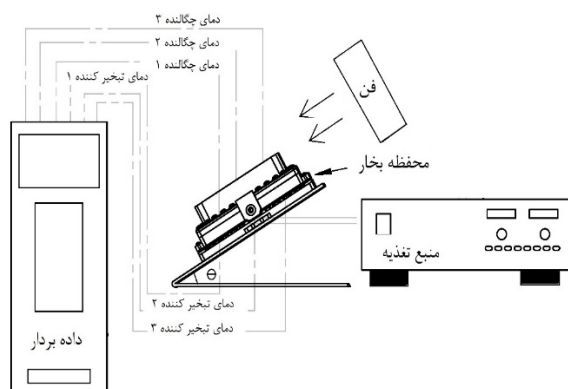
محفظه‌های بخار، معمولاً از مس ساخته می‌شوند که ابتدا درون محفظه از هوا تخلیه می‌شود و سپس یک سیال عامل مانند آب در آن قرار داده می‌شود. وجود فشار کمتر از اتمسفر، باعث پایین آمدن نقطه جوش سیال کاری خواهد شد. ورود حرارت به محفظه بخار باعث جوشش سریع‌تر سیال کاری شده و با ایجاد عملیات جوشش، انتقال حرارت را افزایش خواهد داد. *حقایق* و همکاران، بررسی لوله‌های نوسانی که عملکردی مشابه محفظه‌های بخار دارد را در پژوهش خود بررسی نموده‌اند^[1]. ریز و همکاران^[2]، محفظه بخاری را برای کاربرد در هوانوردی با پخش‌کننده گرمایی متفاوت در دو حالت جابجایی اجباری و طبیعی بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که تاثیر شکل پخش‌کننده گرمایی بر عملکرد حرارتی، در حالت جابجایی طبیعی بیشتر است. *نافون* و همکاران^[3]،

خنک‌سازی هارد رایانه‌های شخصی را با به‌کاربردن محفظه بخار بررسی کردند. *وانگ* و همکاران^[4]، عملکرد یک محفظه بخار را با در نظر گرفتن جداگانه مقاومت حرارتی بخش تبخیرکننده و چگالش، در حالات مختلف بررسی نمودند. *زنگ* و همکاران^[5]، یک محفظه بخار آلومینیومی نازک با شیارهای میکرو به‌عنوان فیتیل را بررسی نمودند. در محفظه بخار ایشان میکروشیارها برای افزایش میزان اثر موینگی است. *چن* و همکاران^[6]، امکان‌سنجی یک محفظه بخار آلومینیومی با شیارهای شعاعی را با محفظه بخاری با ساختار فیتیل‌ای پودری متخلخل مقایسه نمودند. محفظه بخار آلومینیومی نسبت به مس مزایایی چون قیمت پایین‌تر، سبک‌تر بودن و شکل‌پذیرتر بودن را دارد. *شجاعی‌فرد* و همکاران^[7]، یک لوله گرمایی را به‌منظور بهینه‌سازی چندهدفی مورد بررسی قرار دادند و نقاط طراحی را مشخص نمودند. *تسای* و همکاران^[8] نیز به بررسی محفظه بخاری در پنج زاویه مختلف پرداختند. در محفظه بخار ایشان قسمت کندانسور با صفحه سرد و به‌وسیله آب خنک شده است. ایشان به این نتیجه رسیدند که میزان پخش گرما در جهات مختلف نقش مهمی در اندازه مقاومت حرارتی بازی می‌کند. *یائو* و همکاران^[9]، محفظه بخاری ضدجاذبه را با مش دوگانه و سه شکل شیار در تبخیرکننده مورد بررسی قرار دادند و به عملکرد حرارتی بهتری دست یافتند. *پنگ* و *لینگ*^[10]، تاثیر نسبت پرشدگی و درجه خلأسازی و همچنین سرعت جریان هوا را بر عملکرد حرارتی محفظه بخار بررسی کردند. *میزوتا* و همکاران^[11]، محفظه بخار لمینت شده صاف را با یک پخش‌کننده گرمایی مسی مقایسه نمودند و به توزیع دمای یکنواخت‌تر و مقاومت حرارتی کمتری دست یافتند. *سیاحی* و همکاران^[12]، نشان دادند که در لوله‌های گرمایی نوسانی، مقاومت حرارتی با افزایش توان منبع حرارتی کاهش می‌یابد. در پژوهش *تی / این* و همکاران^[13]، محفظه بخار دوفازی ترموسیفون بسته برای خنک‌سازی قطعات الکترونیکی مورد بررسی قرار گرفته است. *زانبینگ* و همکاران^[14]، یک محفظه بخار را با استفاده از مفهوم گسترش قسمت چگالش برای دفع شار حرارتی بالا و سطح گرم‌کننده بزرگ بررسی کرده‌اند. در محفظه بخار ایشان، یک لایه فشرده از فوم مسی به‌صورت متخلخل روی قسمت تبخیر قرار داده شده است^[14]. *لانگشنگ* و همکاران^[15]، تاثیر وجود ستون متخلخل شده را در وسط محفظه بخار مدل نمودند و به این نتیجه دست یافتند که وجود ستون کاملاً متخلخل شده، موجب به‌وجود آمدن مسیر کمکی برای گردش جریان خواهد شد. *وانگیو* و همکاران^[16]، محفظه بخاری را که دارای ستون‌های مرکب است، مورد بررسی قرار دادند. در محفظه بخار ایشان ستون‌ها از جنس مس بوده و سطوح ستون‌ها با لایه متخلخل پوشانده شده است. بررسی عملکرد حرارتی محفظه بخار ایشان نشان داده است که استفاده از ستون‌های مرکب موجب کاهش محدودیت اثر موینگی و بهبود سیکل سیال کاری در حالات زاویه‌دار شده است. در پژوهش *یانگ لی* و همکاران^[17]، یک محفظه بخار مسی با دو نوع ساختار فیتیل‌ای (فوم و پودر مسی) ساخته شده است. بر اساس نتایج ایشان، ساختار فیتیل‌ای فومی،

است تا با استفاده از اثر مویینگی، مایع انباشته شده را در تمام بخش تبخیر توزیع نماید و به این لایه ها اصطلاحاً فیتیله گفته می شود. از فنی با دبی نامی ماکزیمم ۱۰۰۰ متر مکعب بر ساعت برای خنک کاری پره های قرارداد شده در بالای بخش چگالش محفظه بخار استفاده شده است و بین منبع تولیدکننده حرارت و بخش نگهدارنده آن نیز به طور کامل عایق شده است. تجهیزات آزمایش در شکل ۲ نمایش داده شده است و به منظور ایجاد توان های حرارتی مختلف در منابع حرارتی نیز از منبع تغذیه TDK-LAMBDA با جریان مستقیم استفاده شده است. اندازه گیری دماها در هر یک از بخش های تبخیر و چگالش با استفاده از سنسور دما، از نوع Pt100 با دقت ۰/۱ درجه سانتیگراد، انجام شده است.



