



## بررسی تجربی اثر پنج عامل موثر بر جوشش نوسانی یک ترموسیفون دو فازي بسته

حسن خدادادی<sup>۱</sup>، محمد رضا سرمستی امامی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و فناوری، مازندران، بهشهر، ایران

۲- استادیار دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و فناوری، مازندران، بهشهر، ایران

m\_r\_emami@mazust.ac.ir

### چکیده:

در این پژوهش اثر پنج عامل نسبت پر شدن، طول تبخیرکننده، گرمای ورودی به بخش تبخیرکننده، زاویه شیب لوله نسبت به افق و دبی سیال خنک کننده (در غلاف بخش چگالنده) در حالت پایدار بر عملکرد یک ترموسیفون‌های دو فازي بسته به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشات در یک لوله مسی به طول هزار میلی متر و قطر داخلی بیست میلی متر با سیال عامل آب مقطر انجام شد. نتایج نشان داد که افزایش دبی سیال خنک کننده بیشتر از ۴۰۰ سانتیمتر مکعب بر دقیقه تاثیر بر بازده حرارتی نداشت و نسبت پر شدن بهینه سیال عامل در بازده ۳۰٪ تا ۵۰٪ قرار داشت. برای بررسی پدیده جوشش نوسانی از روش میزان نوسان دمای سیال خروجی از غلاف چگالنده استفاده شد. رابطه تجربی به دست آمده برای نقش عوامل موثر بر بازه زمانی نوسان دمای خروجی بخش چگالنده نشان داد که دوره نوسانات دما ناشی از پدیده جوشش نوسانی در ترموسیفون دو فازي بسته با نسبت پر شدن و نسبت ابعاد رابطه مستقیم و با دبی سیال خنک کننده، زاویه شیب ترموسیفون و گرمای ورودی به بخش چگالنده رابطه عکس دارد.

کلید واژگان: ترموسیفون دو فازي بسته، عملکرد حرارتی، نسبت ابعاد، نسبت پر شدن، جوشش نوسانی

## *Experimental investigation of five affecting parameters on geyser boiling in a two-phase closed thermosyphon*

*Hasan Khodadadi<sup>1</sup>, Mohammad Reza Sarmasti Emami<sup>\*2</sup>*

*1. MS.C. Student, University of Science and Technology of Mazandaran*

*2. Chemical Engineering Department, University of Science and Technology of Mazandaran*

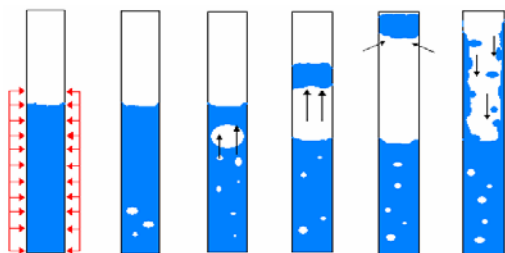
*†Corresponding Author Email: m\_r\_emami@mazust.ac.ir*

### Abstract:

In this research, the effect of operating parameters, i.e. filling ratio, aspect ratio, input power, cooling flow rate and inclination angle on geyser boiling in a two-phase closed thermosyphon were investigated experimentally. A copper pipe with a length of 1000 mm and an inside diameter of 20 mm was used for this purpose. Distilled water was used as the working fluid. The geyser boiling has been investigated by examining the time variations of the evaporator and adiabatic wall temperature, and an outlet water temperature from condenser jacket. An empirical relationship for the period of temperature variations caused by boiling was presented. The results show that the period of geyser boiling was shorter for higher input power, cooling water flow rate and inclination angles.

**Keywords:** Two-Phase Closed Thermosyphon, Aspect Ratio, Filing ratio, Thermal, Geyser boiling

اندازه‌گیری دوره نوسانات و شدت نوسانات جوشش انجام می‌گیرد. این نوسانات را می‌توان از دو روش زمان نوسان دمای سطح لوله در قسمت تبخیرکننده و زمان نوسان دمای آب خنک کننده خروجی از قسمت چگالنده بررسی نمود.



