



Code:2iceas100771

Certification of Oral Presentation

Faisal Rashid Alomairi

Dear Researcher

This is to certify that the paper entitled:

« **A comparative analysis of metal oxides nanofluids and MWCNT nanofluids on the thermal efficiency of flat-plate solar collectors** »

Has been approved by the scientific committee of "The 2nd International Conference on Engineering and Applied Sciences" held on the 21st of July 2016 at UAE-DUBAI.

Chairman of Conference
Professor Piero Formica



المقارنة بين تأثيرات نانوسوائل الأكاسيد المعادن و نانوسوائل الأنابيب الدقيقة متعددة الجدران الكربونية (MWCNT) على الكفاءة الحرارية لكالكاتور الشاشة الشمسية المسطحة

فيصل راشد العميري

طالب الماجستير في قسم الهندسة الميكانيكية – جامعة فردوسي – مشهد
fasil201060@yahoo.com

على كياني فر

أستاذ – ساعد – جامعة فردوسي – مشهد
a-kiani@um.ac.ir

الخلاصة :

استناداً للقدرات الهائلة التي تمتلكها نانوسوائل في تحسين عملية الانتقال الحراري وزيادة كفاءة أنظمة التدفئة . قد حظي بأهتمام جدي التحقيق في استخدام النانو سوائل كبديل عن السوائل الشائعة الأستعمال في أنظمة التدفئة المختلفة ، وعلى وجه الخصوص أنظمة الطاقة الشمسية . في هذه البحث ، أستعرض تأثير ثلاثة أنواع من النانوسوائل الكثيرة الأستخدام في زيادة الكفاءة الحرارية لكالكاتور الشاشة الشمسية المسطحة والتي تعتبر الجزء الأهم لأنظمة تسخين الطاقة الشمسية . أن كافة الأختبارات خضعت لجميع معايير ذات الصلة و أجريت في الأيام المشمسة ، والنتائج التي تم الحصول عليها تكشف عن أن كانيات عالية للنانوسوائل انابيب النانو كربون تعدد الجدران في زيادة أداء الكالكاتورات الشمسية مقارنة بنوعين آخرين من النانوسوائل . أيضاً مقارنة بنوعين من نانوسوائل أكاسيد المعادن ، نانوسوائل أكسيد الألمنيوم و نانوسوائل أكسيد السليسيوم ، تبين أن نانوسوائل أكسيد الألمنيوم يتمتع بأفضلية في تحسين أداء كالكاتورات الشاشة الشمسية المسطحة . على الرغم من أن نانوسوائل أكسيد السليسيوم وفقاً لانتقال الحراري المنخفض نسبياً ، يمكن الأخذ بنظر الأعتبار أستخدامها كنانوسوائل لزيادة كفاءة كالكاتورات الشاشة الشمسية المسطحة . ايضاً في هذه الدراسة ، تم أستعراض تأثير المادة الرابطة التي تعمل على أستدابة وتحسين أداء هذه النانوسوائل في كالكاتور الشاشة الشمسية المسطحة .

المفردات الرئيسية :

نانوسوائل أكاسيد المعادن ، أنابيب النانوكربون ، تعدد الجدران ، كالكاتور الشاشة الشمسية المسطح .

مقایسه تاثیرات نانوسیالات اکسید فلزی و نانولوله‌های چند دیواره ای کربنی (MWCNT) بر بازدهی حرارتی کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی

فیصل راشد العمیری

دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک - دانشگاه فردوسی مشهد
a-kiani@um.ac.ir

علی کیانی‌فر

دانشیار - دانشگاه فردوسی مشهد
fasil201060@yahoo.com

چکیده

با توجه به قابلیت‌های چشمگیر نانوسیالات در بهبود فرایندهای انتقال حرارت و افزایش بازدهی حرارتی سیستم‌های گرمایی، بررسی استفاده از نانوسیالات به عنوان جایگزین سیالات متداول در سیستم‌های مختلف حرارتی به ویژه سیستم‌های انرژی خورشیدی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش، اثر سه نوع نانوسیال پرکاربرد بر افزایش بازدهی حرارتی کالکتور صفحه تخت خورشیدی به عنوان مهم‌ترین جز آبرگرم‌های خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته است. تمامی آزمایشات با رعایت استانداردهای مربوطه و در روزهای آفتابی انجام گرفته‌اند. نتایج به دست آمده نشان از پتانسیل بالای نانوسیال آب/ نانوتیوب‌های چند دیواره‌ای کربنی در افزایش عملکرد کالکتورهای خورشیدی نسبت به دو نوع دیگر نانوسیالات دارند. همچنین با مقایسه دو نوع نانوسیال اکسید فلزی، نانوسیال اکسید آلومینوم و نانوسیال اکسید سیلیسیم، مشخص گردید که نانوسیال آلومینوم اکسید توانایی بهتری در بهبود عملکرد کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی ایفا می‌نماید اگرچه نانوسیال سیلیسیم اکسید نیز با توجه به ضریب هدایت حرارتی نسبتاً پایینش، می‌تواند به عنوان نانوسیالی برای افزایش بازدهی کالکتورهای خورشیدی در نظر گرفته شود. همچنین در این پژوهش اثر ماده‌ی پایدارساز بر پایداری و بهبود عملکرد این نانوسیالات در کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی مورد بررسی قرار گرفت.