شکل (۱) مجموعه محفظه بخار



شکل (۲) تجهیزات آزمایش

طراحی و متغیرهای آزمایش

محفظه بخار این پژوهش توسط پمپ خلأ تا فشار ۱۰^{-۳} میلی بار خلأ شده است. برای این کار، ابتدا با اتصال به پمپ خلأ از طریق سهراهی موجود در سطح جانبی محفظه بخار، عملیات تخلیه انجام شده است. سپس با بستن شیر، محفظه بخار از پمپ خلأ جدا می شود. آنگاه سیال عامل آب از طریق شلنگ تراز، محفظه را تا نسبت پرشدگی ۳۰٪ حجم محفظه شارژ می کند. برای اطمینان از تکرارپذیری نتایج، اندازه گیری هایی که در ادامه شرح داده شده است، در هر مورد ۳ مرتبه تکرار شده است. آزمایش ها به منظور بررسی تاثیر آبریزش بخار بر سایر پارامترها و مقاومت

یکنواختی دمایی بیشتری را نشان می دهد و ساختار فیتیله ای پودری مقدار مقاومت حرارتی کمتری دارد. کائو و همکاران [18]، از آلومینیوم به علت خاصیت ماشین کاری خوب برای ساخت محفظه بخار استفاده نموده اند. لایپس و همکاران [19]، سطح تبخیرکننده را به صورت شیارهای مستطیلی بهبود بخشیده و تاثیر نسبت پرشدگی و ضخامت فضای بخار در محفظه بخار را بررسی نموده اند. در پژوهش /سریمو/نگ و /لیمکایسانگ [20]، مشخصات حرارتی در یک محفظه بخار عادی که بخش چگالش آن به روش جابجایی خنک می شود، با یک محفظه بخار که در بخش چگالش آن ساختاری حلقه ای وجود دارد، مقایسه شده است. تانگ و همکاران [21]، محفظه بخاری چندشریانی را ساخته و مورد بررسی قرار دادند. ایشان نیز به عملکرد خوب و مقاومت حرارتی کمی در محفظه بخار خود دست یافتند.

در این پژوهش، دو محفظه بخار بررسی شده است که یکی به عنوان حالت پایه، به صورت ساده و بدون عملیات خاصی بر سطوح محفظه بخار ساخته شده و محفظه بخار دوم دارای بخش چگالش آبریزشده است. هدف اصلی، بررسی و مقایسه همزمان پارامترهای موجود در حضور خاصیت آبریزش بخار است. به عبارت دیگر، مطالعه میزان تاثیرپذیری پارامترهای موجود در این پژوهش از خاصیت آبریزش و نیز تاثیر متقابل این پارامترها بر خاصیت آبریزش، برای اولین بار انجام شده است. نتایج نیز نشان داده است که آبریزش نمودن، باعث تغییر (کم، زیاد، یا حتی معکوس شدن) اثرگذاری پارامترهای بررسی شده بر مقاومت حرارتی محفظه بخار شده است. لذا تاثیر پارامترهای متعددی شامل عایق نمودن سطوح جانبی محفظه بخار، تغییر شکل هندسی منبع حرارتی در مساحت ثابت، قراردادن منبع حرارتی در تمام کف بخش تبخیر، تاثیر تغییر محل نصب منبع حرارتی در بخش تبخیر و نیز تاثیر تغییرات زاویه قرارگیری محفظه بخار با افق و حرارت های ورودی مختلف، با در نظر گرفتن خاصیت آبریزش بخار بخش چگالش بر عملکرد حرارتی محفظه بخار، به صورت تجربی بررسی و مقایسه شده است.

تجهیزات آزمایش

در سطح جانبی محفظه بخار سامانه آزمایش این پژوهش یک سهراهی، یک شیر و یک گیج فشار تعبیه شده است و محفظه به ترتیب از بالا به پایین، شامل بخش های پره، چگالنده، تبخیرکننده، منبع تولید حرارت (برد مدار چاپی) و بخش نگهدارنده منبع تولید حرارت است که به وسیله پیچ و مهره و اورینگ (O-ring) به یکدیگر متصل شده اند (شکل ۱). ابعاد بخش چگالش و تبخیر ۱۲×۱۲×۱۵ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. در برخی از حالات آزمایش، محفظه بخار نسبت به افق زاویه دارد. وجود زاویه نسبت به افق، موجب انباشته شدن مایع در یک طرف بخش تبخیر خواهد شد. برای کاهش مقدار انباشته شدن مایع در یک سمت بخش تبخیر، از سه لایه توری (مش) که هر یک دارای ۴۰ پنجره مربع شکل در هر سانتیمتر هستند (ضلع هر پنجره ۲۵mm/۰ است)، استفاده شده

تحلیل خطا

اندازه‌گیری دماها با سنسور دما از نوع Pt100 انجام شده است که دارای حداکثر خطای ۱/۰ درجه سانتیگراد است. جهت ایجاد توان‌های حرارتی مختلف در برد مدار چاپی، منبع تغذیه TDK-LAMBDA با جریان مستقیم به‌کار گرفته شده است که با توجه به مشخصات دستگاه، دارای خطای حداکثر ۱٪ بازه ولتاژ و ۱٪ بازه جریان است. با توجه به موارد ذکرشده و رابطه ۱، میزان حداکثر خطای مقاومت حرارتی کمتر از ۲٪ محاسبه شده است [17].

$$\frac{E(f)}{f} = \frac{\sum \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} E(x_i) \right)^2}{f} \quad (1)$$

E خطای پارامتر دلخواه و f(x_e) پارامتر دلخواه است.

بررسی نتایج

از تعریف مقاومت حرارتی برای بررسی و مقایسه عملکرد حرارتی محفظه بخار به‌صورت رابطه ۲ استفاده شده است.

$$R = \frac{T_e - T_c}{q} \quad (2)$$

R، مقاومت حرارتی میانگین برحسب درجه سانتیگراد بر وات، q توان ورودی به محفظه بخار برحسب وات، T_e دمای میانگین بخش تبخیرکننده برحسب درجه سانتیگراد، T_c دمای میانگین بخش چگالش برحسب درجه سانتیگراد است.

محفظه بخار با بخش چگالش آبگیزشده

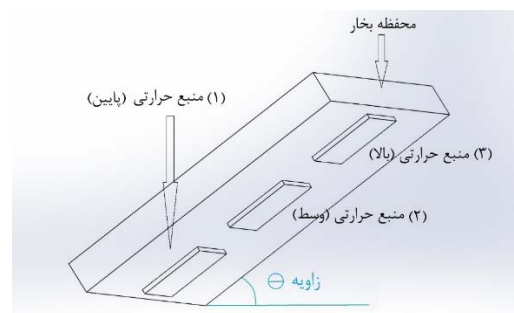
نمودارهای ۱- الف، ۲- الف و ۳- الف تأثیر پارامترهای مختلف بر عملکرد محفظه بخار آبگیزشده را نشان می‌دهند و با عملکرد حرارتی محفظه بخار ساده در حالات مشابه در نمودارهای ۱- ب، ۲- ب و ۳- ب مقایسه شده‌اند.

محفظه بخار آبگیزش با منبع حرارتی مربعی‌شکل

نمودار ۱- الف، مقاومت حرارتی محفظه بخار آبگیزش را برحسب حرارت‌های ورودی مختلف در زوایای مختلف، در حالتی که منبع حرارتی مربعی ۳×۳ سانتیمتر در وسط بخش تبخیرکننده قرار داشته باشد، نشان می‌دهد. همچنین نمودار ۱- ب مقاومت حرارتی محفظه بخار ساده [23] را در حالت مشابه نشان می‌دهد.