شکل (۲): مکانیزم جوشش نوسانی در ترموسیفون [۱]

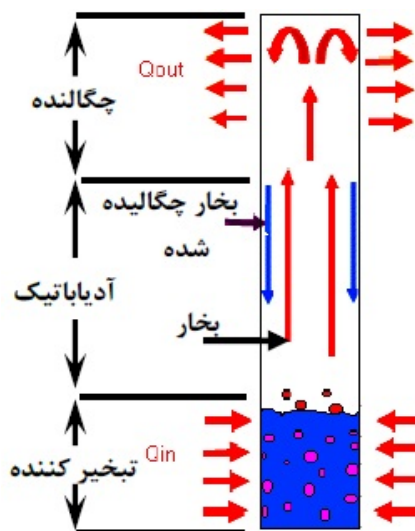
اگر دوره نوسانات دما بیشتر از ۲۱۰ ثانیه باشد جوشش از نوع نوسانی (Geyser Boiling) و اگر کمتر از ۹۰ ثانیه باشد از نوع توسعه‌یافته (Developed Boiling) می‌باشد و در فاصله بین این دو از نوع ترکیبی (Mixture Boiling) است. [۱]

Negishi و Sawada [۲] به صورت تجربی بررسی‌هایی را بر روی پدیده جوشش نوسانی در ترموسیفون‌ها انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که جوشش نوسانی برای نسبت‌های پر شدن بیشتر از ۷۰٪ اتفاق می‌افتد. Negishi [۳] در بررسی‌های خود دریافت که دوره جوشش نوسانی به طول بخش چگالنده و حرارت ورودی به بخش تبخیر کننده بستگی دارد. به بیان دیگر دوره نوسان جوشش برای چگالنده بلندتر و حرارت ورودی پایین‌تر طولانی‌تر است. Negishi [۴] با استفاده از یک ترموسیفون شیشه‌ای با سیال عامل آب، فرکانس جوشش نوسانی را تعیین کرد. ایشان دریافتند که بیشینه انتقال حرارت در زاویه ۵۰° نسبت به افق رخ می‌دهد. Lin و همکاران [۵] جوشش نوسانی را در یک ترموسیفون دو فاز بسته حلقوی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که نوسانات دما در حرارت ورودی بیشتر و نسبت پر شدن کمتر بی‌نظم‌تر می‌شود. Kunkoro و همکارانش [۶] مکانیزم جوشش نوسانی در یک ترموسیفون به طول ۲۵٫۷ میلی‌متر را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که توزیع دما نقش مهمی در این پدیده ایفا می‌کند که بستگی به هندسه سیستم هم دارد.

سرمستی امامی و همکاران [۷ و ۸] جوشش نوسانی را در یک ترموسیفون دو فاز بسته با در نظر گرفتن میزان سیال عامل و شیب زاویه به طور تجربی مورد بررسی قرار دادند. آنها آزمایش‌ها را در نسبت پر شدن ۱۵٪ تا ۴۵٪ نسبت به حجم تبخیر کننده و در گستره شیب زاویه ۵ تا ۹۰ درجه انجام دادند. در نهایت به این نتیجه رسیدند که جوشش نوسانی در نسبت پر شدن بیشتر از ۳۰٪ رخ می‌دهد. همچنین دوره نوسان جوشش برای شیب‌های بیشتر نسبت به افق و نسبت پر شدن بزرگتر، بیشتر است.

با توجه به این که عملکرد پایدار ترموسیفون‌های دو فاز بسته در نسبت پر شدن زیاد و حرارت ورودی کم تحت تاثیر پدیده ناپایدار جوشش نوسانی قرار می‌گیرد، از این رو در این پژوهش شنوبسندگان در

ترموسیفون‌های دو فاز بسته نمونه‌ای از لوله‌های گرمایی هستند که انتقال حرارت در آنها از طریق دو فرآیند تبخیر و چگالش صورت می‌گیرد و برای بازگرداندن بخارات چگالیده شده نیاز به فتیله نبوده و از نیروی گرانش برای این منظور استفاده می‌شود. طرحواره عملکرد یک ترموسیفون دو فاز بسته در شکل (۱) آورده شده است. به طور کلی ترموسیفون دو فاز بسته یک دستگاه حرارتی است که معمولاً به شکل استوانه دو سر بسته و تحت شرایط خلأ می‌باشد که از سه بخش تبخیرکننده، بی‌دررو و چگالنده تشکیل شده است. در این سیستم مقداری از یک سیال عامل مناسب وجود دارد که با جذب گرما در بخش تبخیرکننده بخار و با از دست دادن گرما در بخش چگالنده به صورت مایع در آمده و به شکل یک لایه نازک از دیواره داخلی لوله به بخش تبخیرکننده باز می‌گردد و این چرخه به صورت پیوسته تکرار می‌شود.