واژگان کلیدی: نانوسیالات اکسید فلزی، نانولوله‌های چنددیواره‌ای کربنی، کالکتور صفحه تخت خورشیدی

مقدمه

سیالات رایج مانند آب، اتیلن گلیکل^۱ (ضد یخ) و انواع روغن‌ها، نقش بسیار مهمی را در انواع فرآیندهای صنعتی مانند فرآیندهای گرمایش و سرمایش، فرآیندهای شیمیایی و میکروالکترونیک ایفا می‌کنند، ولی متأسفانه این سیالات هدایت حرارتی نسبتاً پایینی داشته و در نتیجه نمی‌توانند به درجه حرارت‌های بالایی برای تبادل و انتقال گرما به تجهیزات مهندسی و گرمایی دست پیدا کنند. یکی از شیوه‌های نوین مقابله بر این مشکل، استفاده از ذرات معلق جامد در این سیالات رایج برای بالا بردن هدایت حرارتی می‌باشد، این ذرات که در ابعاد نانو (۰-۱۰۰ نانومتر) می‌باشند، هنگامی که در سیالات پایه متداول معلق می‌گردند، نانوسیالات را به وجود می‌آورند. چوی^۲ اولین فردی بود که اصطلاح نانوسیال را در سال ۱۹۹۵ بکار برد (Mahian et al, 2013). مقایسه‌های انجام شده میان نانوسیالات، با دیگر ابعاد ذرات معلق در سیال پایه، مانند ابعاد میکرونی و میلیمتری نشان از این دارد که نانوسیالات دارای پایداری و هدایت حرارتی بسیار بیشتری هستند (Li et al, 2009). در سال‌های اخیر، تحقیقات بسیاری بر تاثیر نانوسیال، بر افزایش میزان انتقال گرما در تجهیزات گرمایی، اعم از تئوری و آزمایشگاهی انجام گردیده است. محققان روش‌های متنوع و مختلفی را برای محاسبه‌ی مشخصات ترموفیزیکی نانوسیال مانند هدایت گرمایی، لزجت^۳، چگالی، ظرفیت گرمایی ویژه و دیگر مشخصات بکار برده اند (Vajiha et al, 2013). بالا بردن توانایی‌های گرمایی نانو سیالات، توانسته همچون سیستم‌های گرمایش و سرمایش، موجب نوآوری‌های فراوان و مهمی در زمینه‌ی تقویت انتقال حرارت، در قسمت‌های مهم صنعتی چون حمل و نقل، تولید انرژی، محصولات میکروبی، گرما درمانی برای درمان سرطان و قسمت‌های گوناگون متالورژیکی و شیمیایی گردد (Ding et al, 2007). اما در میان کاربردهای متفاوت و گسترده نانوسیالات، استفاده آنها در انرژی‌های تجدیدپذیر به خصوص در انرژی خورشیدی بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

در سال‌های اخیر به دلیل محدودیت سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های محیط زیستی و همچنین افزایش روز افزون قیمت آنها، استفاده از انرژی‌های جایگزین مانند انرژی خورشیدی به ویژه در سیستم‌های آب گرمکن خورشیدی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. یکی از مهمترین اجزای آب گرمکن‌های خورشیدی، کالکتورهای خورشیدی می‌باشند. این وسایل با جذب انرژی تابشی خورشید، آن را به صورت گرما به سیال جاری در کالکتور (معمولاً هوا، آب یا روغن) منتقل و به وسیله‌ی یک مبدل حرارتی، موجب گرم شدن آب مصرفی می‌گردند (Kalogirou, 2009). کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی به دلیل سادگی طراحی، عملکرد مناسب و تعداد اجزای مکانیکی کمتر، پرکاربردترین و مشهورترین نوع کالکتورهای خورشیدی برای سیستم‌های آب گرم‌کن خورشیدی می‌باشند. به همین دلیل در این پژوهش، این نوع کالکتورها در سیستم آبگرمکن خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته شده است (Shojaeizadeh et al, 2014).

نانوسیالات عموماً ظرفیت حرارتی پایین‌تری نسبت به سیالات متداول دارند، بنابراین، استفاده از نانوسیالات در کالکتورهای خورشیدی، موجب بالا رفتن دمای خروجی از کالکتور می‌شود که همین امر یعنی دمای بالاتر خروجی سیال برای بسیاری از کاربردها به ویژه گرمایش ساختمان بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Godson et al, 2010). تاکنون پژوهش‌های زیادی بر کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی در حالتی که از نانوسیالات به عنوان سیال عامل در کالکتور استفاده شود، انجام پذیرفته است، با این حال در این پژوهش سعی شده است که یک بررسی جامعی میان تاثیرات استفاده از نانوسیالات اکسید فلزی و نانولوله‌های کربنی^۴ بر بازدهی حرارتی کالکتور خورشیدی انجام گیرد. البته لازم به ذکر است که علاوه بر تحلیل قانون اول ترمودینامیک و بررسی تاثیر نانوسیالات بر افزایش بازدهی حرارتی کالکتور، از روش‌های دیگری نیز می‌توان برای بهبود و

¹ Ethylene glycol

² Choi

³ Viscosity

⁴ Carbon Nanotubes

بهینه نمودن عملکرد کالکتورهای خورشیدی بهره نمود. کاهش تولید انرژی یکی از روش‌های بهینه‌سازی عملکرد در سیستم‌های گرمایی و یافتن راهی برای کاهش کار از دست رفته است (Farahat et al, 2009). در سال ۲۰۱۳، علیم و همکاران (Alim et al, 2013) به بررسی تولید انرژی چند نوع نانوسیال در کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی به صورت تئوری پرداخته و مقدار تولید انرژی را برای کالکتور در دبی‌های مختلف بررسی نموده‌اند. اما همانطور که پیشتر گفته شد، در این پژوهش بازدهی حرارتی سه نوع از پرکاربردترین نانوسیالاتی که تاکنون در کالکتور خورشیدی مورد استفاده آزمایشگاهی و در شرایط کاری قرار گرفته‌اند مورد بحث و بررسی قرار خواهند گیرند.