به لحاظ فیزیکی، در صورت کمبود مایع در بخش تبخیر که در اثر عدم عملکرد مناسب بخش چگالش، حرارت زیاد در بخش تبخیر، عدم عملکرد مناسب فیتیله برای بازگرداندن مایع به بخش تبخیر در حالات زاویه‌دار و غیره رخ می‌دهد، خشک‌شدگی در محفظه بخار اتفاق خواهد افتاد. در صورتی که تمام بخش تبخیر بدون مایع‌کاری بماند، خشک‌شدگی کلی و در صورتی که فقط بخش‌هایی از بخش تبخیر از جمله نواحی نصب منبع حرارتی دچار خشک‌شدگی شود، خشک‌شدگی، موضعی است که هر دو حالت موجب کاهش انتقال حرارت می‌شود. از طرف دیگر افزایش بیش از حد مایع در بخش تبخیر نیز مانند مقاومت حرارتی مانع عملکرد کامل محفظه بخار می‌شود. لذا برای عملکرد بهینه محفظه بخار، ضخامت مناسب سیال‌کاری در بخش تبخیر مورد نیاز است. همان‌طور که در نمودار

حرارتی محفظه بخار، در زوایای صفر، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه نسبت به افق و در حرارت‌های ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ وات با استفاده از برد مدار چاپی به‌عنوان منبع حرارتی با ابعاد ۹×۹، ۳×۳ و ۸×۱/۱۲۵ سانتیمتر، در حالات مختلف انجام شده است. همچنین تأثیر عایق‌کردن سطح جانبی محفظه بخار و تأثیر محل قرارگیری منبع حرارتی در دو سمت و وسط بخش تبخیر (شکل ۳) در حالات مختلف ذکرشده (با درنظرگرفتن تأثیر آبگیزی بر آن)، بررسی شده است. برای انجام آزمایش‌ها، دو محفظه بخار در نظر گرفته شده است؛ بخش چگالش یکی از محفظه‌ها با استفاده از پوشش‌دادن سطح با سیلیکا برای آبگیزنمودن سطوح فلزی به‌عنوان روشی ساده و ارزان، آبگیزشده است تا مایع ایجادشده در بخش چگالش را به‌راحتی به بخش تبخیر بازگرداند (شکل ۴). در این تحقیق آبگیزنمودن با استفاده از روش پیشنهادی پارال و همکاران [22] انجام شده است که به‌طور خلاصه به این شرح است: برای آبگیزنمودن سطوح به روش سل‌ژل (Sol-gel)، ابتدا سطوح مورد نظر از هر گونه آلودگی پاک شده است. سپس سل با نسبت مولی ۱:۵/۶۳:۱/۵۸ به‌ترتیب برای MTMS:MEOH:H₂O آماده شده است و از NH₄F به‌عنوان کاتالیزور استفاده شده است؛ آنگاه برای ازبین‌بردن بقایای اضافی محلول از روی سطح، مجموعه تا دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شده است [22]. محفظه بخار دیگر به‌عنوان حالت پایه، به‌صورت ساده باقی مانده است. تمام حالات ذکرشده فوق در دو حالت محفظه بخار ساده و آبگیزشده، آزمایش شده است تا رفتار دو محفظه بخار در دو حالت ساده و آبگیزش و تأثیر آبگیزی بر سایر پارامترهای ذکرشده، مشخص شود.



شکل ۳ محل‌های نصب منابع حرارتی



شکل ۴ سطح آبگیزشده بخش چگالش

تبخيرکننده نصب شده است؛ بنابراین، وجود زاویه با افزایش دادن ضخامت مایع در سمت چپ (پایین) بخش تبخیر، باعث کاهش مقاومت حرارتی شده است. همچنین مشاهده می‌شود که در حالات زاویه دار و کم‌حرارت، بر خلاف روند مورد انتظار، محفظه بخار ساده مقاومت حرارتی کمتر (یا در برخی حالات تقریباً یکسان) نسبت به محفظه بخار آبگريز دارد. علت این رفتار، وجود همزمان خاصیت آبگريزی و زاویه‌دار بودن محفظه بخار است که باعث ایجاد ضخامت بیش از حد مایع در سمت چپ (پایین) بخش تبخیر می‌شوند. منبع حرارتی نیز در حرارت‌های کم نتوانسته با ایجاد تبخیر کافی، ضخامت مایع را کاهش دهد، بنابراین مقاومت حرارتی محفظه بخار آبگريز نسبت به محفظه بخار ساده افزایش یافته است. در مجموع، در این حالت، در شرایط زاویه دار، کمبود مایع در بخش تبخیر وجود نداشته است. بنابراین، با نصب منبع حرارتی در سمت چپ (پایین) تبخیرکننده، تاثیر آبگريز نمودن بخش چگالش بر افزایش عملکرد محفظه بخار کم شده است؛ لذا بیشترین کاهش مقاومت حرارتی در اثر آبگريز نمودن، برابر با ۲/۹٪ و مربوط به زاویه صفر، در حرارت ۱۶۰ وات است.

مقاومت حرارتی محفظه بخار آبگريز را برحسب حرارت‌های ورودی مختلف در زوایای مختلف، در حالتی که منبع حرارتی مربعی ۳×۳ سانتیمتر در سمت راست (بالا) تبخیرکننده قرار داشته باشد و نیز حالت مشابه ساده [23] نشان می‌دهد که به لحاظ فیزیکی، با توجه به محل نصب منبع حرارتی و تجمع مایع در سمت دیگر بخش تبخیر، در حالات زاویه دار، حتی با وجود فیتیل، کمبود ضخامت مایع وجود داشته است و این کمبود در حرارت‌ها و زوایای زیاد، بیشتر شده است. لذا آبگريز بودن بخش چگالش، تاثیری مثبت بر عملکرد محفظه بخار دارد و موجب کاهش مقاومت حرارتی محفظه بخار آبگريز نسبت به محفظه بخار ساده شده است. در این حالت با افزایش زاویه و مقدار حرارت ورودی، مقدار کاهش مقاومت حرارتی ناشی از آبگريز نمودن، بیشتر شده است. بنابراین از مقایسه مقاومت حرارتی محفظه آبگريز با ساده، بیشترین کاهش مقاومت حرارتی، برابر با ۴/۷٪ و در حرارت ۱۶۰ وات و زاویه ۶۰ درجه به دست آمده است (نمودار ۳).

محفظة بخار آبگريز با منبع حرارتی مستطیلی شکل

علت استفاده از منبع حرارتی ۱۲۵×۸/۱ به جای ۳×۳ سانتیمتر آن است که امکان بررسی تغییر شکل هندسی منبع حرارتی در حالات ساده و آبگريز، در حرارت و مساحت یکسان را می‌دهد. آبگريز نمودن بخش چگالش باعث کاهش مقاومت حرارتی محفظه بخار آبگريز، نسبت به محفظه بخار ساده شده است (نمودار ۴). نکته قابل توجهی که از مقایسه نمودار ۴ با نمودار ۱، حاصل می‌شود آن است که اگرچه در هر دو نوع منبع حرارتی، آبگريز نمودن بخش چگالش باعث کاهش مقاومت حرارتی محفظه بخار آبگريز، نسبت به محفظه بخار ساده شده است، اما در زوایا و حرارت‌های بالا، مقاومت حرارتی محفظه دارای منبع مربعی، کاهش بیشتری نسبت به محفظه دارای منبع حرارتی مستطیلی داشته است؛ به طوری که در این حالت، حداکثر