شکل (۱) طرحواره عملکرد ترموسیفون

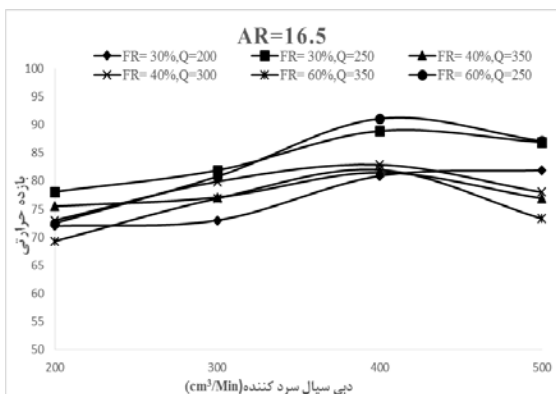
حدهای عملیاتی ترموسیفون شامل حد خشک شدن، حد جوشش، حد صوتی و حد طغیان است. از حد خشک شدن می‌توان با مقدار مناسب سیال عامل جلوگیری کرد. حد صوتی در گرمای ورودی بالا به بخش تبخیرکننده رخ می‌دهد و حد طغیان نیز در مقدار بالای گرمای ورودی و نیز مقدار زیاد سیال عامل در بخش تبخیرکننده رخ می‌دهد. بنابراین تنها حدی که می‌تواند در شرایط متفاوت رفتار مختلف را از خود نشان دهد. برای نمونه در زمانی که مقدار گرمای ورودی کم و مقدار سیال عامل زیاد باشد پدیده جوشش نوسانی رخ می‌دهد. هر چند این پدیده عملکرد پایدار ترموسیفون را مختل نمی‌کند اما به دلیل ضرباتی به سرپوش انتهایی لوله می‌زند باید از آن اجتناب نمود.

همان گونه که در شکل (۲) نشان داده شده است معمولاً سه نوع رژیم جوشش در ترموسیفون‌ها با توجه به تغییر پارامترهای مؤثر در آن وجود دارد که شامل جوشش نوسانی، جوشش ترکیبی و جوشش توسعه‌یافته می‌باشد که شناسایی این الگوها معمولاً به وسیله

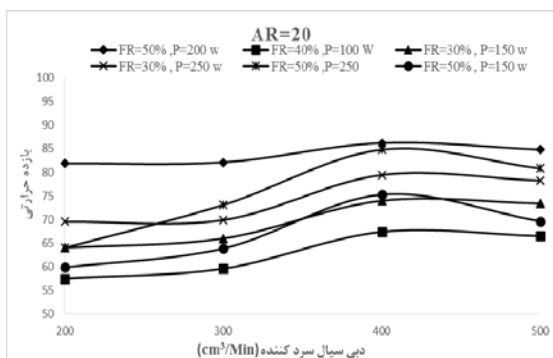
برخی از نتایج مهم ارائه شده و سایر نتایج در قالب دو رابطه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

### ۳-۱- تعیین دبی بهینه در بخش غلاف چگالنده:

دبی بهینه با توجه به طول، قطر داخلی ترموسیفون، بازه ورودی به تبخیرکننده و قطر غلاف چگالنده برای هر سیستم متفاوت از سیستم‌های دیگر می‌باشد؛ بنابراین لازم است پیش از بررسی چهار عامل اصلی، دبی بهینه برای ترموسیفون موردنظر مشخص شود. برای این منظور آزمایش‌های متعددی در نسبت پر شدن، نسبت ابعاد و توان‌های ورودی مختلفی انجام شد که نتایج آن در شکل (۴) و (۵) آورده شده است.



شکل (۴) تغییر بازده بر حسب دبی در A.R=16.5



شکل (۵) تغییر بازده بر حسب دبی در A.R=20

همان‌گونه که در شکل (۴) و (۵) مشخص است زمانیکه دبی حجمی سیال خنک کننده از ۲۰۰ تا ۴۰۰ سانتیمتر مکعب بر دقیقه تغییر می‌کند بازده حرارتی افزایش و پس از آن تقریباً ثابت می‌ماند. به همین دلیل در همه آزمایشات از مقدار ۴۰۰ سانتیمتر مکعب برای دبی سیال خنک کننده استفاده شده است.

### ۳-۲- توزیع دمای روی سطح لوله:

اختلاف دما بین بخش‌های تبخیرکننده و چگالنده یک سیستم ترموسیفون دوفازی بسته، بیانگر عملکرد حرارتی آن می‌باشد. به بیان دیگر هر چه این اختلاف دما کمتر باشد به این معنی است که حرارت از بخش تبخیرکننده با مقاومت حرارتی کمتری بین دو انتهای لوله منتقل شده و بازده سیستم بالاتر خواهد بود. شکل (۶) توزیع دما را بر حسب نسبت پر شدن ۲۵٪، ۴۰٪ و ۷۰٪، گرمای ورودی ۲۵۰ وات و نسبت ابعاد ۱۶/۵ برای ترموسیفون در حالت

تکمیل پژوهش قبلی انجام شده [۷] اثر عوامل مختلف را در گستره‌های مختلف بر این پدیده بررسی می‌نمایند.

