

تحلیل تجربی بهبود بازدهی ترموسیفون (لوله حرارت قائم) با استفاده از نانو سیال آلومینیوم اکسید

### نسبت به سیال پایه (آب) $AL_2O_3$

**چکیده:** لوله حرارت بسته دوفازی (ترموسیفون) وسیله ای برای انتقال حرارت بوده شبیه یک مبدل حرارتی عمل میکند و شامل یک لوله بسته پر شده از مقداری سیال عامل می باشد که در این پژوهش از نانو سیال اکسید آلومینیوم استفاده گردیده که هادی گرمایی بسیار کارآمد به حساب می آید. به خاطر تغییر فاز نانو سیال میتواند انتقال حرارت را افزایش دهد. به دلیل اینکه گرمای نهان تبخیر مقدار خیلی بزرگتری از گرمای محسوس دارد در لوله های حرارتی نانو سیال عامل مقدار زیادی از گرما را منتقل می کند. در این پژوهش بعد از تهیه نانوسیال های اکسید آلومینیوم فازگاما و همگن سازی در غلظت های مختلف حجمی از ۱ تا ۳ درصد، نقش استفاده از آنها به عنوان محیط انتقال حرارت در داخل سیستم ترموسیفون دو فازی بسته بررسی شده است. نتایج تجربی نشان می دهد که در صورت استفاده از نانوسیال اکسید آلومینیوم به جای آب، راندمان سیستم به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد، به طوری که در نسبت پرشدن ۴۵٪ استفاده از نانوسیال به جای آب مقطر به ترتیب منجر به افزایش ۱۵/۱ و ۱۴/۲ درصدی در راندمان گردید. در مورد هر دو نانوسیال ماکزیمم راندمان در نسبت پرشدن ۴۵٪ و در غلظت حجمی ۳٪ اصل می گردد. همچنین توزیع دما در سطح خارجی ترموسیفون بررسی گردید که اختلاف دما دوسر ترموسیفون در مقایسه با آب خالص کمتر است که موید بهبود راندمان سیستم در صورت استفاده از ترموسیفون میباشد. **کلمات کلیدی:** ۱- ترموسیفون دوفازی بسته (Two-Phase Closed Thermosyphon) ۲- نانو سیال (Nano fluid) ۳- آلومینیوم اکسید  $AL_2O_3$  ۴- انتقال حرارت (Heat transfer) ۵- مبدل حرارتی (Heat exchanger) ۶- تغییر فاز (Phase transition)

### **Experimental analysis improving the efficiency thermosyphons (heat pipe vertical) using nano-aluminum oxide $AL_2O_3$ fluid than the base fluid (water)**

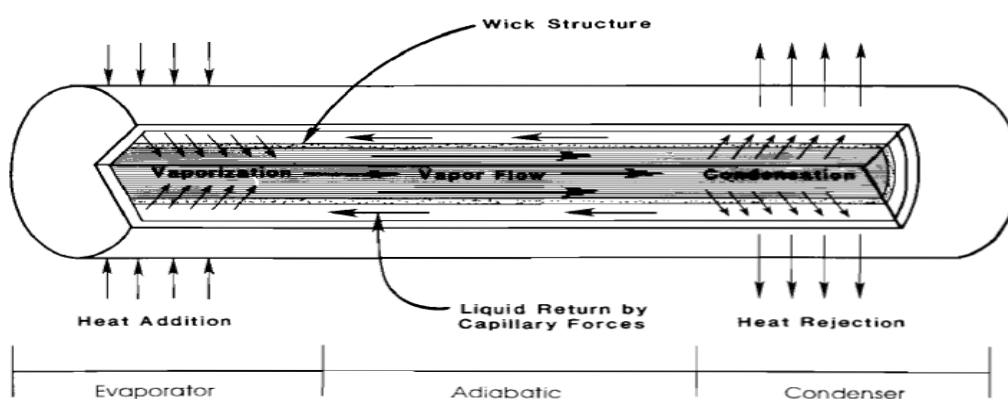
**Abstract:** Two-phase closed heat pipe (thermosyphon) is a means to transfer heat acts like a heat exchanger and includes a closed tube filled with a working fluid. In this study, nano-fluid aluminum oxide used as highly efficient thermal conductor is considered. Because nano phase change heat transfer fluid can increase. Because the latent heat of vaporization the sensible heat is much bigger than a lot of heat the working fluid in the heat pipe nano pass. In this study, after preparing nanofluids gamma phases of alumina oxide and homogenization in different volume from 1 to 3 percent, as their use as heat transfer media inside the two-phase closed thermosyphon system is investigated. Experimental results show that when using nanofluids aluminum oxide instead of water, significantly increases system efficiency, so that the filling ratio of 45% using nanofluids instead of distilled water resulted in an increase 15.1 and 14.2 percent were in efficiency. In the case of both nanofluids maximum efficiency in filling rate is 45% and the volume concentration of 3%. The temperature distribution on the surface of the thermosyphon was determined that the temperature difference across the less that thermosyphon in comparison with pure water efficiency improvement of the system is the use of thermosyphon. With increasing input power, the thermal resistance

of the system is reduced. As well as increase concentration and reduce the system temperature resistance nanofluids. Keywords: 1-phase closed thermosyphon.2-nanofluid 3. Alumina 4. Heat Transfer 5. heat exchanger 6-changing phase

روش های زیادی به منظور بهبود راندمان حرارتی تجهیزات وجود دارد که از آن جمله می توان به استفاده از دستگاه ترموسیفون دو فازی بسته اشاره کرد این وسیله، به علت تغییر فاز سیال عامل در آن، یک هادی حرارتی بسیار موثر می باشد. ساختار ساده، مقاومت حرارتی پایین و از همه مهمتر هزینه ساخت کم آن باعث شده است که از ترموسیفون های دو فازی بسته در بسیاری از کاربردها از قبیل بازیابی حرارت اتلافی در صنایع، خنک کردن تجهیزات الکترونیکی، آبگرمکنهای خورشیدی، سیستم های تهویه مطبوع و ... استفاده شود. [1-4]

ترموسیفون دو فازی بسته یا لوله گرمایی بدون فتیله که شماتیک آن در شکل ۱ نشان داده شده است، متشکل از یک ظرف استوانه ای است که دو سر آن بسته شده و مقدار کمی از یک سیال عامل درون آن تحت شرایط خلاء قرار دارد. [5]

این وسیله به طور معمول شامل سه بخش تبخیرکننده، آدیباتیک و چگالنده است. حرارت ورودی به بخش تبخیرکننده ترموسیفون موجب جوشش و تبخیر سیال عامل می شود، سپس بخار با از دست دادن گرمای نهان خود در بخش چگالنده به صورت یک فیلم مایع، تحت تأثیر نیروی گرانش به بخش تبخیرکننده باز می گردد. از آن جایی که میزان گرمای نهان تبخیر سیال قابل توجه می باشد، حرارت زیادی با حداقل اختلاف دما بین دو سر لوله انتقال می یابد. در عمل هدایت حرارتی موثر ترموسیفونها 200 الی 500 برابر مس که یک فلز با قابلیت حرارتی بالا می باشد [6].



شکل ۱: شماتیک یک ترموسیفون

عوامل زیادی بر عملکرد حرارتی یک ترموسیفون دو فازی بسته تأثیر می گذارند که از جمله مهمترین آنها می توان به نسبت پرشدن، نسبت ابعاد، زاویه شیب، دما و فشار عملیاتی و جنس لوله و جنس

سیال پایه اشاره کرد نسبت پرشدن یکی از پارامترهای اصلی و تأثیر گذار بر روی عملکرد و طراحی ترموسیفون ها می باشد که به صورت نسبت حجم سیال عامل به حجم قسمت تبخیر کننده تعریف می شود . ضمن این که نسبت پرشدن برای هر ترموسیفون با هر مشخصه فیزیکی (نسبت ابعاد، جنس لوله، جنس سیال عامل و ... ) کاملاً منحصر به فرد بوده و در هیچ مرجعی کسی ادعا نکرده است که نسبت پرشدن بهینه ای که او به دست آورده برای تمامی ترموسیفون ها صادق می باشد.

