

بررسی عددی اثر نانوسیال آلومینیوم-آب بر عملکرد کلکتور خورشیدی سهموی

سید ابراهیم قاسمی*، علی اکبر رنجبر و عباس رامیار

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۲/۰۲/۲۳، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۲/۰۴/۱۷، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۲/۰۵/۲۹

چکیده

در این مقاله تاثیر نانوسیال آلومینیوم-آب به عنوان سیال عامل بر روی راندمان کلکتور خورشیدی سهموی به صورت عددی بررسی شده است. میدان دما، راندمان حرارتی و دمای متوسط خروجی ارزیابی شده و برای کلکتورهای سهموی معمولی و کلکتور همراه با نانوسیال مقایسه شده‌اند. بعلاوه، اثر پارامترهای مختلف از قبیل نسبت تمرکز، کسر حجمی نانوذرات، طول جاذب و سرعت سیال بررسی شدند. نتایج نشان می‌دهد نانوسیال به عنوان سیال عامل نسبت به آب راندمان کلکتور را افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: نانوسیال آلومینیوم-آب، کلکتور خورشیدی سهموی، راندمان حرارتی، بررسی عددی.

۱- مقدمه

در آن حدود ۴۰۰۰ برابر انرژی مصرفی آن می‌باشد که می‌توان کلیه نیازهای کشور را با استفاده از انرژی آفتاب تامین نمود [۴]. در سال‌های اخیر توجه قابل ملاحظه‌ای به سیستم‌های حرارتی متمرکز کننده خورشیدی که جایگزینی برای سیستم‌های قدرت گرمایی معمولی هستند شده است. در سیستم‌های حرارتی متمرکز کننده خورشیدی، تشعشع خورشیدی برخورد کرده در نقطه کانونی به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود [۵]. این سیستم‌ها به دو نوع دسته‌بندی می‌شوند: متمرکز کننده‌های کانون نقطه‌ای (سیستم‌های بشقاب سهموی و گیرنده مرکزی) و متمرکز کننده‌های کانون خطی (کلکتورهای سهموی و کلکتورهای خطی فرزنل). مهمترین بخش هر سیستم خورشیدی، کلکتور است که کار اصلی آن جذب تابش خورشید و تبدیل آن به گرما و انتقال آن به سیال عامل جاری داخل کانال‌ها یا لوله‌ها می‌باشد. کلکتور سهموی

دارا بودن انرژی مناسب لازمه دستیابی به یک اقتصاد قوی و پویا است و استفاده از منابع گوناگون می‌تواند دسترسی به منابع مختلف را تسهیل کند. با توجه به مشکلاتی نظیر آلودگی هوا و محدودیت منابع تجدیدناپذیر (سوخت‌های فسیلی) که امروزه با آنها روبرو هستیم لزوم توجه به منابع پاک و در دسترس انرژی بیش از پیش مشخص می‌شود، با این شرایط انرژی خورشیدی یکی از مطمئن‌ترین گزینه‌ها برای تولید انرژی الکتریکی و گرمایی شناخته می‌شود [۱]. اگر انرژی خورشیدی رسیده به زمین به درستی کنترل شود جهان بیشتر از این به سوخت فسیلی احتیاج نخواهد داشت [۲،۳]. کشور ایران به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی و امکان استفاده از این انرژی جهت تامین نیازهای خود بسیار غنی است و دریافتی انرژی خورشیدی

* عهده‌دار مکاتبات: سید ابراهیم قاسمی

نشانی: بابل، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مکانیک

تلفن: ۰۱۱۱-۳۲۳۴۲۰۵، دورنگار: ۰۱۱۱-۳۲۳۴۲۰۵، پست الکترونیکی: s.ebrahim.ghasemi@gmail.com

راندمان‌های بالاتر می‌پردازیم. تمرکز این مقاله روی کلکتورهای سهموی است که معمولاً برای تولید برق و نیز فرآیند گرمایش به کار می‌رود. کلکتورهای سهموی معمولی انرژی خورشید را با استفاده از آینه‌های خمیده سهموی بزرگ که اشعه خورشید را به سوی سیالی که داخل مجموعه‌ای از لوله‌ها در جریان است هدایت می‌کند تحت کنترل در می‌آورد.

به منظور بهبود راندمان این سیستم ذرات نانو می‌توانند به سیال جاری داخل لوله جاذب اضافه شوند و در نتیجه انتقال حرارت مستقیم امکان‌پذیر می‌باشد. تفاوت اصلی بین کلکتور معمولی و کلکتور همراه با نانوسیال در روش گرمایش سیال عامل است. در مورد اولی اشعه خورشید توسط یک سطح جذب می‌شود و سپس از طریق روش‌های جابجایی و هدایت به سیال عامل انتقال می‌یابد، در حالیکه در مورد دومی اشعه خورشید مستقیماً توسط سیال عامل جذب می‌شود (از طریق انتقال حرارت تشعشعی). علاوه بر این وجود این ذرات نانو مشخصه‌های جذب را بالا می‌برد و از این‌رو انتظار می‌رود دمای سیال در خروجی کلکتورهای سهموی بیشتر شود. این تحقیق جریان نانوسیال داخل کلکتور را به صورت عددی مدلسازی می‌کند و می‌زانی را که در آن اشعه خورشید توسط نانوسیال جذب می‌شود ارزیابی می‌کند و در نهایت آن نتایج را با کلکتور معمولی مقایسه می‌کند.