### ۲- شرح دستگاه و روش انجام آزمایش:

برای انجام آزمایش‌ها از یک لوله مسی به طول یک و قطر داخلی ۲۰ میلیمتر استفاده شده که طول بخش چگالنده ۴۰۰ میلیمتر و قطر درونی این بخش هم ۳۵ میلیمتر می‌باشد. طول بخش تبخیرکننده و بی دررو ۶۰۰ میلیمتر می‌باشد که در آزمایشات مختلف طول تبخیرکننده ۲۶۰، ۳۳۰ و ۴۰۰ میلیمتر انتخاب شد. از هفت حسگر DS18B20 با دقت  $\pm 0.1$  برای اندازه‌گیری دمای ورودی و خروجی سیال خنک کننده غلاف بخش چگالنده و دمای سطح ترموسیفون و برای اندازه‌گیری و تنظیم دمای ورودی به بخش تبخیرکننده از یک دیمر و وات متر PM-15 استفاده شد. داده‌ها هم از طریق یک تبدیل کننده داده به رایانه منتقل و ثبت شد. پس از انجام تعدادی آزمایش مقدار بهینه برای جریان آب خنک کننده در غلاف چگالنده ۴۰۰ سانتیمتر مکعب بر دقیقه تعیین شد و در نهایت آزمایش‌ها بر اساس چهار متغیر که در جدول (۱) آورده شده انجام شد.

جدول (۱) متغیرهای استفاده شده در آزمایش‌ها

ردیف	متغیر	بازه
۱	نسبت پر شدن	$25\% \leq F.R \leq 70\%$
۲	نسبت ابعاد	A.R=13,16.5,20
۳	زاویه شیب	$5^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$
۴	توان ورودی (w)	$100 \leq P \leq 300$

در شکل (۳) طرحواره کلی از دستگاه آزمایش به همراه مکان قرار گرفتن حسگرها و طول بخش‌های اصلی ترموسیفون آورده شده است.



شکل (۳): دستگاه آزمایش این پژوهش

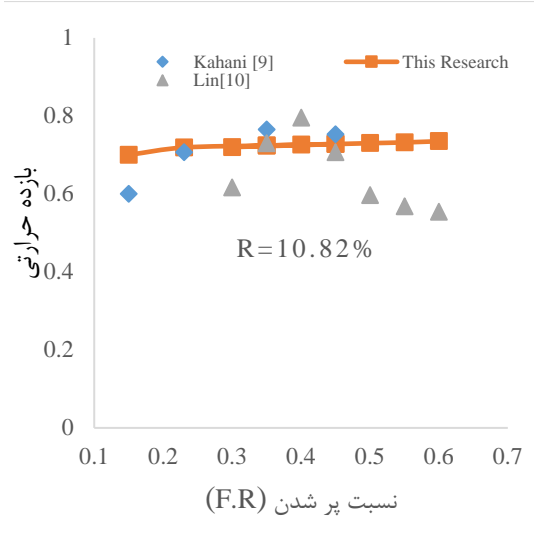
### ۳- نتایج، بحث و بررسی:

در این بخش اثر پنج پارامتر مهم در ترموسیفون‌های دو فازی از جمله نسبت پر شدن، زاویه شیب، دبی آب خنک کننده (کیلوگرم بر ثانیه)، حرارت ورودی و نسبت ابعاد بر روی عملکرد ترموسیفون تحت شرایط جوشش پایدار و نوسانی بررسی می‌شود. از آنجا که از روش بررسی یک عامل در هر زمان (One factor at a time) استفاده شد تعداد آزمایشات با دو بار تکرار بسیار زیاد بود در بخش‌های زیر تنها

قسمت بالایی چگالنده بخار آب به طور مستقیم با دیواره چگالنده در تماس است اما در قسمت‌های پایین چگالنده یک لایه مایع مانع تماس مستقیم بخار با دیواره می‌شود و انتقال حرارت هدایت از طریق لایه مایع در حال ریزش روی دیواره داخلی لوله دیواره صورت می‌گیرد.

### ۳-۳- بررسی اثر نسبت پر شدن

شکل (۸) تغییرات بازده حرارتی بر حسب نسبت پر شدن برای این پژوهش با دو مرجع [۹] و [۱۰] نشان می‌دهد.