پایداری و هزینه‌ی نانوسیالات

قبل از بررسی بازدهی نانوسیالات در کالکتور خورشیدی لازم است که به دو نکته‌ی بسیار مهم توجه داشت. پایداری نانوسیالات رابطه‌ی مستقیمی با طرز تهیه‌ی نانوذرات و نانوسیالات دارند و به دلیل اینکه نانوسیالات دارای مواد جامد معلق می‌باشند، بررسی کامل پایداری نانوسیالات بسیار حایز اهمیت است. به دلیل نسبت بالای مساحت سطح به حجم، به مرور زمان نانوذرات تمایل به جسیدگی و خوشه‌ای شدن^۵ دارند (Saidur et al, 2011). این خوشه‌ای شدن نانوذرات موجب ته‌نشینی و گرفتگی لوله‌ها می‌گردد و همچنین ضریب انتقال حرارت نانوسیال را نیز کاهش می‌دهد. در نتیجه، برای بهبود عملکرد نانوسیالات، بررسی و آزمایش فاکتورهای مهم که بر پایداری نانوسیالات تاثیر می‌گذارد ضروری به نظر می‌رسد. پایداری نانوسیالات را می‌توان با روش‌های مختلف بهبود بخشید. یکی از روش‌های موثر استفاده از پایدارسازها^۶ می‌باشد که موجب افزایش پایداری نانوذرات پخش شده در نانوسیال می‌شوند (Ghadimi et al, 2013). اگرچه به دلیل چرخه‌های حرارتی و سرمایش که در فرایندهای انتقال حرارت رخ می‌دهد، مواد پایدارساز تمایل به ایجاد نمودن کف دارند که تاثیر منفی بر لزجت و هدایت حرارتی نانوسیال می‌گذارد (Mingzheng et al, 2012). نکته مهم دیگری که باید در استفاد از نانوسیالات به آن توجه نمود، هزینه‌ی نسبتا بالای نانوذرات می‌باشد. بنابراین، کمترین غلظت نانوذرات ممکن در نانوسیال که نسبتا بالاترین میزان هدایت حرارتی را ایجاد نماید، باید برای ترکیب نمودن در نانوسیال مورد استفاده قرار گیرد تا نانوسیالی با هدایت حرارتی بالا و ضریب هدایت حرارتی مناسبی ایجاد شود (Saidur et al, 2011). این نکته به این دلیل حایز اهمیت است که نانوسیالات با غلظت نانوذرات کمتر دارای پایداری بالاتر نیز می‌باشند.

محاسبات بازدهی حرارتی

در پژوهش‌های مورد بررسی قرار گرفته، پس از اطمینان از رعایت استانداردهای اشرفی^۷ و رسیدن به شرایط پایدار، مقدار دماهای ورود، خروج، محیط و مقدار تابش در بازه‌های زمانی مناسب اندازه‌گیری شده‌اند. بازدهی حرارتی کالکتور صفحه تخت خورشیدی مطابق با رابطه (۱) به دست می‌آید (Javadi et al, 2013).

$$\eta = \frac{\dot{m} C_{p,nf} (T_o - T_i)}{A G_T} \quad (1)$$

به طوری که \dot{m} دبی جرمی سیال، $C_{p,nf}$ ظرفیت حرارتی نانوسیال، T_o و T_i دماهای ورود و خروج از کالکتور خورشیدی، A مساحت سطح جاذب کالکتور و G_T میزان تابش دریافتی لحظه‌ای در سطح کالکتور می‌باشند.

⁵ aggregation

⁶ Surfactants

⁷ ASHREA Standard

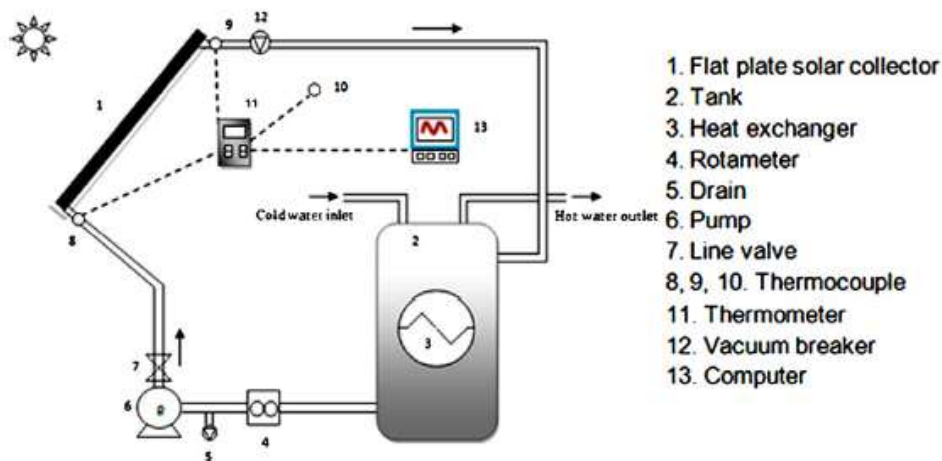
همچنین بازدهی کالکتور صفحه تخت خورشیدی را می توان به صورت اختلاف کل انرژی دریافتی کالکتور با انرژی هدر رفته از سطح کالکتور، تقسیم بر انرژی کل تابشی بر سطح کالکتور به صورت رابطه (۲) نیز بازنویسی نمود (Javadi et al, 2013).

$$\eta = F_R (\tau\alpha)_n - F_R U_L \left(\frac{T_i - T_a}{G_T} \right) \quad (2)$$

در این رابطه نیز، F_R ضریب اخذ کالکتور، $(\tau\alpha)_n$ بازدهی نوری و U_L ضریب افت حرارت کالکتور می باشند. با رسم نمودار بازدهی بر حسب پارامتر کاهش دما $(T_i - T_a / G_T)$ یک خط راست به دست می آید، که محل برخورد خط با نمودار عمودی پارامتر $F_R (\tau\alpha)_n$ یا پارامتر انرژی دریافتی را نشان می دهد و شیب این خط نشان دهنده $F_R U_L$ یا پارامتر انرژی از دست رفته می باشد.

