



# طراحی و شبیه سازی یک سیستم تبرید جذبی - افشانکی خورشیدی مبتنی بر نانوسیال

فتح اله پورفایز\* | آسیه عزیزی زیارانی | علیبخش کسائیان | فاطمه راضی آستارایی

گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

**چکیده:** پژوهش حاضر چرخه سردسازی نوینی را که بر پایه ی چرخه جذبی عمل می نماید و انرژی خورشیدی را برای تأمین انرژی مورد نیاز در ژنراتور بکار می گیرد، مورد بررسی قرار می دهد. برای جمع آوری انرژی خورشیدی از جمع کننده گرمای سهموی استفاده می شود که در آن برای افزایش انتقال حرارت به سیال عامل از نانوسیال (نانوذرات اکسید آلومینیوم در یک سیال پایه روغنی) استفاده شده است. در بررسی جریان سیال در داخل لوله جاذب دیده می شود که با افزایش غظت نانوذرات، ضریب انتقال حرارت جابجایی نیز افزایش می یابد. همچنین استفاده از نانوسیال در مبدل حرارتی استفاده شده در ژنراتور، باعث بالا رفتن انتقال حرارت در ژنراتور و در نتیجه کاهش اندازه مبدل حرارتی در چرخه جذبی مورد نظر می شود. مزیت اصلی این پژوهش، بررسی تحلیلی چرخه نوین جذبی افشانکی به موازات بررسی استفاده از نانوسیال در جمع کننده گرمای خورشیدی سهموی، و مطالعه تاثیرات پارامترهای موثر بر عملکرد سیستم و در بررسی استفاده از نانوسیال در سیستم های خورشیدی می باشد.

**واژگان کلیدی:** تبرید جذبی، نانوسیال، جمع کننده گرمای خورشیدی، نانوذرات.

pourfayaz@ut.ac.ir

## ۱- مقدمه

خنک کننده ترکیب شده با انرژی خورشیدی یکی از بهترین راه حل ها برای سیستم های سرمایش با ایجاد کمترین میزان آلودگی می باشد. تاکنون تعداد زیادی پروژه برای توسعه تکنولوژی سردسازی خورشیدی انجام شده است. در سال ۱۹۸۰ تنوع در سردسازی خورشیدی توسعه داده شد به صورتی که تعداد زیادی از انواع آن در بازار با قیمت پایینی و قابل رقابت با سایر سیستم های سرد سازی قابل عرضه شد [۱]. سرد کننده های خورشیدی به دسته های سرد سازی الکتریکی خورشیدی، سرد سازی حرارتی خورشیدی و مناسب ساختن هوا از طریق حرارت خورشیدی تقسیم می شوند. در اولین دسته از سرد کننده های خورشیدی، سرد سازی تراکمی الکتریکی خورشیدی که از صفحات پیل خورشیدی برای

ضریب عملکرد (COP) معیاری از بازدهی انرژی سیستم های تبرید است. برای سیستم های تبرید جذبی، COP به صورت نسبت ظرفیت برودتی تبخیرکننده به مجموع کار مصرف شده توسط پمپ محلول و حرارت ورودی به ژنراتور تعریف می شود. از نظر COP، سیستم های جذبی نسبت به سیستم های تراکم بخار بازدهی کمتری دارند. اما هنگامیکه انرژی مورد نیاز اولیه نیز در نظر گرفته می شود، تفاوت بین COP کل چندان زیاد نیست. از جمله مواردی که برای رسیدن به اهداف پیمان کیوتو در سیستم های سردسازی، انجام می شود، استفاده از سیستم های سردسازی خورشیدی می باشد، با در نظر گرفتن اینکه با افزایش دما تقاضا برای استفاده از سیستم های خنک سازی بیشتر می شود، استفاده از سیستم های

تأمین قدرت موردنیاز ماشین سردسازی، استفاده می‌کنند. در گروه دوم، سردسازی از طریق حرارت خور شیدی انجام می‌شود. انواع متداول آن می‌توان سردسازی تراکمی خور شیدی و سیستم‌های جذبی را نام برد. در گروه سوم، هوای سرد شده می‌تواند به صورت مستقیم از طریق حرارت خور شیدی ایجاد شود [۲]. پیدا کردن راه‌هایی برای بهبود بازدهی سیستم جذبی چالش بزرگی برای محققان در سال‌های اخیر بوده است. پژوهش‌ها به صورت عمده بر روی ابداع چرخه‌های جدید یا ترکیبی، پیدا کردن سیال‌های عامل جدید و بهبود انتقال حرارت و جرم در سیستم‌های جذبی متمرکز شده است [۳]. در سال ۲۰۰۱، Pilatowsky و همکارانش، آنالیز ترمودینامیکی را بر روی سیستم سرمایش جذبی خور شیدی دارای ژنراتورهایی با دمای پایین، در محدوده ۶۰ تا ۶۸ درجه سانتی‌گراد، که استفاده از انرژی خور شیدی را میسر می‌سازد، برای بررسی پارامترهای مختلفی مانند ضریب عملکرد، انجام دادند [۴]. در سال ۲۰۰۲، Rivera و همکارانش، به شبیه‌سازی سیستم سرمایش جذبی خور شیدی که با استفاده از ترکیب لیتیم و آمونیاک، کار می‌کنند، پرداختند [۵]. برای بکار بردن انرژی خور شیدی در چرخه‌های تبرید جذبی، افزایش انتقال حرارت به سیال انتقال حرارت، از طریق بالا بردن و افزایش هدایت حرارتی، یک راه ممکن برای بالا بردن بازدهی در جمع‌کننده‌های گرمای خور شیدی می‌باشد. هدایت حرارتی تعدادی از ذرات فلزی، اکسیدهای فلزی و نانولوله‌ها از هدایت حرارتی مایعات بسیار بالاتر می‌باشد. رسیدن به موفقیت‌های جدید، نشان می‌دهد که استفاده از ذرات ریز به صورت معلق در سیالات مایع، نرخ انتقال حرارت را به صورت قابل توجهی افزایش می‌دهد [۸-۶]. از اینرو استفاده از نانوسیال یک راه برای رسیدن به افزایش دریافت انرژی خور شیدی و در نتیجه بالا بردن دریافت انرژی خور شیدی و واضح است که استفاده از نانوسیالات و تحقیقات در زمینه آن، موضوعی است که در سال‌های اخیر به شدت گسترش یافته است.