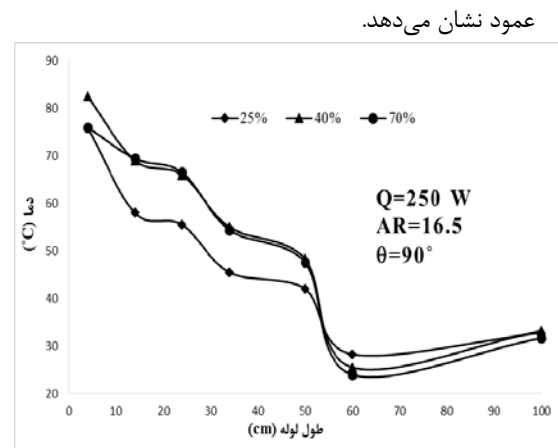
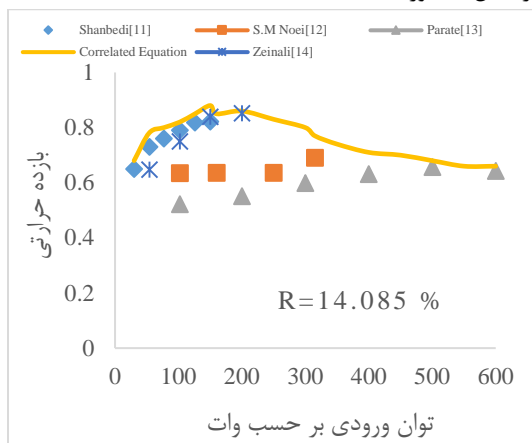


شکل (۸) تغییر بازده حرارتی بر حسب نسبت پر شدن این پژوهش و دو مرجع [۹-۱۰]

همان گونه که شکل (۸) نشان می‌دهد مقدار بازده حرارتی در شرایط یاد شده با خطای ۱۰.۸۲٪ است. همچنین نسبت پر شدن بهینه برای این پژوهش و دو مرجع [۹-۱۰] در گستره ۳۰٪ تا ۵۰٪ قرار دارد. در نسبت پر شدن کمتر از ۳۰٪ به ویژه در حالت‌های شیب‌دار با حد خشک شدن مواجه می‌شویم و در نسبت پر شدن از ۵۰٪ به ویژه در گرمای ورودی پایین به بخش تبخیرکننده با جوشش نوسانی روبرو خواهیم شد که در بخش‌های بعدی به بررسی آن خواهیم پرداخت.

### ۴-۳- اثر گرمای ورودی بر بازده حرارتی

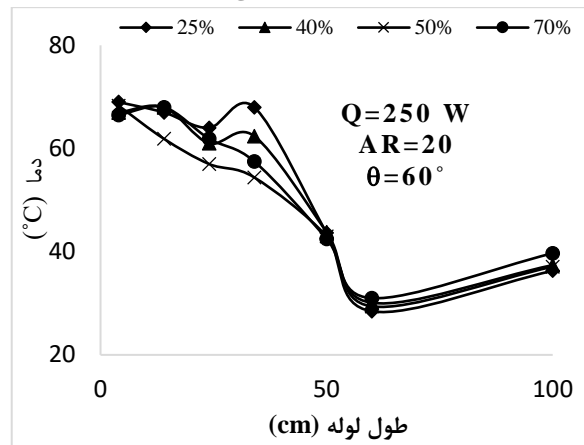
تغییر بازده حرارتی بر حسب توان ورودی تجربی با مراجع مختلف در شکل (۹) آورده شده است.



شکل (۶) تغییرات دمایی در طول ترموسیفون در  $A.R=16.5, Q=250 \text{ w}, \theta=90^\circ$

همان گونه که در شکل (۶) مشاهده می‌شود در دو مکان کاهش چشمگیر دما مشاهده می‌گردد که یکی مربوط به انتهای بخش تبخیرکننده تا بخش بی‌دررو و دیگری مربوط به بخش بی‌دررو تا ابتدای بخش چگالنده می‌باشد. همچنین کمترین اختلاف دما بین دو انتهای لوله در نسبت پر شدن ۲۵٪ به دست می‌آید در حالی اختلاف معنا داری بین دو نسبت پر شدن دیگر وجود ندارد.

شکل (۷) توزیع دما را بر حسب نسبت پر شدن ۲۵٪، ۴۰٪، ۵۰٪ و ۷۰٪، گرمای ورودی ۲۵۰ وات، و نسبت ابعاد ۲۰ برای ترموسیفون با شیب ۶۰ درجه نسبت به افق نشان می‌دهد.



