

مدل سازی و شبیه سازی آبرگرمکن های خورشیدی با استفاده نانو سیالات

محمد رضا جعفری نصر^{۱*} و سیده فاطمه حسینی^۲

۱- استاد مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۲- کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

دریافت: خرداد ۱۳۹۵، بازنگری: آذر ۱۳۹۵، پذیرش: بهمن ۱۳۹۵

چکیده: تلاش پژوهشگران امروز به توسعه روش های بهبود انتقال گرما در دستگاه های تبادل گرمایی (مبدل ها) و بازیافت گرمایی است. از آن میان روش هایی برای افزایش سطوح انتقال گرما در کمترین حجم، افزایشده های آشفتگی در جریان سیال (آشفته سازها)، تغییر هندسی بافلها و استفاده از نانو سیالات بیشترین توجه مهندسی را به خود معطوف داشته است. در این مطالعه برای نخستین بار کاربرد نانو سیالات در یکی از سامانه های تبادل گرمایی خورشیدی مورد مطالعه قرار گرفته است. یکی از کاربردهای انرژی خورشیدی استفاده از آن در سامانه های گرمایشی مانند آبرگرمکن های خورشیدی است. در مطالعه پیش رو، سامانه آبرگرمکن خورشیدی با استفاده از نانو سیالات بررسی شده است. به منظور مدل سازی از بسته نرم افزاری گمبیت نسخه ۲،۴۶ و از حلگر فلونتت نسخه ۱۷،۲ به منظور محاسبات دینامیکی بهره گرفته شد. پخش کننده خورشیدی به صورت یک حلقه بسته غیرگردشی مدل سازی شده و جریان آرام و انتقال گرمای آن از نوع جابه جایی طبیعی است. مجموعه ای از سامانه آبرگرمکن خورشیدی با نرم افزار ترنسیس نسخه ۱۷ شبیه سازی و در دو شرایط آب و هوایی متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهند که مقدار افزایش دما در شرایط آب و هوایی سرد، نسبت به آب و هوای گرم بیشتر بوده است و افزایش دبی آب ورودی و سطح جمع آوری کننده، موجب افزایش دمای آب مصرف کننده شده است. با استفاده از نانو سیال مس، بازدهی آبرگرمکن خورشیدی تا ۶۷٪ افزایش پیدا می کند، این در حالی است که نانو سیال آلومینیم اکسید و مس اکسید به ترتیب دارای بازدهی برابر با ۵۳٪ و ۵۷٪ است. از طرفی بازدهی انرژی نانو سیال با ذرات آلومینیم اکسید بیشتر از مس محاسبه شده است.

واژه های کلیدی: انتقال گرما جابه جایی آزاد، مبدل گرمایی، آبرگرمکن خورشیدی، انرژی خورشید، مدل سازی، دوبعدی

مقدمه

و متداول ترین تجهیزات فرایندی در صنایع به آلومینیم اکسید ویژه صنایع نفت، گاز و پتروشیمی بشمار می روند. مهم ترین مشکل این نوع مبدل ها در صنعت، کاهش بازده گرمایی در اثر عوامل متفاوت از جمله تشکیل رسوب در روی سطوح آنها و خوردگی بخش های متفاوت آنها است. بازده مبدل های گرمایی در صنعت نقش مهمی در صرفه جویی در انرژی دارد. افزون بر

با توجه به محدودیت های سوخت های فسیلی و کمبود انرژی، کاهش مصرف انرژی و اتلاف گرما، کاری مهم در حفظ منابع گرمایی در صنعت و سامانه آب، برق و بخار است. یکی از مهمترین دستگاه های مرتبط با انتقال انرژی، مبدل های گرمایی اند که نوع پوسته و لوله ای آنها از مهمترین

همچنین باعث ایجاد نواحی مرده و در نتیجه کاهش انتقال گرما و افزایش رسوب‌گیری و خوردگی می‌شود [۸].

نتیجه کلی آن است که نیروی محرکه دمایی MTD و بازده ϵ واقعی کمتر از مقدار ایده‌آل و کمتر از مقدار آن در مبدل‌هایی است که چنین مشکلاتی ندارند. بنابراین، از مبدل‌های پوسته و لوله فقط در زمانی استفاده می‌شود که بازده ۶۰ تا ۸۰٪ مورد انتظار باشد [۹].

در مبدل گرمایی با لوله‌های پیچشی، بیشتر مشکلات مربوط به انواع معمول مبدل‌های پوسته-لوله‌ای از سال ۱۹۸۴ برطرف شده است. برخی از روش‌های بهبود کارکرد مبدل‌های پوسته-لوله به شرح زیر است [۱۰]:

۱- استفاده از لوله‌های پرده‌دار (شامل انواع پره‌های کوتاه و بلند عرضی و طولی)

۲- استفاده از لوله‌هایی با پره‌های داخلی

۳- استفاده از وسایل افزاینده انتقال گدما داخل لوله که دارای هندسه‌های گوناگونی از جمله نواریج، فنریج، شبکه‌ای و اختلاط استاتیکی است.

۴- استفاده از بفل‌های میله‌ای

۵- استفاده از بفل‌های حلزونی، لوله‌های پیچشی و لوله‌های موجدار.

گاهی اوقات ممکن است از دو فناوری به‌طور هم‌زمان و به همراه هم استفاده شود تا بیشینه کارایی ممکن به‌دست آید. برخی از موارد استفاده شده شامل به‌کارگیری هم‌زمان لوله‌های پرده‌دار به همراه بفل‌های حلزونی و بفل‌های حلزونی به همراه وسایل افزاینده انتقال گرما داخل لوله هستند [۱۰].

کاهش مصرف انرژی با افزایش عملکرد مبدل گرمایی رابطه مستقیم دارد و یکی از مهمترین دستگاه‌های مرتبط با انتقال انرژی، مبدل گرمایی است. در بسیاری از کاربردهای صنعتی، مایعات انتقال گرما عبارت‌اند از مبرد، آب، روغن موتور، استون و اتیلن گلیکول و غیره. از طرفی افزایش مقدار انتقال گرما همیشه مورد تقاضا بوده است و به مقدار زیادی به سیال استفاده شده در

این، مبدل گرمایی با بازده بالاتر می‌تواند سبب کاهش اندازه مبدل گرمایی و بنابراین صرفه‌جویی در هزینه‌های مواد و ساخت مبدل گرمایی شود. یکی از بهترین روش‌ها در جهت افزایش بازده مبدل گرمایی، استفاده از آشفته‌سازها یا توربولیترها قابل نصب در سمت لوله مبدل‌ها است [۱ و ۲].