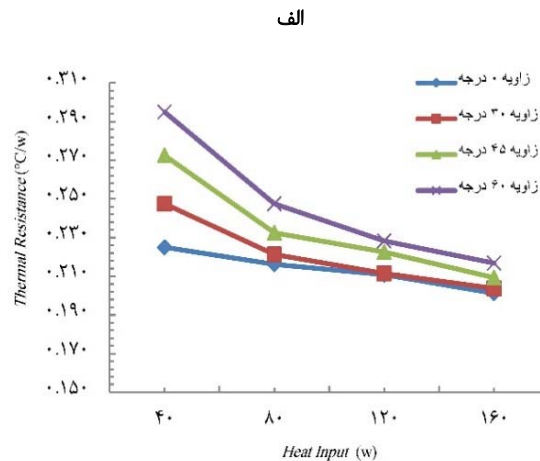
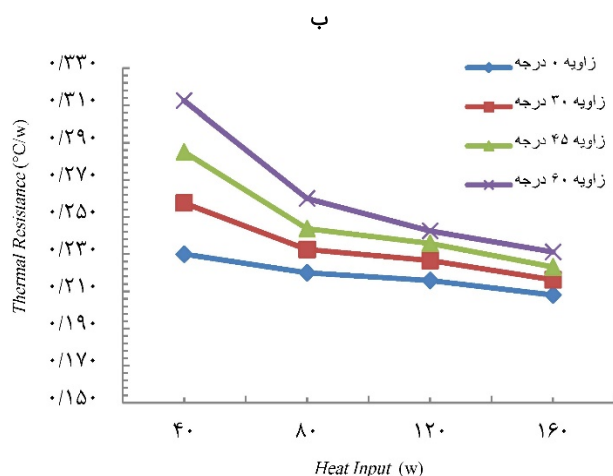
مشاهده می‌شود، در هر دو حالت با افزایش حرارت و زاویه محفظه بخار نسبت به افق، مقاومت حرارتی به ترتیب کاهش و افزایش یافته است. از لحاظ فیزیکی، علت کاهش مقاومت حرارتی با افزایش یافتن مقدار حرارت، آن است که وجود ضخامت بیش از حد نیاز مایع در تبخیرکننده مانند عایقی باعث افزایش مقاومت حرارتی می‌شود، لذا با افزایش مقدار حرارت و تبخیر بیشتر، ضخامت مایع کاهش یافته است؛ بنابراین مقاومت حرارتی کاهش می‌یابد. علت افزایش یافتن مقاومت با افزایش زاویه محفظه بخار نسبت به افق نیز آن است که به لحاظ فیزیکی با افزایش زاویه، تحت تاثیر جاذبه، مقدار بیشتری از مایع در قسمت پایین تر بخش تبخیر تجمع می‌یابد. فیتیل به کاررفته در بخش تبخیر نیز می‌تواند تنها بخشی از مایع تجمع یافته را به قسمت‌های بالاتر بخش تبخیر منتقل نماید، لذا عدم توزیع یکسان مایع در بخش تبخیر موجب کم شدن ضخامت مایع در قسمت‌های بالاتر بخش تبخیر می‌شود؛ بنابراین، این امر در حالات زاویه دار می‌تواند موجب خشک شدن موضعی شود. پس با افزایش زاویه و کم شدن بیش از حد ضخامت مایع در محل نصب منبع حرارتی (وسط بخش تبخیرکننده)، مقاومت حرارتی افزایش یافته است. مقایسه نمودارهای ۱- الف و ب نشان می‌دهد که مقاومت حرارتی به دست آمده در محفظه بخار آبگريز در تمامی حالات، کمتر از مقاومت حرارتی به دست آمده در محفظه بخار ساده است؛ اما این کاهش مقاومت، در حالات زاویه دار بیشتر از حالت بدون زاویه است. به لحاظ کمی، در این حالت، بیشترین کاهش میزان مقاومت محفظه آبگريز نسبت به محفظه ساده، در حرارت ۱۶۰ وات و زاویه ۶۰ درجه رخ داده و برابر با ۶/۲٪ است و حداقل میزان کاهش مقاومت، در حرارت ۴۰ وات و زاویه صفر رخ داده و برابر با ۲/۲٪ است. علت این امر، آن است که در حالت بدون زاویه، ضخامت مایع در تمام بخش تبخیر یکسان است؛ اما در حالات زاویه دار، به علت تجمع بخشی از مایع در قسمت پایین تر تبخیرکننده، ضخامت مایع در قسمت وسط تبخیرکننده (محل نصب منبع حرارتی) کاهش یافته است؛ بنابراین آبگريز بودن بخش چگالش، با افزایش دادن میزان بازگشت مایع به بخش تبخیر، کمبود ضخامت مایع را جبران نموده است و باعث کاهش بیشتر مقاومت حرارتی در حالات زاویه دار شده است.

مقاومت حرارتی محفظه بخار آبگريز برحسب حرارت‌های ورودی مختلف در زوایای مختلف، در حالتی که منبع حرارتی مربعی ۳×۳ سانتیمتر در سمت چپ (پایین) تبخیرکننده قرار داشته باشد و نیز مقاومت حرارتی در حالت مشابه برای محفظه بخار ساده [23] (نمودار ۲) نشان می‌دهد که در زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در هر یک از محفظه بخارهای ساده و آبگريز، با افزایش حرارت و زاویه، مقاومت حرارتی به ترتیب کاهش و افزایش یافته است. اما در حرارت‌های بالا (مانند ۱۶۰ وات) مقاومت حرارتی در زاویه صفر، بیشتر از زوایای دیگر است که علت این امر، آن است که به لحاظ فیزیکی، در حرارت‌های بالا با افزایش میزان تبخیر، به ضخامت مایع بیشتری در تبخیرکننده نیاز است. در این حالت منبع حرارتی در پایین

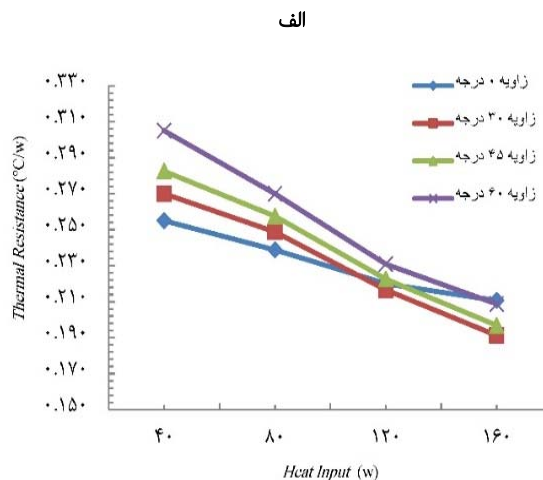
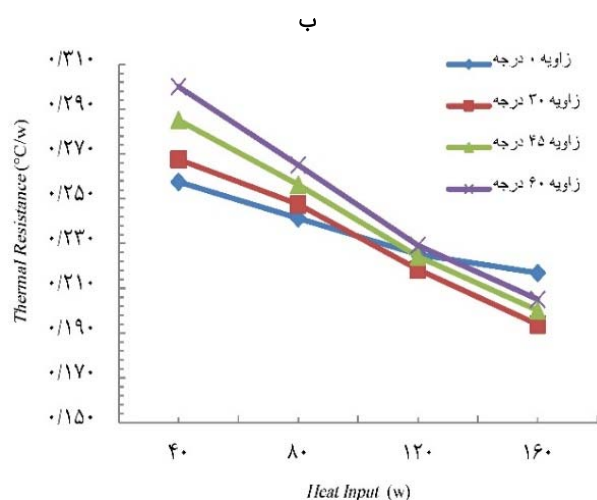
حرارت ۱۶۰ وات است که مقدار ۴/۶٪ کاهش را نسبت به مقاومت محفظه ساده نشان می‌دهد. این امر به علت جبران مقداری از کمبود ضخامت مایع، توسط بخش چگالش آبگریز است. همچنین در حالتی که منبع حرارتی در سمت چپ (پایین) تبخیرکننده قرار داشته باشد، مقاومت حرارتی محفظه بخار آبگریز در زاویه صفر، کمتر از محفظه بخار ساده است. اما با ایجاد زاویه نسبت به افق، مقاومت حرارتی محفظه بخار ساده و آبگریز تقریباً یکسان می‌شود. علت این امر، آن است که با توجه به نصب منبع حرارتی در پایین (سمت چپ) تبخیرکننده در حالات زاویه‌دار (به علت وجود شیب)، ضخامت مایع در محل نصب منبع حرارتی افزایش یافته است؛ بنابراین از تاثیر آبگریز نمودن بخش تبخیر کاسته شده است (نمودارهای ۵ و ۶).