آزمایشات و مطالعات مختلفی بر روی بهبود انتقال حرارت جابجایی سیالات در لوله‌ها انجام شده است و مقالاتی در این زمینه در چندین مجله به انتشار رسیده است. تعدادی از این مطالعات بر روی انتقال حرارت جابجایی طبیعی انجام شده است [۹]، در تعدادی نیز انتقال حرارت جابجایی اجباری مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۰]

و در تعدادی نیز ترکیبی از این دو حالت مورد بررسی قرار گرفته است [۱۱ و ۱۲].

Saidur و همکارانش، اثرات استفاده از نانوسیال را به عنوان جاذب در جمع‌کننده‌های گرمای خور شیدی مستقیم، ارزیابی کردند. در این مطالعه اثرات استفاده از نانوسیال در جمع‌کننده‌های گرمای خور شیدی مستقیم مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه اثرات اندازه نانوذرات در عملکرد نانوسیال در جمع‌کننده گرمای خور شیدی بررسی شد و در نهایت مشخص شد که اندازه ذرات کمترین اثر را بر روی عملکرد ذرات دارد [۱۳]. یوسفی و همکارانش اثرات استفاده از نانوسیال را بر روی بازدهی جمع‌کننده‌های گرمای خور شیدی تخت، مورد ارزیابی قرار دادند. در این بررسی اثر استفاده از نانوسیال به عنوان جاذب در جمع‌کننده‌های گرمای خور شیدی تخت، به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی نتایج برای نرخ جریان جرمی‌های مختلف نانو سیال و درصد وزنی‌های مختلف نانوسیال، به دست آورده شده است. و در نهایت نتایج تجربی به دست آورده شده، نشان می‌دهند که افزایش ضریب وزنی باعث افزایش در بازدهی جمع‌کننده‌های گرمای خور شیدی تخت می‌شود [۱۴]. تاکنون تحقیقات اندکی بر روی مدل کردن لوله جاذب در شرایط واقعی همراه با جریان حرارتی غیریکنواخت، صورت گرفته است [۱۵ و ۱۶]. هرچند تعدادی مقالات در زمینه کاربرد نانوسیالات در جمع‌کننده‌های گرمای خور شیدی تخت، تنظیم شده‌اند [۱۷ و ۱۸]، و کارهای کمی در زمینه مدل کردن نانوسیالات در جمع‌کننده‌های گرمای خور شیدی سهموی انجام شده است. بطور کلی اگرچه کارهای زیادی در خصوص بررسی اثرات بکارگیری نانوسیال‌ها بر عملکرد جمع‌کننده‌های گرمای خور شیدی انجام شده است، اما بندرت اثر بکارگیری نانوسیال‌ها بر عملکرد سیستم هیبریدی جمع‌کننده گرمای خور شیدی - سیکل تبرید جذبی تحقیق شده است. موضوع مورد بررسی در این تحقیق شبیه‌سازی یک سیستم هیبریدی جمع‌کننده گرمای خور شیدی - سیکل تبرید جذبی و بررسی اثرات بکارگیری نانوسیال‌ها بر عملکرد آن بود. سیکل تبرید استفاده شده یک سیکل تبرید جذبی-افشانکی بود و برای جمع‌آوری انرژی خور شیدی از یک جمع‌کننده گرمای خور شیدی سهموی استفاده شد که در آن برای افزایش انتقال حرارت به سیال عامل از نانوسیال، که ترکیب روغن به عنوان

سیال پایه و نانوذرات اکسید آلومینیوم معلق در سیال پایه بود، استفاده شد.

## ۲- روش تحقیق و شبیه‌سازی

ترکیب چرخه‌ی تبرید جذبی تک اثره و افشانک در شکل (۱-۳) نشان داده شده است. اتصال افشانک به چرخه‌ی جذبی باعث افزایش جریان مبرد از تبخیرکننده شده (برای مقدار ثابت) و در نتیجه ظرفیت برودتی سیستم افزایش می‌یابد.