استفاده از لوله‌ها یا سطوح فین‌دار نیز می‌تواند مقدار کارایی مبدل گرمایی را افزایش دهد.

بررسی مقدار افزایش ضریب انتقال گرما و تفاوت فشار برای آشفته‌سازهای متفاوت در پژوهش‌های قبلی برای نفت خام مورد بررسی قرار گرفته است [۳ و ۴].

در بیشتر مبدل‌های گرمایی صنعتی آب به‌عنوان سردکننده در لوله‌ها (به دلیل مشکلات عملیاتی از جمله خوردگی و رسوبگذاری) جریان دارد. به همین دلیل عملکرد آشفته‌سازها نوع ماتریس سیمی^۱ با اندازه‌گیری آزمایشگاهی مقدار ضریب انتقال گرما و افت فشار برای سیال آب بررسی شده است.

کاهش مقدار رسوبگذاری برای توربولیتر نوع کویل سیمی برای آبی با مقدار سختی میانگین ۷۰ ppm به صورت کیفی بررسی شده است. بسته به شرایط عملیاتی موجود و تأثیر این نوع آشفته‌ساز بر مقدار رسوبگذاری، در حالتی که در مبدل‌های صنعتی بعضی از لوله‌های مبدل گرمایی به علل متفاوت از جمله خوردگی، سوراخ شدن و یا گرفتگی شدید با رسوبات معدنی، مسدود می‌شوند که می‌توان با استفاده از این توربولیتر و افزایش ضریب انتقال گرما، افت بازده گرمایی مبدل را جبران کرد [۵]. قراردادن دستگاه‌های با جریان چرخشی باعث افزایش انتقال گرما با گردش درون جریان و برهم خوردن لایه مرزی در سطح لوله به علت تغییرات مکرر در هندسه سطح می‌شود [۶].

انواع دیگر مبدل‌های گرمایی مانند مبدل‌های قاب و صفحه‌ها با وجود مزایای انکارناپذیر، تنها در فشارهای کمتر از ۱۶ bar و دمای زیر 200°C کار می‌کنند. این موضوع توجه زیادی را در مورد یافتن راهکارهای پیشرفته برای مقابله با کمبودهای موجود در طراحی‌های معمولی به خود جلب کرده است [۷]. وجود بافل‌ها

1. Matrix tray

میدل وابسته است [۱۱]. محیط استفاده می‌شوند. عملیات به مقدار جذب تابش خورشید نیز بستگی دارد و با انتقال انرژی جذب شده به سیال عامل درون لوله جمع‌آوری‌کننده باعث افزایش دما می‌شوند [۱۱].

مطالعه عددی بررسی پدیده همرفت اجباری در جمع‌آوری‌کننده‌های خورشیدی صفحه تخت با سیال مس ارائه شده است. در نهایت نتایج نشان داد که بیشترین انتقال گرما زمانی مشاهده می‌شود که مقدار تابش خورشید افزایش و قطر لوله‌های جمع‌آوری‌کننده کاهش یابند [۱۴].

پژوهش‌های دیگری بر جمع‌آوری‌کننده‌هایی از نوع جذب مستقیم با استفاده از نانوسیال آلومینیم اکسید انجام شده است. نتایج نشان داده که بازده جمع‌آوری‌کننده در صورت استفاده از این نانوسیال ۱۰٪ بیشتر است. از مقایسه نتایج در گستره درصد حجمی ۰/۱ تا ۵ می‌توان دریافت که بازده در درصد‌های بالای ۲٪ حجمی، با به کارگیری نانوسیال مربوط افزایش می‌یابد [۱۵ تا ۱۹].

تعریف مسأله

آبگرمکن‌های خورشیدی متشکل از سامانه کنترلی، جمع‌آوری‌کننده خورشیدی صفحه تخت، تانک ذخیره‌سازی انرژی، پمپ، جداکننده جریان و یکپارچه‌کننده جریان است. صفحه جاذب، اصلی‌ترین جزء جمع‌آوری‌کننده خورشیدی است که عمل جذب تابش خورشیدی و انتقال گرما به سیال عامل به وسیله این قسمت انجام می‌شود. صفحه جاذب می‌بایست دارای ضریب رسانایی گرمایی و ضریب جذب تشعشع بالا و ضریب صدور پایین بوده و همچنین در مقابل خوردگی داخلی و خارجی مقاوم باشد.

ضریب اتلاف انرژی تانک بسیار مهم است زیرا تعیین می‌کند که با چه سرعتی انرژی به دست‌آمده شده از بین می‌رود. مقدار آن هرچه کمتر باشد، عملکرد تانک بهتر است. زمانی که جریانی وجود ندارد، به دلیل انتقال گرما از دیواره‌ها به سمت بیرون و افت انرژی، مقداری از انرژی به دست‌آمده افت پیدا می‌کند [۶].

در برخی مواقع بخشی از گرمایی که تولید می‌شود، خورشیدی نیست و با استفاده از میدل گرمایی کمکی که در تانک ذخیره‌کننده

با توجه به پیشرفت‌های اخیر در نانوفناوری، یکی از روش‌های نوین بهبود بازده میدل‌های گرمایی، استفاده از نانوسیالات هستند که در دهه گذشته مطالعات تجربی و نظری فراوانی پیرامون آن در مراجع علمی صورت گرفته است.

اثر انتقال گرما همرفتی در جریان نانوسیال غیر نیوتنی حاوی نانو ذرات آلومینیم اکسید در لوله افقی با شار گرمایی ثابت با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش عدد رینولدز، عدد ناسلت جریان نیز افزایش پیدا می‌کند [۱۲].