ایمورا و همکاران [7] و نیز هارادا و همکاران [8] به ترتیب نسبت پرشدن ۲۰ الی ۳۳ درصد و ۲۵ الی ۳۰ درصد را به عنوان نسبت پرشدن بهینه پیشنهاد کردند. ۶۰ و ۹۰ ، نوعی و همکاران [9] نسبت پرشدن ۳۰ درصدی را برای ترموسیفون های دوفازی بسته با مشخصات هندسی مختلف پیشنهاد کردند . این در حالی است که حسین و هم کاران [10] نسبت پرشدن ۲۰ درصد را پیشنهاد دادند . همچنین، فلدمن و هم کاران پیشنهاد [11] داشتند که نسبت پر شدن مناسب بین ۱۸ تا ۲۲ درصد میباشد. سیالات خنک کننده از نقش بسیار مهمی در صنایع مربوط به تولید و انتقال انرژی برخوردار می باشند . با این حال، هدایت حرارتی پایین سیالات خنک کننده عملاً راه را برای بهبود راندمان حرارتی تجهیزات حرارتی محدود کرده است . روش های زیادی به منظور بهبود هدایت حرارتی این قبیل سیالات مورد بررسی قرار گرفته است. انواع مختلف پودر های فلزی و غیر فلزی و (ذرات پلیمری که از هدایت حرارتی بسیار بالاتری در قیاس با سیالات برخوردار می باشند) را می توان به منظور افزایش هدایت حرارتی سیالات به آنها اضافه کرد . هدایت حرارتی سیالاتی که ذرات جامد در آن ها پراکنده شده اند به مراتب از سیالات معمولی بیشتر است . این ایده برای اولین بار توسط ماکسول [12] در ۱۰۰ سال قبل مطرح گردید، اما به علت اندازه بزرگ و دانسیته بالای ذرات مورد استفاده ، مشکلا تی از قبیل ته نشینی ذرات ، افزایش مقاومت در برابر جریان و نیز ساییدگی احتمالی مجراهای جریان را به همراه داشت. به همین علت این نوع سوسپانسیون ها چندان مورد توجه قرار نگرفتند.

با پیشرفت تکنولوژی و ظهور نانوفناوری، امکان ساخت ذراتی با ابعاد کوچک تر از ۵۰ نانومتر فراهم گردید . سیالاتی که در آن ها ذرات با اندازه نانومتر معلق شده اند را اصطلاحاً نانوسیالات می گویند، که اولین بار توسط چویی [13] محقق آزمایشگاه مرکزی آرگون ایالات متحده مطرح شد. تعادلی که بین وزن ذرات نانو، نیروی شناوری و تلاطم حرارتی (حرکات برونی) آنها در سیال پایه وجود دارد از یک طرف و سطح جانبی بسیار بزرگ تر ذرات نانو در مقایسه با ذرات بزرگ تر از طرف دیگر ، منجر به پایداری نانوسیال ها در قیاس با سوس پانسیون نهایی معمولی گردیده است.

با معلق کردن ذرات نانو، عملکرد حرارتی سیال به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد بدون این که در سیستم افت فشار قابل ملاحظه ای ایجاد شود.

دلایل اصلی این افزایش عبارتند از:

۱- با توجه به نقش سطوح نانوذرات در انتقال حرارت، سطح جابجایی نسبی بسیار بزرگ نانوذرات باعث افزایش شدید انتقال حرارت در داخل سیال می شود.

۲- نانو ذرات معلق شده، هدایت حرارتی موثر یا ظاهری سیال را افزایش میدهند.

۳- برهمکنش و برخورد بین ذرات نانو، سیال و سطح جامد بیشتر میشود. نوسان و تلاطم سیال با حضور ذرات نانو تشدید میشود.

۴- پراکندگی ذرات نانو باعث پخش شدن گرادیان دما در تمام سیال میشود.

به توجه به ویژگی های منحصر به فرد نانوسیالها از آن ها به عنوان نسل آینده سیالات حرارتی یاد میشود که می توانند در زمینه های مهمی همانند الکترونیک، حملونقل و پزشکی مورد استفاده قرار گیرند. [14]

مقالات بسیار زیادی پیرامون پیش بینی و اندازه گیری خواص نانو سیالات ارائه شده اند که در میان آن ها اکسید آلومینیوم و اکسید مس دو نانوذره ای هستند که بیشترین پژوهش های تجربی بر روی خواص آنها صورت پذیرفته است. لی و هم کاران [15] اولین اندازه گیری هدایت حرارتی نانوسیالات را انجام دادند. ایستمن و هم کاران [16] نیز کبلینسکی و هم کاران [17] بیان کردند که هدایت حرارتی نانو سیالات با افزایش کسر حجمی ذرات در سیال پایه، افزایش ۷ درصد برای نانو سیال می یابد. با کسر حجمی ۱۵ اکسید آلومینیوم/آب حدود ۴۵٪ و برای نانو سیال اکسید آلومینیوم/اتیلن گلیکول حدود ۷۰٪ افزایش در میانگین ضریب انتقال حرارت دیواری مشاهده شده است. [18]

زینالی هریس و هم کاران [19-20] انتقال حرارت جابه جایی نانوسیال اکسید آلومینیوم/آب و اکسید مس/آب را در یک لوله مدور مورد بررسی قرار دادند. آن ها تأکید کردند که ضریب انتقال حرارت با افزایش غلظت نانو ذرات در سیال پایه و عدد پکلت افزایش می یابد. در مورد نانو سیال طلا/آب افزایش نرخ انتقال حرارت و در مورد نانو سیال دی اکسید سیلیسیوم/اتیلن گلیکول کاهش نرخ انتقال حرارت در حالت جوشش ظرفی<sup>۱</sup> گزارش شده است [21] بنگ و هم کاران [22] انتقال حرارت

---

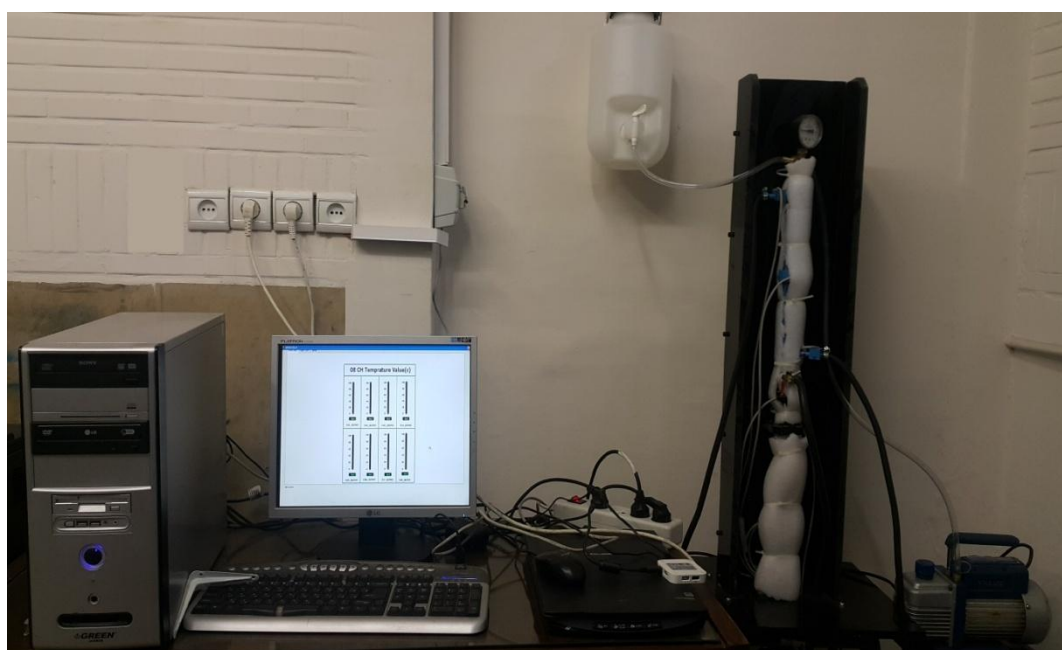
<sup>1</sup>-(Pool Boiling)

در حال جوشش را برای نانو سیال اکسید آلومینیوم/ آب در یک سطح افقی مورد بررسی قرار دادند . آنها ادعا کردند ضریب انتقال حرارت نانو سیالات در این حالت در مقایسه با آب خالص در حالت جا به جایی آزاد کوچک تر است . بر خلاف نظر آن ها، تپو و هم کاران [23] افزایش انتقال حرارت در حالت جوشش ظرفی برای نانوسیال اکسید آلومینیوم/ آب را گزارش کرده اند.