بررسی های آزمایشگاهی استفاده از نانوسیالات بر بازدهی کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی

تاثیر استفاده از نانوسیال آب/نانولوله های چند دیواره ای کربنی ^۸ (MWCNT) به عنوان سیال انتقال حرارت دهنده بر بازدهی کالکتور صفحه تخت خورشیدی با مساحت ۲ متر مربع مورد بررسی تجربی قرار گرفته است (Yousefi et al, 2012). نانولوله های چند دیواره ای کربنی استفاده شده دارای قطر خارجی بین ۱۰ تا ۳۰ نانومتر و غلظت وزنی ۰/۲ و ۰/۴ درصد می باشند، همچنین تریتون ایکس ۱۰۰^۹ به عنوان ماده پایدارساز در نظر گرفته شده است. کالکتور صفحه تخت خورشیدی مورد استفاده دارای فرم آلومینیومی و صفحه جاذب مسی می باشد که قطر لوله های افقی و عمودی به ترتیب ۲۲ و ۱۰ میلی متر هستند و شیشه ای به ضخامت ۴ میلی متر بر روی صفحه جاذب قرار داده شده است. همچنین از یک پمپ گردش ^{۱۰} برای ایجاد جریان اجباری در سیکل نشان داده شده در تصویر شماره ۱ استفاده شده است.



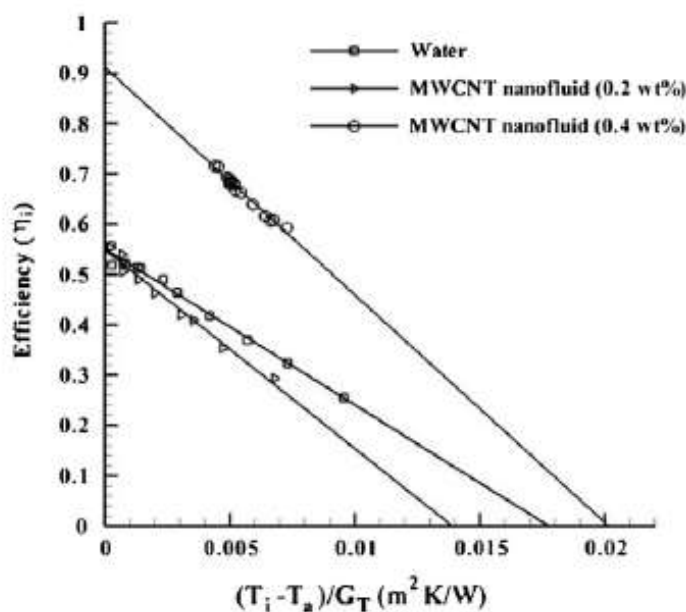
تصویر شماره ۱- تصویر شماتیکی سیستم آزمایشی آب گرم کن خورشید

^۸ Multi Wall Carbon Nanotube

^۹ Triton X-100

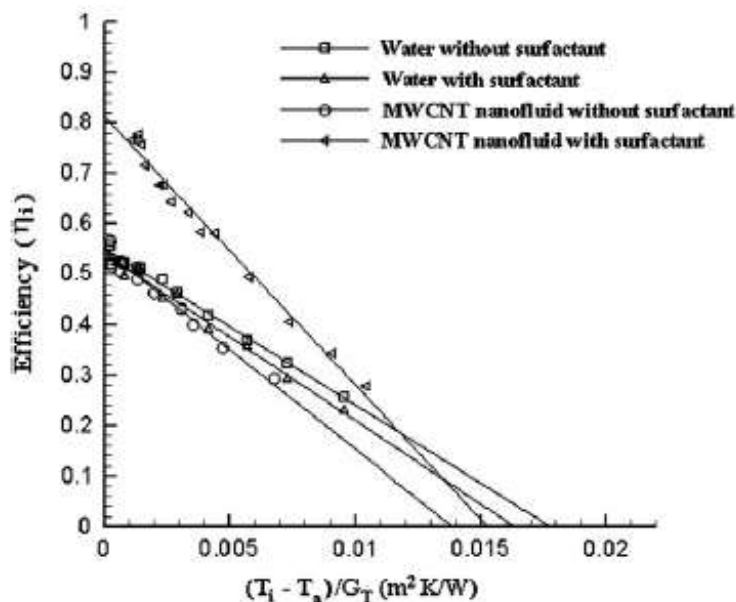
^{۱۰} Circulator pump

همانطور که از تصویر شماره ۱ مشخص می‌باشد سیستم خورشیدی دارای یک تانک ۴۱ لیتری و یک مبدل حرارتی داخلی می‌باشد که حرارت جذب شده از کالکتور را به آب داخل تانک منتقل می‌نماید. دبی جرمی جریان نانوسیال در این پژوهش بین ۰/۱۶۷ و ۰/۰۵ قرار دارد. آزمایشات بین ساعات ۱۰ صبح تا ۳ بعدازظهر با در نظر گرفتن استاندارد اشرفی انجام گرفته‌اند. نانوسیالی که بدون استفاده از پایدارساز تهیه شدند بسیار ناپایدار بودند در حالی که نانوسیال با استفاده از تریتون ایکس ۱۰۰ تا حدود ۱۰ روز پایداری خود را حفظ کردند. نتایج نشان می‌دهند که مطابق نمودار تصویر شماره ۲ در غلظت جرمی ۰/۲، نانوسیال آب/ نانولوله‌های چند دیواره‌ای کربنی بدون ماده پایدارساز، بازدهی کالکتور حتی از حالتی که از آب به عنوان سیال کاری استفاده می‌شود نیز کمتر است و افزایش چشمگیر زمانی مشاهده شد که غلظت نانوسیال از ۰/۲ به ۰/۴ افزایش پیدا کرد.



