

بررسی تجربی کاربرد نانوسیالات در گردآورنده‌های خورشیدی صفحه تخت

سیدامیرحسین زمزمیان*
استادیار، گروه پژوهشی انرژی خورشیدی، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج - مشکین دشت، ایران
میلاد تاجیک
کارشناس ارشد، گروه پژوهشی انرژی خورشیدی، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج - مشکین دشت، ایران
احسان ایمانی
کارشناس ارشد، گروه پژوهشی انرژی خورشیدی، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج - مشکین دشت، ایران

چکیده

هدف از این مقاله، بررسی اثر نانو ذرات بر رانندگی گردآورنده‌های خورشیدی صفحه تخت می باشد. در این مطالعه روش سنتز مستقیم برای آماده سازی نانوسیال مس بر پایه آب به عنوان یک سیال کاری آزمایش (سیال عامل) و در یک گردآورنده خورشیدی (تخت) به کار گرفته شده است. در این شرایط روش ASHRAE 93 برای آزمایش گردآورنده‌های خورشیدی مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به نتایج تجربی حاصل، بازده کلی زمانی که غلظت نانو ذرات مطرح شده بیشتر گردد، افزایش خواهد یافت و نتایج همچنین نشان می دهد که بهره وری گردآورنده خورشیدی تخت در غلظت وزنی $0.05\text{ wt\%}$ در حدود ۲۴ درصد بیشتر از نمونه سیال پایه خالص برای شرایط داده شده می باشد. این مطالعه تایید می کند که نانوسیالات بطور کلی پتانسیل قابل توجهی برای استفاده در گردآورنده‌های خورشیدی دارند.

واژه‌های کلیدی: انتقال حرارت، گردآورنده خورشیدی، صفحه تخت، گرمایش خورشیدی، نانوسیال مس- آب.

Experimental Investigation of Using nanofluids in the Solar Flat plate Collectors

S. A.H. Zamzamian Assistant Professor, Materials and Energy Research Center(MERC), Meshkin-Dasht, Karaj, Iran
M. Tajik Master colleague, Materials and Energy Research Center(MERC), Meshkin-Dasht, Karaj, Iran
E. Imani Master colleague, Materials and Energy Research Center(MERC), Meshkin-Dasht, Karaj, Iran

Abstract

The objectives of this paper are to examine the effect of nanoparticles on flat-plate collector efficiency. This study employs direct synthesis method to prepare Cu-water nanofluid to serve as a working experiment fluid in a solar collector. ASHRAE 93 was used to test the solar collector. According to the experimental results, the collector efficiency was higher when the concentration of nanoparticles was raised and the results show that the efficiency of collector at $0.05\text{ wt\%}$ was approximately 24% more than that of the pure base fluids for given conditions. This study confirms that nanofluids will have considerable potential for use in solar collectors.

Keywords: Heat Transfer; Solar collector; Flat Plate; Solar thermal; Nanofluid.