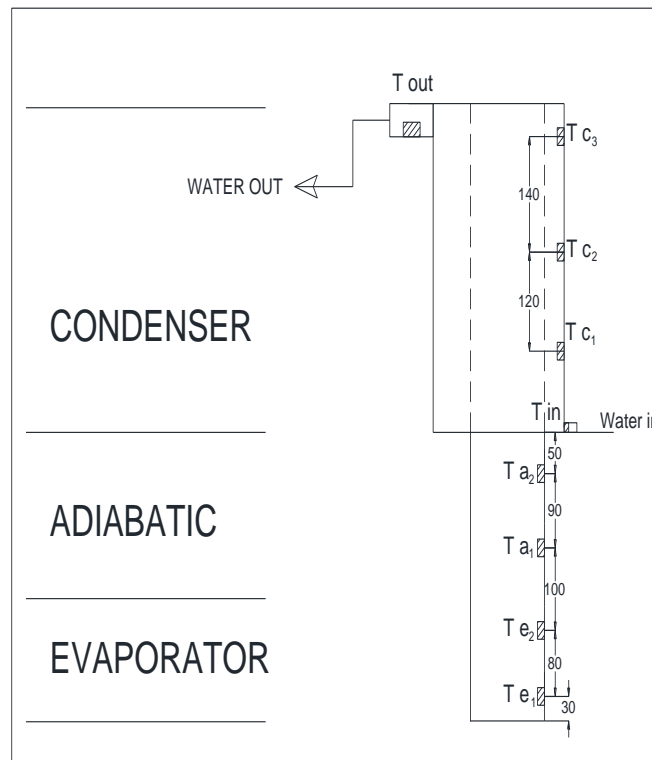
یکی از روش های موثر در بهبود عملکرد حرارتی یک ترموسیفون دوفازی بسته استفاده از نانوسیال در سیستم به عنوان محیط انتقال حرارت می باشد . اگر چه تحقیقات گسترده ای بر روی ترموسیفونهای دوفازی بسته و نانو سیالات به صورت جدا از هم صورت پذیرفته است ولی استفاده از نانوسیالها در داخل سیستم های ترموسیفون دوفازی بسته کمتر مورد توجه قرار گرفته است . شانگ و هم کاران [24] نشان دادند که عملکرد حرارتی یک لوله گرمایی در صورت استفاده از نانو سیال نقره به جای سیال خالص به شدت افزایش پیدا می کند . تسا و هم کاران [25] اثر مشخصات ساختاری نانو ذرات را بر عملکرد حرارتی یک لوله گرمایی مورد مطالعه قرار دادند . آن ها تأکید کردند که استفاده از نانوسیال به جای آب خالص به عنوان سیال عامل، مقاومت حرارتی لوله گرمایی را کاهش می دهد . نافون و هم کاران [26] از نانوذرات تیتانیوم با قطر ۲۱ نانومتر در سیال پایه R11 استفاده کرده و نانوسیال حاصله را به عنوان سیال عامل در لوله گرمایی مورد استفاده قرار دادند . نتایج تجربی آن ها از افزایش ۴۰ درصدی راندمان سیستم تنها در اثر استفاده از ۰.۱٪ از نانو ذرات در سیال پایه حکایت داشت . پارماتانوات و همکاران [27] افزایش تقریبی ۲۰٪ در عملکرد حرارتی یک ترموسیفون دوفازی بسته را در اثر استفاده از نانو سیال نقره/ آب در قیاس با استفاده از آب خالص گزارش کرده اند . خنده کار و هم کاران [28] عملکرد حرارتی یک ترموسیفون دوفازی بسته را که از نانوسیال به عنوان محیط انتقال حرارت استفاده می کرد، مورد بررسی قرار دادند . آنها بیان کردند که مقاومت حرارتی ترموسیفون در اثر استفاده از نانو سیال به جای آب خالص افزایش مییابد . آن ها ادعای خود را این چنین توجیه کردند که ضریب انتقال حرارت پایین نانو سیالات در قیاس با سیالات خالص در حالت جوشش ظرفی ، بر هدایت حرارتی بالای نانو سیالها غلبه کرده و در نتیجه ، راندمان- حرارتی در ترموسیفون دوفازی بسته را کاهش می دهد . در این مطالعه، از نانو سیال های اکسید آلومینیوم فاز گاما/ آب به عنوان یک محیط انتقال حرارت جدید در داخل یک ترموسیفون دوفازی بسته استفاده شده است و هدف ، مقایسه عملکرد حرارتی سیستم زمانی که از نانوسیال های اکسید فلزی و یا آب خالص به عنوان سیال عامل استفاده می شود، می باشد .

## شرح دستگاه و روش انجام آزمایش ها

قسمت اصلی سیستم ترموسیفون دوفازی بسته یک لوله مسی به طول ۱۰۰۰ میلی متر و با قطر داخلی و ضخامت به ترتیب ۲۰ و ۱ میلی متر میباشد. طول بخش تبخیر کننده و چگالنده به ترتیب ۲۰۰ و ۳۷۰ میلی متر میباشد. به این ترتیب نسبت ابعاد برابر با ۱۷.۵ میباشد که در طول آزمایشات ثابت است. اگر سطح داخلی لوله تمیز نباشد با گذشت زمان کارایی ترموسیفون کاهش میابد. چربی ها و روغن ها میتوانند ترکندگی سطح را کاهش دهند و نحوه ی شست و شو به موارد مورد استفاده و سیال عامل سیستم بستگی دارد به این منظور از یک حلال کلر دار برای شست و شو سطح داخلی لوله به منظور چربی زدایی استفاده شد. شکل نهایی سیستم دوفازی بسته در شکل (۲) و محل قرار گرفتن سنسورها در شکل (۳) به ترتیب نشان داده شده است. در این پژوهش گرمای لوله توسط چهار هیتر یا گرمن با توان اسمی ۱۰۰ وات و در مجموع ۴۰۰ وات و سرمایش آن بوسیله ی آب لوله کشی شهری در غلافی که به صورت هم محور با بخش چگالنده است انجام میشود، همچنین کل سیستم با عایق فوم به ضخامت ۱ سانتی متر عایق شده است. هر کدام از هیترها با یک دوشاخه از برق شهری تغذیه میشوند. همچنین با آمپر متر و ولت متر مقادیر جریان الکتریکی و ولتاژ اعمالی اندازه گیری میشود. لازم به ذکر است که توان اعمالی در محدوده ی ۱۰۰ تا ۴۰۰ وات بود و دقت آمپر متر  $\pm 1$  ولت بود.