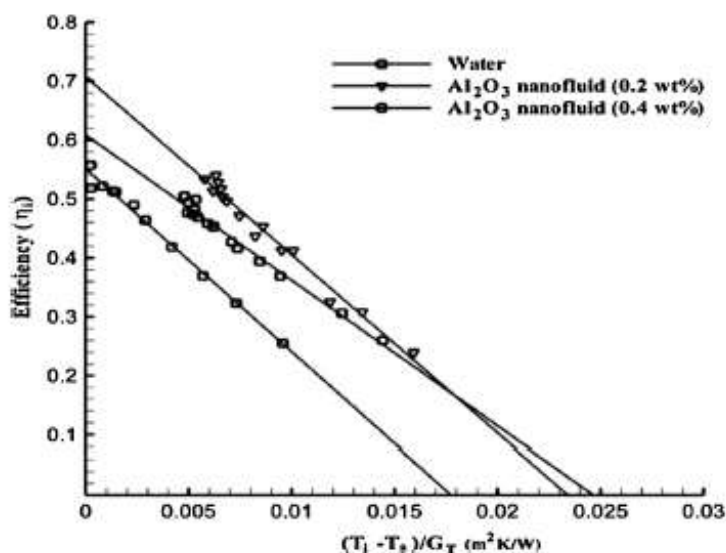
تصویر شماره ۲- بازدهی کالکتور خورشیدی با استفاده از نانوسیال آب/نانولوله‌های کربنی چند دیواره و بدون ماده پایدارساز در دبی جرمی ۰/۰۵ کیلوگرم بر ثانیه

همچنین مطابق نمودار تصویر شماره ۳ مشخص می‌گردد که استفاده از پایدارساز تریتون ایکس ۱۰۰ به دلیل ایجاد کف می‌تواند اثر مخربی بر بازدهی کالکتور داشته باشد. همچنین با افزودن پایدارساز به نانوسیال با غلظت ۰/۲ درصد، در بیشتر مقادیر پارامتر کاهش دما، بازدهی افزایش قابل توجهی می‌یابد. لازم به ذکر است که مقادیر بازدهی حرارتی برای آب با پایدارساز و بدون پایدارساز و نانوسیال با غلظت ۰/۲ درصد بدون پایدارساز تفاوت چندانی ندارد و تقریباً در بیشتر مقادیر پارامتر کاهش دما با یکدیگر برابر هستند.

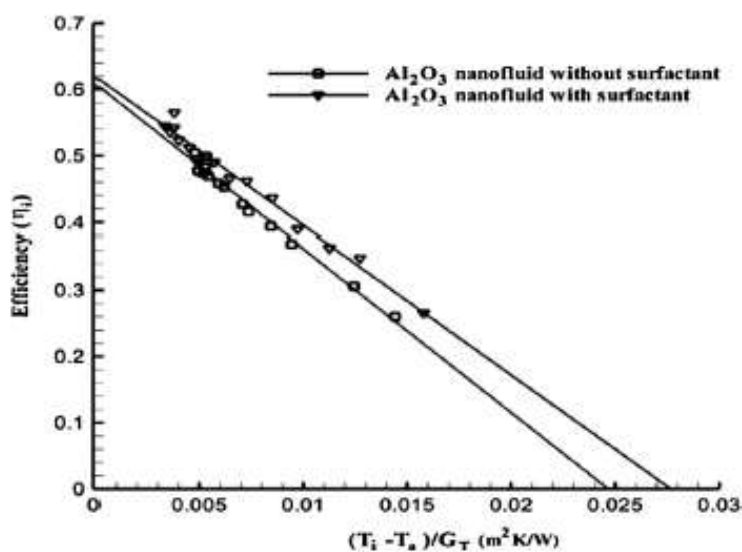


تصویر شماره ۳- بازدهی کالکتور خورشیدی با استفاده از نانوسیال آب/نانولوله های کربنی چند دیواره با غلظت ۰/۲ درصد جرمی در دبی جرمی ۰/۰۵ کیلوگرم بر ثانیه