در مطالعه دیگری بر روی میدل گرمایی پوسته-لوله به بررسی افزایش ضریب انتقال گرما جابجایی نانوسیال مغناطیسی دارای نانولوله کربنی نسبت به سیال پایه آب مقطر با درصد‌های وزنی ۰/۱۰ و ۰/۲۰ تحت رژیم جریان آشفته پرداخته شده است. ضریب انتقال گرما جابجایی نانوسیال مغناطیسی نسبت به سیال پایه آب مقطر با درصد وزنی ۰/۲۰ به مقدار ۳۷/۵۰ افزایش یافت که با توجه به درصد‌های وزنی بسیار کم (زیر ۱٪)، افزایش قابل توجهی داشت [۱۳]. افزایش دبی و غلظت نانوسیالات تأثیر بسزایی بر افزایش ضریب انتقال گرما جابه‌جایی داشته و اندازه نانوذرات استفاده شده برای ایجاد نانوسیال در گستره ۲۰ تا ۵۰nm اثر مطلوب‌تری بر افزایش انتقال گرما می‌گذارد.

انرژی خورشیدی به دلیل دسترسی آسان و هزینه پایین بسیار مورد توجه است. اصلی‌ترین سامانه گرمایی خورشیدی، آبگرمکن‌های خورشیدی هستند که به دلیل قیمت پایین و فناوری ساده، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این مقاله به بررسی چگونگی تأثیر عملکرد نانوسیالات بر آبگرمکن‌های خورشیدی پرداخته خواهد شد که می‌توان اجزای اصلی آبگرمکن خورشیدی مانند جمع‌آوری‌کننده و مخزن ذخیره‌سازی انرژی را همانند میدل‌های گرمایی مورد بررسی قرارداد.

مفهوم نانوسیال به عنوان تعلیق حاوی نانوذرات در سیال پایه است. جمع‌آوری‌کننده‌های خورشیدی صفحه تخت به‌طور گسترده برای افزایش دمای سیال عامل بین ۳۰ تا ۱۰۰ °C بیشتر از دمای

در شبیه سازی سامانه با نرم افزار ترنسیس، به اطلاعات آب و هوایی ناحیه و یا شهر مورد بررسی احتیاج است، به همین دلیل از بین هشت شهر که اطلاعات آن ها موجود بود، دو شهر بندرعباس و تبریز انتخاب شده اند. بدین صورت عملکرد هر نانوسیال افزون بر مقایسه با نانوسیال دیگر، در شرایط متفاوت آب و هوایی نیز مورد بررسی قرار می گیرد. منظورکردن زمان های طولانی با بازه های زمانی کوتاه منجر به شلوغی نمودارها خواهد شد بدین سبب روز میانی گرمترین ماه سال در نظر گرفته شده است.

جدول ۲ مشخصات تانک ذخیره سازی انرژی

حجم	۰٫۳ m ³
ضریب اتلاف	۲٫۵ kJ/(hm ² k)

جدول ۳ مشخصات جداکننده جریان

دما	۲۰ °C
دبی جریان ورودی	۱۰۰ kg/h
دمای منبع گرمایی	۵۵ °C
دمای قابل تنظیم	۴۵ °C

بررسی انرژی سامانه آبرگرمکن های خورشیدی

مقدار انرژی مفید جمع آوری کننده از طریق معادله های ۱ و ۲ به دست می آید.

$$Q_{\text{useful}} = Q_{\text{recv}} - Q_{\text{loss}} = AI(\lambda k) - hA(T_{\text{col}} - T_{\text{amb}}) \quad \text{معادله (۱)}$$

$$Q_{\text{useful}} = mc_p(T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) \quad \text{معادله (۲)}$$

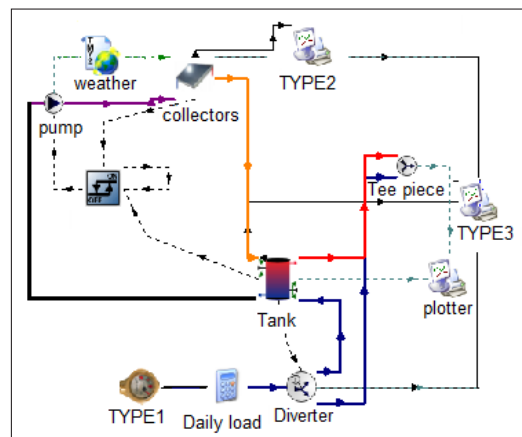
که در آن ها λ = نرخ جابه جایی سطح، k = نرخ جذب به وسیله جاذب، T_{out} = دمای خروجی جمع آوری کننده، T_{in} = دمای ورودی جمع آوری کننده، T_{col} = دمای جمع آوری کننده و T_{amb} = دمای

انرژی تعبیه شده است تأمین می شود. تعداد مبدل گرمایی کمکی نیز قابل تعیین است. زمانی که انرژی زیادی مورد نیاز باشد فقط همین یک مبدل گرمایی روشن شده و این طراحی در تانک های ذخیره انرژی آبرگرمکن ها معلول است.

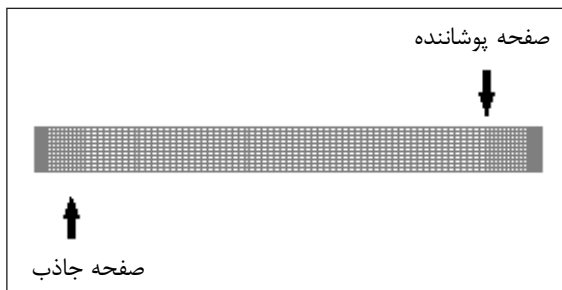
سیال انتقال گرما باید دارای ظرفیت گرمایی ویژه بالا، ضریب پخش گرمایی پایین، گرما جابه جایی بالا، گرانشی پایین و بدون ایجاد خوردگی باشد. قیمت سیال بسیار حائز اهمیت است که در نهایت باید مقرون به صرفه باشد. رفتار و کارایی نانوسیالات متفاوت با توجه به عامل هایی از قبیل دما، توزیع سرعت، انتقال گرما تشعشی و همرفتی آن مورد بررسی قرار گرفته است. هدف بررسی تفاوت استفاده از نانوسیالات متفاوت و عملکرد آن ها در شبیه سازی سامانه آبرگرمکن خورشیدی با جمع آوری کننده های صفحه تخت است. بدین منظور ذرات نانوسیال های مس، مس اکسید و آلومینیم اکسید بر پایه آب انتخاب شده اند.