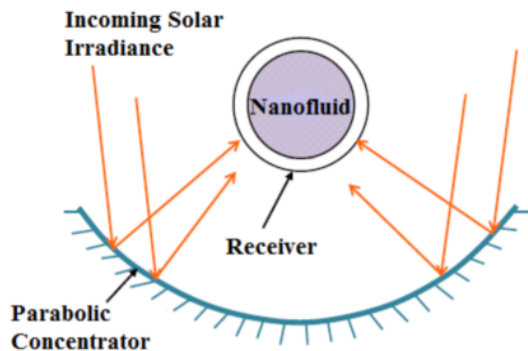
۲- فعالیت‌های تجربی

از مطالعات تجربی که اخیراً در این زمینه انجام شده است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: یوسفی و همکاران [۱۲] به صورت تجربی در دانشگاه رازی کرمانشاه با بکار بردن سیال عامل آب-آلومینیوم اکسید به جای آب خالص در کلکتور صفحه تخت خورشیدی دریافتند که راندمان کلکتور ۲۸/۳٪ افزایش می‌یابد. اوتانیکار و همکاران [۱۳] اثر نانوسیال‌های مختلف را روی راندمان میکرو کلکتور حرارتی خورشیدی به صورت تجربی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد با بکار بردن نانوسیال به عنوان محیط جذب، راندمان میکروکلکتور تا بیش از ۵٪ بهبود می‌یابد.

تابش مستقیم عمودی یا اشعه مستقیم را روی خط کانونی بر روی محور کلکتور متمرکز می‌کند. یک لوله جاذب همراه آب یا روغن ترکیبی دما ثابت که داخل آن جریان دارد انرژی خورشیدی متمرکز شده را جذب می‌کند و دمای آن را در خط کانونی بالا می‌برد. تحولات امید بخشی در زمینه کلکتورهای خورشیدی سهموی و کاربردهای آن انجام شده است. بررسی جامع استفاده از کلکتورهای سهموی برای کاربردهای مختلف انرژی گرمایی بالای 400°C توسط فرناندز گارسیا و همکاران [۶] ارائه شد. برای دستیابی به حداکثر بازده ممکن کلکتور توجه ویژه‌ای به ضریب برخورد و روش ردیابی انجام شد [۷].

بررسی گسترده انواع گوناگون کلکتورهای خورشیدی حرارتی و کاربردهای آن توسط کالوگریو [۸] انجام شد. حمیدرضا ملک محمدی [۹] در سال ۱۳۷۹ در دانشگاه تهران به بهینه‌سازی کلکتورهای خورشیدی سهموی پرداخت و مدل ریاضی جامعی از شرایط عملکرد حرارتی و اپتیکی کلکتور را بکار برد. این تحقیقات بهبود ویژه‌ای را در کاهش تلفات تشعشعی و جابجایی نشان داد. ایده استفاده از ذخیره گرمایی برای نیروگاه قدرت کلکتور سهموی به منظور تامین پیوسته قدرت حتی در ساعت‌های نبود تابش آفتاب بطور گسترده مورد قبول واقع شد. راه‌های مختلفی برای ارتقای عملکرد کلکتورهای خورشیدی وجود دارد که یکی از آنها استفاده از نانوسیال به عنوان سیال عامل درون لوله جاذب است و در این زمینه مطالعات اخیر نشان داده است که اضافه کردن ذرات نانو به سیال‌های عامل معمولی می‌تواند راندمان کلکتور خورشیدی صفحه تخت را بهبود بخشد [۱۰]. نسرين و الیم [۱۱] با روش المان محدود به مطالعه جریان جابجایی طبیعی درون یک کلکتور خورشیدی موجی شکل با بکار بردن دو نانوسیال مختلف (نانوسیال نقره-آب و نانوسیال مس اکسید-آب) به عنوان سیال عامل پرداختند. آنها نتیجه گرفتند که نانوسیال نقره-آب تاثیر بهتری بر افزایش نرخ انتقال حرارت در کلکتور دارد. در این مقاله به بررسی تاثیر نانوسیال (آب همراه با ذرات آلومینیوم) بر عملکرد کلکتور خورشیدی سهموی متمرکز کننده به منظور بهینه کردن عملکرد آن و دستیابی به

آب و نانوذرات به صورت جداگانه انجام می‌شود و مجموع دریافت با استفاده از قانون جمع آثار محاسبه می‌شود. از آنجا که اثر پراکندگی مولکول‌های آب نسبتاً ناچیز است بنابراین دریافت تشعشع در آب اصولاً ناشی از جذب است، ولی دریافت تشعشع ناشی از برهمکنش نانوذرات بدلیل هر دو اثر پراکندگی و جذب است. متمرکز کننده تشعشعات (مستقیم) ورودی از خورشید را روی جاذب همگرا می‌کند و برای تعیین اندازه همگرایی پارامتری به نام نسبت تمرکز (نسبت شار انرژی متوسط روی گیرنده به شار انرژی متوسط روی دهانه) تعریف می‌شود [۱۸]. نمای شماتیکی از کلکتور خطی سهموی همراه با نانوسیال در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: کلکتور سهموی متمرکز کننده همراه با نانوسیال.