شکل (۷) توزیع دما در ترموسیفون در  $A.R=20, Q=250 \text{ w}, \theta=60^\circ$

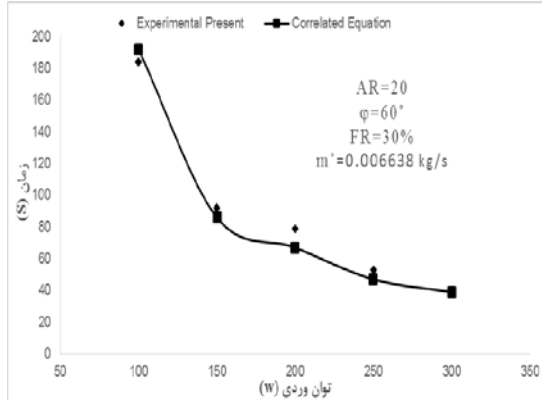
شکل (۷) نشان می‌دهد که با شیب‌دار کردن ترموسیفون در نسبت پر شدن ۲۵٪ متوسط اختلاف دما بین دو لوله بیشتر از دیگر نسبت‌ها می‌باشد. این موضوع به دلیل خشک شدن موضعی بخش انتهایی تبخیرکننده می‌باشد که حسگر دمای ۶۸ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد.

در هر دو شکل (۶) و (۷) روند افزایش دما در بخش چگالنده مشاهده می‌شود. با توجه به اینکه ضخامت لایه مایع ایجادشده در اثر چگالش بخار آب، با حرکت به سمت پایین چگالنده افزایش می‌یابد، موجب افزایش مقاومت گرمایی چگالنده می‌شود. به عبارت دیگر، در

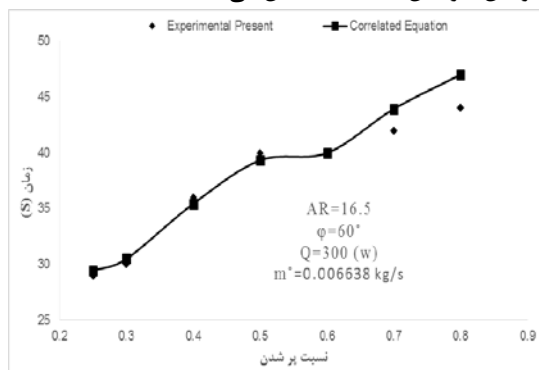
رابطه (۱) از نرم افزار دیتافیت (Datafit) استفاده شد. بنابراین رابطه (۲) با قرار دادن ثابت‌ها به صورت رابطه (۴) اصلاح می‌گردد:

$$\tau = 0.107 \frac{F.R^{0.306} A.R^{0.804}}{\varphi^{0.224} Q^{1.304} (m^{\circ})^{2.438}} \quad (2)$$

در شکل های (۱۲) و (۱۳) نتایج تجربی با نتایج رابطه مقایسه شده است.



شکل (۱۲) مقایسه نتایج آزمایش و رابطه تجربی در توان‌های ورودی متفاوت و  $A.R=20, \varphi=60^{\circ}, F.R=30\%$  همان‌گونه که در شکل (۱۳) مشخص است با افزایش توان ورودی دوره نوسان جوشش به شدت کاهش می‌یابد.



شکل (۱۳) مقایسه نتایج آزمایش و رابطه تجربی در نسبت پرشدن‌های متفاوت و  $A.R=16.5, \varphi=60^{\circ}, Q=300 (W)$  شکل (۱۳) نشان می‌دهد که با افزایش نسبت پر شدن (در شرایط یکسان) دوره نوسان جوشش افزایش می‌یابد. برآورد خطای استاندارد که توسط نرم‌افزار دیتافیت محاسبه شد مقدار ۴/۵٪ می‌باشد.

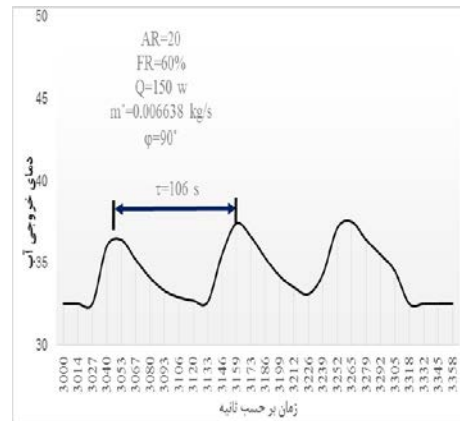
#### ۴. نتیجه‌گیری:

در این پژوهش عوامل مختلف بر عملکرد حرارتی یک ترموسیفون دو فازی بسته تحت شرایط جوشش حرارتی پایدار و نوسانی به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت. لوله مورد آزمایش از جنس مس به طول ۱۰۰۰ میلی‌متر، قطر ۲۰ میلی‌متر و طول ثابت ۴۰۰ میلی‌متری چگالنده و طول متغیر از تبخیرکننده بود. عوامل مورد بررسی شامل نسبت پر شدن، زاویه شیب، دبی آب‌خنک کننده، گرمای ورودی و نسبت ابعاد (در قطر ثابت) بودند. نتایج به دست آمده نشان داد که:

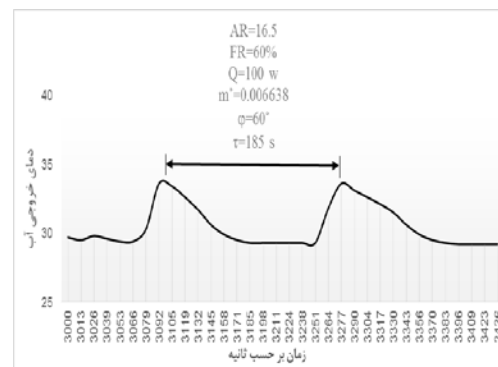
شکل (۹) تغییر بازده حرارتی این پژوهش و مراجع [۱۴-۱۱] همخوانی بیشتر نتایج این پژوهش با پژوهش‌های [۱۱] و [۱۴] به دلیل نزدیک بودن شرایط آزمایش است. همچنین بازده حرارتی تا ۲۰۰ وات افزایش و پس از آن با شیب ملایمی کاهش می‌یابد. این موضوع می‌تواند به دلیل افزایش مقدار اتلاف گرما به صورت جابجایی و تابش از روی سطح بیرونی ترموسیفون به ویژه در بخش تبخیرکننده می‌باشد.

#### ۳-۴- بررسی جوشش نوسانی

در این پژوهش از روش نوسان دمایی سیال خنک کننده خروجی از بخش چگالنده برای بررسی جوشش نوسانی استفاده شده است. در ادامه دو نمونه از نوسانات جوشش آورده شده است. مقدار دبی جرمی ذکر شده در شکل (۱۰) و (۱۱) از ضرب دبی حجمی در جرم ویژه آب (در دمایی میانگین آب ورودی و خروجی از غلاف چگالنده) به دست آمده است.



شکل (۱۰) دوره نوسان دما در  $A.R=20, F.R=60\%, Q=150 w, \varphi=90^{\circ}$



شکل (۱۱) دوره نوسان دما در  $A.R=16.5, F.R=60\%, Q=100 w, \varphi=60^{\circ}$

همچنین پیش بینی می‌شود که ارتباط بین متغیرهای مورد بررسی با دوره زمانی نوسان دمایی آب خروجی از چگالنده با رابطه (۱) بیان شود:

$$\tau = a(F.R)^b (\varphi)^c (Q)^d (m^{\circ})^e (A.R)^f \quad (1)$$

در این رابطه  $F.R, A.R$  و  $\varphi$  بدون بعد بوده ولی  $Q (W), m^{\circ} (Kg/s)$  و  $\tau (s)$  هستند. مجدداً برای به دست آوردن ثابت‌های

thermosyphon", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 26, No.8, pp. 1207-1213, 1983.

[3] Negishi, K., "Unstable phenomena in a two-phase closed thermosyphon", *Proc. Symp. On Mechanics for Space Flight*, Report S.P. No 1, pp. 257-263, 1983.

[4] Negishi, K., "Thermo-fluid dynamics of two-phase closed thermosyphons", *Proc. 5th IHPC*, pp. 193-200, 1984.

[5] Lin, T.F., Lin, W.T., Tsay, Y.L., and Wu, J.C., "Experimental Investigation of Geyser Boiling in an Annular Two Phase Closed Thermosyphon", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 38, No.2, pp. 295-307, 1995.

[6] Kunkoro, H., Rao, Y.F., and Fukuda, K., "An Experimental Study on the Mechanism of Geysering in a Closed Two Phase Thermosyphon", *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 21, No.6, pp.1243-1252, 1995.

[7] سرمستی امامی محمد رضا، نوعی، سید حسین؛ خشنودی، محمد و نعمتی، مجید، "بررسی جوشش نوسانی در یک ترموسیفون دوفازی بسته"، دهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، صفحات ۲۶۵-۲۴۹، ۱۳۸۴.

[8] Sarmasti Emami, M.R., Noie, S.H., Khoshnoodi, M., Hamed Mosavian, M.T. and Kianifar, A., "Investigation of geyser boiling phenomenon in a two-phase closed thermosyphon", *Heat Transf. Eng.*, Vol. 30, No. 5, pp. 408-415, 2009.

[9] کاهانی، مصطفی، نوعی باغبان، سید حسین و زینالی هریس، سعید، "مقایسه عملکرد حرارتی یک ترموسیفون دوفازی بسته در اثر استفاده از نانو سیالهای اکسید فلزی"، نشریه *جداسازی و پدیده های انتقال*، دوره ۲۱، شماره ۱، صفحات ۵۸-۴۳، ۱۳۸۹.