۱- مقدمه

یکی از مسائلی که امروزه در فرآیندهای انتقال حرارت مطرح می‌شود لزوم افزایش قابل توجه فلاکس حرارتی و کوچک سازی تجهیزات انتقال حرارت است. منابع بسیار زیادی در مورد روشهای افزایش انتقال حرارت در سیستمها گزارش داده اند. موضوعی که حایز اهمیت می باشد و کمتر به آن توجه شده است نقش خواص حرارتی سیالات در انتقال حرارت می باشد. در مسأله بازده انتقال حرارت در تجهیزاتی نظیر مبدل های حرارتی، هدایت حرارتی سیال حامل انرژی و ضریب جابجایی انتقال حرارت نقش اساسی را بر عهده دارند. سیالات متداول در انتقال حرارت و حامل انرژی در صنایع را معمولا سیالاتی نظیر آب، اتیلن گلیکول و روغن ها تشکیل می دهند. به خوبی مشخص است که فلزات در شکل جامد خود دارای هدایت حرارتی بسیار بالایی نسبت به سیالات دارند. به همین دلیل انتظار می رود که سیالات حاوی ذرات جامد فلزی یا اکسید فلزی دارای هدایت حرارتی بیشتری نسبت به سیالات خالص باشند. اندازه بسیار کوچک ذرات استفاده شده و کسر حجمی پایین ذرات نانو مسائلی نظیر ته نشینی و کلوخه شدن را از بین می برد و هزینه های لازم برای نگهداری و انتقال این سیالات را کم می کند و به علت اندازه بسیار کوچک مسئله سائیدگی و آسیب رساندن به سیستمها در مورد این ذرات وجود ندارد. علاوه بر این سطح نسبی بزرگ این ذرات تأثیرات غیر تعادلی بین سیال و جامد را کاهش داده و باعث پایداری سوسپانسیون می شود. همچنین هر چقدر اندازه ذرات کوچکتر باشد سطح نسبی انتقال حرارت آنها بیشتر می شود و در نتیجه بازده حرارتی ذرات معلق که تابعی از سطوح انتقال حرارت می باشد با کاهش اندازه ذرات افزایش می یابد. نانو سیالات طبقه جدیدی از سیالات انتقال حرارت می باشند که از طریق معلق سازی نانوذرات در درون سیالات معمولی و متداول انتقال حرارت که به عنوان سیال پایه شناخته می شوند به دست می آیند. [۱]

لی و همکارانش [۲] نشان دادند که با افزایش درصد حجمی ضریب هدایت حرارتی نانوسیال SiO_2 نیز افزایش می یابد اما این موضوع در مورد نانوسیال بر پایه آب صدق نمی کند. ماسودا و همکارانش [۳] افزایش ۲۰٪ ضریب انتقال حرارت را برای نانو سیال ۳٪ حجمی نشان دادند. سوپیا [۴] کاربرد محیط متخلخل را برای کلکتور دبل پاس بصورت تجربی بررسی کرده است. سیلواکومار و همکارانش [۵] انتقال حرارت روغن به عنوان سیال کاری در کلکتور سهموی خطی را بصورت تجربی بررسی کردند. ستریس [۶] به بیان جزئیات طراحی حرارتی کلکتور سهموی خطی پرداخته است و تمامی فرآیندهای انتقال

حرارت مابین لوله جاذب، لوله شیشه ای و محیط بیرون را بررسی کرده است.

۲- آبرگرمکن های خورشیدی

آبرگرمکن خورشیدی از یک گردآورنده جهت جذب نور آفتاب و تبدیل آن به گرما و انتقال آن به سیال گرم شونده و از یک مخزن جهت ذخیره سازی گرما تشکیل می شود. طراحی های مختلفی که برای آبرگرمکن ها صورت گرفته بیشتر به تفاوت در طراحی گردآورنده و تفاوت در نحوه انتقال گرما از گردآورنده به مخزن مربوط می شود. امروزه دو نوع گردآورنده به طور متداول در ساخت آبرگرمکن های خورشیدی استفاده می شوند، گردآورنده های صفحه تخت (flat-plate) و گردآورنده های لوله خلا (evacuated-tube). گردآورنده های صفحه تخت ساده ترین و پر استفاده ترین نوع گردآورنده به شمار می رود. ساختار آن به شکل یک جعبه مستطیل شکل بوده که در داخل آن یک صفحه جاذب فلزی از جنس مس یا آلومینیوم با پوششی به رنگ های خاص است. این صفحه نور خورشید را جذب و به گرما تبدیل می کند و گرمای تولید شده به سیال جاری در لوله ها منتقل می شود. اطراف گردآورنده به منظور کاهش اتلاف حرارتی عایق بندی شده است. روی سطح جعبه نیز با شیشه یا پلاستیک های شفاف پوشیده شده است [۷ و ۸].