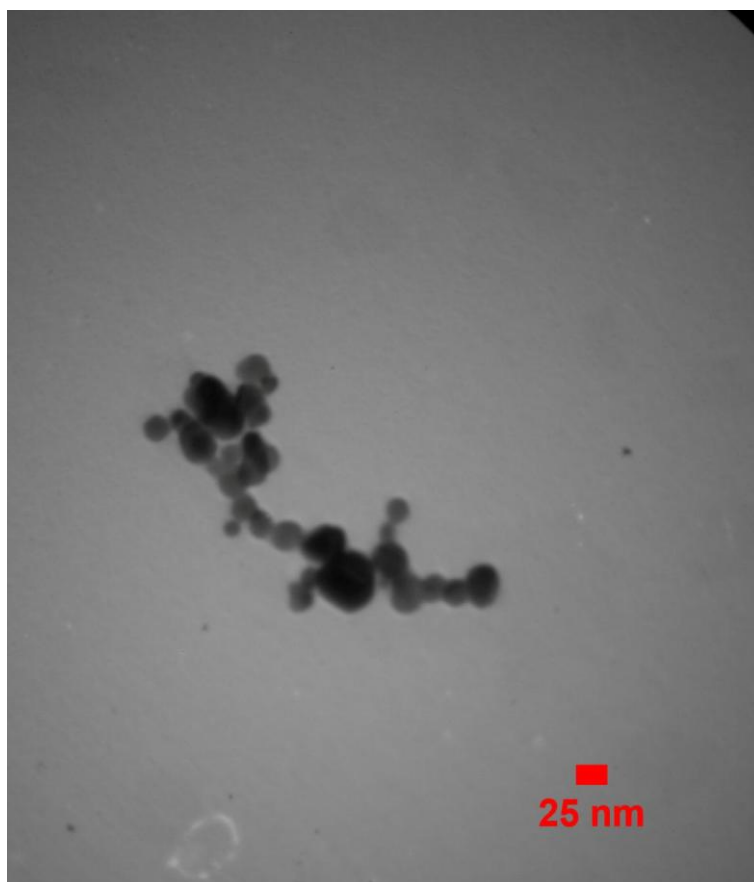
شکل ۲: سیستم ترموسیفون دو فازی بسته



شکل ۳: محل قار گرفتن سنسور ها بر روی سطح خارجی ترموسیفون

در این مطالعه از نانو ذرات اکسید آلومینیوم فاز گاما به دلیل مشخصاتی از جمله اندازه و ضریب هدایتی نسبتا بالا به منظور تهیه نانوسیال در نسبت حجمی ۲,۱ و ۳ درصد استفاده گردید. خواص فیزیکی نانو ذرات مورد استفاده در جدول ۱ و همچنین تصوید TEM آورده شده است.

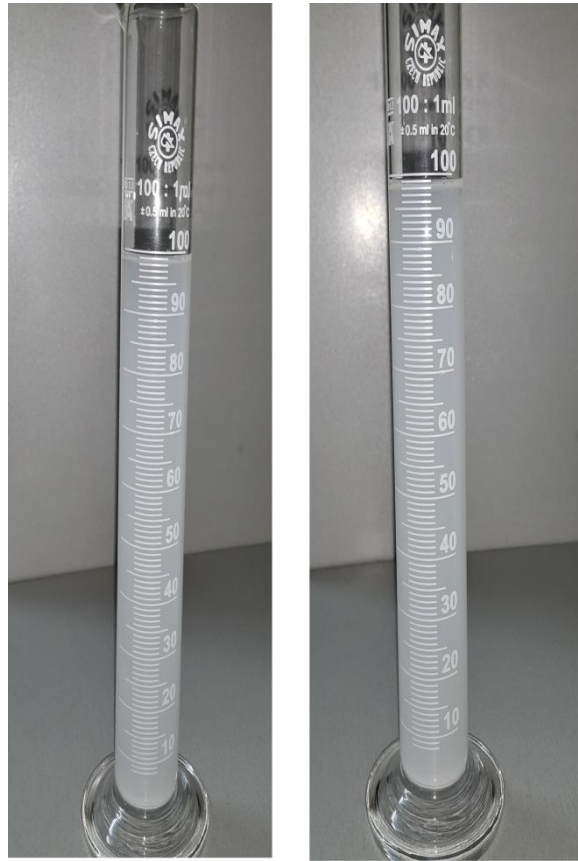
نوع ذره	قطر متوسط (mm)	دانسپته ظاهری (kg/m <sup>3</sup> )	دانسپته واقعی (kg/m <sup>3</sup> )	ظرفیت حرارتی (J/kg.°k)	هدایت حرارتی (w/m.°k)
اکسید آلومینیوم گاما	۲۰	۱۶۰-۴۰۰	۳۷۰۰	۸۸۰	۴۶



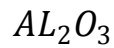
شکل ۴: تصویر TEM از نانو ذرات آلومینیوم اکسید فاز گاما  $Al_2O_3$

در طول آزمایش هیچ گونه اثر ته نشینی یا کلوخه شدن در نانو سیال مشاهده نشد که این نشان می‌دهد محلول در طی انجام آزمایش کاملاً همگن بوده در عکس ۵ تصاویر قبل و بعد از انجام آزمایش از محلول نانو سیال با ۳٪ حجمی آلومینیوم اکسید گاما نشان داده شده است. همچنین با توجه به نوع همگن سازی که در دستگاه التراسونیک پروب انجام شده است محلول تا حداقل ۳ ماه به صورت همگن می‌ماند ولی در طول آزمایشات از یک همزن معمولی برای جلوگیری از هرگونه ته نشینی استفاده می‌شود .





شکل ۵: تصاویر (الف) قبل از انجام آزمایش (ب) بعد از انجام آزمایش نانو سیال اکسید آلومینیوم



نرخ گرمای منتقل شده توسط بخش چگالنده به آب داخل غلاف از رابطه ی (۱) محاسبه می گردد. [12]

$$Q_{out} = \dot{m} C_p (t_{out} - t_{in}) \quad (۱)$$

با استفاده از ولتاژ و شدت جریان ورودی از رابطه ی (۲) می توان نرخ گرمای ورودی به بخش تبخیر کننده را محاسبه نمود.

$$Q_{in} = V I \quad (۲)$$

کل اتلاف حرارتی ناشی از تشعشع و جابجایی آزاد سیستم می باشد.

$$Q_{loss} = Q_{rad.} + Q_{conv.} \quad (۳)$$

نرخ انتقال حرارت از طریق تشعشع و جابجایی آزاد به ترتیب توسط روابط (۴ - ۴) و (۴ - ۵) محاسبه می شوند. [12]

$$Q_{rad} = \varepsilon \sigma A (T_{ins.}^4 + T_{sur.}^4) \quad (۴)$$

$$Q_{conv.} = h \omega N_u A (T_{ins.} - T_{sur.}) \quad (۵)$$

چرچیل و همکاران [29] رابطه ای را برای محاسبه ضریب انتقال حرارت در حالت جابجایی آزاد پیشنهاد کردند:

$$N_u = \frac{h_{conv.} L_t}{K_{sur.}} = \left[ 0.825 + \frac{0.387 R a^{1/6}}{\left(1 + \left[\frac{0.492}{Pr}\right]^{9/16}\right)^{8.27}} \right]^2 \quad (۶)$$

بعد از انجام محاسبات مشخص شده که کل حرارت اتلافی از سیستم تقریباً معادل ۲.۳۴ درصد از توان ورودی به بخش تبخیر کننده است. به منظور بررسی عملکرد حرارتی ترموسیفون، پارامتری تحت عنوان راندمان بصورت نسبت نرخ گرمای منتقل از قسمت چگالنده به نرخ گرمای ورودی به بخش تبخیر کننده تعریف می کنیم. [12]

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \quad (۷)$$

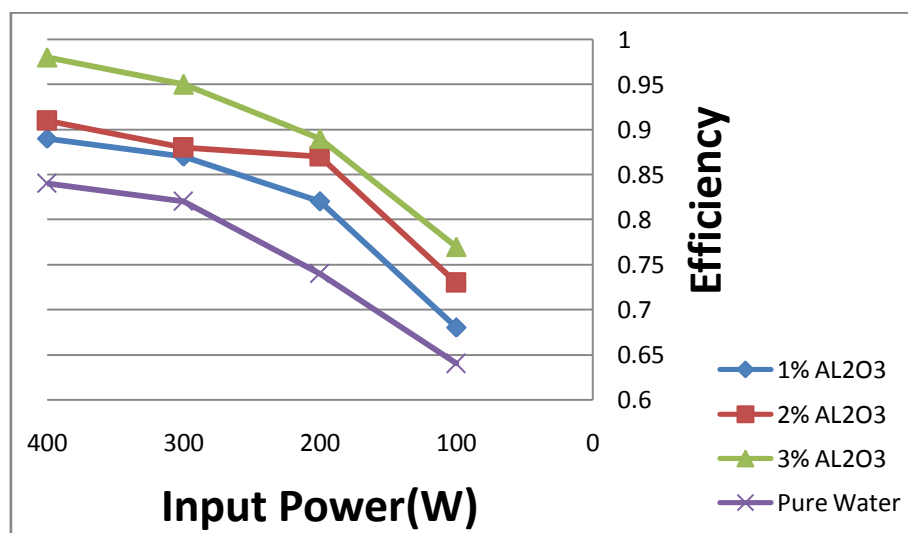
اثر غلظت نانوسیال در توان های مختلف ورودی

در شکل (۶) راندمان حرارتی ترموسیفون در غلظت ۱٪ مختلف نانوسیال اکسید آلومینیوم / آب در توان های مختلف ورودی به ترموسیفون از ۱۰۰ تا ۴۰۰ وات و نسبت پر شدن ۴۵٪ نشان داده شده است. در شکل (۴-۴) نتایج با ترموسیفونی که با آب خالص شارژ شده، مقایسه گردیده است.