برای این تحقیق، می توان نتیجه گرفت که نانوسیالات آب/ نانولوله های چند دیواره ای کربنی موجب افزایش بسیار مناسب بازدهی کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی می شوند. اگرچه، پایداری نانوسیال و کاهش کیفیت عملکرد نانوسیال به دلیل استفاده از ماده پایدارساز باید در نظر گرفته شوند. همچنین در این تحقیق هیچ گونه اطلاعاتی برای تاثیر دماهای بالا (دماهای بالاتر از ۶۰ درجه) بر کالکتور خورشیدی داده نشده است که می تواند بر پایداری نانوذرات تاثیر گذار باشد. زیرا در دماهای بالا ارتباط بین ماده پایدارساز و نانوذرات قطع می شود که این موضوع موجب کاهش پایداری و ته نشینی در نانوسیال می گردد. با استفاده از سیستم خورشیدی آزمایش شرح داده شده در قسمت قبل، یوسفی و همکاران (Yousefi et al, 2012) تاثیر استفاده از نانوسیال اکسید آلومینوم/ آب را با استفاده از تریتون ایکس ۱۰۰ و بدون آن بر بازدهی کالکتور صفحه تخت خورشیدی مورد بررسی قرار دادند. نانوذرات دارای قطر ۱۵ نانومتر و غلظت ۰/۲ و ۰/۴ درصد جرمی و دبی جرمی نانوسیال نیز بین ۱ تا ۳ لیتر بر دقیقه می باشند. و آزمایشات بین ساعات ۱۰ صبح تا ۳ بعدازظهر با در نظر گرفتن استاندارد شماره ۹۳ اثری انجام گرفته اند. همانطور که در نمودار تصویر شماره ۴ نانوسیالات بدون پایدارساز غیر پایدار بودند و نانوسیال با پایدارساز حدود ۳ روز پایدار ماند. در دبی ۳ لیتر بر دقیقه و بدون پایدارساز، بازدهی کالکتور صفحه تخت خورشیدی با استفاده از نانوسیال بیشتر از آب نشان داده شده است. همچنین برای رنج گسترده ای پارامتر کاهش دما مقدار بازدهی برای نانوسیال با غلظت ۰/۲ بیشتر از غلظت ۰/۴ می باشد و برای نانوسیال با غلظت ۰/۲ درصد، بازدهی حدود ۲۸/۳ درصد بیشتر از آب می باشد. همچنین با توجه به تصویر شماره ۵ می توان دریافت که اضافه نمودن تریتون ایکس ۱۰۰ به نانوسیال با غلظت ۰/۴ تاثیر مثبتی بر بازدهی کالکتور گذاشته است با بیشترین بازدهی ۱۵/۶۳ درصد.

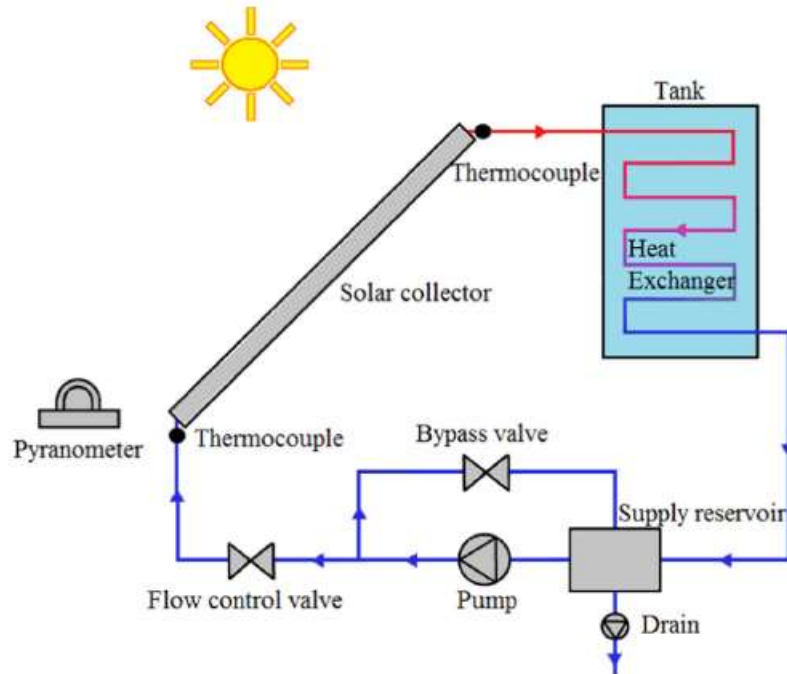


تصویر شماره ۴- بازدهی کالکتور خورشیدی با استفاده از نانوسیال آب/ اکسید آلومینوم و بدون ماده پایدارساز