با توجه به شکل اصول کاری چرخه‌ی ترکیبی به صورت زیر می‌باشد: محلول LiBr آب در ژنراتور گرمای را از منبع گرمایی دریافت می‌کند و بخار مبرد با فشار بالا در نقطه (۱) ایجاد می‌شود. این بخار (سیال اولیه) سپس در نازل همگرا - واگرای اولیه در افشانک جریان می‌یابد. هنگامی که بخار وارد بخش مخلوط‌کننده می‌شود، کاهش فشار ناشی از انبساط باعث مکش بخار مبرد (سیال ثانویه) از تبخیرکننده در نقطه‌ی (۱۳) می‌شود. سیال‌های اولیه و ثانویه با هم در افشانک مخلوط شده و جریان حاصل در دیفیوزر تحت فرایند بازیافت فشار قرار می‌گیرد تا به فشار مورد نظر در چگالنده برسد. جریان ترکیبی بخار فوق گرم در (۲) از افشانک خارج شده و وارد چگالنده می‌شود. که در آنجا با دادن گرمای چگالش به محیط به مایع تبدیل می‌شود (۳). مبرد مایع سپس توسط یک شیر انبساط، تا فشار تبخیرکننده (حالت فشار پایین) منبسط می‌شود (۴) در ادامه مایع مبرد وارد تبخیرکننده شده و در آن جا با گرفتن گرمای اثر برودتی مورد نیاز را ایجاد می‌کند.

بخشی از بخار مبرد ایجاد شده در فشار پایین در تبخیرکننده، توسط افشانک مکش شده (۱۳) و باقی‌مانده آن وارد جذب‌کننده می‌شود. بخار مبردی که وارد جذب‌کننده می‌شود توسط محلولی غلیظ که از ژنراتور می‌آید و قبلاً توسط مبدل گرمایی خنک شده و با عبور از یک شیر انبساط فشار آن کاهش یافته، جذب شده و یک محلول رقیق ایجاد می‌شود. گرمای حاصل شده از این فرایند به محیط داده می‌شود. در نهایت محلول رقیق پس از عبور از مبدل حرارتی و پس از کسب گرمای قابل توجهی از محلول غلیظی که به جذب‌کننده برمی‌گردد به ژنراتور پمپ می‌شود و به این ترتیب چرخه کامل می‌شود.

در این چرخه‌ی ترکیبی COP به صورت زیر محاسبه می‌شود:

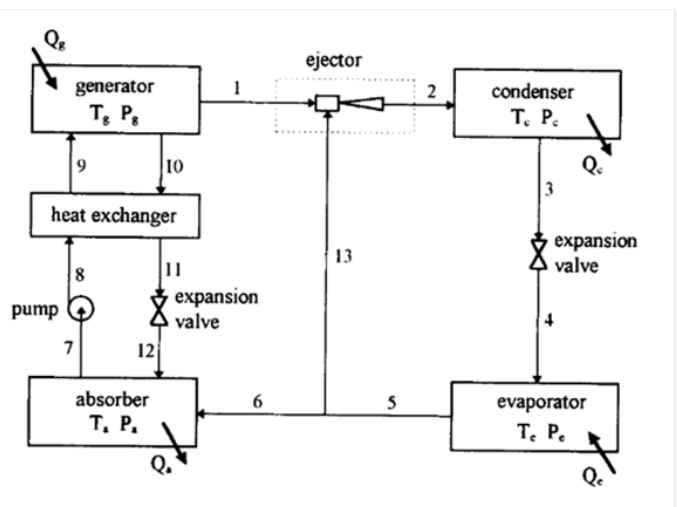
$$COP = \frac{Q_e}{(Q_g + W_{me})} \quad (1)$$

عملکرد چرخه‌ی ترکیبی افشانک- جذبی توسط دمای ژنراتور، دمای چگالنده، دمای جذب‌کننده و دمای تبخیرکننده و همچنین فشار ژنراتور، مشخص می‌شود.

برای شبیه‌سازی چرخه ترکیبی جذبی افشانکی مورد نظر از نرم‌افزار متلب استفاده شده است. مبدل‌های استفاده شده در چگالنده و تبخیرکننده، از نوع صفحه و فین می‌باشند. طراحی چرخه ترکیبی برای بار برودتی ۴۰ تن (۱۵۰ KW) صورت گرفته است. به این ترتیب که آب با دمای ۱۰ °C وارد تبخیرکننده شده با دمای ۱۵ °C از آن خارج می‌شود. در نتیجه

برای رسیدن به این هدف و با توجه به اینکه سیال عامل آب می‌باشد و دماهای پایتتر از صفر به دلیل انجماد آب، در تبخیرکننده امکانپذیر نمی‌باشد، دمای تبخیرکننده در بازه ۲-۸ °C میتواند تغییر کند.

در چگالنده نیز گاز فوق گرم خروجی از افشانک باید تا رسیدن به مایع اشباع در دمای چگالنده خنک شود. آب به منظور خنک‌سازی با دمای محیط وارد چگالنده میشود. برای انتقال حرارت بهتر، اختلاف دما ۷ °C بین دمای چگالنده و محیط در نظر گرفته شده است. مبدل محلول در حلقه جذب‌کننده-ژنراتور، نیز از نوع پوسته لوله‌ای با بازدهی ۰/۷۵ (  $\eta_{SHE} = 0/75$  ) در نظر گرفته شده است. همچنین لازم به ذکر است که به منظور پیش‌گیری از خوردگی در



شکل ۱: نمای کلی چرخه‌ی جذبی و افشانکی

عنوان پروفایل مرزی در نرم افزار Fluent گرفته می شود. مدل آشفته k-ε همراه با شدت آشفتهگی ۶ درصد استفاده می شود. به منظور بررسی صحت مدل مقایسه ای بین نتایج بدست آمده و یک تحقیق تجربی در این زمینه صورت گرفته است [۲۰].