با افزایش توان ورودی به بخش تبخیر کننده راندمان ترموسیفون افزایش می یابد و البته شیب این افزایش در توان های کمتر از ۲۰۰ وات بسیار بیشتر است. اما در توان های بالاتر رشد افزایش راندمان به مراتب کمتر می باشد. این موضوع راندمان هم برای آب خالص و مهم برای نانوسیال در تمامی غلظت ها مشاهده میشود.

نانو سیال ها در تمامی غلظت ها عملکرد حرارتی مناسب تری نسبت به آب خالص نشان میدهند به عنوان مثال در توان ورودی ۱۰۰ وات تزریق یک درصد از نانو ذرات اکسید آلومینیوم به آب منجر به افزایش راندمان سیستم از ۷۵ درصد به ۸۳.۶ درصد می گردد. با افزایش بیشتر غلظت از ۲ تا ۳ درصد همان توان ورودی راندمان سیستم به ترتیب به ۸۴.۷، ۸۹.۵ و ۹۲ درصد افزایش می یابد. بهترین شرایط عملکرد ترموسیفون در توان ۳۰۰ وات و غلظت ۳ درصد حاصل می گردد. حداکثر راندمان ترموسیفون در صورت استفاده از آب خالص در توان ۲۰۰ وات به میزان ۷۶.۶ درصد حاصل میشود و حداکثر راندمان ترموسیفون در صورت استفاده از نانو سیال اکسید آلومینیوم / آب در غلظت ۳ درصد و در همان توان ورودی به میزان ۹۷.۵ درصد حاصل میگردد. ضمن اینکه در توان ۳۰۰ وات حداکثر افزایش راندمان سیستم در صورت استفاده از نانو سیال ۳ درصد اکسید آلومینیوم / آب نسبت به آب اتفاق می افتد.

برای نانوسیال با افزایش غلظت توانایی سیستم در انتقال حرارت نیز افزایش می یابد، اما این افزایش در راندمان سیستم شکل منظمی ندارد، یعنی در توان های پایین تر افزایش آهنگ افزایش راندمان سریعتر می باشد و در توان های بالاتر این آهنگ رشد به مراتب کندتر است در توان های ورودی بیش از ۲۰۰ وات تغییر قابل ملاحظه ای در راندمان سیستم ملاحظه نمی شود. بیشترین افزایش در راندمان سیستم در صورت استفاده از نانوسیال به جای آب غلظت ۳ درصد حجمی از نانوسیال اتفاق می افتد.



شکل ۶: مقایسه ی توان ورودی بر روی راندمان ترموسیفون در غلظت های مختلف نانو سیال

آلومینیوم اکسید  $Al_2O_3$

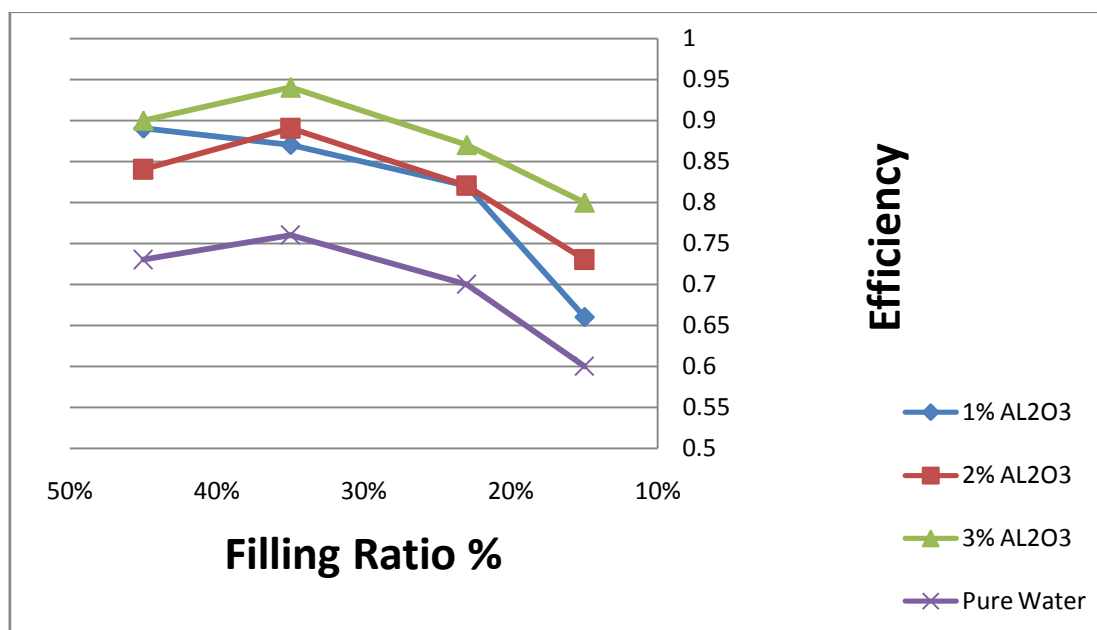
اثر غلظت نانو سیال در نسبت پر شدن مختلف

در شکل (۷) نتایج غلظت های مختلف نانو سیال اکسید آلومینیوم در مقایسه با آب خالص در یکن مودار مشخص شده تا مقایسه صورت پذیرد.

این نتایج برای توان ورودی ۲۰۰ وات و ۳۰۰ و ۴۰۰ وات نیز همین روند را دارد و برای پرهیز از تکرار از انجام آزمایش صرف نظر شد ضمن اینکه در انجام این آزمایش و بررسی اثر نسبت پر شدن با توان های ورودی بالاتر به دلیل گرانی مواد نانو سیال و محدودیت در انجام آزمایش توان ورودی ۱۰۰ وات با توجه به ابعاد دستگاه و استانداردهای آن به عنوان توان ورودی ژایه در نظر گرفته شد تا اثر تغییرات دیگر پارامترها به خوبی مشاهده گردد.

روند سعودی در توان ورودی ۱۰۰ وات مشاهده می شود با افزایش نسبت پر شدن از ۱۵ تا ۳۵٪، راندمان سیستم افزایش می یابد، ولی در نسبت های پر شدن بیشتر از ۳۵٪ شاهد کاهش تدریجی راندمان سیستم هستیم. در نسبت های پر شدن بالاتر، صداها و لرزش های شدیدی در سیستم به وجود می آید که در مراجع علمی به آن اصطلاحاً "جوشش نوسانی" گفته شده است. از این رو برای ایمنی بیشتر، آزمایشی در نسبت های پر شدن بیشتر از ۴۵٪ انجام نگرفت. برای نانو سیال حداکثر راندمان در ۳٪ غلظت حجمی در نسبت پر شدن ۳۵٪ حاصل می شود.

در صورت استفاده از نانو سیال اکسید آلومینیوم/ آب به جای آب خالص، حداکثر افزایش در راندمان ۱۹ درصد، سیستم در نسبت پر شدن ۱۵٪ و به میزان ۲۱/۵۳ درصد صورت می پذیرد. حداکثر راندمان قابل حصول در سیستم با استفاده از نانو سیال اکسید آلومینیوم/ آب، ۹۶.۴٪ میباشد.