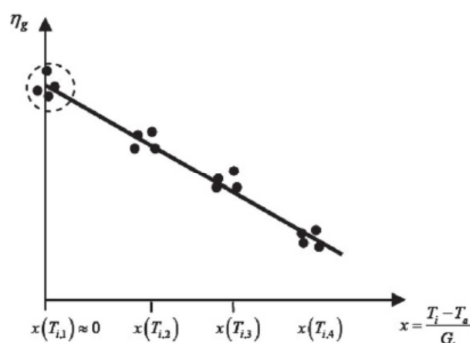
۳- کارائی گردآورنده های خورشیدی صفحه تخت

در گردآورنده های خورشیدی، انرژی مفید خروجی از گردآورنده ، تفاوت انرژی تابشی جذب شده با انرژی گرمایی به هدر رفته از گردآورنده است و یا به عبارتی داریم [۹ و ۱۰].

$$Q_u = A_c (S - U_L (T_{p,m} - T_a)) \quad (1)$$

که در آن A_c سطح جاذب، S انرژی جذب شده در واحد سطح، U_L ضریب اتلاف حرارتی جاذب ناشی از رسانش، تابش و جابجایی، $T_{p,m}$ متوسط دمای سطح جاذب و T_a دمای محیط خواهد بود. به دلیل سختی و در مواردی عدم امکان اندازه گیری $T_{p,m}$ مجبوریم به روشی معادله بالا را بازآرایی کنیم تا بتوان مقدار Q_u را به راحتی توسط پارامترهای قابل اندازه گیری محاسبه کرد. کارایی یک گردآورنده در واقع بیان کننده نحوه عملکرد آن در یک زمان طولانی است. برای یافتن کارایی گردآورنده خورشیدی استانداردهای چون ASHRAE 93، ISO 9806-1 و EN12975-2 وجود دارد. شکل ۷ بازده گردآورنده صفحه تخت را برای استاندارد های مختلف نشان می دهد که توسط کلین و همکارانش به دست آمده است. در این مطالعه از استاندارد ASHRAE 93 استفاده خواهد

در تمام آزمون‌های حالت پایا به صورت استاندارد حداقل به ۱۶ داده برای چهار دمای ورودی مختلف به منظور به دست آوردن منحنی بازده نیاز داریم. یعنی در هر دمای ورودی چهار آزمون صورت می‌گیرد. در شکل ۲ این موضوع به خوبی نشان داده شده. شرایط محیطی برای آزمون کلکتور مطابق با استاندارد ASHRAE 93 در جدول ۱ آمده است.



شکل ۲- داده لازم برای، به دست آوردن کارایی گردآورنده [۱۰]

جدول ۲- شرایط محیطی مورد نیاز برای استاندارد ASHRAE 93 [۱۰]

متغیر	پیشینه مقدار
تابش کل	۷۸۰ W/m ²
نسبت نفوذ	۲۰
سرعت باد	۲/۲ < u < ۴/۵
زاویه تصحیح	۱۰۲٪ < θ < ۹۸٪

این شرایط اگرچه برای تست مطلوب است اما رسیدن به آن همواره ساده نیست. ASHRAE 93 میزان اختلاف قابل قبول برای آنها را نیز در جدول ۲ بیان کرده است.

جدول ۲- پیشینه انحراف برای استفاده از استاندارد ASHRAE 93 [۱۰]

متغیر	پیشینه تعییرات
تابش کل	±۳۲
دمای محیط	± ۱/۵
دمای ورودی	± ۲٪

برای انجام تست نیز ASHRAE 93 پیشنهاد می‌کند که دمای ورودی گردآورنده همدمای محیط باشد لذا زمانی که دمای محیط زیر صفر است با مشکل مواجه خواهیم بود.

۳- جمع‌آوری داده‌های آزمایشگاهی

نمای یک چرخه در شکل ۳ نمایش داده شده است. شرایط محیطی از جمله رطوبت، دمای محیط و سرعت باد را با استفاده

شد. کارایی یک گردآورنده از نسبت انرژی مفید به انرژی تابشی بر روی سطح گردآورنده به دست می‌آید [۹].