جدول ۱ مشخصات ذرات نانوسیال های استفاده شده در شبیه سازی

	آلومینیم اکسید	مس	مس اکسید
$\rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	۳۸۹۰	۸۹۷۸	۶۰۰۰
$C_p \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)$	۸۸۰	۳۸۱	۵۵۱
$K \left(\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}\right)$	۳۵	۳۸۷۶	۳۳



شکل ۱ شبیه سازی آبرگرمکن خورشیدی با استفاده از نرم افزار ترنسیس



شکل ۲ نمایی از مش بندی در کانال دوبعدی مورد نظر

نتیجه‌ها و بحث

هندسه مساله

کانال دوبعدی حالت پایدار، به صورتی در نظر گرفته شده است که دو طرف آن دیوارهای عایق وجود دارد. تابش انرژی خورشید با پوشش بالای آن جذب شده و به سمت صفحه جاذب هدایت می‌شود. درون سامانه نانوسیال قرار دارد و حرکت ذرات آن به دلیل انتقال گرما جابه‌جایی، صورت می‌پذیرد.

کیفیت مش

برای بررسی کیفیت مش بندی، کیفیت المان تابعی از مقیاس‌های مورد سنجش است و برای تخمین شرایط مش ایجاد شده بسیار مناسب است.

جدول ۳ کیفیت مش ایجاد شده

کمترین سطح استاتیستیک (m ²)	$9,99998 \times 10^{-5}$
کمترین حجم استاتیستیک (m ³)	$3,38445 \times 10^{-3}$

در این بررسی مساله با استفاده از گلگر بر پایه فشار، در حالت مستقل از زمان محاسبه شد. رویه PISO با وجود هزینه محاسباتی بیشتر، به دلیل دقت بالاتر در محاسبات مورد استفاده قرار گرفت. سامانه در حالت جابه‌جایی طبیعی حل خواهد شد. با توجه به سرعت جریان، حل به صورت جریان آشفته و یا آرام خواهد بود. در این مدل سازی به دلیل وجود جابه‌جایی طبیعی، جریان آرام خواهد بود. در نهایت معادلات پیوستگی، معادلات سرعت در دو جهت

محیط است.

F_R ضریبی است که برای بیان مقدار کارایی جمع‌آوری کننده به کار می‌رود و نسبت انرژی مفید واقعی به گرما مفید در حالتی که دما در میانگین دمای سیال درون جمع‌آوری کننده قرار گرفته است، استفاده می‌شود.

$$F_R = mc_p (T_{out} - T_{in}) / [AI(\lambda k) - hA(T_m - T_{amb})] \quad \text{معادله (۳)}$$

کارایی جمع‌آوری کننده خورشیدی صفحه تخت که به صورت نسبت انرژی مفید به انرژی حاصل از خورشید است، به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\eta = mc_p (T_{out} - T_{in}) / AI = \text{useful gain} / \text{available energy} \quad \text{معادله (۴)}$$

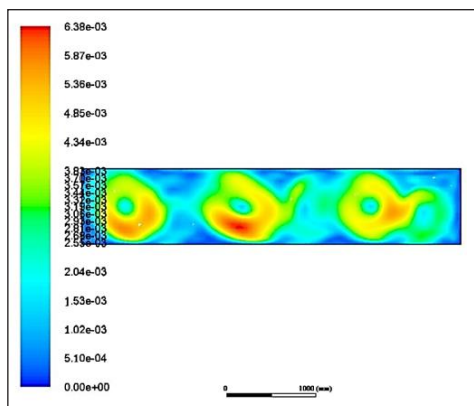
$$\eta = F_R A [AI(\lambda k) - hA(T_m - T_{amb})] / AI = F_R(\lambda k) - F_R h((T_m - T_{amb}) / I) \quad \text{معادله (۵)}$$

مدل سازی ریاضی

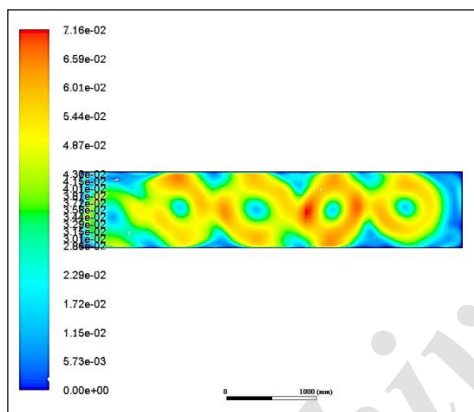
با کمک معادلات نویر استوکس، انرژی و غلظت می‌توان یک جمع‌آوری کننده خورشیدی را مدل سازی کرد. معادلات حالت با شرایط مرزی متناظر به فرم بدون بعد تبدیل شده و با روش تفاضل محدود به صورت عددی حل می‌شود.

در این بررسی قسمت بالای جمع‌آوری کننده به صورت مداوم در حال جذب انرژی خورشید است در حالی که صفحات عمودی کناره‌های جمع‌آوری کننده عایق هستند و صفحه زیرین جمع‌آوری کننده در دمای T_c ، ثابت نگه داشته شده است. غلظت در سطح بالا نیز بیشتر از سطح پایین در نظر گرفته شده ($C_e < C_b$).

نانودره‌ها به شکل کره با قطر ۵ nm فرض شده‌اند و دامنه موج $A_m = 0.04$ m و مقدار طول موج $\lambda = 3.5$ برای صفحه جاذب در نظر گرفته شده است.



شکل ۵ سرعت حرکت جابه‌جایی طبیعی با استفاده از نانوسیال اکسید مس



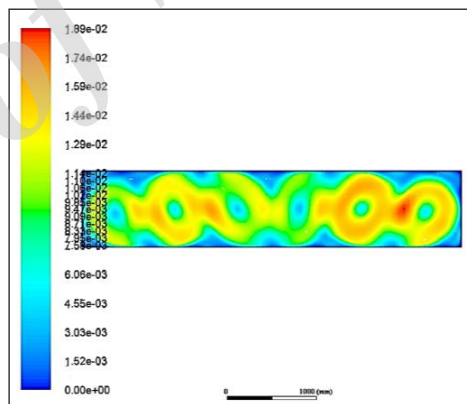
شکل ۶ سرعت حرکت جابه‌جایی طبیعی با استفاده از نانوسیال مس