همچنین برای شبیه سازی این لوله جاذب جمع کننده گرمای خورشیدی سهموی، از معادلات حاکم بر حرکت سیال در سیستم مختصات استوانه ای استفاده شده که بصورت زیر نوشته می شوند.

معادله پیوستگی:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_{eff} u) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho_{eff} r v) + \frac{\partial}{\partial Z} (\rho_{eff} w) = 0 \quad (2)$$

ژنراتور، غلظت محلول LiBr آب در ژنراتور مقدار ثابت و برابر با ۶۴/۳٪ در نظر گرفته شده است. به منظور بررسی صحت مدل مقایسه ای بین نتایج بدست آمده و یک تحقیق تجربی در این زمینه صورت گرفته است [۱۹].

در این تحقیق از انرژی خورشیدی برای تولید انرژی در ژنراتور در چرخه تبرید جذبی دارای افشانک استفاده شده است. همچنین برای افزایش میزان دریافت انرژی خورشیدی در جمع کننده های گرمای خورشیدی از نانوسیال استفاده شده است. در حالتی که در ژنراتور سیال به صورت اشباع گرفته باشد، استفاده از نانوسیال باعث بالا رفتن حرارت ورودی به ژنراتور می شود و چون سیال در ژنراتور به صورت اشباع قرار گرفته است، باعث بالا رفتن نرخ جریان در گردش در چرخه تبرید جذبی می شود و در نتیجه باعث بالا رفتن ضریب عملکرد می شود. به علت پایین بودن محدوده دمایی کارکرد جمع کننده های گرمای خورشیدی تخت، برای داشتن راندمان گرمایی بالاتر، از متمرکز کننده های سهموی استوانه ای استفاده شده است. برای بررسی جریان انتقال حرارت، جریان به صورت آشفته توسعه یافته سه بعدی در نظر گرفته شده است، نانو سیال مورد بررسی شامل، سیال پایه که روغن VP1 می باشد و نانوذرات آلومینیوم اکسید، می باشد. توزیع جریان حرارتی روی سطح خارجی لوله جاذب در راستای دایره ای به صورت غیر یکنواخت است یا به عبارت دیگر در زاویه های مختلف حول لوله جاذب میزان دریافت انرژی خورشیدی متفاوت است که با استفاده از کدهای توسعه داده شده مونت کارلو محاسبه شده است و در راستای محور لوله جریان حرارتی به صورت یکنواخت می باشد. در این تحقیق، جریان نانوسیال به عنوان جریان تک فاز در نظر گرفته می شود و برای ۳ تابش متفاوت خورشیدی متفاوت ۶۰۰، ۹۰۰ و ۱۳۰۰ (W/m<sup>2</sup>)، سیستم خورشیدی مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته است. برای شبیه سازی لوله جاذب جمع کننده گرمای خورشیدی سهموی از نرم افزار Gambit و برای حل معادلات حاکم بر حرکت سیال از نرم افزار Fluent استفاده شده است.

دما و فشار کاری در این پروژه ۵۰۰ کلوین و ۲۰ psig، به ترتیب، در نظر گرفته شده است و نرخ جریان جرمی به اندازه ۱/۵۶ کیلوگرم بر ثانیه در نظر گرفته شده است. طول لوله جاذب ۴ متر و قطر آن ۰/۰۶۵۶ متر، در نظر گرفته شده است. جریان حرارتی متغیر به

معادله مومنتوم:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_{eff} uu) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho_{eff} rvu) + \frac{\partial}{\partial Z} (\rho_{eff} wu) + \frac{1}{r} (\rho_{eff} uv) \\ & = -\frac{1}{r} \left( \frac{\partial p}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \mu_{eff} \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\mu_{eff}}{r} \frac{\partial (ru)}{\partial r} \right) + \frac{2\mu_{eff}}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \rho_{eff} g \beta_{eff} (T_w - T) \sin \theta \end{aligned} \quad (3)$$

در راستای  $\theta$ :

در راستای مؤلفه  $r$ :

$$\begin{aligned} & \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_{nf} uv) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho_{nf} rvv) + \frac{\partial}{\partial Z} (\rho_{nf} wv) - \frac{1}{r} (\rho_{nf} u^2) \\ & = -\frac{1}{r} \left( \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \mu_{nf} \frac{\partial v}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\mu_{nf}}{r} \frac{\partial (rv)}{\partial r} \right) - \frac{2\mu_{nf}}{r^2} \frac{\partial u}{\partial \theta} - \rho_{nf} g \beta_{nf} (T_w - T) \cos \theta \end{aligned} \quad (4)$$

در راستای  $Z$ :