کاهش مقاومت حرارتی در اثر آبگریز نمودن، ۳/۲٪ است، اما در حالتی که از منبع حرارتی ۳×۳ سانتیمتر استفاده شده بود، حداکثر کاهش مقاومت ۶/۲٪ محاسبه شد. علت این امر، شکل هندسی عریض‌تر منبع حرارتی ۱/۱۲۵×۸ سانتیمتری است. به عبارت دیگر، منبع باریک و عریض ۱/۱۲۵×۸ سانتیمتری به طور یکنواخت‌تری توسط فیتیل، آب‌رسانی می‌شود و نیاز کمتری به آبگریزی بخش چگالش دارد؛ بنابراین در محفظه بخار با منبع مستطیلی، کاهش مقاومت حرارتی در اثر آبگریز نمودن بخش چگالش، کمتر از محفظه بخار دارای منبع مربعی (۳×۳ سانتیمتر) است.

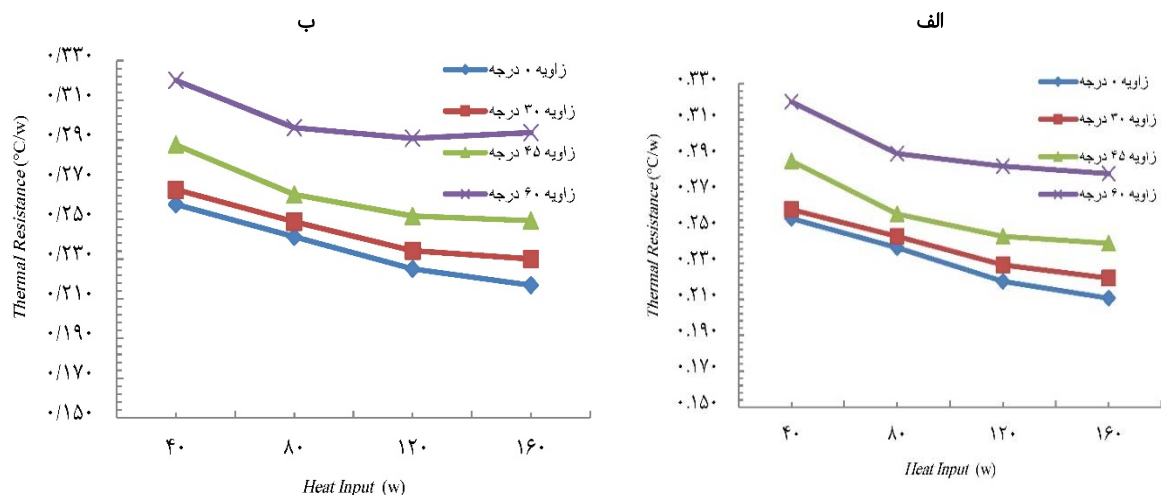
در حالتی که منبع حرارتی در سمت راست (بالا) بخش تبخیر قرار داشته باشد، محفظه بخار آبگریز در تمامی حالات عملکرد بهتری داشته است و مقاومت حرارتی کمتری را نشان می‌دهد. بیشترین کاهش مقاومت، ناشی از آبگریزی نیز مربوط به زاویه ۶۰ درجه و



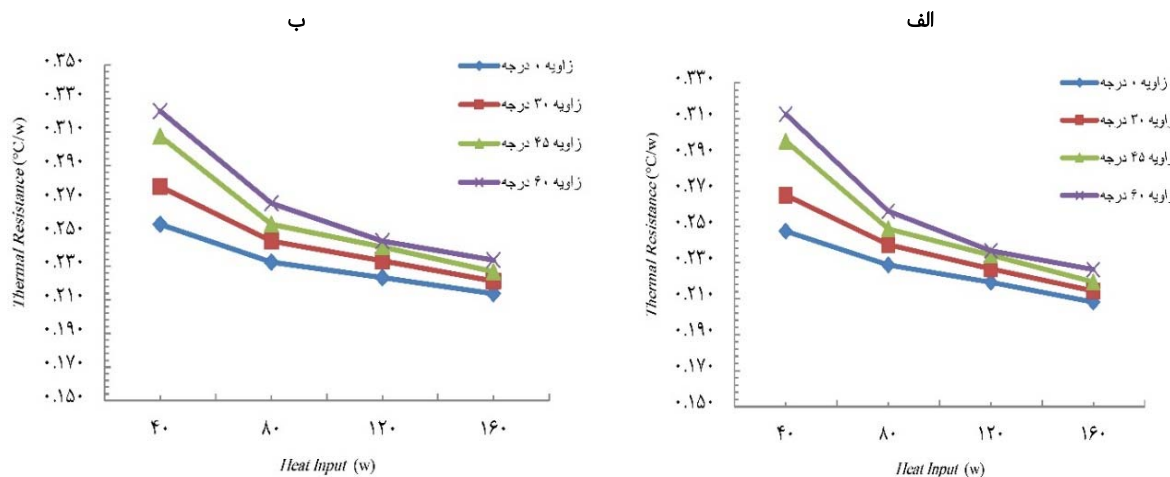
نمودار (۱) مقاومت حرارتی محفظه بخار آبگریز برحسب حرارت‌های ورودی مختلف در زوایای مختلف، در حالت نصب منبع حرارتی مربعی ۳×۳ سانتیمتر در وسط بخش تبخیرکننده (الف)؛ محفظه بخار ساده در شرایط مشابه (ب)



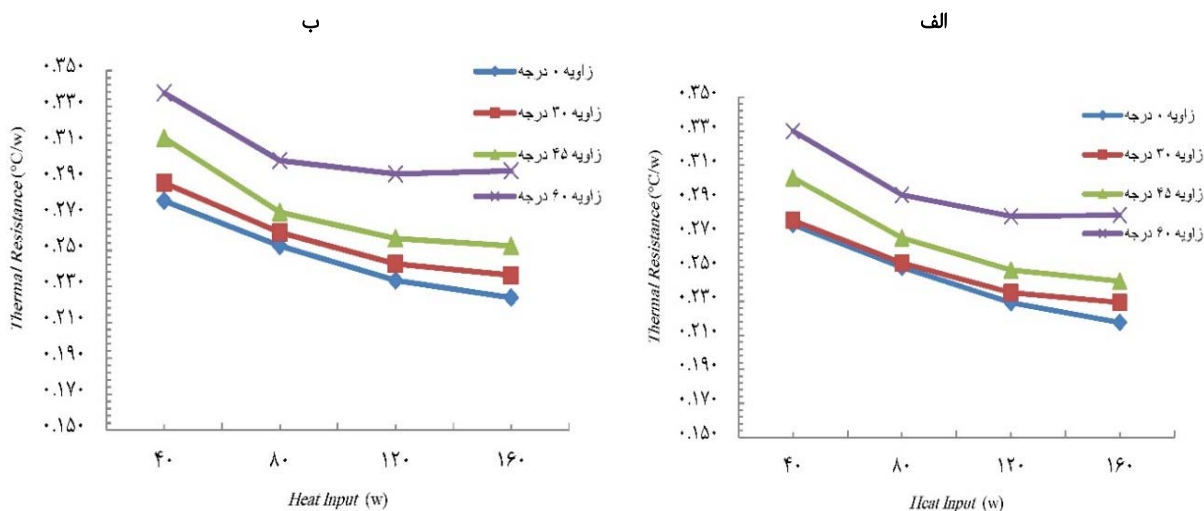
نمودار (۲) الف: مقاومت حرارتی محفظه بخار آبگریز برحسب حرارت‌های ورودی مختلف در زوایای مختلف، در حالت نصب منبع حرارتی مربعی ۳×۳ سانتیمتر در سمت چپ (پایین) تبخیرکننده؛ ب: مقاومت حرارتی در شرایط مشابه برای محفظه بخار ساده