با ایجاد انتقال گرما و افزایش جذب تابش خورشید، حرکت دورانی درون پخش‌کننده، سبب افزایش انتقال گرما به صفحه جذب شده است. با تغییر سیال به نانوسیال آلومینیم اکسید، سرعت حرکت نانوسیال درون پخش‌کننده افزایش یافته و همچنان تقارن نسبی به وجود آمده باقی است و سامانه با افزایش دوران چرخشی ایجاد شده در خود، درصد افزایش انتقال گرما از صفحه پوشاننده به صفحه جذب است. تغییر نانوسیال مورد استفاده از آلومینیم اکسید به مس اکسید سبب ایجاد جریان دورانی بیشتر درون پخش‌کننده و افزایش سرعت حرکت نانوسیال شده است. بیشترین سرعت در مرکز دوران به سمت صفحه جذب نشان داده شده است. نانوسیال مس به دلیل داشتن ضریب انتقال

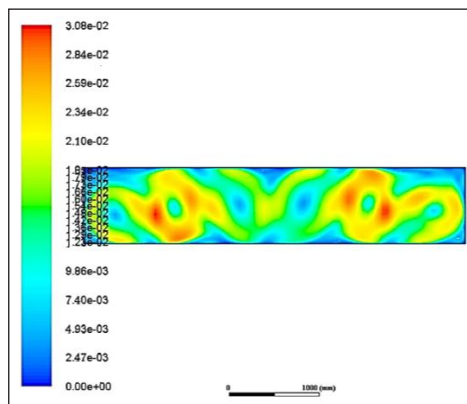
معادلات انرژی و معادله تشعشع مورد بررسی و هم‌گرایی واقع شد. دقت معادلات انرژی و تشعشع برابر 10^{-6} و معادلات سرعت و پیوستگی برابر 10^{-3} به صورت پیش فرض در نرم‌افزار تعیین شده‌اند و پس از هم‌گرایی دقت معادلات تشعشع و انرژی، 10^{-7} و معادلات پیوستگی و سرعت، 10^{-4} به دست آمد.

جدول ۴ شرایط مرزی پخش‌کننده

شرایط مرزی	نوع	دما (K)
دیواره سمت چپ	عایق	-
دیواره سمت راست	عایق	-
صفحه پوشاننده بالا	تشعشع خورشیدی	۲۹۳
صفحه جذب	انتقال گرما جابه‌جایی	۴۷۰



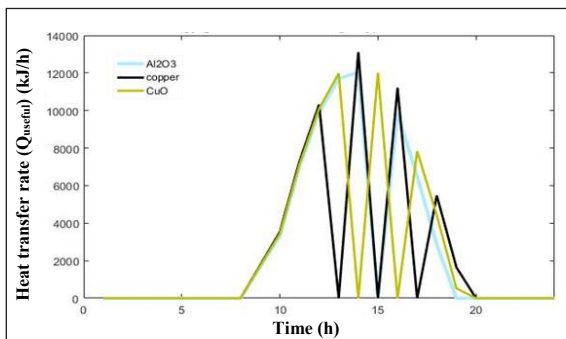
شکل ۳ سرعت حرکت جابه‌جایی طبیعی با استفاده از آب



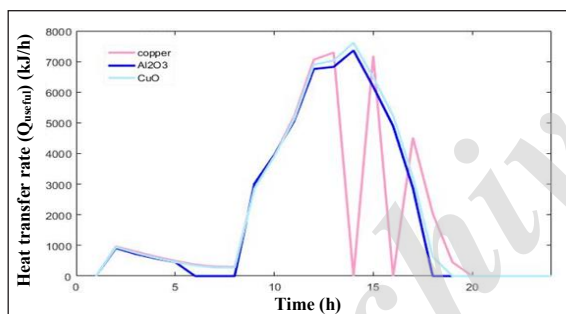
شکل ۴ سرعت حرکت جابه‌جایی طبیعی با استفاده از آلومینیم اکسید

تحلیل انرژی مفید جمع‌آوری‌کننده

مقدار تابش خورشید بر سطح جمع‌آوری‌کننده در یک شرایط آب و هوایی ثابت است. در شهر تبریز دمای آب خروجی از جمع‌آوری‌کننده به مراتب بالاتر از دمای آب خروجی از جمع‌آوری‌کننده در شهر بندرعباس است (شکل‌های ۹ و ۱۰).



شکل ۹ نمودار انرژی مفید جمع‌آوری‌کننده برای سه نانوسیال در شهر تبریز



شکل ۱۰ نمودار انرژی مفید جمع‌آوری‌کننده برای سه نانوسیال در شهر بندرعباس

دمای آب خروجی، مقدار حداکثر دمایی است که جمع‌آوری‌کننده به وسیله انرژی خورشیدی و نانوسیال درون خود می‌تواند آب را گرم کند. دما با کنترل‌کننده متصل به جمع‌آوری‌کننده تنظیم شده و تا حداکثر 100°C به مصرف‌کننده می‌رسد. نانوسیال با ذرات مس دارای بیشترین دمای خروجی است. به بیان دیگر جمع‌آوری‌کننده خورشیدی با نانوسیال مس می‌تواند دمای آب را بیشتر افزایش دهد و در نهایت آب خروجی از آن دارای دمای بالاتری نسبت به نانوسیال‌های دیگر است.

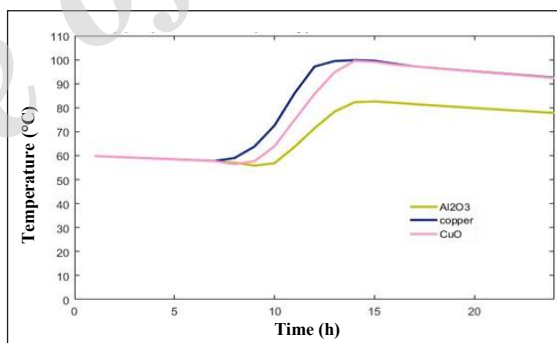
نکته قابل توجه این است که جمع‌آوری‌کننده خورشیدی با

گرما بالا، با جذب انتقال گرما بیشتر نسبت به نانوسیال‌های مس اکسید، آلومینیم اکسید و سیال پایه آب، موجب افزایش بیشتر دمای صفحه جذب شده است.