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_{eff} uw) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho_{eff} rvw) + \frac{\partial}{\partial Z} (\rho_{eff} w^2) = -\frac{\partial p}{\partial Z} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \mu_{eff} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \mu_{eff} \frac{\partial w}{\partial r} \right) \quad (5)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_{eff} uT) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho_{eff} rvT) + \frac{\partial}{\partial Z} (\rho_{eff} wT) = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\kappa_{eff}}{(Cp)_{eff}} \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\kappa_{eff}}{(Cp)_{eff}} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (6)$$

معادله انرژی:

نتایج اعتبارسنجی شبیه‌سازی جمع‌کننده گرمای خورشیدی سه‌موی نیز در جدول ۲ آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود درصد اختلافات بسیار کم و عمدتاً قابل چشم‌پوشی می‌باشند. این اختلافات بیشتر ناشی از اتلافات حرارتی در نمونه تجربی می‌باشد، که در شبیه‌سازی لوله جاذب در نظر گرفته نشده است. تطابق بین داده‌ها و نتایج عددی به دست آمده از شبیه‌سازی نشان دهنده این است که مدل‌ها و روش‌های استفاده شده در این پروژه، امکان‌پذیر و میسر می‌باشند و نتایج عددی قابل اطمینان می‌باشند. شکل ۲ نشان دهنده تغییرات ضریب انتقال حرارت در طول لوله جاذب می‌باشد، همانطور که در این شکل نشان داده شده است.

در طول لوله جاذب ضریب انتقال حرارت جابجایی در حال کاهش است و در نهایت به مقدار ثابتی می‌رسد، که نشان دهنده رسیدن به ناحیه توسعه یافته گرمایی می‌باشد که در آن ضریب انتقال حرارت به مقدار ثابتی می‌رسد. همچنین با اضافه کردن نانوذرات اکسید آلومینیوم به سیال پایه و رساندن غلظت آن به مقدار ۲ درصد وزنی، ضریب انتقال حرارت جابجایی افزایش می‌یابد که نشان

### ۳- نتایج و بحث

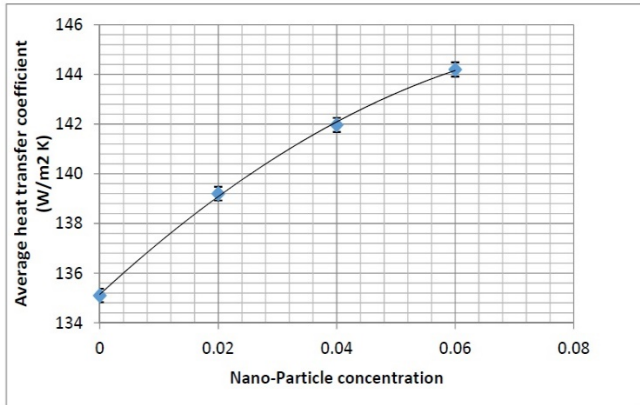
نتایج اعتبارسنجی شبیه‌سازی چرخه تبرید جذبی افشانکی در جدول ۱ آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود درصد اختلافات بسیار کم و عمدتاً قابل چشم‌پوشی می‌باشند. این اختلافات بیشتر ناشی از اتلافات حرارتی در نمونه تجربی می‌باشد، که در شبیه‌سازی سیستم ترکیبی در گرفته نشده است تفاوت‌های عمده در حلقه ژنراتور-جذب‌کننده مشاهده می‌شود که این اختلافات به احتمال زیاد به دلیل به کارگیری روش‌های متفاوت در محاسبه ویژگی‌های LiBr می‌باشد. همچنین استفاده از روش‌های متفاوت در بررسی عملکرد افشانک نیز می‌تواند سبب ایجاد اختلافات جزئی در نتایج به دست آمده باشد.

متوسط سیال پایه حدود ۱۳۵ است که با افزودن ۰.۲ و ۰.۴ درصد وزنی از نانوذرات اکسید آلومینیوم ضریب انتقال حرارت جابجایی متوسط آن (نانوسیال) به ترتیب حدود ۱۳۹، ۱۴۲ و ۱۴۴ می‌شود.

دهنده این می باشد که اضافه کردن نانوذرات به سیال پایه و در نتیجه نانوسیال باعث بالا رفتن ضریب انتقال حرارت جابجایی در لوله جاذب می شود.

جدول ۱- مقایسه بین نتایج شبیه‌سازی چرخه تبرید جذبی افشانی و نتایج حاصل از آزمایش

نتایج	$T_g$	$T_e$	$T_a$	$T_c$	$Q_g$	$Q_c$	$m_1$	$m_2$	$X_{gm}$	$P_g$	$P_c$	COP
تجربی	210	7	30	24	2573	2650	0/000665	0/00107	64/3	1/98	<33	1/03
شبیه‌ساز	210	7	39	24	2449	2650	0/000676	0/001098	64/3	2/11	29/8	1/033
ی												
خطا %					4/81		1/65	2/61		6/5		0/30