[10] Lin, M.C., Chun, L. J., Lee, W. S. and Chen, S. L., "Thermal performance of a two-phase thermosyphon energy storage system", *Solar Energy*, Vol. 75, No. 4, pp. 295-306, 2003.

[11] شبنندی مهدی، زینالی هریس سعید، بنی آدم مجید و امیری احمد، "بهبود عملکرد گرمایشی ترموسیفون بسته دوفازی (TPCT) بر اثر افزودن نانولوله کربنی به آب دیونیزه"، سومین کنفرانس بین المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع، تهران، ۱۳۹۰.

[12] نوعی سید مصطفی، نوعی سید حسین، حریری دیبا فرزانه، "بررسی تجربی عملکرد نانو سیال مس اکسید-استون بر بازده حرارتی یک ترموسیفون دوفازی بسته"، نشریه شیمی و مهندسی شیمی، دوره ۳۲، شماره ۳، ۱۳۹۲.

[13] Parate, H. S., Farkade. "Thermal Performance of a Two Phase Closed Thermosyphon Using Nanofluid", *International Journal for Scientific Research & Development*, Vol. 2, No. 4, 2014.

• بررسی توزیع روی سطح بیرونی ترموسیفون نشان داد که با شیبدار کردن ترموسیفون و افزایش طول بخش تبخیرکننده نیاز به سیال عامل بیشتری برای دستیابی به عملکرد حرارتی بالاتر نسبت به حالت عمود مورد نیاز است.

• بازده حرارتی ترموسیفون در گستره‌های مورد آزمایش نشان داد که مقدار بازده حرارتی اثر مستقیم با نسبت پر شدن، گرمای ورودی و دبی سیال خنک کننده و نسبت عکس با زاویه شیب و نسبت ابعاد دارد.

• رابطه تجربی ارائه شده برای دوره زمانی نوسان دمای آب خروجی از چگالنده نشان می‌دهد که این مقدار با نسبت پر شدن و نسبت ابعاد رابطه مستقیم و با زاویه شیب، گرمای ورودی و دبی سیال خنک کننده به غلاف چگالنده رابطه عکس دارد.

• با افزایش توان ورودی دوره نوسان جوشش به شدت کاهش و با افزایش نسبت پر شدن (در شرایط یکسان) دوره نوسان جوشش افزایش می‌یابد. در حرارت‌های ورودی بالای ۱۵۰ وات جوشش از نوع توسعه یافته رخ می‌دهد حال آن که در گرمای ورودی ۱۰۰ وات به بخش تبخیرکننده جوشش از نوع ترکیبی رخ می‌دهد.

• دوره نوسانات دما با نسبت پر شدن و نسبت ابعاد رابطه مستقیم و با سه عامل زاویه شیب، گرمای ورودی به بخش تبخیر کننده و دبی آب خنک کننده در غلاف بخش چگالنده رابطه عکس دارد. از بین پنج متغیر ذکر شده، متغیر حرارت ورودی بیشترین تأثیر در بین عوامل مختلف دارا می‌باشد.

#### ۵- فهرست و شرح نمادها:

نماد	بیانگر	شرح
A.R.	نسبت ابعاد	نسبت طول بخش تبخیرکننده به قطر داخلی لوله می باشد.
F.R.	نسبت پر شدن	نسبت حجم سیال عامل در لوله به حجم بخش تبخیرکننده می‌باشد.
Q	گرمای ورودی	گرمای ورودی به تبخیرکننده که حاصل ضرب جریان در ولتاژ است.
m°	دبی جرمی (کیلوگرم بر ثانیه)	دبی سیال خنک جاری در غلاف بخش چگالنده می‌باشد.
$\tau$	زمان (ثانیه)	زمان بین دو تغییر ناگهانی در دمای آب خروجی از چگالنده می‌باشد.
$\eta$	بازده حرارتی	نسبت گرمای خروجی از چگالنده به گرمای ورودی به تبخیرکننده می‌باشد.

#### ۶- مراجع:

[1] خزایی، ایمان، حسینی، رضا و علیرضا بهرامیان، "بررسی تجربی خصوصیات حرارتی، رژیم‌های جوشش و جوشش نوسانی در یک ترموسیفون دوفازی بسته"، دوازدهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ۱۳۸۸.

[2] Negishi, K., Sawada, T., "Heat transfer performance of an inclined two-phase closed

thermosyphon", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 30, pp. 700-705, 2009.

[14]Nowee, S.M., Noie, S.H., Zeinali Heris, S. and M. Kahani, "Heat transfer enhancement using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid in a two-phase closed