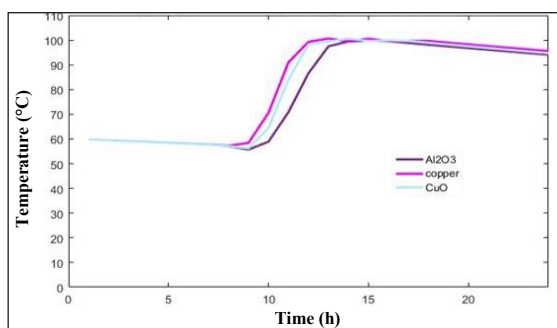
مقایسه سه نانوسیال یاد شده در دو شهر

تحلیل دمای آب مصرف‌کننده

در این مرحله نتایج با مقایسه نمودارهای نانوسیال‌های متفاوت در شرایط آب و هوایی دو شهر تحلیل شده است (شکل‌های ۷ و ۸). مشاهده می‌شود که در زمان مشخص، نانوسیال با ذرات مس، زودتر به دمای بالاتر می‌رسد و در زمان ذکر شده، نانوسیال‌های شامل ذرات مس اکسید و آلومینیم اکسید به دمای کمتری دست می‌یابند. حصول سریع‌تر دمای بالاتر سبب می‌شود که نانوسیال با ذرات مس زودتر به حداکثر دمای مورد نظر 100°C برسد.



شکل ۷ نمودار دمای نهایی آب خروجی برای سه نانوسیال در شهر بندرعباس



شکل ۸ نمودار دمای نهایی آب خروجی برای سه نانوسیال در شهر تبریز

در مورد آن بحث شد. در نهایت دمای مصرف کننده با استفاده از نانوسیال آلومینیم اکسید در شهر بندرعباس 80°C خواهد بود.

اعمال تغییرات پارامترها بر روی سامانه

مقدارهای دبی ورودی و اعمال شده در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده‌اند.

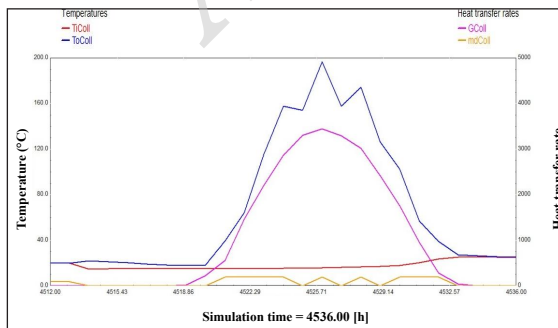
جدول ۵ مقدار دبی ورودی به سامانه در شبیه‌سازی

زمان	دبی جریان (kg/h)
۷ تا ۹ صبح	۰٫۱
۹ صبح تا ۳ بعدازظهر	۰٫۲
۳ تا ۶ بعدازظهر	۰٫۱

جدول ۶ مقدار دبی اعمال شده به سامانه در شبیه‌سازی

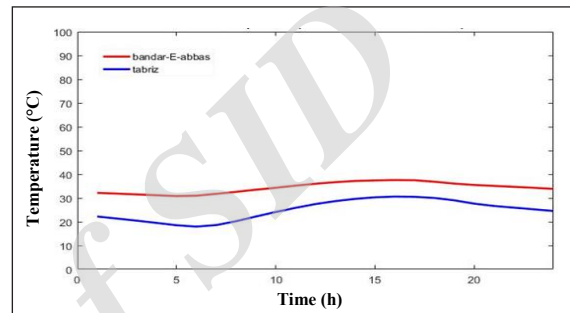
زمان	دبی جریان شماره ۴ (kg/h)	دبی جریان شماره ۵ (kg/h)
۷ تا ۹ صبح	۱	۱
۹ صبح تا ۳ بعدازظهر	۲	۴
۳ تا ۶ بعدازظهر	۱	۲

دبی جریان آب پس از اعمال دبی آب ورودی جدید، به دلیل افزایش دبی جرمی آب ورودی سامانه نیازمند انرژی کمکی برای گرم کردن تمام آب ورودی است و استفاده تنها از انرژی خورشیدی به همراه نانوسیال به کار رفته در آن جوابگوی افزایش دمای آب مصرفی نخواهد بود.



شکل ۱۲ نمودار دمای آب خروجی از جمع‌آوری کننده در دبی اعمالی شماره ۴

استفاده از نانوسیال، در شهر تبریز قابلیت افزایش دمای بیشتری نسبت به شهر بندرعباس دارد. نمودارهای دمای محیط هر شهر در شکل ۱۱ نمایش داده شده و روشن است که شهر بندرعباس دارای دمای محیط بیشتری نسبت به شهر تبریز است. شهر تبریز دارای ارتفاع بیشتر و در نتیجه غلظت هوای کمتری است و تابش خورشید بر سطح جمع‌آوری کننده بیشتر است.



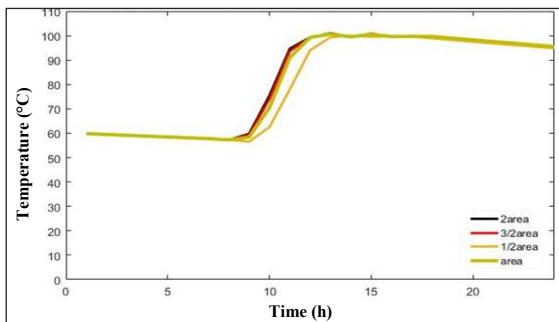
شکل ۱۱ نمودار دمای محیط در شهر بندرعباس و تبریز

به دلیل اینکه حداکثر دمای خروجی 100°C در نظر گرفته شده است، می‌توان در هر دو شهر از این سامانه برای نانوسیال با ذرات مس استفاده کرد ولی همانطور که در نمودارها مشخص است، در صورت استفاده از نانوسیال با ذرات آلومینیم اکسید در شهر بندرعباس، به دلیل اینکه حداکثر دمای خروجی آب 83°C است، برای رسیدن به دمای مورد نظر که 100°C است، باید از مبدل گرمایی استفاده کرد. نکته قابل ذکر این است که گرمکن‌های کمکی انواع متفاوت دارند و گرمکنی که در اینجا استفاده شده با توجه به مقدار انرژی آن، در مواقعی که دما به 55°C می‌رسد، روشن شده و آب را تا 60°C گرم می‌کند. درواقع آب با دمای کمتر از 100°C از جمع‌آوری کننده خارج شده و وارد تانک ذخیره انرژی می‌شود تا توسط مبدل گرمایی گرم شده و به مصرف کننده تحویل داده شود.