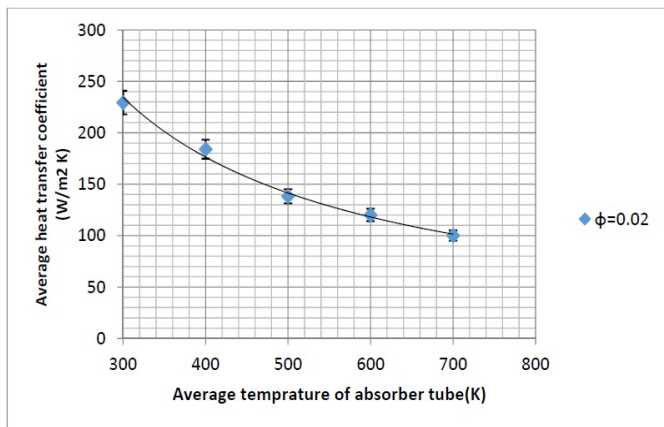


شکل ۳: تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی متوسط با افزایش غلظت نانوذرات

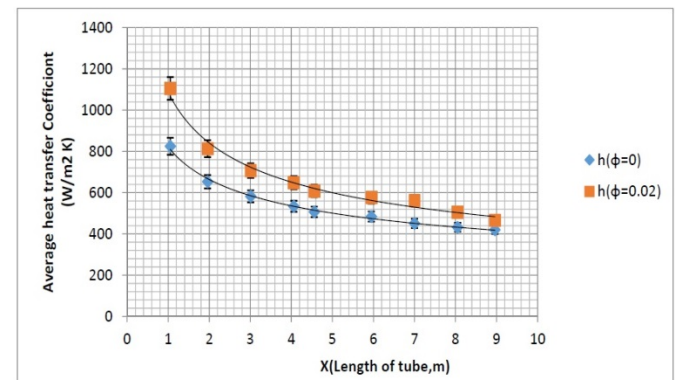
شکل ۴ نشان دهنده تأثیرات دما بر روی ضریب انتقال حرارت جابجایی متوسط می باشد، همانطور که در این شکل دیده می شود با افزایش دمای متوسط سیال درون لوله جاذب، ضریب انتقال حرارت جابجایی متوسط نانوسیال با غلظت ۰.۲ درصد وزنی نانوذرات  $(\phi = 0.02)$  کاهش می یابد.

جدول ۲- مقایسه بین نتایج شبیه‌سازی جمع‌کننده گرمای خورشیدی سهموی و نتایج تجربی

$T_{oil}$ (C)	Oil velocity (m/s)	$h$ (W/m²k) (تجربی)	$h$ (W/m²k) (مدل)	خطا (%)
250	0.665	1060	1051	0.0084
250	0.1094	220	207.5158	0.05
250	0.0851	180	163.2646	0.09
200	0.1631	220	193.7113	0.11
200	0.1269	180	150.7888	0.16
150	0.256	220	175.4133	0.2
150	0.1992	180	135.02	0.24
100	0.4277	220	151.4760	0.31
100	0.3328	180	111.879	0.3



شکل ۴: تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی نانوسیال بر حسب تغییرات دمای متوسط درون لوله جاذب

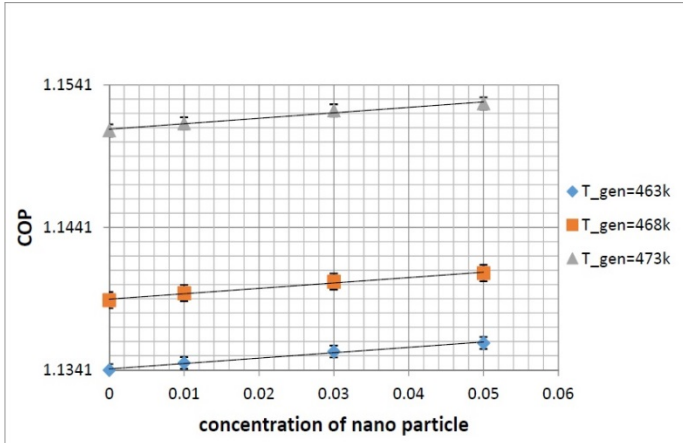


شکل ۲: تغییرات ضریب انتقال حرارت در طول لوله جاذب  $(\phi)$ : غلظت نانوذرات اکسید آلومینیوم

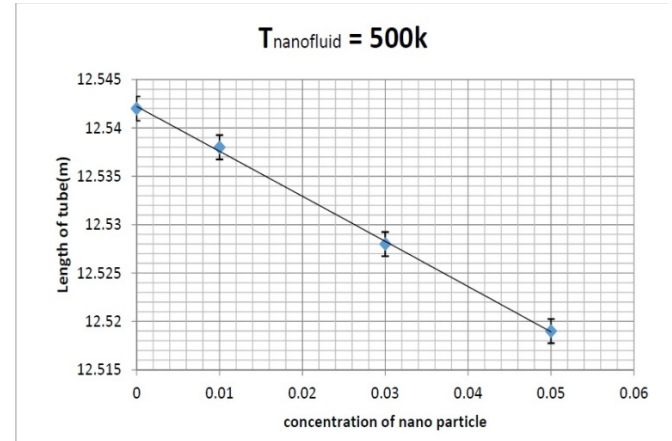
شکل ۵ تغییرات طول لوله مبدل حرارتی استفاده شده در ژنراتور بر حسب غلظت نانوذرات اکسید آلومینیوم را نشان می‌دهد، همانطور که در این شکل نشان داده شده است، با افزایش غلظت نانوذرات، طول لوله مبدل حرارتی کاهش می یابد و این نشان دهنده این است که با توجه به افزایش ضریب انتقال حرارت