تشفعات خورشیدی روی متمرکز کننده فرود می‌آیند که مقیاس شار حرارتی را به مقدار مورد نیاز افزایش می‌دهد و آن را به سمت جاذب هدایت می‌کند. تشعشعات با رسیدن به جاذب، انرژی را از طریق پراکندگی و جذب به نانوسیال (نانوذرات آلومینیوم+آب) منتقل می‌کنند. برای سهولت تعیین شدت تشعشع، دریافت تنها در جهت شعاعی فرض می‌شود. از فرم اصلاح شده معادله بییر (معادله ۲) برای محاسبه دریافت تشعشع در شعاع‌های مختلف استفاده می‌شود:

$$\frac{d(I_{\lambda} \cdot r)}{dr} = -(K_{a\lambda} + K_{s\lambda}) \cdot I_{\lambda} \cdot r = -K_{e\lambda} \cdot I_{\lambda} \cdot r \quad (2)$$

که در اینجا $K_{a\lambda}$ ضریب جذب طیفی، $K_{s\lambda}$ ضریب پراکندگی طیفی و $K_{e\lambda}$ ضریب دریافت پراکندگی است.

در تحقیقی دیگر یوسفی و همکاران [۱۴] به صورت آزمایشگاهی تاثیر استفاده از آب همراه با نانولوله‌های کربنی را روی راندمان کلکتور خورشیدی صفحه تخت بررسی کردند و نشان دادند مقادیر pH نانوسیال در عملکرد کلکتور موثر است. آنها نتیجه گرفتند که افزایش اختلاف بین مقدار pH نانوسیال و نقطه هم توان (فشار الکتریکی برابر) باعث افزایش راندمان کلکتور می‌شود.

۲-۱- مدل‌سازی ریاضی

به منظور تحلیل تئوری کلکتور سهموی، منبع تشعشع، جاذب، نانوسیال و متمرکز کننده به صورت عددی مدل‌سازی شده‌اند. منبع تشعشع یعنی خورشید به عنوان جسم سیاه کامل با دمای سطح 5800 K در نظر گرفته می‌شود. توزیع طیفی تشعشع توسط یک جسم سیاه تابعی از طول موج و دما است که توسط توزیع پلانک [۱۵] در معادله (۱) تعریف می‌شود:

$$I_{b\lambda}(\lambda, T_{\text{sun}}) = \frac{2hc_0^2}{\lambda^5 [\exp(\frac{hc_0}{\lambda k_B T_{\text{sun}}}) - 1]} \quad (1)$$

که در اینجا T_{sun} دمای سطح خورشید، h ثابت پلانک، k_B ثابت بولتزمن، C_0 سرعت نور در خلا و λ طول موج است. بنابراین به این طریق شدت طیفی تشعشعات خورشیدی وارد شده محاسبه می‌شوند. همچنین نظر به اینکه بخش بسیار مهمی از انتشار انرژی توسط خورشید در محدوده طول موج $0.2 - 6 \mu\text{m}$ رخ می‌دهد [۱۶]، بنابراین این تحلیل فقط به این دامنه محدود شده است. جاذب به صورت هندسی به عنوان یک کانال دایروی بلند که به حالت افقی در امتداد محور کانونی متمرکز کننده خطی سهموی قرار داده شده مدل می‌شود. برای ساده‌سازی مدل فرض می‌شود که جاذب از شیشه ساخته شده که دارای ضریب عبور ۱ می‌باشد. نانوسیال به عنوان یک محیط مشترک نیمه شفاف (که با سرعت ثابت در حرکت است) مدل می‌شود که در آن فرود تشعشع و پس از آن انتقال انرژی از طریق روش‌های جذب و پراکندگی رایلی [۱۷] رخ می‌دهد (همچنین فرض می‌شود دریافت فقط در امتداد جهت شعاعی رخ می‌دهد). دریافت تشعشع توسط

تولید انرژی \dot{E}_{gen} مربوط به معادله کلی تعادل انرژی هدایت می‌کند:

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_{gen} = \dot{E}_{st} \quad (7)$$

\dot{E}_{in} ، \dot{E}_{out} ، \dot{E}_{gen} و \dot{E}_{st} به ترتیب انتقال انرژی به سیستم، انتقال انرژی از سیستم، تولید انرژی و ذخیره انرژی را نشان می‌دهند. این معادله کلی تعادل انرژی برای حالت پایای دو بعدی به منظور یافتن میدان دما به کار می‌رود. وقتی که میدان دما داخل نانوسیال بدست آمد دماهای متوسط خروجی، راندمان‌های اپتیکی و حرارتی و غیره ارزیابی می‌شوند.