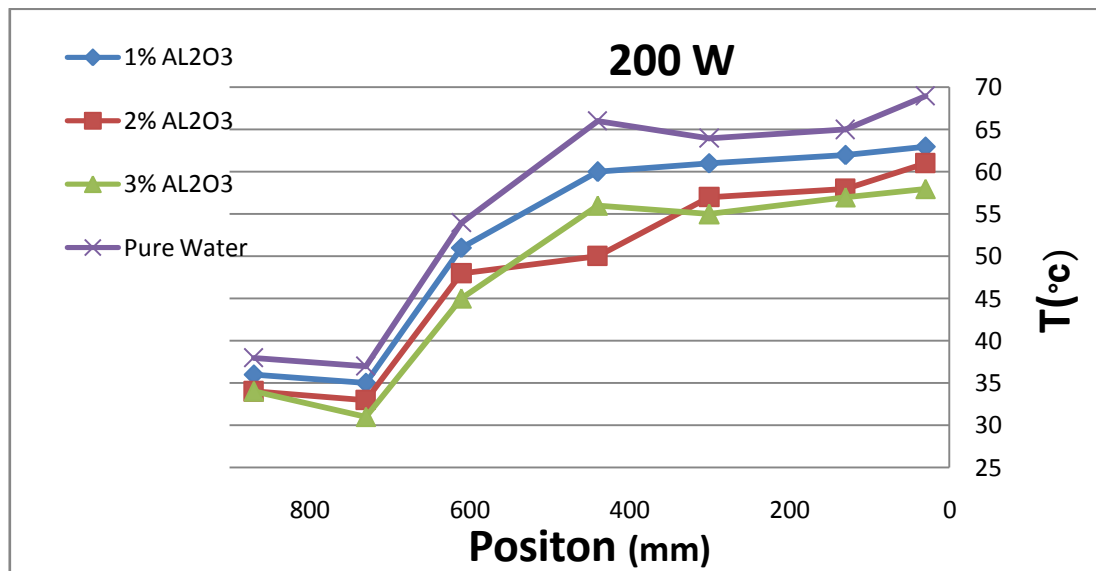
شکل ۷: مقایسه ی اثر نسبت پر شدن بر راندمان سیستم در غلظت های مختلف از نانو سیال اکسید آلومینیوم  $AL_2O_3$  و مقایسه با آب خالص

#### توزیع دما در سطح خارجی ترموسیفون دوفازی بسته

برای بررسی توزیع دما بر روی سطح خارجی ترموسیفون، همان طور که اشاره شد از هفت سنسور که ۳ سنسور در بخش چگالنده و ۲ سنسور در بخش آدیاباتیک یا بی درو و ۲ سنسور در قسمت تبخیر کننده قرار گرفته است اختلاف دما بین بخش های تبخیرکننده و چگالنده یک سیستم ترموسیفون دوفازی بسته، بیان کننده عملکرد حرارتی آن می باشد. هر چه این اختلاف کمتر باشد به این معنی است که حرارت از بخش تبخیرکننده با افت کمتری به بخش چگالنده منتقل شده و در نتیجه راندمان سیستم بهتر می باشد. شکل (۸) توزیع دما در نسبت پر شدن ۴۵٪ و توان ۲۰۰ وات را در غلظت های مختلف حجمی به ترتیب از ۱٪ و ۲٪ و ۳٪ از نانوسیال آلومینیوم اکسید نشان می دهد و پروفیل دما روی سطح خارجی ترموسیفون برای نانو سیال آلومینیوم اکسید در هر ۳ غلظت مورد بررسی با حالتی که آب خالص در سیستم در جریان است مقایسه شده است.

اختلاف دما بین دو سر سیستم در صورت استفاده از نانوسیال به جای آب خالص کمتر می باشد که همین نکته مؤید بهبود راندمان سیستم در صورت استفاده از نانوسیال است. با افزایش غلظت نانوسیال این اختلاف کمتر شده و در نتیجه، عملکرد حرارتی سیستم مطلوبتر میگردد. با توجه به این که نسبت

پرشدن بهینه برای نانوسیال ، ۳۵٪ به دست آمده است ، در این بخش مقاومت حرارتی سیستم در این نسبت پرشدن مورد بررسی قرار می گیرد.



شکل ۸: مقایسه ی پروفیل دما روی سطح خارجی ترموسیفون برای نانو سیال آلومینیوم اکسید  $AL_2O_3$  و مقایسه با آب خالص

اثر تغییرات مقاوت حرارتی بر غلظت های مختلف نانو سیال

در این بخش اثرات مقاوت حرارتی را در غلظت های مختلف بررسی میکنیم. مقاوت حرارتی برای ترموسیفون به صورت زیر تعریف می شود. [28]

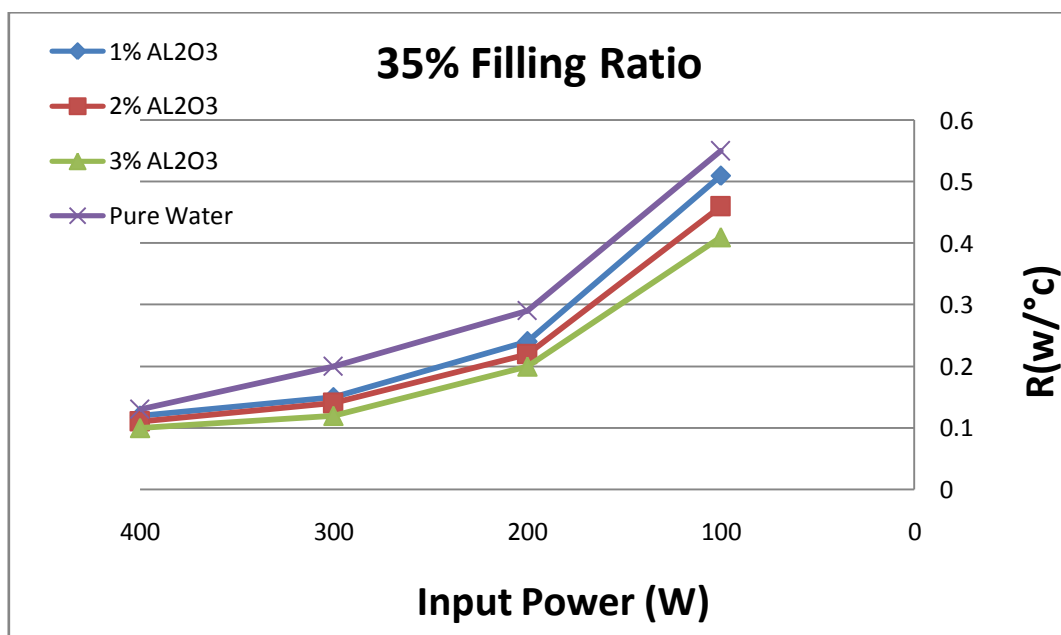
$$R = \frac{T_{ave \cdot e} - T_{ave \cdot c}}{Q_{in}} \quad (9)$$

$T_{ave \cdot e}$  دمای میانگین در قسمت اواپراتور و  $T_{ave \cdot c}$  دمای میانگین در قسمت کندانسور یا چگالنده است.

$Q_{in}$  نیز مقدار گرمایی است که از طریق هیترها به سیستم منتقل میشود.

در شکل (۹) تغییرات مقاوت حرارتی برای غلظت های مختلف نانو سیال اکسید آلومینیوم به ترتیب از ۱٪ حجمی ، ۲٪ ، ۳٪ و مقایسه با آب خالص مورد بررسی قرار گرفته . این آزمایش میتوان در نسبت های پر شدن مختلف انجام شود ولی به دلیل اینکه در آزمایشات قبلی نسبت پر شدن ۳۵٪

بیشترین بازدهی برای سیستم بدست آمد در این بررسی نیز نتایج برای نسبت پر شدگی ۰.۳۵ بررسی میشود. با افزایش توان ورودی، میزان مقاومت حرارتی سیستم کاهش پیدا می کند که البته شیب کاهش مقاومت حرارتی در توان های پایین ترموسیفون بیشتر می باشد. به طور مثال برای نانوسیال اکسید آلومینیوم/آب که حاوی ۲٪ حجمی از نانوذرات باشد با افزایش توان ورودی از ۱۰۰ W به ۲۰۰ W، میزان مقاومت حرارتی سیستم از  $0.38 \text{ }^\circ\text{C/W}$  به  $0.078 \text{ }^\circ\text{C/W}$  کاهش پیدا می کند. در تمامی غلظت های نانوسیال مقاومت حرارتی سیستم نسبت به آب خالص کمتر می باشد به طور مثال در توان ورودی ۱۰۰ W مقاومت حرارتی سیستم برابر با  $0.509 \text{ }^\circ\text{C/W}$  می باشد اما با تزریق نانوذرات اکسید آلومینیوم به آب، به میزان ۱، ۲ و ۳ درصد حجمی، مقاومت حرارتی سیستم به ترتیب به  $0.509 \text{ }^\circ\text{C/W}$ ،  $0.552 \text{ }^\circ\text{C/W}$  و  $0.486 \text{ }^\circ\text{C/W}$  کاهش می یابد و این بدان معنی است که افزایش غلظت نانوسیال نیز مقاومت حرارتی سیستم را کاهش می دهد. در صورت استفاده از نانوسیال در قیاس با آب خالص، حداکثر کاهش مقاومت حرارتی در غلظت ۳٪ حجمی و در توان ورودی ۱۰۰ W رخ می دهد.