شکل ۳ نشان دهنده تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی متوسط بر حسب تغییرات غلظت نانوذرات را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل دیده می‌شود با افزایش غلظت نانوذرات، ضریب انتقال حرارت جابجایی متوسط به صورت صعودی در حال افزایش می‌باشد. ضریب انتقال حرارت جابجایی

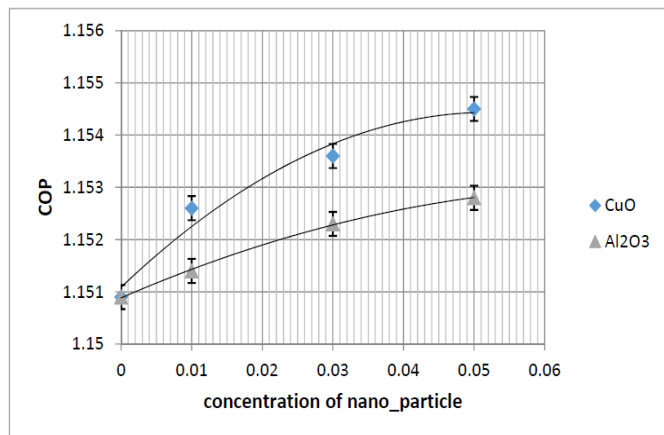
جابجایی، انتقال حرارت به لوله جاذب افزایش می یابد و در نتیجه طول لوله مبدل حرارتی برای انتقال حرارت به ژنراتور در چرخه تبرید جذبی کاهش می یابد.



شکل ۶: تغییرات ضریب عملکرد چرخه ترکیبی جذبی بر حسب غلظت نانوذرات اکسید آلومینیوم



شکل ۵: تغییرات طول لوله مبدل حرارتی استفاده شده در ژنراتور بر حسب غلظت نانوذرات اکسید آلومینیوم



شکل ۷: تغییرات ضریب عملکرد چرخه ترکیبی جذبی بر حسب غلظت نانوذرات مختلف

## ۴- نتیجه گیری

نتایج به دست آمده در پروژه حاضر نشان می دهد که، استفاده از نانوسیال در داخل لوله جاذب در جمع کننده گرمای خورشیدی سهموی باعث بالا رفتن ضریب انتقال حرارت جابجایی در لوله جاذب می شود. با افزایش غلظت نانوذرات در سیال عامل، ضریب انتقال حرارت نیز افزایش می یابد. با بالا بردن دمای کاری در لوله جاذب، ضریب انتقال حرارت جابجایی کاهش می یابد و این نشان دهنده این موضوع می باشد که در دماهای پایینتر استفاده از نانوسیال دارای عملکرد بهتری خواهد بود. در این مطالعه تأثیر افزودن نانوسیال در مبدل حرارتی در داخل ژنراتور چرخه تبرید جذبی مورد بررسی قرار گرفته شد و نشان داده شد که با اضافه کردن نانوذرات به سیال پایه، نه تنها در جمع کننده گرمای خورشیدی سهموی افزایش در دریافت انرژی خورشیدی را داریم،

در شکل ۶ تغییرات ضریب عملکرد چرخه ترکیبی جذبی بر حسب غلظت نانوذرات اکسید آلومینیوم در دماهای عملکرد مختلف ژنراتور نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود با افزایش غلظت نانو ذرات، ضریب عملکرد چرخه جذبی افزایش می یابد، چرا که با افزایش غلظت نانو ذرات ضریب انتقال حرارت جابجایی بالا می رود و در نتیجه دمای عملکرد ژنراتور بالا می رود و با افزایش دما ژنراتور و در نتیجه افزایش فشار آن، فشارسیال محرک در افشانک افزایش یافته و در اثر آن بخار مبرد بیشتری را از تبخیرکننده مکش می کند. به عبارت دیگر،  $\omega$  افزایش یافته و در نتیجه نرخ گردش در حلقه ژنراتور- جذب کننده کاهش می یابد که حاصل آن کاهش مقادیر  $Q_g$  و  $W_{pump}$  می باشد. از آنجا که مقدار  $Q_e$  ثابت است، COP افزایش می یابد.

شکل ۷ نشان دهنده تغییرات ضریب عملکرد چرخه ترکیبی جذبی بر حسب غلظت نانوذرات مختلف می باشد. همانطور که قبلاً نیز بیان شد با افزایش غلظت نانوذرات، ضریب عملکرد چرخه جذبی افزایش می یابد، و همانطور که در این تصویر دیده می شود در دمای ۵۰۰ کلوین نانوسیال حاوی نانوذرات اکسید مس (CuO) در مقایسه با نانوسیال حاوی نانوذرات اکسید روی ( $Al_2O_3$ ) دارای مقادیر بیشتر COP می باشد و در هر دو مورد با افزایش غلظت نانوذرات COP افزایش می یابد.

horizontal tubes, 1st report, experimental study on the effect of buoyancy" *Int. J. Heat Mass Transfer.*, 9, 453-463, 1966.

[11] M. Akbari, A. Behzadmehr, "Developing mixed convection of a nanofluid in a horizontal tube with uniform heat flux" *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 17, 566-586, 2007.

[12] H. A. Mohammed, Y. K. Salman, "Experimental investigation of mixed convection heat transfer for thermally developing flow in a horizontal circular cylinder" *Applied Thermal Engineering*, 27, 1522-1533, 2007.