۲-۲- حل عددی

روش تفاضل محدود برای حل این مجموعه معادلات به کار برده شده است، بطوریکه کل حجم کنترل به حجم کنترل‌های اولیه با نقاط گره‌ای در مرکز آنها تجزیه می‌شود [۲۱]. جاذب به شعاع ۳۵ mm و طول ۲ m در جهت شعاعی و در امتداد طول تجزیه می‌شود. تعداد گره‌ها در راستای شعاعی (محور r) و در راستای جریان (محور x) به ترتیب برابر ۷۰ و ۲۰۰۰ است. بنابراین اندازه گره‌ها در جهت‌های مربوطه به ترتیب برابر ۰/۵ mm و ۱ mm می‌باشد. اندازه گره‌ها طوری انتخاب می‌شوند که تکرارها پاسخ‌های همگرا و پایداری بدهند. دمای سیال ورودی به کلکتور و دمای محیط ۲۵ °C در نظر گرفته می‌شود. ضریب انتقال حرارت جابجایی هوای محیط برابر ۶/۴۳ W/m²K است. شار تشعشع خورشیدی وارده برابر با ۱۰۰۰ W/m²K است [۱۰]. قطر نانوذره (D) ۸ nm و کسر حجمی ذره (φ) ۰/۰۳ درصد وزنی در نظر گرفته می‌شود. برای بدست آوردن خواص ترموفیزیکی موثر (C_p، φ) نانوسیال از قانون مخلوط استفاده می‌شود [۲۲]. این قانون بطور کلی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$P_{nanofluid} = \phi P_{particle} + (1-\phi)P_{basefluid} \quad (8)$$

P ترموفیزیکی و φ کسر حجمی نانوذرات است.

شدت دریافت تشعشع در نانوسیال ناشی از اثر سیال پایه (آب) و نانوذرات (آلومینیوم) می‌باشد. هنگامی که تشعشعات از میان آب عبور می‌کند دریافت از طریق جذب رخ می‌دهد و در نانوذرات دریافت از دو طریق پراکندگی و جذب تشعشعات ورودی انجام می‌شود. در این مدل متوسط قطر نانوذرات در حدود ۸ nm است، بنابراین از تقریب پراکندگی رایلی (وقتی که اندازه ذره خیلی کوچکتر از طول موج تشعشع فرودی باشد) استفاده می‌شود. رابطه کلی ضریب دریافت با معادله ۳ تعریف می‌شود [۱۹]:

$$K_{e\lambda(nanoparticles)} = \frac{3\phi Q_{e\lambda(\alpha,m)}}{2D} \quad (3)$$

که در اینجا φ کسر حجمی نانوذرات، Q_{eλ} راندمان دریافت، D قطر ذرات است. α پارامتر اندازه و m ضریب شکست نسبی ذرات به صورت زیر بدست می‌آیند [۱۳، ۱۵]:

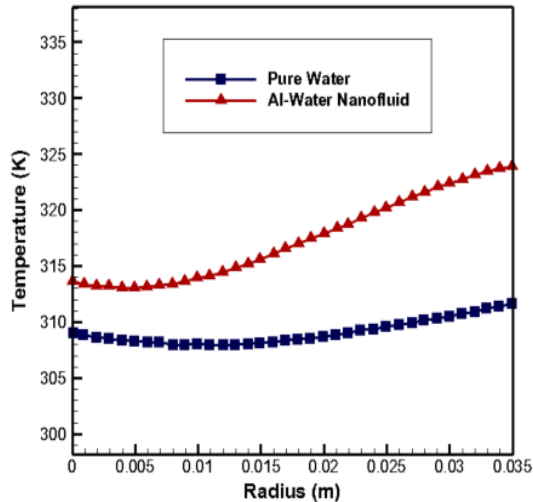
$$\alpha = \frac{\pi D}{\lambda} \quad (4)$$

$$m = \frac{n_{particles}}{n_{fluid}} \quad (5)$$

راندمان دریافت در رژیم رایلی از روابط زیر محاسبه می‌شود [۱۹، ۲۰]:

$$Q_{e\lambda} = 4\alpha Im \left\{ \frac{m^2-1}{m^2+2} \left[1 + \frac{\alpha^2}{15} \left(\frac{m^2-1}{m^2+2} \right) \frac{m^4+27m^2+38}{2m^2+3} \right] \right\} + \frac{8}{3} \alpha^4 \left| \frac{m^2-1}{m^2+2} \right|^2 \quad (6)$$