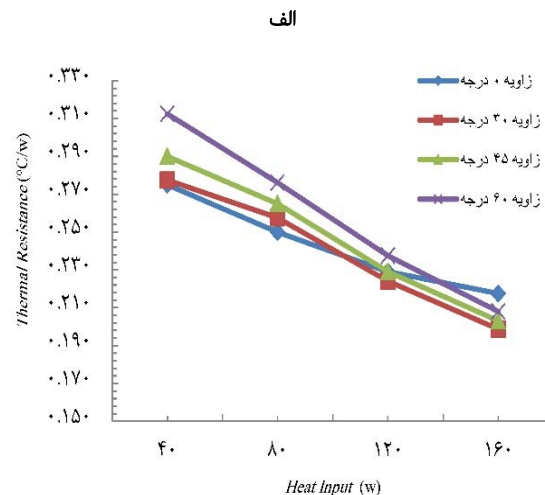
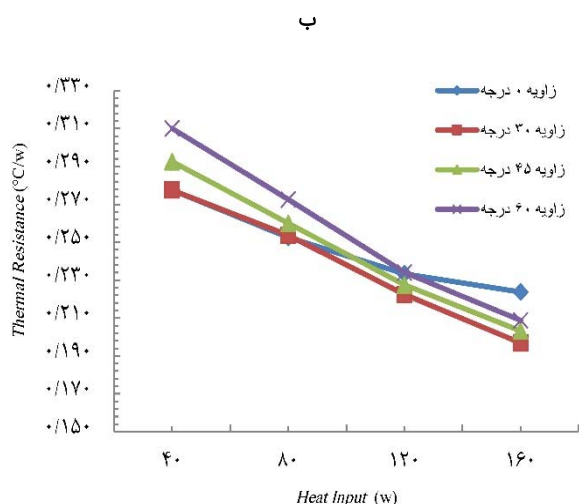
نمودار ۳) مقاومت حرارتی محفظه بخار آبگریز (الف) و محفظه ساده (ب) برحسب حرارت‌های ورودی مختلف در زوایای مختلف، در حالت نصب منبع حرارتی مربعی ۳×۳ سانتیمتر در سمت راست (بالا) تبخیرکننده



نمودار ۴) مقاومت حرارتی محفظه بخار آبگریز (الف) و محفظه ساده (ب) برحسب حرارت‌های ورودی مختلف در زوایای مختلف، در حالت نصب منبع حرارتی ۱/۱۲۰×۸ سانتیمتر در وسط تبخیرکننده



نمودار ۵) مقاومت حرارتی محفظه بخار آبگریز (الف) و محفظه ساده (ب) برحسب حرارت‌های ورودی مختلف در زوایای مختلف، در حالت نصب منبع حرارتی ۱/۱۲۰×۸ سانتیمتر در سمت راست (بالا) تبخیرکننده

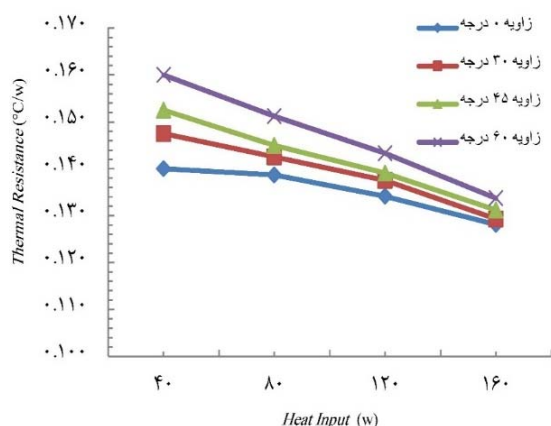


نمودار ۶) مقاومت حرارتی محفظه بخار آبگریز (الف) و محفظه ساده (ب) برحسب حرارت‌های ورودی مختلف در زوایای مختلف، در حالت نصب منبع حرارتی ۸×۱۲۵/۱ سانتیمتر در سمت چپ (پایین) تبخیرکننده

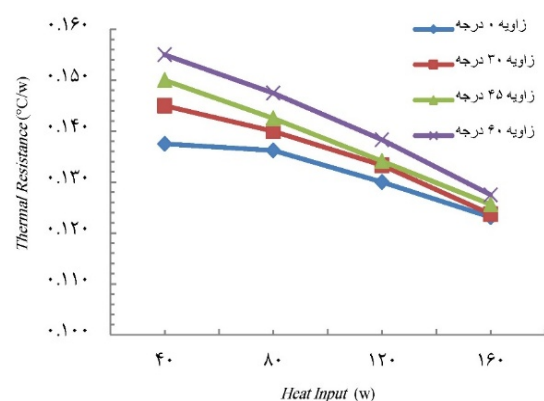
در محفظه ساده و آبگریز بیشتر شده است. علت آن است که در حرارت‌ها و زوایه‌های زیاد، ضخامت مایع در بخش‌های بالایی تبخیرکننده کم شده است، لذا نیاز بیشتری به بازگشت مایع از بخش چگالش دارند؛ بنابراین محفظه بخار آبگریز در حرارت‌ها و زوایای بالا، عملکرد مناسب‌تری نشان داده است.

محفظه بخار با منبع حرارتی ۹×۹ سانتیمتر

با توجه به اینکه منابع حرارتی ۳×۳ سانتیمتر و ۸×۱۲۵/۱ سانتیمتر تنها با بخشی از کف تبخیرکننده در تماس هستند، در این قسمت از تحقیق، از منبع حرارتی با ابعاد ۹×۹ سانتیمتر برای تماس با تمام کف تبخیرکننده استفاده شده است. نمودارهای ۷ و ۸ مقاومت حرارتی محفظه ساده و آبگریز را با منبع حرارتی ۹×۹ سانتیمتر، در حرارت‌ها و زوایای مختلف نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو حالت ساده و آبگریز با افزایش حرارت و زاویه، مقاومت به‌ترتیب کاهش و افزایش یافته است. در حالات قبل، کمترین مقاومت در زاویه ۳۰ درجه و حرارت ۱۶۰ وات، در حالتی که منبع حرارتی ۳×۳ سانتیمتر در سمت چپ (پایین) بخش تبخیر قرار داشت، به‌دست آمده است. به لحاظ فیزیکی، این امر به‌دلیل ضخامت مناسب مایع در بخش تبخیر است. به‌عبارت دیگر، در این حالت، کمبود یا افزایش بیش از حد ضخامت مایع، در بخش تبخیر وجود نداشته است. اما در حالت استفاده از منبع ۹×۹ سانتیمتر، بر خلاف حالاتی که منابع حرارتی کوچک‌تر داشته‌اند، کمترین مقاومت در زاویه صفر به‌دست آمده است. علت آن است که با توجه به ابعاد منبع حرارتی، تمام سطح کف تبخیرکننده با منبع در تماس است و ایجاد زاویه حتی با وجود فیتیله، باعث غیریکنواخت شدن ضخامت مایع در کف بخش تبخیر می‌شود. بنابراین بخش‌های کم‌ضخامت در سمت راست (بالا) تبخیرکننده، تا حدی دچار خشک‌شدگی موضعی می‌شوند و در بخش‌های سمت چپ (پایین) تبخیرکننده، ضخامت مایع مانند عایق عمل می‌نماید. از مقایسه حداقل مقاومت حرارتی به‌دست‌آمده در محفظه بخار دارای منبع ۹×۹ سانتیمتر، با حالت مشابه در شرایط استفاده از منبع حرارتی ۳×۳ سانتیمتر (نصب در وسط بخش تبخیر)، مشخص می‌شود که استفاده از منبع ۹×۹ سانتیمتر موجب ۳۸/۸٪ کاهش در مقاومت حرارتی شده است. همچنین با توجه به نمودارهای ۷ و ۸ مشاهده می‌شود که مقاومت حرارتی در محفظه بخار آبگریز کمتر از محفظه بخار ساده است و با افزایش مقدار حرارت و زاویه، اختلاف بین مقاومت حرارتی