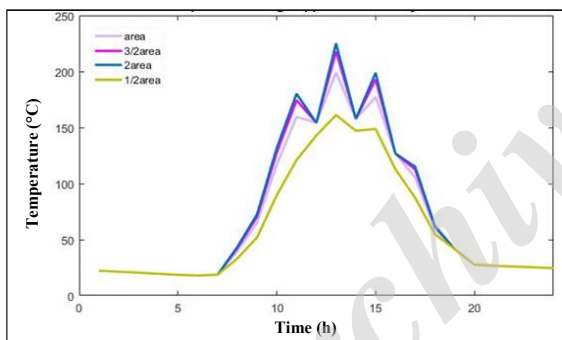
برای نانوسیال آلومینیم اکسید با دمای آب ذکر شده پس از خروج از جمع‌آوری کننده، دما تا 55°C افت پیدا نمی‌کند که سامانه مجبور به روشن کردن مبدل گرمایی باشد. ولی اندکی افت تا خروج از تانک ذخیره سازی انرژی و رسیدن به مصرف کننده، طبیعی است. بخشی از افت نیز به دلیل ضریب اتلاف تانک ذخیره سازی است که پیش‌ازاین

جدول ۷ مساحت اعمال شده برای سطح جمع‌آوری کننده در شبیه‌سازی

سطح شماره ۱ (m ²)	سطح شماره ۲ (m ²)	سطح شماره ۳ (m ²)
۱۰	۷٫۵	۲٫۵

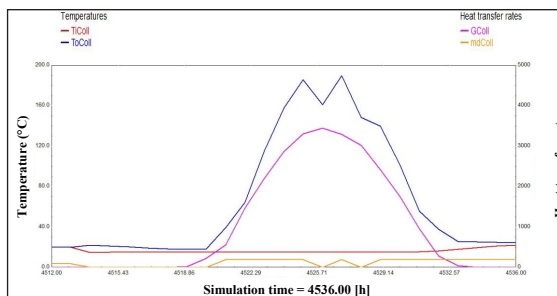


شکل ۱۳ نمودار دمای نهایی آب خروجی از سامانه برای مصرف کننده در مساحت‌های متفاوتی از جمع‌آوری کننده



شکل ۱۴ نمودار دمای آب خروجی از جمع‌آوری کننده در مساحت‌های متفاوتی از جمع‌آوری کننده خورشیدی

سامانه‌ای که دارای سطح جمع‌آوری کننده بیشتری است، زودتر به دمای خواسته شده دسترسی پیدا می‌کند. افزایش سطح جمع‌آوری کننده تأثیر مثبتی روی سامانه گذاشته و البته این تغییر مستلزم تأثیر اقتصادی بهینه نیز است. از آن جایی در مطالعات پیشین این سه نانوسیال مورد بررسی در کنار هم تحلیل نشده‌اند، بررسی تغییرات عدد ناسلت می‌تواند گواه خوبی در نحوه عملکرد آن‌ها در مقایسه با یکدیگر باشد. تغییرات عدد ناسلت بر اساس مقدار انتقال گرما مشاهده می‌شود که در هنگام استفاده



شکل ۱۵ نمودار دمای آب خروجی از جمع‌آوری کننده در دبی اعمالی شماره ۵

دمای خروجی جمع‌آوری کننده با افزایش دبی آب ورودی، کاهش داشته است. انرژی خورشید و سیال استفاده شده در سامانه یکسان است و زمانی که حجم بیشتری از آب وارد سامانه می‌شود، انرژی یاد شده حجم کمتری از آب را تا دمای مورد نظر گرم خواهد کرد و یا کل آب ورودی را در دمای کمتری افزایش خواهد داشت.

زمانی که دبی به مقدار ۲۰ برابر افزایش پیدا کند، نتیجه آن افزایش انرژی گرمگن کمکی است. پس از اینکه مبدل گرمایی دمای آب را تا حد قابل قبولی بالا می‌برد، خاموش شده و سامانه انرژی خورشیدی ادامه افزایش دما تا رسیدن به دمای حداکثر را انجام می‌دهد. با توجه به نمودار مقدار دمای نقاط متفاوت تانک ذخیره‌سازی انرژی نیز دچار نوسان است و می‌توان نتیجه گرفت در صورت ثابت ماندن توان مبدل گرمایی و جمع‌آوری کننده خورشیدی و مقدار تابش خورشید، با افزایش دبی جرمی آب ورودی، نوسان دمای سامانه بالا رفته، مبدل گرمایی روشن شده و انرژی آن به نسبت مقدار دبی ورودی افزایش داشته و دمای نهایی مقداری کمتر از دمای حداکثر خواهد بود. در صورت افزایش توان مبدل گرمایی می‌توان به دمای بیشینه نیز دست یافت.

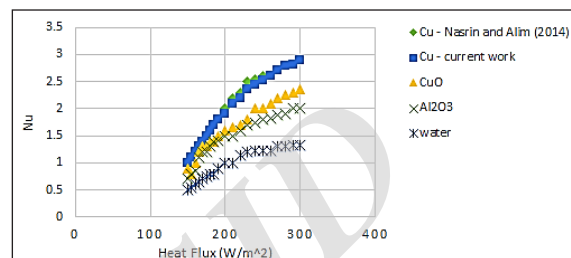
سطح جمع‌آوری کننده

مساحت اعمال شده برای سطح جمع‌آوری کننده در شبیه‌سازی در جدول ۷ ارائه شده است. سطح در نظر گرفته شده برای جمع‌آوری کننده در شبیه‌سازی برابر $5 \text{ m}^2 = (Ac)$ است. نمودارهای دمای آب خروجی در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ ارائه شده‌اند.

منجر به افزایش بازده خواهد شد. از مقایسه نتایج به‌دست‌آمده برای آبرگرمکن خورشیدی می‌توان دریافت که بازده آبرگرمکن خورشیدی به مقدار قابل توجهی افزایش داشته است.