ضریب دریافت کل برای نانوسیال از طریق جمع آثار ضریب دریافت سیال پایه و نانوذرات نتیجه می‌شود. با جایگذاری این مقدار در معادله بییر، رابطه دریافت تشعشع برای نانوسیال در سیستم جریان شعاعی بدست می‌آید. اندازه شدت تشعشع در موقعیت‌های شعاعی مختلف محاسبه شده و سپس نرخ انتقال حرارت داخل نانوسیال حساب می‌شود. کل تحلیل تا اینجا ما را به سمت جمله

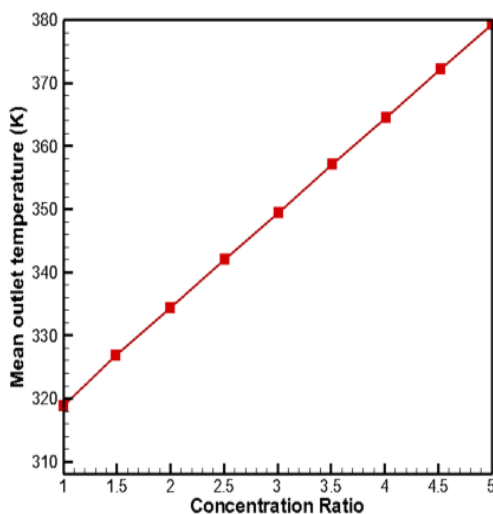


شکل ۲: میدان دمای دو بعدی برای کلکتورهای همراه با آب خالص و نانوسیال آلومینیوم-آب ($\phi=0.03, L=2\text{ m}$).

جدول ۲: مقایسه دو کلکتور.

سیال عامل	متوسط دمای خروجی (K)	راندمان حرارتی (%)	راندمان اپتیکی (%)
آب خالص	۳۱۱/۵	۲۸/۷	۳۲/۱
نانوسیال آلومینیوم-آب ($\phi=0.03$)	۳۲۳/۷۲	۹۴/۱	۹۸/۶

مشاهده می‌شود که راندمان‌های اپتیکی و حرارتی مستقل از نسبت تمرکز هستند ولی دمای متوسط خروجی به صورت خطی با نسبت تمرکز همانند شکل ۳ تغییر می‌کند.



شکل ۳: دمای متوسط خروجی بر حسب نسبت تمرکز کلکتور.

مقادیر این خواص محاسبه شده و در جدول ۱ آورده شده است. خواص آب و Al از مرجع [۲۳] گرفته شده‌اند.

جدول ۱: خواص ترموفیزیکی.

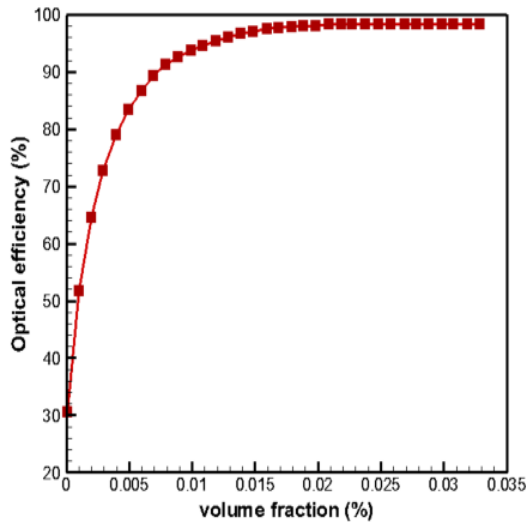
نوع ماده	چگالی (kg/m^3)	گرمای ویژه (J/kg.K)
آب خالص	۹۹۷/۱	۴۱۷۹
آلومینیوم	۲۷۰۰	۹۰۰
نانوسیال آلومینیوم-آب ($\phi=0.03$)	۹۹۷/۶۱	۴۱۷۸/۰۲

بعد از تکمیل روابط تئوری مربوط به مدل با استفاده از کد توسعه یافته در زبان برنامه‌نویسی FORTRAN نتایج بدست می‌آیند. شاخص‌های گوناگون کارایی سیستم مانند راندمان‌های حرارتی و اپتیکی، دماهای متوسط خروجی و غیره ارزیابی می‌شوند. این شاخص‌های کارایی به عنوان معیارهایی برای مقایسه دو سیستم متفاوت که تحت مجموعه‌ای از شرایط داده شده کار می‌کنند بکار می‌روند.