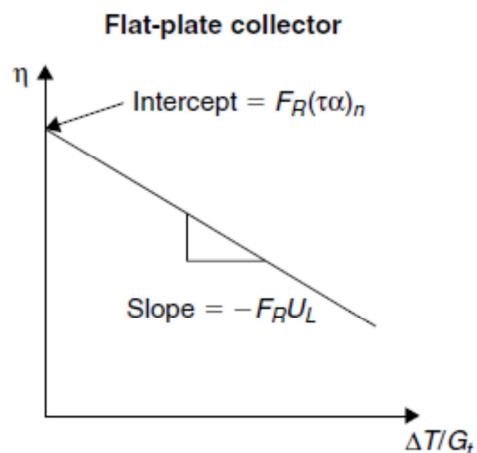
عوامل مختلفی که بر بازدهی یک گردآورنده خورشیدی تأثیرگذار هستند، عبارتند از: تابش پراکنده خورشیدی، تابش مستقیم خورشیدی، شرایط آب و هوایی (باد، باران، برف...)، اتلاف حرارتی (با مکانیزم جابجایی)، اتلاف حرارتی (با مکانیزم شار گرمایی)، تابش حرارتی جاذب، تابش حرارتی شیشه‌ی گردآورنده، بازتابش گردآورنده و غیره. در شرایط پایدار، میزان انرژی جذب شده توسط گردآورنده بر واحد سطح گردآورنده برابر مجموع انرژی مفید منتقل شده به سیال و میزان اتلاف انرژی بر واحد سطح گردآورنده می‌باشد.

$$\dot{Q}_{abs} = \dot{Q}_u + \dot{Q}_L \quad (۱)$$

$$\dot{Q}_u = \dot{m} C_f (T_{f_o} - T_{f_i}) \quad (۲)$$

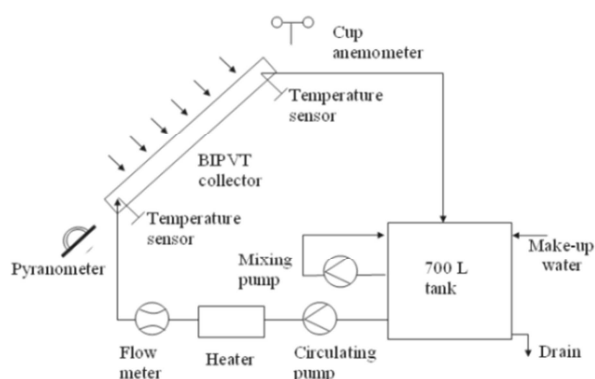
$$\eta_i = \frac{\dot{Q}_u}{A_c I(t)} \quad (۳)$$

که در آن $\dot{Q}_{abs}$ ، $\dot{Q}_u$ و $\dot{Q}_L$ به ترتیب انرژی جذب شده توسط گردآورنده، انرژی مفید و انرژی تلف شده می‌باشد. $\dot{m}$ ، C_f ، T_{f_o} ، T_{f_i} ، $I(t)$ و A_c به ترتیب دبی جریان سیال در گردآورنده، ظرفیت گرمایی سیال، دمای ورودی و خروجی سیال به گردآورنده، شدت تابش خورشیدی و مساحت گردآورنده می‌باشد. اتلاف حرارت از گردآورنده به محیط از طریق شیشه گردآورنده، از طریق بدنه و کف گردآورنده اتفاق می‌افتد. این اتلاف از طریق رسانش و جابجایی و تابش صورت می‌گیرد. اگر شرایط عملکرد گردآورنده به گونه‌ای باشد که تابش به صورت عادی ایجاد شود، تمام مقادیر $\tau\alpha$ ، F_R و U_L ثابت خواهد بود. در این حالت اگر نمودار η_g را با x که به صورت $x = \frac{(T_i - T_a)}{G_t}$ تعریف می‌شود را رسم کنیم مطابق شکل ۱ یک خط راست خواهد بود.



شکل ۱- نمودار کارایی گردآورنده صفحه تخت [۱۰]

از یک سری حسگر به دست می آوریم. علاوه بر این داده ها باید تمام پارامترهای موجود در جدول ۳ جزء تابش طول موج بلند نیز با سرعت ۱۵ اندازه گیری گردد.