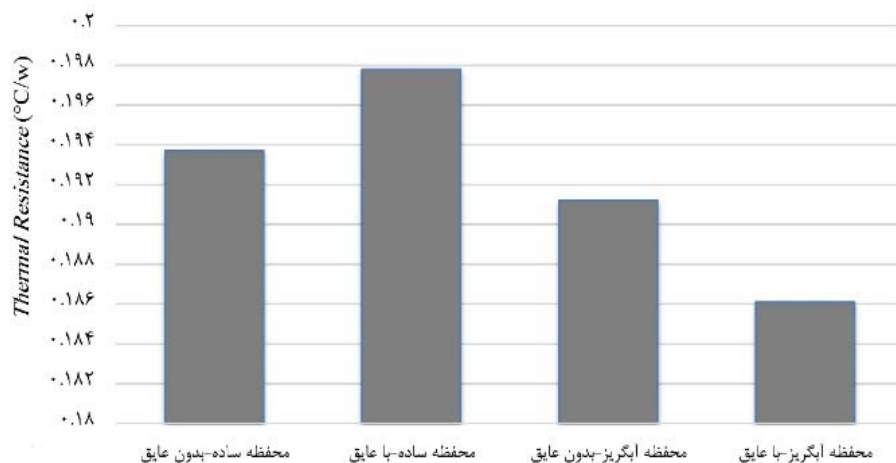
نمودار ۷) مقاومت حرارتی محفظه بخار ساده با منبع حرارتی ۹×۹ سانتیمتر در حرارت‌ها و زوایای مختلف



نمودار ۸) مقاومت حرارتی محفظه بخار آبگریز شده با منبع حرارتی ۹×۹ سانتیمتر در حرارت‌ها و زوایای مختلف

تبدیل می‌شود. از طرف دیگر وجود عایق، باعث بالارفتن دمای دیواره جانبی شده است؛ پس در حالتی که عایق وجود داشته باشد، تقریباً تمام مایع فقط در بخش چگالش به مایع تبدیل می‌شود. لذا در محفظه آبگريز، وجود عایق با بالابردن دمای دیواره‌های جانبی که غیرآبگريز هستند، باعث می‌شود تا همه بخار در بخش آبگريز به مایع تبدیل شود و به راحتی به قسمت تبخیرکننده بازگردد؛ بنابراین مقاومت محفظه آبگريز با عایق، نسبت به محفظه آبگريز بدون عایق کاهش یافته است. اما در محفظه بخار ساده با توجه به آبگريز نبودن بخش چگالش، تبدیل بخار به مایع در بخش چگالش، مزیتی نسبت به تبدیل بخار به مایع در دیواره‌های جانبی ندارد و وجود عایق با بالابردن دمای دیواره جانبی، مانع چگالش بخار در این دیواره‌ها شده است، لذا وجود عایق فقط باعث کاهش مقدار چگالش شده است؛ بنابراین مقاومت حرارتی محفظه ساده با عایق، بیشتر از مقاومت حرارتی محفظه ساده بدون عایق شده است. همچنین با توجه به نمودار ۹، آبگريز نمودن محفظه عایق شده، باعث ۵/۹٪ کاهش در مقاومت حرارتی، نسبت به محفظه عایق شده ساده، شده است.

منظور از سطح پیرامونی، دیواره‌های جانبی بخش‌های چگالش و تبخیر است. برای عایق نمودن سطح جانبی محفظه بخار از عایق فوم الاستومری k-flex استفاده شده است. برای بررسی تاثیر عایق، یکی از حالاتی که دارای کمترین مقاومت حرارتی است، در نظر گرفته شده است. لذا نمودار ۹، مقاومت محفظه بخار را در حرارت ۱۶۰ وات و زاویه ۳۰ درجه، در دو محفظه بخار با بخش چگالش آبگريز شده و ساده، با منبع حرارتی ۳×۳ سانتیمتری نصب شده در سمت چپ (پایین) بخش تبخیر، در دو حالت عایق شده و بدون عایق نشان می‌دهد. عایق نمودن سطح جانبی در محفظه بخار ساده، باعث افزایش مقاومت حرارتی و در محفظه بخار آبگريز، باعث کاهش مقاومت حرارتی شده است. در حالت مطالعه شده برای بررسی نقش عایق، با توجه به وجود حرارت بالا، عملیات تبخیر به خوبی انجام شده است؛ بنابراین برای عملکرد بهتر محفظه بخار نیاز به چگالش هرچه بیشتر است. در شرایط بدون عایق، بخشی از بخار در دیواره‌های جانبی و بخش عمده دیگر در قسمت چگالش به مایع



نمودار ۹) مقاومت حرارتی محفظه بخار در حرارت ۱۶۰ وات و زاویه ۳۰ درجه در دو محفظه بخار با بخش چگالش آبگريز شده و ساده با منبع حرارتی ۳×۳ سانتیمتر در سمت چپ (پایین) بخش تبخیرکننده در دو حالت عایق شده و بدون عایق

است که از منبع مستطیلی ۸×۱۲۵/۱ سانتیمتر استفاده شود. این امر به دلیل شکل هندسی عریض منبع ۸×۱۲۵/۱ سانتیمتری است. شکل عریض منبع مستطیلی سبب می‌شود تا مایع بالاآمده توسط فیتیل به طور یکنواخت به منبع وارد شود و نیاز آن به مایع کمتر شود و بنابراین تاثیر خاصیت آبگريزی بر منبع ۳×۳ سانتیمتر بیشتر بوده است. در حالات زاویه دار که منبع حرارتی در سمت چپ (پایین) بخش تبخیر قرار گرفته است نیز تاثیر خاصیت آبگريزی بر کاهش مقاومت حرارتی کاسته می‌شود؛ زیرا با توجه به محل نصب منبع حرارتی و وجود زاویه، مایع انباشته کافی در محل نصب منبع حرارتی در بخش تبخیر وجود داشته است. اما در سایر حالات، مخصوصاً حالات زاویه داری که منبع حرارتی در وسط یا سمت راست (بالا) بخش تبخیر قرار دارد و بخش تبخیر با کمبود مایع مواجه است، خاصیت آبگريزی با بازگرداندن بیشتر مایع از بخش چگالش، سبب

نتیجه گیری

در این پژوهش، بخش چگالش یک محفظه بخار مسی، آبگريز شده است و تاثیر متغیرهای مختلف، شامل پارامترهایی مانند عایق نمودن سطح پیرامونی محفظه بخار، قرارگرفتن منبع حرارتی در تمام کف بخش تبخیر و نیز زاویه محفظه بخار با افق، حرارت‌های مختلف تولید شده توسط منبع حرارتی، تغییر شکل هندسی منبع حرارتی در مساحت ثابت و تغییر محل نصب منبع حرارتی در کف بخش تبخیر، بر عملکرد حرارتی محفظه بخار با توجه به خاصیت آبگريزی بخش چگالش آن، مورد بررسی قرار گرفته و با محفظه بخاری ساده مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که خاصیت آبگريزی و عملکرد سایر پارامترها، بر یکدیگر تاثیر متقابل داشته‌اند. هنگام استفاده از منبع حرارتی مربعی ۳×۳ سانتیمتر، تاثیر خاصیت آبگريزی در کاهش مقاومت حرارتی محفظه بخار، بیشتر از هنگامی

aluminum vapor chamber using micro-grooved wick with reentrant cavity array. *Applied Thermal Engineering*. 2018;130:185-194.