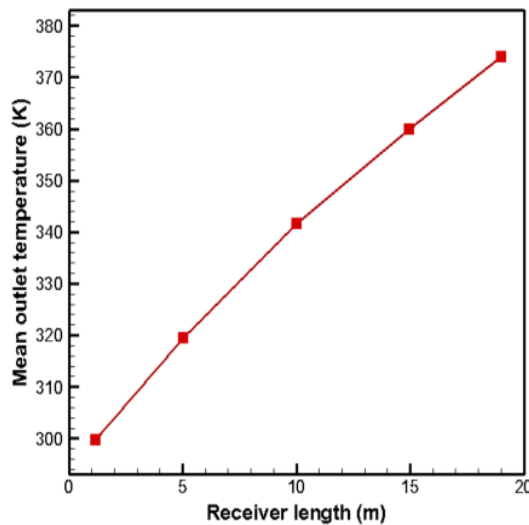
۳- نتایج و بحث

میدان دمای دو بعدی برای کلکتور همراه با نانوسیال و کلکتور معمولی در شکل ۲ نشان داده شده و دو کلکتور در جدول ۲ مقایسه شده‌اند. جدول ۲ نشان می‌دهد که کلکتور همراه با نانوسیال راندمان بالاتری نسبت به کلکتور معمولی تحت شرایط کاری مشابه دارد. این موضوع نشان می‌دهد که عملکرد کلکتور معمولی با اضافه کردن مقادیری از نانوذرات به سیال عامل بطور قابل ملاحظه‌ای می‌تواند بهبود یابد. حال به صورت ریاضی تایید شده است که برای مجموعه‌ای از شرایط، کلکتور همراه با نانوسیال از کلکتور سهموی معمولی بهتر عمل می‌کند. در ادامه توجه به سوی بهینه‌سازی مدل ارائه شده تمرکز دارد که با تغییر دادن پارامترهای کاری و تحلیل اثرات آن بر شاخص‌های عملکرد بدست می‌آید. در این خصوص پارامترهای کاری مانند نسبت تمرکز، کسر حجمی، طول جاذب و سرعت جریان تغییر داده می‌شوند و اثر مربوط به آنها بر شاخص‌های عملکرد ارزیابی می‌شود. ابتدا اثر تغییر نسبت تمرکز (در حالیکه تمام پارامترهای دیگر ثابت هستند) تحلیل می‌شود.

سپس اثر طول جاذب (تمام پارامترهای دیگر ثابت) بر شاخص‌های عملکرد بررسی می‌شود. تاثیر افزایش طول جاذب بر دمای متوسط خروجی در شکل ۷ نشان داده شده است.



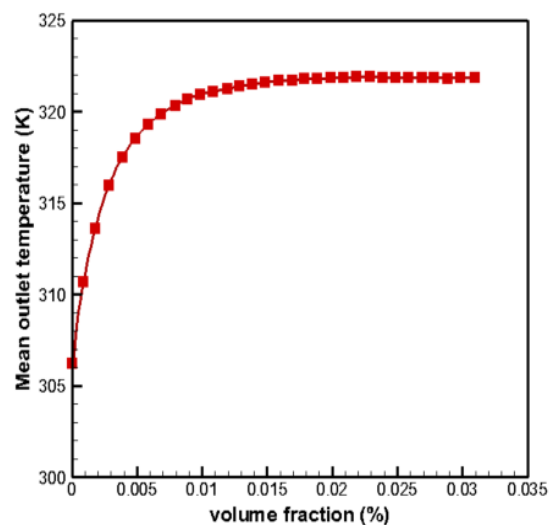
شکل ۶: راندمان اپتیکی بر حسب کسر حجمی نانوذرات.



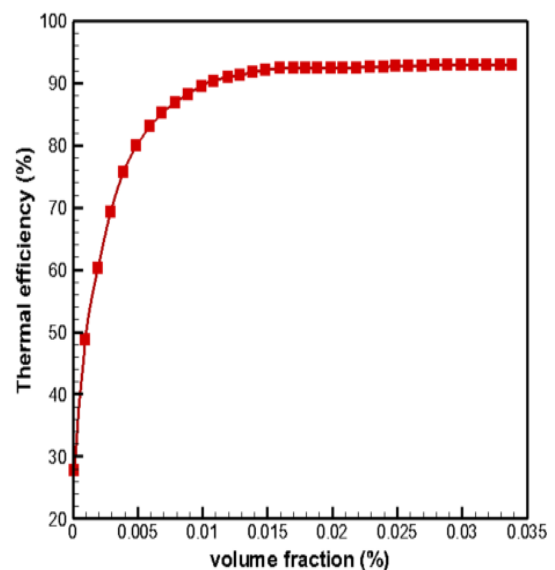
شکل ۷: دمای متوسط خروجی بر حسب طول جاذب.

از شکل ۷ مشخص است که با افزایش طول جاذب، دمای متوسط خروجی افزایش می‌یابد. این رفتار به این دلیل است که با ثابت بودن سرعت جریان و افزایش طول جاذب، مدت زمانی که مقدار خاصی از سیال عامل طول جاذب را طی می‌کند زیاد می‌شود. بنابراین سیال زمان بیشتری دارد تا گرم شود. برعکس راندمان حرارتی با

سپس تغییر کسر حجمی ذرات نانو (تمام پارامترهای دیگر ثابت) بررسی می‌شود. تغییر کسر حجمی اثر قابل توجهی روی هر سه شاخص عملکرد دارد. از شکل ۴ مشخص است که دمای متوسط خروجی به سرعت با افزایش کسر حجمی زیاد می‌شود تا به مقدار معینی برسد و سپس تقریباً ثابت می‌شود. این نتیجه نشان می‌دهد که یک مقدار نهایی کسر حجمی وجود دارد که بعد از آن پیشرفت خاصی در دمای متوسط خروجی رخ نمی‌دهد. نوع مشابهی از این روند در مورد راندمان‌های حرارتی و اپتیکی نیز مشاهده می‌شود (شکل‌های ۵ و ۶).