شکل ۳- سیکل استاندارد ASHRAE 93 و پارامترهایی که باید در طول آزمایش اندازه گیری شود [۱۰]

جدول ۳- پارامترهای مورد نیاز برای اندازه گیری در طول آزمایش [۱۰]

متغیرهای قابل اندازه گیری
مساحت سطح گردآورنده
زاویه گردآورنده
سرعت باد
دماهای ورودی و خروجی
دبی سیال
دمای محیط

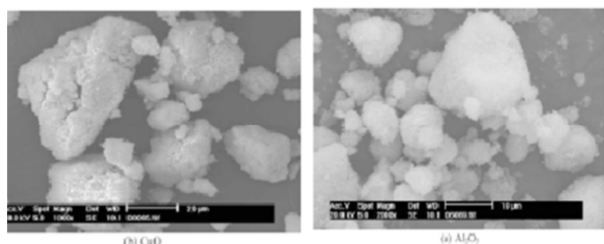
برای انجام آزمون نیاز به یک کنترلر است تا بتواند دمای ورودی به گردآورنده را تنظیم کند چرا که با تغییرات دمای محیط روی دمای ورودی اثرگذار است. پردازش داده های آزمایشگاهی در استاندارد ASHRAE 93 دارای دو مرحله است. مرحله اول انتخاب داده های مناسب از کل داده ها به دست آمده به منظور ارضای استاندارد ASHRAE 93 است. در مرحله دوم با استفاده از تکنیک رگرسیون پارامترهای گردآورنده شناخته می شود. برای انتخاب داده های مناسب ملاک انتخاب جداول ۲ و ۳ است. سپس با استفاده از رگرسیون خطی تلاش می شود تا پارامترهای معادله بازده را به دست آوریم.

۴-تهیه نانو سیالات

روش هایی که برای تهیه نانو سیال استفاده می شوند همه به نوعی روی خواص سطحی سوسپانسیون تأثیر گذاشته تا از تشکیل خوشه جلوگیری کنند و سوسپانسیون پایداری تشکیل شود روش هایی مانند تغییر اسیدیته، استفاده از مواد فعال

کننده سطحی، لرزاننده های مافوق صوت که در مقیاس آزمایشگاهی برای تهیه نانو سیالات به کار می رود. بهبود خواص حرارتی نانوسیال احتیاج به انتخاب روش تهیه مناسب این سوسپانسیون ها دارد تا از ته نشینی و ناپایداری آنها جلوگیری شود. متناسب با کاربرد، انواع بسیاری از نانوسیالات از جمله نانوسیال اکسید فلزات، نیتريت ها، کربید فلزات و غیرفلزات که به وسیله یا بدون استفاده از فعال کننده های سطحی در سیالاتی مانند آب، اتیلن گلیکول و روغن به وجود آمده است. مطالعات زیادی روی چگونگی تهیه نانوذرات و روش های پراکنده سازی آنها در سیال پایه انجام شده است، شیوه های تهیه نانو سیال در کل به دو روش تقسیم می گردد: روش تهیه تک مرحله ای و روش تهیه دو مرحله ای و در این پژوهش روش تک مرحله ای استفاده شده است.

در روش تک مرحله ای، ذرات مورد نظر به طور مستقیم در درون سیال تهیه و پراکنده می شود. به عنوان مثال برای تهیه نانو ذرات فلزی درون یک سیال، بخار فلز مستقیماً به درون سیال پایه هدایت می شود تا به شکل نانو ذرات کنده شود. در این روش تهیه نانوسیال، سطح نانو ذرات در معرض شرایط نامطلوبی قرار نگرفته و پوشش های ناخواسته ای روی آنها تشکیل نمی شود. به همین دلیل نانوذرات تهیه شده از این طریق بسیار تمیز [۱۱-۱۵] است. شکل ۴-الف نشان دهنده نانو ذرات فلزی به روش یک مرحله است. شکل ۴-ب- نشان دهنده ایجاد وضعیت کلوخه ای در نانو ذرات می باشد. تصویر TEM شکل ۴ نشان دهنده نانو سیال تهیه شده با استفاده از نانو ذرات است. نانوسیالات در این آزمایش بر اساس نانو ذره Cu در سیال آب می باشد که در شرکت PNF* به روش تک مرحله ای در غلظت های 500 ppm و 1000ppm تهیه شده است.