شکل (۹) تغییرات مقاومت حرارتی برای غلظت های مختلف نانو سیال اکسید آلومینیوم  $Al_2O_3$  و مقایسه با آب خالص بر حسب توان ورودی در نسبت پر شدن ۰.۳۵٪

بررسی هایی جهت تعیین میزان خطا در محاسبه راندمان ترموسیفون به وسیله اندازه گیری تجربی انجام گرفته است. این بررسی ها تاثیر خطاهای اندازه گیری را در نتیجه کلی نشان می دهد.

مطالعه مورد استفاده جهت تخمین خطا رابطه (۱۰) می باشد. [29]

$$U_{pi} = \frac{x_i}{p} \frac{\partial p}{\partial x_i} U_{xi} \quad (10)$$

که در این رابطه  $x_i$  : پارامتر قابل اندازه گیری

P: کمیت محاسبه شده از روی پارامترهای اندازه گیری

$U_{xi}$  : خطای اندازه گیری

$U_{xi}$ : حداکثر خطای ممکن در محاسبه ی یک کمیت

تاثیر تمام خطاها در محاسبه کمیت نهایی به صورت معادله (۱۱) بیان می شود. [30]

$$\text{Max } U_p = \pm \left[ \left( \frac{x_1}{p} \frac{\partial p}{\partial x_1} U_1 \right)^2 + \left( \frac{x_2}{p} \frac{\partial p}{\partial x_2} U_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{x_3}{p} \frac{\partial p}{\partial x_3} U_3 \right)^2 \right]^{0.5} \quad (11)$$

که  $U_p$  نشان دهنده ی خطای حاصل در تخمین کمیت می باشد.

### ۳-۸-۱ محاسبه خطاها

نحوه ی محاسبه خطای حاصل شده در محاسبه راندمان ترموسیفون در یکی از آزمایشات به عنوان نمونه در زیر آورده می شود.

$$U_V = \pm \frac{1}{62} = \pm 1.62 \times 10^{-2} \quad \text{خطای اندازه گیری ولتاژ}$$

$$U_1 = \pm \frac{0.01}{0.80} = \pm 1.25 \times 10^{-2} \quad \text{خطای اندازه گیری جریان (آمپر)}$$

$$U_{\dot{m}} = \pm 5 \times 10^{-2} \quad \text{خطای تقریبی اندازه گیری دبی جرمی سیال}$$

$$U_{T_{\dot{m}}} = \pm \frac{0.1}{21.9} = \pm 4.56 \times 10^{-2} \quad \text{خطای اندازه گیری دمای آب غلاف چگالنده}$$

راندمان ترموسیفون نیز از رابطه (۱۱) بدست می آید.



$$\eta = \frac{c_p \dot{m}}{VI} (T_{out} - T_{in}) \quad (12)$$

با فرض اینکه مقدار ظرفیت گرمایی ویژه که از جدول ترمودینامیکی به دست می آید بدون خطا باشد داریم:

$$\text{Max } \eta = \pm [(U_{\eta_v})^2 + (U_{\eta_i})^2 + \dots + (U_{\eta_T})^2]^{0.5} \quad (13)$$

با توجه به رابطه (۱۳) نتیجه می شود:

$$\text{Max } \eta = \pm [(-U_v)^2 + (-U_I)^2 + (-U_{\dot{m}}) + (U_T)^2]^{0.5} \quad (14)$$

با جایگذاری مقادیر خطا در رابطه (۱۴) میزان خطا در این آزمایش خاص ۵.۴۱٪ به دست می آید. برای شفاف سازی بیشتر خطاهای آزمایش در حالتی که نسبت پر شدن ۰.۴۵٪ و درصد حجمی ۲٪ و توان ورودی از ۱۰۰ تا ۴۰۰ وات در جدول (۲) محاسبه شده است.

جدول ۲: خطاهای آزمایش

		$U_{\dot{m}}$	$U_{T_{\dot{m}}}$	
$\pm 1.62 * 10^{-2}$	$\pm 1.25 * 10^{-2}$	$\pm 5 * 10^{-2}$	$\pm 5.32 * 10^{-2}$	$\pm 5.43 * 10^{-2}$
$\pm 1.54 * 10^{-2}$	$\pm 1.31 * 10^{-2}$	$\pm 4.9 * 10^{-2}$	$\pm 5.16 * 10^{-2}$	$\pm 5.77 * 10^{-2}$
$\pm 1.69 * 10^{-2}$	$\pm 1.28 * 10^{-2}$	$\pm 5.2 * 10^{-2}$	$\pm 6.19 * 10^{-2}$	$\pm 6.54 * 10^{-2}$
$\pm 1.74 * 10^{-2}$	$\pm 1.47 * 10^{-2}$	$\pm 4.3 * 10^{-2}$	$\pm 5.78 * 10^{-2}$	$\pm 6.19 * 10^{-2}$

نتیجه گیری:

در این پژوهش پس از تهیه نانو سیال های اکسید آلومینیوم/آب در غلظت های ۱ تا ۳ درصد حجمی، از آنها به عنوان سیال عامل در یک ترموسیفون دو فازی بسته استفاده گردید . نتایج بدست آمده از این پژوهش عبارتند از:

۱- استفاده از نانو سیال منجر به بهبود راندمان سیستم ترموسیفون دو فازی بسته در تمامی شرایط عملیاتی مورد مطالعه می گردد . در محدوده غلظتی مورد آزمایش، هر چه غلظت نانو سیال مورد استفاده بیشتر باشد راندمان سیستم نیز افزایش بیشتری می یابد.

۲- با افزایش نسبت پر شدن تا ۳۵٪، راندمان سیستم افزایش و پس از آن کاهش می یابد .به عبارت دیگر نسبت پر شدن بهینه در مورد هر دو نوع نانوسیال، ۳۵٪ میباشد.

۳- برای نانوسیال اکسید آلومینیوم، حداکثر راندمان برای توان ورودی ۱۰۰ وات در غلظت ۳ درصد حجمی به دست آمده است.

۴- اختلاف دما بین بخش تبخیر کننده و بخش چگالنده سیستم در صورت استفاده از نانو سیال به جای سیال خالص که آب مقطر بود کاهش می یابد که این نکته مؤید بهبود راندمان سیستم می باشد. و به طور کلی می توان گفت که استفاده از نانو سیال ها به جای سیال معمولی به دلیل جلوگیری از تشکیل حباب های بخار بزرگ در بخش تبخیر کننده (که اصلی ترین دلیل افزایش مقاومت حرارتی می باشد) منجر به کاهش مقاومت حرارتی سیستم و در نتیجه ، افزایش راندمان آن می گردد.

۵- از بررسی توزیع دماهای سطح خارجی ترموسیفون بسته ی دو فازی ب این نتیجه رسیدیم که اختلاف دمای بخش چگالنده و تبخیرکننده در حالتی که نانو سیال با درصد حجمی بالاتر استفاده شود کمتر و درنتیجه حرارت با افت کمتری به بخش چگالنده منتقل شده و درنتیجه راندمان سیستم بهتر میباشد.

۶- از بررسی تغییرات مقاومت در نسبت های حجمی مختلف و مقایسه ی آن درمی یابیم که مقاومت حرارتی در تلمی غلظت ها نسبت به آب خالص کمتر میباشدو با افزایش غلظت مقاومت حرارتی کمتر میشود و این نشان میدهد نانو سیال در افزایش انتقال حرارت تاثیر بسزایی داشته.