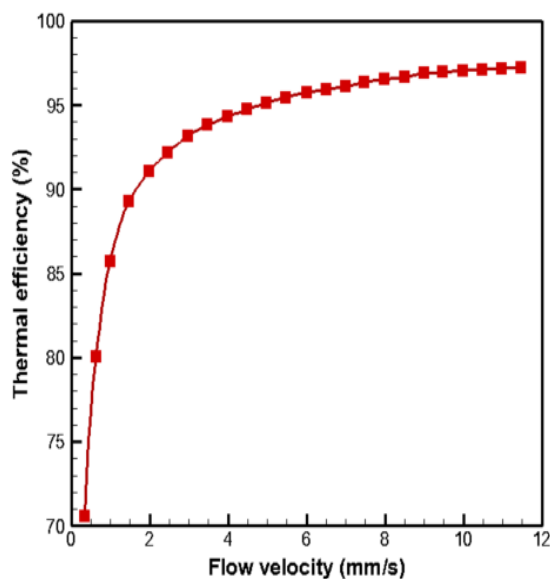


شکل ۴: دمای متوسط خروجی بر حسب کسر حجمی نانوذرات.



شکل ۵: راندمان حرارتی بر حسب کسر حجمی نانوذرات.

بطوریکه با افزایش سرعت جریان (تمام پارامترهای دیگر ثابت) زمان طی شده توسط سیال عامل در جاذب کاهش می‌یابد یعنی بطور نسبی زمان کمتری برای بالا رفتن دما از طریق جذب تشعشع صرف می‌شود. در نتیجه همانطور که در شکل ۹ نشان داده می‌شود با افزایش سرعت جریان، دمای متوسط خروجی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش سرعت جریان (کاهش زمان فعل و انفعال تشعشع و سیال) اتلاف حرارتی جابجایی کاهش و در نتیجه راندمان حرارتی سیستم افزایش می‌یابد که این موضوع در شکل ۱۰ قابل مشاهده است.

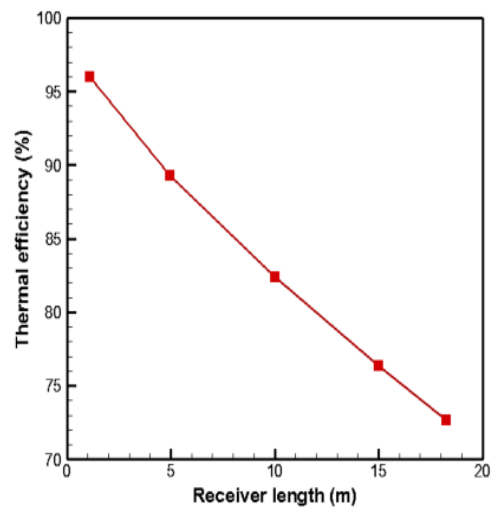


شکل ۱۰: راندمان حرارتی بر حسب سرعت جریان.

۴- نتیجه‌گیری

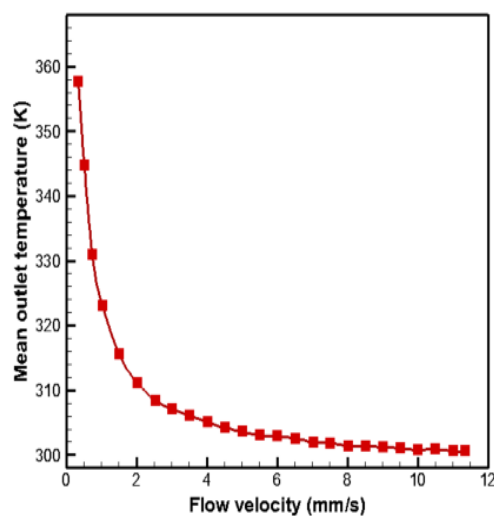
در این تحقیق به صورت عددی به بررسی اثر نانوسیال آلومینیوم-آب به عنوان سیال عامل بر عملکرد کلکتور خورشیدی سهموی پرداخته شد. با توجه به نتایج، اضافه کردن مقدار ناچیزی از نانوذرات آلومینیوم در سیال پایه (آب) بطور قابل توجهی مشخصه‌های جذب آن را بهبود می‌بخشد که باعث بهبود راندمان‌های حرارتی و اپتیکی شده و دماهای خروجی نیز افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که: (۱) با افزایش نسبت تمرکز کلکتور، دمای متوسط خروجی افزایش می‌یابد.