[13] Y. L. He, J. Xiao, Z. D. Cheng and Y. B. Tao, "A MCRT and FVM coupled simulation method for energy conversion process in parabolic trough solar collector" *Renewable Energy*, 36, 976-985, 2011.

[14] T. Yousefi, F. Veysi, E. Shojaeizadeh and S. Zinadini, "An experimental investigation on the effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors" *Renewable Energy*, 39, 293-298, 2012.

[15] A. B. Kasaeian, T. Sokhansefat, M.J. Abbaspour, M. Sokhansefat, "Numerical study of heat transfer enhancement by using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/synthetic oil nanofluid in a parabolic trough collector tube" *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 69, 1154-1159, 2012.

[16] J. Guo, H. G. Shen, "Modeling solar-driven ejector refrigeration System offering air conditioning for office buildings" *Energy and Buildings*, 41, 175-181, 2009.

[17] J. M. Abdulateef, K. Sopian, M. A. Alghoul, M.Y. Sulaiman, "Review on solar-driven ejector refrigeration technologies" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1338-1349, 2009.

[18] S. Wu and I. W. Eames, "Innovations in vapour-absorption cycles," *Applied Energy*, 66, 251-266, 2000.

[19] S. Aphornratana, I. W. Eames, "Experimental investigation of a combined ejector-absorption refrigerator" *Int. J. Energy Res*, 22, 195-207, 1998.

[20] S. M. Akbarimoosavi, M. Yaghoubi, "3D Thermal-structural analysis of an absorber tube of a

بلکه در داخل مبدل حرارتی نیز میزان انرژی داده شده به ژنراتور نیز افزایش می یابد و باعث بهتر شدن عملکرد چرخه تبرید جذبی و در نتیجه بالا رفتن ضریب عملکرد سیستم می شود. استفاده از نانوسیال برای دریافت بیشتر انرژی خورشیدی و در مبدل حرارتی در داخل ژنراتور و هم چنین به کار بردن مبدل های حرارتی با راندمان بالاتر استفاده از سیستم های تبرید جذبی را در مناطق دارای تابش خورشیدی متوسط، مقرون به صرفه و در جهت افزایش کاربرد سیستم تبرید جذبی خورشیدی تأثیر بسزایی خواهد داشت.

## مراجع

[1] P. Lamp, F. Ziegler, "European research on solar-assisted airconditioning" *International Journal of Refrigeration*, 21, 89-99, 1998.

[2] K. F. Fong, T.T. Chow, C.K. Lee, Z. Lin, L.S. Chan, "Comparative study of different solar cooling systems for buildings in subtropical city" *Solar Energy*, 84, 227-244, 2010.

[3] C.O. Rivera, W. Rivera, "Modeling of an intermittent solar absorption refrigeration system operating with Ammonia-lithium nitrate mixture" *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 76, 417-427, 2003.

[4] A. Ameen, "Refrigeration and Air conditioning" *School of Mechanical Engineering, University Sains Malaysia, Malaysia*, 2006.

[5] H. Al-Madani, "The performance of a cylindrical solar water heater" *Renewable Energy*, 31, 1751-1763, 2006.

[6] D. K. Eric, "Engines of creation" London, 1990.

[7] J. C. Maxwell, "A treatise on electricity and magnetism" Oxford, UK, 1831.

[8] V. I. Terekhov, S. V. Kalinina, V. V. Lemanov, "The mechanism of heat transfer in nanofluids: state of the art (review). Part 2. Convective heat transfer" *Thermophysics and Aeromechanics*, 17, 1-15, 2010.

[9] N. Putra, W. Roetzel and S. K. Das, "Natural convection of nano-fluids" *Heat Mass Transfer*, 39, 775-784, 2003.

[10] M. Yasuo, F. Kozo, T. Shinobu, N. Masakun, "Forced convective heat transfer iuniformly heated



parabolic trough collector and the effect of tube deflection on optical efficiency” Energy Procedia, 49, 2433–2443, 2014.



# Design and Simulation of a Nanofluid-based Solar Absorption-ejection Refrigeration System

F. Pourfayaz\*, A. Azizi Ziarani, A. Kasaeian, F. Razi Astarai

Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, POB 14395-1561, Tehran

**Abstract:** In the present study, a novel refrigeration cycle which works on base the absorption refrigeration cycle and uses solar energy for supply energy in the generator, is investigated via computer simulation. For collecting the solar energy, a trough parabolic collector is used, and for enhancement the heat transfer to working fluid, the synthesis-baed nanofluid containing  $Al_2O_3$  nanoparticles is used. The investigation of the fluid flow inside absorber tube shows that the convection heat transfer coefficient is increased as a result of increasing the volume fraction of the nanoparticles in nanofluid. Also, using the nanofluid in the heat exchanger inside the generator increases the heat transfer to the solution inside the generator and COP of the absorption cycle. The benefits of this research are, the analytical investigation of the new combined absorption-ejection refrigeration cycle which can gives a good understanding of the effect of different parameters on the system performance and investigation of the using nanofluid in the absorber tube of trough parabolic collector in the solar systems.

**Keywords:** Refrigeration absorption cycle, Nanofluid, Solar collector, Nanoparticles