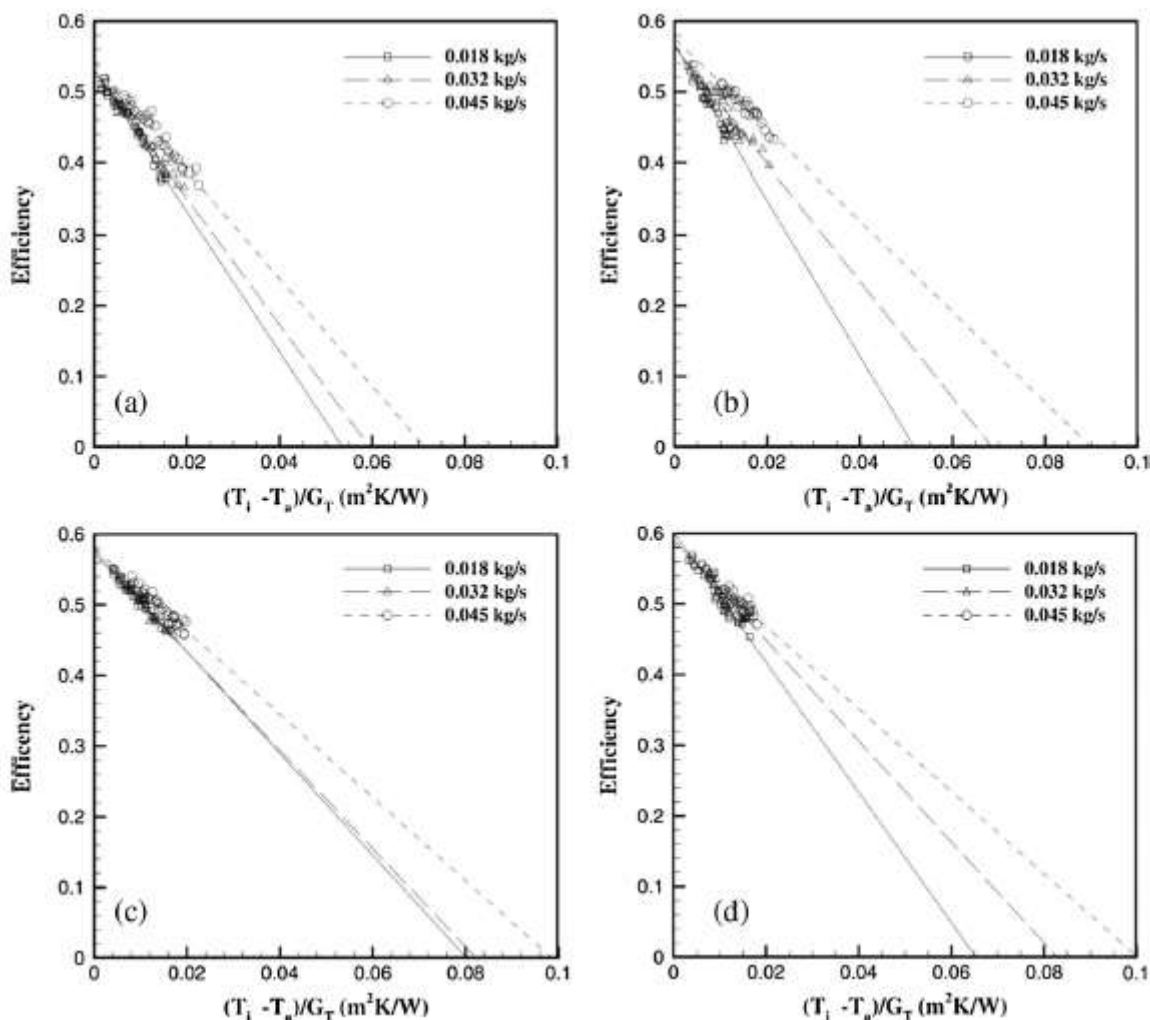
تصویر شماره ۵- بازدهی کالکتور خورشیدی با استفاده از نانوسیال آب/ اکسید آلومینوم با غلظت ۰/۴ درصد جرمی

به طور خلاصه می توان از این تحقیق نتیجه گیری نمود که استفاده از نانوسیال اکسید آلومینوم/ آب باعث بالاتر رفتن بازدهی کالکتور صفحه تخت خورشیدی می گردد هرچند این مقدار کمتر از نانوسیال آب/ نانولوله های چند دیواره ای کربنی است. پایداری این نانوسیال نیز باید در دماهای بالا مورد مطالعه قرار گیرد. با استفاده از سیکل سیستم آزمایشگاهی نشان داده شده در تصویر شماره ۶، تاثیر استفاده از نانوسیال سیلیسیم اکسید/آب- اتیلن گلیکل به عنوان سالی عامل بر کالکتور صفحه تخت خورشیدی با مساحت ۱/۵۹ متر مربع مورد بررسی قرار گرفته است (Meibodi et al, 2012).



تصویر شماره ۶- تصویر شماتیکی سیستم آزمایشی آب گرم کن خورشید میبیدی و همکاران

اندازه نانوذرات ۴۰ نانومتر و غلظت‌های نانوسیالات به ترتیب ۰/۵، ۰/۷۵ و یک در نظر گرفته شده است. نسبت حجمی آب و اتیلن گلیکل برابر و دبی جرمی سیال عامل نیز ۰/۰۱۸، ۰/۰۳۲ و ۰/۰۴۵ کیلوگرم بر ثانیه می باشد. با چشم غیر مسلح، هیچ گونه ته‌نشینی بعد از حدود ۲ هفته مشاهده نگردید. با توجه به پایین بودن ضریب هدایت حرارتی نانوسیال سیلیکا، برای حالتی که غلظت نانوسیال ۱ درصد حجمی باشد نتایج نشان از افزایش بازدهی حرارتی کالکتور به میزان ۸ درصد دارند. با توجه به نمودارهای تصویر شماره ۷، به دلیل اینکه مقادیر بازدهی های حرارتی کالکتور برای نانوسیال با غلظت های ۰/۷۵ و یک درصد حجمی نسبتا به هم نزدیک هستند، توصیه شده است که از درصد حجمی کمتر نانوسیال استفاده شود تا هم هزینه استفاده از نانوسیال کاهش و هم پایداری آن افزایش یابد. همچنین نتایج نشان از امکان افزایش بازدهی کالکتور صفحه تخت خورشیدی با استفاده از نانوسیال اکسید سیلیسیوم دارند. اگرچه می‌توان دریافت که بهبود عملکرد کالکتور صفحه تخت خورشیدی از میزان افزایش آن توسط دیگر انواع نانوسیالات با یک غلظت بسیار کمتر است.



تصویر شماره ۷- بازدهی کالکتور صفحه تخت خورشیدی در غلظت‌ها و دبی‌های جرمی متفاوت: تصویر (a) ۰ درصد حجمی، تصویر (b) ۵/۰ درصد حجمی، تصویر (c) ۷۵/۰ درصد حجمی و تصویر (d) ۱۰۰ درصد حجمی.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، بازدهی کالکتور صفحه تخت خورشیدی با استفاده از دو نوع نانوسیال اکسید فلزی و یک نوع نانوسیال نانوتیوب‌های کربنی مورد بحث و بررسی قرار گرفت. همانطور در متن نیز به آن اشاره گردید، نانوسیال آب/ نانوتیوب‌های چند دیواره‌ای کربنی با دارا بودن ضریب انتقال حرارتی بسیار بالا، افزایش چشمگیری در بازدهی کالکتور صفحه تخت خورشیدی ایجاد نمودند که در شرایطی بازدهی حرارتی کالکتور را به حدود ۹۰ درصد نیز رساندند و به طور کلی، افزایش بازدهی کالکتور در زمان‌هایی که دمای ورودی به کالکتور به دمای محیط نزدیک باشد، چشمگیرتر می‌باشد. در بین دو نوع دیگر نانوسیالات اکسید فلزی مورد بررسی قرار گرفته نانوسیال اکسید آلومینیوم عملکرد بهتری در داخل کالکتور نسبت به نانوسیال اکسید سیلیسیم از خود نشان داد. که این موضوع را هم می‌توان مربوط به بالا بودن ضریب انتقال حرارتی اکسید