تغییرات سرعت به‌دست‌آمده در مدل‌سازی سامانه با استفاده از سیال آب با نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات پیشین، تا حدودی قابل قبول است و وجود تغییر جزئی به دلیل یکسان نبودن طول پخش‌کننده مورد بررسی و همچنین تفاوتی در ساختار مش‌بندی دو پژوهش است. به همین ترتیب می‌توان سایر تغییرات به‌دست‌آمده برای نانوسیالات در مدل‌سازی را قابل قبول دانست. انرژی جریان برای ۳ نانو سیال اکسید مس، اکسید آلومینیم و مس به ترتیب ۵۷٪ و ۵۳٪ و ۶۷٪ محاسبه شده است. درواقع بخشی از انرژی نانوسیال آلومینیم اکسید که می‌توان به کار تبدیل کرد بیشتر خواهد بود. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته مشخص است که رفتار بازده انرژی و انرژی در بسیاری از مواقع برخلاف یکدیگرند و در این پژوهش بازده انرژی برای ۳ نانو سیال اکسید مس، اکسید آلومینیم و مس به ترتیب ۵۷٪ و ۵۳٪ و ۶۷٪ محاسبه شده است. افزایش دمای آب ورودی در حالی موجب کاهش بازده انرژی جمع‌آوری‌کننده‌ها می‌شود که این افزایش به‌طورکلی موجب بالا رفتن بازده انرژی تا مقدار بیشینه آن شود. از سوی دیگر افزایش دبی موجب افزایش بازده انرژی جمع‌آوری‌کننده‌ها می‌شود، درحالی‌که این امر تأثیر معکوسی روی بازده انرژی دارد.

از نانوسیال مس بیشتر است. انتقال گرما درون پخش‌کننده به صورت جابه‌جایی آزاد است و بهبود تغییرات عدد ناسلت در طول پخش‌کننده منجر به ایجاد پروفایل بهتر و منظم‌تری از سرعت شده است.



شکل ۱۶ نمودار تغییرات عدد ناسلت در واحد طول پخش‌کننده بر حسب مقدار انتقال گرما

نتیجه‌گیری

مقایسه تغییرات نانوسیالات و سیال آب مورد استفاده در این پژوهش با یکدیگر و تغییرات آن‌ها نسبت به نانوسیال مس در مطالعه دیگری، نشان می‌دهد که نانوسیال با ذرات مس بهترین عملکرد را دارد و بازده انرژی آن بیشتر از نانوسیالات دیگر است. از طرفی بررسی سامانه آبرگرمکن در آب و هوای سردسیر منجر به دریافت مقدار تابش خورشید بیشتر شده است. با افزایش دبی جریان آب ورودی، مقدار بازده جمع‌آوری‌کننده افزایش می‌یابد و همچنین با افزایش سطح جمع‌آوری‌کننده خورشیدی مقدار تابش جذب شده از خورشید افزایش می‌یابد که در نهایت

مراجع

- جعفری نصر، محمدرضا، و ذوقی، علی تقی، فصلنامه تحقیق، [1] شماره ۴۱، تابستان ۱۳۸۰
- [2] Jafari Nasr, M.R. and Polley, G.T.; Chem. Eng. Tech. 23, 267-272, 2000.
- [3] Polley, G.T., Wilson, B.L., Pugh, S.J.; Heat Transfer Eng. 23, 24-37, 2002.
- [4] Jardin, F. and Krueger, A.W.; "Proceeding of the International Conference on Petroleum Behavior and Fouling", American Institute of Chemical Engineers, USA; 466-474, 2002.
- [5] مظفری، سید حسین؛ جعفری نصر، محمدرضا؛ یازدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، آذرماه ۱۳۸۵
- [6] Reay, D. A.; Heat Recovery Systems and CHP 8, Issue 4, 309-314, 1988.
- [7] Butterworth, D.; Guy, A.R.; Welkey, J.J.; "Advances in Industrial Heat Transfer", IChemE, 1995.
- [8] Schlunder, E.U.; "Heat Exchanger Design

- Handbook”, Taylor Francis Inc.; 1983.
- [9] جعفری نصر، محمدرضا؛ همت، آیدا؛ سالم، امین؛ پژوهش نفت، شماره ۶۷، ۱۳۹۰.
- [10] جعفری نصر، محمدرضا؛ شفقت، امین؛ نشریه علمی-ترویجی تحقیق در علوم و مهندسی نفت، شماره ۵۲، پاییز و زمستان ۱۳۸۴.
- [11] Ekramian, E.; Etemad, S.Gh.; Haghshenasfard, M.; International Journal of Theoretical and Applied Nanotechnology 2014, 1929-1248, 2014.
- [12] Hung, F.; Zheng, J.; Journal of the Energy Institute 90, Issue 6, 2017.
- [13] Bahiraei, M.; Rahmani, R.; Yaghoobi, A.; Applied Thermal Engineering 133, 2018.
- [14] Abbas Sahi, S.; Abbod, M. H.; Kadhim, S.Q.; International Journal of Energy and Environment 6, 317-330, 2015.
- [15] Helvaci, H. U.; Khan, Z. A.; Energy Conversion and Management 106, 139-150, 2015.
- [16] Sreekala, P.; Mathew, Bobin K.; International Journal of Engineering Sciences and Research Technology, 2277-9655, 2016.
- [17] Nasrin, R.; Alim, M. A.; International Journal of Heat and Technology 33, 330-203, 2015.
- [18] Goutam, S.; “Heat Transfer Performance Investigation of Nanofluids Flow in Pipe“, Ph.D. Thesis, University of Glasgow, 2016.
- [19] Tidy, T.E.R.; “Modelling of Volumetric Solar Receivers With Nanoparticle Suspensions“, Ph.D Thesis, University of Evora, 2015.

Application of nanofluids for heat transfer enhancement in solar water heaters

M. R. Jafari Nasr^{1,*}, S. F. Hosseini²

1. Professor in Chemical Engineering, Chem. Eng. Dept., Science & Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. MSc in Chemical Engineering, Chem. Eng. Dept., Science & Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: February 2017, Revised: June 2017, Accepted: September 2017

Abstract: In this study, techniques for heat transfer enhancement reviewed. Application of nanofluids was studied as a new technique for more energy saving and heat recovery. Transys version17 simulation was used for prediction of thermal efficiency of water and various nanofluids in a flat plate solar collector. Nano fluids that were used in this simulation analysis are copper oxide, copper, and alumina. The results show that the heat transfer and thermal efficiency of copper nanofluid are greater than other working fluids while the exergy efficiency of alumina is greater. Gambit 2.4.6 was used for our CFD calculation along with the Fluent version17.2. We used a model to numerically simulate the heat transfer. The governing equations and corresponding boundary conditions are converted to dimensionless forms and solved numerically by the finite element method. The results show that efficiency of copper is 67% and it is greater than alumina and copper oxide efficiency.

Keywords: Free convection heat transfer, Collector, Solar heater water, Solar energy, Modeling, Simulation, 2D