شکل ۴- الف- تصویر TEM از نانو ذرات مس، قسمت ب- تصویر TEM از توده ای شدن ذرات در نانوسیال مس-آب

۵-شرح دستگاه

روش تعیین کارایی گردآورنده خورشیدی در این آزمایش بر اساس روش استاندارد ASHRAE 93 می باشد. در این روش از یک مجموعه وسایل شامل : سه عدد دماسنج (ترمو کوپل) -

* شرکت پیام آوران نانو فن آوری فردانگر

جدول ۴- اطلاعات داده های مربوط به مرحله اول آزمایش

T_i	T_o	T_a	I_t	η_i
25.4	30.7	33.4	850	0.693030467
25.6	30.7	33.3	827	0.685425173
26	30.9	32.6	801	0.679921771
26	29.5	32.3	765	0.508512921
20	26.2	38	910	0.76738046
20.4	25.4	37	911	0.601441535
20.6	25.3	35	918	0.574052813
20.8	25.3	34	923.1	0.543650848
21	25.5	34	924.8	0.53780514
20.6	25.1	32	928.6	0.542471562
20.8	25.2	31.2	921.3	0.538594869
20.8	25.1	31.3	899.64	0.53699944
21	25.1	31.1	881.1	0.520800254

این مرحله از آزمایش در هشتم تیر ماه مقارن با بیست و نهم ژوئن انجام شده است که آزمایش‌ها مطابق با استاندارد ASHARE 93 در یک بازه تقارنی نسبت به ظهر خورشیدی (۱۳:۰۷) در روز انجام آزمایش انجام شده است. مهمترین پارامتر برای بررسی کارایی گردآورنده خورشیدی بازده آن است که میزان انرژی مفید به دست آمده را نشان می‌دهد. در شکل ۶ بازده گردآورنده برای تابش‌های مختلف رسم شده است. متوسط بازده گردآورنده برای سیال پایه یعنی آب حدود ۶۰٪ است. اگر نمودار بازده گردآورنده برحسب میانگین تابش خورشیدی رسم شود به شکل زیر خواهد بود که می‌توان گفت بازده میانگین سیال آب برای گردآورنده برابر با ۵۹٪ خواهد بود. تغییرات بازده گردآورنده با دمای محیط را می‌توان در شکل ۷ مشاهده کرد. در ابتدا با افزایش دمای محیط شاهد افزایش بازده گردآورنده خواهیم بود که در دمای 36°C این بازده به بیشینه مقدار خود می‌رسد. با افزایش دما از ۳۶ سانتی‌گراد شاهد کاهش بازده گردآورنده خواهیم بود. دلیل را می‌توان در این یافت که مطابق استاندارد ASHRAE 93 در طول آزمایش تلاش می‌شود که دمای ورودی به گردآورنده یعنی T_i ثابت بماند. مطابق معادله ۷ با افزایش دمای T_a ، ترم دوم معادله افزایش می‌یابد و با توجه به مقدار T_i این کسر ابتدا از نظر اندازه کوچک و سپس بزرگ می‌شود که تأثیر خود را مطابق شکل ۸ بر روی بازده می‌گذارد.

باد سنج - دبی سنج آب - گردآورنده تخت - مخزن آب - شلنگ های رابط - مبدل خنک کن مار پیچ آب گرم، که یک سیکل را بوجود می‌آورد استفاده می‌شود. در این آزمایش میزان تابش خورشیدی توسط پیرانومتر TES 1333R Datalogging اندازه‌گیری می‌شود. همچنین دمای ورودی و خروجی سیال از گردآورنده به وسیله دماسنج نوع k اندازه‌گیری شده و داده‌ها از طریق نمایش دهنده prova 800 Dataloggiong ثبت می‌شود و دمای محیط نیز به وسیله دماسنج جیوه‌ای اندازه‌گیری می‌شود، برای اندازه‌گیری دبی جریان سیال نیز دبی سنج در سیستم تعبیه شده است. در شکل ۵ سیستم آزمایشات شامل گردآورنده استفاده شده در این آزمایش از نوع صفحه تخت است را نشان می‌دهد.