## فهرست نامها:

سرعت (m/s)	<b>V</b>
دما (°K)	<b>T</b>
شتاب (m/s <sup>2</sup> )	<b>A</b>
شتاب گرانش (m/s <sup>2</sup> )	<b>G</b>
گرمای ویژه (J/Kg.°K)	<b>Cp</b>
ضریب هدات حرارتی (W/m.°K)	<b>K</b>
ضریب جابهجایی حرارتی (W/m <sup>2</sup> .°K)	<b>H</b>
شار حرارتی (W/m <sup>2</sup> )	
قطر ذره (m)	<b>Dp</b>
قطر لوله (m)	<b>D</b>
طول توسعه یافتگی (m)	<b>L</b>
شعاع لوله (m)	<b>R</b>
ضریب اصطکاک ( $= 8\tau/\rho V^2$ )	<b>F</b>
عدد رینولدز ( $= \rho V D/\mu$ )	<b>Re</b>
عدد پرانتل ( $= \mu C_p/k$ )	<b>Pr</b>
عدد ناسلت ( $= hD/k$ )	<b>Nu</b>
( $= (x/D)/Re.Pr$ )	
( $= L/D$ )	
ضریب درگ	<b>Fdrag</b>

## حروف یونانی

چگالی (Kg/m <sup>3</sup> )
لزجت (Kg/m.s)
کسر حجمی ذره
طول آزاد میانگین (m)
تنش برشی (Pa)
ضریب پراکندگی
گردابه یا ورتیسیتته

## زیر نویسها

دیوار	<b>W</b>
سیال	<b>F</b>
ذره، فاز اولیه	<b>P</b>
فاز ثانویه	<b>Q</b>
مخلوط، متوسط	<b>M</b>
رانشی	<b>Dr</b>
نانوسیال	<b>Nf</b>
اغتشاشی	<b>T</b>
هیدرولیکی	<b>Hy</b>
حرارتی	<b>Th</b>
شرط شار حرارتی ثابت روی سطح	<b>H</b>
شرط دما ثابت روی سطح	<b>T</b>
خط مرکزی	<b>C</b>
شرایط ورودی	<b>0</b>
موثر یا معادل	<b>Eff</b>

## مراجع:

- 1- Noie, S.H., Majideian, G.R., "Waste heat recovery using heat pipe heat exchanger (HPHE) for surgery rooms in hospitals", Applied Thermal Engineering, 20, pp. 1271-1282 (1999).
- 2- Vasiliev, L., Lossouarn, D., Romestant, C., Alexandre, A., Bertin, Y., Piatsiushyk, Y., Romanenkov, V., "Loop heat pipe for cooling of high-power electronic components", International Journal of Heat and Mass Transfer, 52 (1-2), pp. 301-308 (2008).
- 3- Xiau, P., W.U, Johnson, P., Akbarzaseh, A., "A study of heat pipe heat exchanger effectiveness in an air conditioning application", in: Proc. 5th Int. Heat Pipe Symposium, Melbourne, Australia, (1996).
- 4- Liu, G., et al., "The application of heat pipe heat exchanger in exhaust gas heat recovery system and its thermodynamic analysis", in: Proc. 8th Int. Heat Pipe Conf., Beijing, China, pp. 582-585, (1992).
- 5- Salehi, H. Experimental investigation of effect of magnetic field on nano fluid's operation in thermosyphon", Master's Thesis, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran (2008)
- 6- Dunn, P.D., Reay, D.A., "Heat Pipes", 3 ed., Pergamon Press, (1994).

7. Imura, H., Sasaguchi, K., Kozai, H., "Critical heat flux in a closed two phase thermosyphon", *International Journal of Heat Mass Transfer*, 26(8), pp 1181– 1188, (1983).
8. Harada, K., Inoue, S., Fujita, J., et al., "Heat transfer characteristics of large heat pipe (in Japanese)", *Hitachi Zosen Tech. Rev.* 41, (1980)
9. Noie, S.H., "Heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon", *Applied Thermal Engineering*, 25, pp. 495-506, (2005).
10. Hussein, H.M.S., El-Ghetany, H.H., Nada, S.A., "Performance of wickless heat pipe flat plate solar collectors having different pipes cross sections geometries and filling ratios", *Energy Conversation Management*, 47, pp 1539–1549, (2006).
11. Feldman, K.T., Srinivasan, R., "Investigation of heat transfer limits in two-phase closed thermosyphon", 5th Int.l Heat Pipe Conf., (1984).
12. Maxwell, J.C., "A Treatise on Electricity and Magnetism", second edition, Clarendon Press, Oxford, UK, (1881).
13. Choi, S.U.S., "Enhancing thermal conductivity of fluid with nanoparticles, Developments and Applications of Non-Newtonian Flows", FED-V. 231/ MD-V. 66, ASME, New York, pp. 99-105, (1995).
14. Zussman, S., "More about Argonne's stable, highly conductive nanofluids", Public communication, Argonne National Laboratory, IL, USA, (2002).
15. Lee, S., Choi, S.U.S., Li, S., Eastman, J.A., "Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles" *Journal of Heat Transfer*, 121, pp. 280-289, (1999).
16. Eastman, J.A., Choi, S.U.S., Li, S., Soyez, G., Thompson, L.J., et al., "Novel thermal properties of nanostructures materials", *Material sciences, Forum*, 312-314, pp. 629-634, (1999).
17. Koblinski, P., Phillpot, S.R., Choi, S.U.S., Eastman, J.A., "Mechanism of heat flow in suspension of nano-sized particle (nanofluids)", *International Journal of Heat Mass Transfer*, 45(4), pp. 855-863, (2002).
18. Palm, S.J., Roy, G., Nguyen, C.T., "Heat transfer enhancement in a radial flow cooling system using nanofluids", *Int. Symp. Advances in Computational Heat Transfer*, Norway, (2004).
19. Zeinali Heris, S., Etemad S.Gh., Nasr Esfahany, M., "Experimental investigation of oxide nanofluids laminar flow convective heat transfer", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33, pp. 529–533, (2006).
20. Zeinali Heris, S., Nasr Esfahany, M., Etemad, S.Gh., "Experimental investigation of convective heat transfer of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid in circular tube", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28, pp. 203–210, (2007).
21. Wang, X., Mujumdar, A.S., "Heat transfer characteristics of nanofluids: A review", *International Journal of Thermal Science*, 46, pp 1–19, (2007)
22. Bang, I.C., "Boiling heat transfer performance and phenomenon of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–water nanofluids from a plain surface in a pool", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48, pp. 2407–2419, (2005).
23. Tu, J.P., Dinh, N., Theofanous, T., "An experimental study of nanofluid boiling heat transfer", In: *Proc. of 6th Int. Symp. Heat Transfer*, Beijing, China, (2004).
24. Shung, W.K., Wei, W.C., "Experimental Investigation of silver nanofluid on heat pipe thermal performance", *Proceedings Tamkang University, Int. Nano and MEMS Workshop*, Taiwan, (2005).

25. Tsai, C.Y., Chien, H.T., Ding, P.P., Chan, B., Luh, T.Y., Chen, P.H., "Effect of structural character of gold nanoparticles in nanofluid on heat pipe thermal performance", *Materials Letters*, 58 (9), pp. 1461-1465, (2004).
26. Naphon, P., Thongkum, D., Assadamongkol, P., "Heat pipe efficiency enhancement with refrigerantnanoparticles mixtures", *Jour. of Energy Conversion and Management*. in: Proc, (2008).
27. Pauramatethanuwat, T., Rittidech, S., Booddachan,K., "Effect of Inclination Angles and Aspect ratios on Heat Transfer Characteristics of a Two- Phase Closed Thermosyphon Using De Ionize Water Mix Silver Nano", 9th Int. Heat Pipe Symp., Malaysia, (2008).
28. Khandekar, S., Joshi, Y., Mehta, B., "Thermal performance of closed two-phase thermosyphon using nanofluids", *International Journal of Thermal Science*, 47, pp. 659-667, (2007).
29. Churchill, S.W., and Chu, H.H.S., "Correlating equations for laminar and turbulent free convection from a vertical plate", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 18,pp.1049-1053, (1975)
31. Young, H.D., "Statistical treatment of experimental data", Mc. Grow-Hill, New York, (1962). 37. Holman, J.D., "Experimental methods for engineers", 5 ed., Mc. Grow-Hill, New York. (1989)