افزایش طول جاذب کاهش می‌یابد. این موضوع به دلیل آن است که چون طول جاذب و در نتیجه زمان سپری شده توسط سیال عامل در جاذب افزایش می‌یابد، اتلاف حرارتی از طریق جابجایی نیز بیشتر می‌شود. هر چند دمای متوسط خروجی نیز افزایش می‌یابد ولی اتلاف حرارتی از طریق جابجایی غالب است، از این رو با افزایش طول جاذب، راندمان حرارتی به صورت سراسری کاهش می‌یابد (شکل ۸).



شکل ۸: راندمان حرارتی بر حسب طول جاذب.

و در انتها اثر سرعت جریان بر شاخص‌های حرارتی تحلیل می‌شود.



شکل ۹: دمای متوسط خروجی متغیر بر حسب سرعت جریان.

Energy, **47**, 1994, 341.

[8] S.A. Kalogirou, *Energy*, **27**, 2002, 813.

[۹] حمیدرضا ملک‌محمدی، "بهینه‌سازی متمرکز کننده‌های خورشیدی از نوع سهموی خطی بر اساس تحلیل اگزرژی"، هشتمین کنفرانس سالانه انجمن مهندسان مکانیک ایران، تهران، ایران، اردیبهشت ۱۳۷۹.

[10] H. Tyagi, P. Phelan, R. Prasher, *ASME Journal of Solar Energy Engineering*, **131**, 2009, 125.

[11] R. Nasrin, M.A. Alim, *International Journal of Engineering, Science and Technology*, **5**, 2013, 58.

[12] T. Yousefi, F. Veysi, E. Shojaeizadeh, S. Zinadini, *Renew. Energy*, **39**, 2012, 293.

[13] T.P. Otanicar, P.E. Phelan, R.S. Prasher, G. Rosengarten, R.A. Taylor, *J. Renew. Sust. Energ.*, **2**, 2010, 1.

[14] T. Yousefi, F. Veysi, E. Shojaeizadeh, S. Zinadini, *Solar Energy*, **86**, 2012, 771.

[15] M.F. Modest, "*Radiative Heat Transfer*", Academic, Press, 2003.

[16] J.F. Tester, E.M. Drake, M.J. Driscoll, M.W. Golay, M.W. Peters, *Renewable Energy Power for a Sustainable Future*, MIT Press, 2005.

[17] C.F. Bohren, D.R. Huffman, "*Absorption and Scattering of Light by Small Particles*", Wiley and Sons, New York, 1983.

[18] J.A. Duffie, W.A. Beckman, "*Solar Engineering of Thermal Processes*", Wiley and Sons, New York, 2006.

[19] C.F. Bohren, D.R. Huffman, "*Absorption and scattering of light by small particles*", New York, Wiley, 1998.

[20] A. Lenert, M.Sc. thesis, Massachusetts Institute of Technology, United States, 2010.

[21] F.P. Incropera, D.P. DeWitt, "*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*", Wiley and sons, New York, 2007.

[22] S.K. Das, S.U. Choi, W. Yu, T. Pradeep, "*Nanofluids: Science and Technology*", Wiley and Sons, New York, 2008.

[23] K.C. Lin, A. Violi, *Int. J. Heat Fluid Flow*, **31**, 2012, 236.

(۲) با افزایش کسر حجمی نانوذرات آلومینیوم، دمای متوسط خروجی و راندمان‌های حرارتی و اپتیکی کلکتور ابتدا افزایش یافته و سپس تقریباً ثابت می‌شوند.

(۳) با افزایش طول جاذب، دمای متوسط خروجی افزایش یافته اما راندمان حرارتی کاهش می‌یابد.

(۴) با افزایش سرعت جریان، دمای متوسط خروجی کاهش یافته اما راندمان حرارتی افزایش می‌یابد.

مراجع

[۱] محمود یعقوبی، ابوالحسن مختاری، "امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی در ایران از نظر شدت تابش خورشید"، اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت و برنامه‌ریزی انرژی، تهران، ایران، خرداد ۱۳۸۵.

[2] E.L. Efurumibe, A.D. Asiegbu, M.U. Onuu, *J. Applied Sci.*, **7**, 2012, 3187.

[3] A.B. Chattopadhyay, A. Choudhury, A. Nargund, *Trends Applied Sci. Res.*, **6**, 2011, 563.

[۴] مهدی بهادری‌نژاد، "جایگاه انرژی خورشیدی در ایران"، مجله مهندسی مکانیک، شماره ۱، ۱۳۷۱، ۲۰-۸.

[5] T.T. Khatib, A. Mohamed, R.J. Khan, N. Amin, *J. Applied Sci.*, **9**, 2009, 4050.

[6] A. Fernandez-Garcia, E. Zarza, L. Valenzuela, M. Perez, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, **14**, 2010, 1695.

[7] S.A. Kalogirou, S. Loyd, J. Ward, P. Eleftheriou, *Applied*