آلمینوم نسبت به اکسید سیلیسیوم دانست به طوری که ضریب هدایت حرارتی اکسید سیلیسیوم حدود $1/4$ و اکسید آلومینوم حدود 40 وات بر متر بر کلون می باشد.

همچنین با مشاهده نتایج می توان دریافت که افزودن ماده پایدارساز اگرچه ممکن است باعث ایجاد کف و اندکی کاهش در انتقال حرارت شود، اما تاثیر بسیار مناسبی بر بازدهی کالکتور صفحه تخت خورشیدی برای تمامی انواع نانوسیالات دارد. ماده پایدارساز با توجه به قیمت مناسب نسبت به نانوذرات می تواند روشی بسیار موثر در بهبود عملکرد نانوسیالات در سیستم های آبگرم کن های خورشیدی در نظر گرفته شود.

لازم به ذکر است تحقیقات بیشتر در زمینه بررسی تاثیرات استفاده از دیگر انواع نانوسیالات مانند نانوسیالات مغناطیسی در کالکتورهای خورشیدی و همچنین تاثیرات این نوع نانوسیالات بر دیگر انواع کالکتور مانند کالکتورهای سهموی و لوله خلا لازم و ضروری به نظر می رسد. همچنین پیشنهاد می گردد برای بهبود هر چه بیشتر عملکرد نانوسیالات در سیستم های حرارتی مطالعات بیشتری بر انواع دیگر مواد پایدارسازها و تاثیرات آن ها بر پایداری نانوسیالات هم در دماهای پایین و دمای بالا انجام گیرد.

منابع

- O. Mahian, A. Kianifar, S. Kalogirou, I. Pop, S. Wongwises (2013), A review of the applications of nanofluids in solar energy , *International Journal of Heat and Mass Transfer* 57 (2013) 582–594
- Y. Li, J. Zhou, S. Tung, E. Schneider, S. Xi (2009). A review on development of nanofluid preparation and characterization, *Powder Technol.* 196 (2009) 89–101.
- R.S. Vajjha, D.K. Das (2012). A review and analysis on influence of temperature and concentration of nanofluids on thermophysical properties, heat transfer and pumping power, *International Journal of Heat Mass Transfer* 55 (2012) 4063-4078.
- Y. Ding, H. Chen, L. Wang, C.-Y. Yang, Y. He, W. Yang, W.P. Lee, L. Zhang, R. Huo (2007), Heat transfer intensification using nanofluids , *Kona*, Nr. 25 (2007) 23–38.
- S.A. Kalogirou (2009), *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*, Elsevier, Oxford, 2009
- E. Shojaeizadeh, F. Veysi, T. Yousefi, F. Davodi (2014), An experimental investigation on the efficiency of a Flat-plate solar collector with binary working fluid: A case study of propylene glycol (PG)–water, *Experimental Thermal and Fluid Science* 53 (2014) 218–226
- L. Godson, B. Raja, D. Mohan, S. Wongwises (2010), Enhancement of heat transfer using nanofluids – An overview, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14 (2010) 629-641.
- S. Farahat, F. Sarhaddi, H. Ajam (2009), Exergetic optimization of flat plate solar collectors, *Renewable Energy* 34 (2009) 1169–1174
- M.A. Alim, Z. Abdin, R. Saidur, A. Hepbasli, M.A. Khairul, N.A. Rahim (2013), Analyses of entropy generation and pressure drop for a conventional flat plate solar collector using different types of metal oxide nanofluids. *Energy and Buildings* 66 (2013) 289–296
- Saidur, R., Leong, K.Y., Mohammad, H.A., (2011). A review on applications and challenges of nanofluids. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15 (3), 1646–1668.
- Ghadimi, A., Metselaar, I.H., (2013). The influence of surfactant an ultrasonic processing on improvement of stability, thermal conductivity and viscosity of titania nanofluid. *Exp. Thermal Fluid Sci.* 51, 1–9.
- Mingzheng, Z., Guodong, X., Jian, L., Lei, C., Lijun, Z., (2012). Analysis of factors influencing thermal conductivity and viscosity in different kinds of surfactant solutions. *Exp. Thermal Fluid Sci.* 36, 22–29.
- Javadi, F.S., Saidur, R., Kamalisarvestani, M., (2013). Investigating performance improvement of solar collectors by using nanofluids. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 28, 232–245.
- T. Yousefi, F. Veysi, E. Shojaeizadeh, S. Zinadini, (2012). An experimental investigation on the effect of MWCNT–H₂O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collector, *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 39 (2012) 207–212.

- T. Yousefi, F. Veysi, E. Shojaeizadeh, S. Zinadini, (2012). An experimental investigation on the effect of Al₂O₃-H₂O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors, *Renew. Energy*, 39 (2012) 293–298.
- S.S. Meibodi, A.Kianifar, H. Niazmand, O. Mahian, S. Wongwise (2015), Experimental investigation on the thermal efficiency and performance characteristics of a flat plate solar collector using SiO₂/EG-water nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 65 (2015) 71–75