6- Chen YT, Kang SW, Hung YH, Huang CH, Chien KC. Feasibility study of an aluminum vapor chamber with radial grooved and sintered powders wick structures. *Applied Thermal Engineering*. 2013;51(1-2):864-870.

7- Shojaeefard MH, Khalkhali A, Zare j, Tahani M. Multi objective optimazation of heat pipe thermal performance while using aluminium oxide nanofluid. *Modares Mechanical Engineering*. 2014;14(1):158-167. Persian.

8- Tsai MC, Kang SW, Paiva KV. Experimental studies of thermal resistance in a vapor chamber heat spreader. *Applied Thermal Engineering*. 2013;56(1-2):38-44.

9- Yao F, Miao S, Zhang M, Chen Y. An experimental study of an anti-gravity vapor chamber with a tree-shaped evaporator. *Applied Thermal Engineering*. 2018;141:1000-1008.

10- Peng H, Ling X. Experimental investigation on flow and heat transfer performance of a novel heat fin-plate radiator for electronic cooling. *Heat and Mass Transfer*. 2009;45:1575-1581.

11- Mizuta K, Fukunaga R, Fukuda K, Nii S, Tanemasa Asano T. Development and characterization of a flat laminate vapor chamber. *Applied Thermal Engineering*. 2016;104:461-471.

12- Sayyahi M, Mamourian M, Ghadiri M. Experimental Investigation of the influence of nanofluid on the heat performance of pulsating heat pipe. *Modares Mechanical Engineering*. 2016;16(13):162-165. Persian.

13- Tsai TE, Wu HH, Chang CC, Chen SL. Two-phase closed thermosyphon vapor-chamber system for electronic cooling. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2010;37(5):484-489.

14- Ji X, Xu J, Abanda AM, Xue Q. A vapor chamber using extended condenser concept for ultra-high heat flux and large heater area. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2012;55(17-18):4908-4913.

15- Lu L, Xie Y, Zhang F, Liao H, Liu X, Yong Tang. Influence of a sintered central column on the thermal hydraulic performance of a vapor chamber: A numerical analysis. *Applied Thermal Engineering*. 2016;103:1176-1185.

16- Liu W, Gou J, Luo Y, Zhang M. The experimental investigation of a vapor chamber with compound columns under the influence of gravity. *Applied Thermal Engineering*. 2018;140:131-138.

17- Li Y, Li Z, Zhou W, Zeng Z, Yan Y, Li B. Experimental investigation of vapor chambers with different wick structures at various parameters. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2016;77:132-143.

18- Cao Y, Cao M. Wickless network heat pipes for high heat flux spreading applications. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2002;45(12):2539-2547.

19- Lips S, Lefèvre F, Bonjour J. Combined effects of the filling ratio and the vapour space thickness on the performance of a flat plate heat pipe. *International Journal of Heat Mass Transfer*. 2010;53(4):694-702.

20- Srimuang W, Limkaisang V. A correlation to predict the heat flux on the air-side of a vapor chamber with overturn-U flattened tubes. *Heat Mass Transfer*. 2016;52:1683-1692.

21- Tang Y, Yuan D, Lu L, Wang Z. A multi-artery vapor chamber and its performance. *Applied Thermal Engineering*. 2013;60(1-2):15-23.

22- Parale VG, Mahadik DB, Phadtare VD, Pisal AA, Park

بهیود عملکرد محفظه بخار آبگریز نسبت به محفظه بخار ساده شده است؛ لذا در این حالات اهمیت آبگریز نمودن بخش چگالش، بیشتر است. عایق نمودن سطح جانبی در محفظه بخار با کاهش دادن انتقال حرارت از سطح جانبی و کاهش چگالش بخار در این سطوح، باعث افزایش مقاومت حرارتی در محفظه بخار ساده شده است. این در حالی است که در محفظه بخار آبگریز به علت عملکرد مناسب بخش چگالش، بخار منتقل شده به قسمت چگالش، امکان جدا شدن سریع تر از سطح و بازگشت سریع تر دارد، لذا برخلاف محفظه ساده، عایق نمودن سطح جانبی در محفظه بخار آبگریز باعث کاهش مقاومت حرارتی شده است. بنابراین آبگریز نمودن بخش چگالش سبب معکوس شدن اثر عایق بر مقاومت حرارتی می شود. در حالت استفاده از منبع حرارتی ۹×۹ سانتیمتر، با توجه به اینکه در این حالت تمام سطح کف تبخیر کننده با منبع در تماس است، ایجاد زاویه باعث عدم یکنواختی ضخامت مایع در کف تبخیر کننده می شود. بنابراین بر خلاف حالاتی که منابع حرارتی کوچک تر داشته اند، کمترین مقاومت در زاویه صفر مشاهده شده است. همچنین آبگریز نمودن با افزایش نرخ بازگشت مایع باعث بهبود عملکرد محفظه بخار در این حالت شده است.

تشکر و قدردانی: با سپاس از آقایان دکتر محمد رضا نظری و امیر/میدوار

که با نظرات ارزشمند خود ما را در انجام این پژوهش یاری نمودند.

تأییدیه اخلاقی: این مقاله تاکنون در نشریه دیگری (به طور کامل با بخشی از آن) به چاپ نرسیده است. ضمناً محتویات علمی و ادبی مقاله منتج از فعالیت علمی خود نویسندگان بوده و صحت و اعتبار نتایج و متن مقاله بر عهده نویسندگان است.

تعارض منافع: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان: مسعود نیک‌مهر (نویسنده اول)، نگارنده مقدمه/پژوهشگر اصلی/تحلیلگر آماری/نگارنده بحث (۴۰٪)؛ ولی کلانتر (نویسنده دوم)، پژوهشگر کمکی/تحلیلگر آماری (۴۰٪)؛ محمد سفید (نویسنده سوم)، پژوهشگر کمکی/تحلیلگر آماری (۲۰٪).

منابع مالی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

- 1- Haghayegh Sh, Saidi MH, Afshin H, Shafii MB, Adibnia A. Effect of evaporator's length on pulsating heat pipes thermal performance. *Modares Mechanical Engineering*. 2014;13(15):110-115. Persian.
- 2- Reyes M, Alonso D, Arias JR, Velazquez A. Experimental and theoretical study of a vapour chamber based heat spreader for avionics applications. *Applied Thermal Engineering*. 2012;37:51-59.
- 3- Naphon P, Wongwises S, Wiriyaart S. Application of two-phase vapor chamber technique for hard disk drive cooling of PCs. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2013;40:32-35.
- 4- Wong SC, Hsieh KC, Wu JD, Han WL. A novel vapor chamber and its performance. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2010;53(11-12):2377-2384.
- 5- Zeng J, Zhang Sh, Chen G, Lin L, Sun Y, Chuai L, et al. Experimental investigation on thermal performance of

the effect of different parameters on the thermal performance of the vapor chamber for cooling the electronic board. Modares Mechanical Engineering. 2019;19(10):2387-2395. Persian.

HH, Wategaonkar SB. Dip coated superhydrophobic and anticorrosive silica coatings. International Journal of Materials Science and Engineering. 2016;4(1):60-67.
23- Nikmehr M, Kalantar V. Experimental investigation of