شکل ۵- نمایی از گردآورنده مورد استفاده در آزمایش

در این آزمایش میزان انتقال گرما از رویه بالایی گردآورنده مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مرحله اول آزمایش برای سیال پایه (آب خالص) با روش گفته شده توسط استاندارد ASHARE 93 انجام شده است [۱۰]. با فرض اینکه چگالیو ظرفیت گرمایی ویژه آب خالص به عنوان سیال پایه به ترتیب 1000 kg/m^3 و 4200 J/kg.K باشد، سایر اطلاعات و مفروضات شامل دبی جرمی، مدت زمان آزمایش Δt و سطح مقطع A عبارتند از:

$$\dot{m} = 1 \text{ lit} / \text{min} = 0.16667 \text{ Kg} / \text{sec} \quad (۴)$$

$$\Delta t = 15 \text{ min} \quad (۵)$$

$$A = (94 \text{ cm} \times 67 \text{ cm}) = 0.6298 \text{ m}^2 \quad (۶)$$

مقادیر تابش خورشیدی برای مرحله اول آزمایش که به وسیله ی پیرانومتر اندازه‌گیری شده اند، در جدول ۴ آمده است.

نمودار بازده و متغیر $x = \frac{T_i - T_a}{G_t}$ است. برای شرایطی که تابش و شدت جریان ثابت است. پارامترهای F_R ، $\tau\alpha$ و U_L تقریباً ثابت هستند. این نمودار یک خط مستقیم با شیب منفی خواهد بود بود که از روی این نمودار می‌توان مقادیر $F_R\tau\alpha$ و $-F_RU_L$ را به دست آوریم. این حالت برای شرایط مختلف دما و محیط و شدت تابش صادق نیست و باید یک نمودار خط راست را برای داده‌ها انطباق داد. محل برخورد با محور عمودی جایی است که دما ورودی با دمای محیط برابر است و حداکثر بازده در آن نقطه خواهد بود و محل برخورد با محور افقی جایی است که $\eta = 0$ است. این شرایط زمانی پیش می‌آید که میزان تابش خورشیدی حداقل است و یا دمای ورودی سیال به گردآورنده بسیار بالا باشد. این شرایط را شرایط سکون می‌گویند و زمانی که هیچ جریان سیالی نداشته باشیم نیز رخ می‌دهد. در شکل ۹ این منحنی نشان داده شده است. خط مستقیم با معادله $y = -13.64x + 0.425$ مناسب‌ترین خط برای داده‌های موجود است که با استفاده از برنامه EXCEL به دست آمده است. با استفاده از این معادله خط می‌توان پارامترهای گردآورنده خورشیدی را به دست آورد که در زیر نشان داده شده است. در نتیجه می‌توان نشان داد که:

$$\frac{U_L}{\tau\alpha} = 32$$

$$Y = -13.64 X + 0.425$$

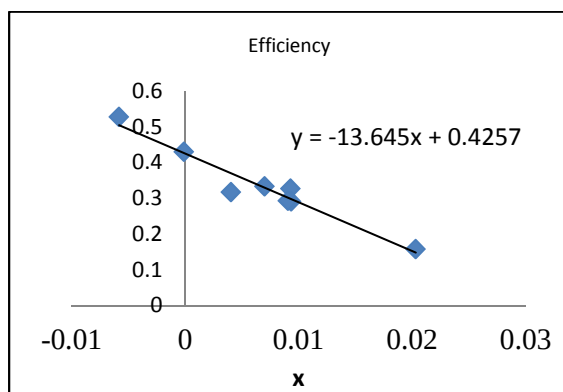
معادله خط

$$0.425$$

$F_R\tau\alpha$

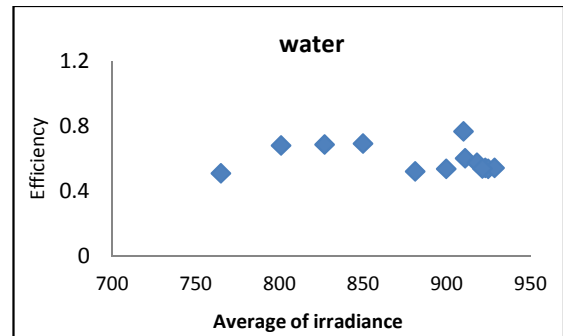
$$-13.64$$

$-F_RU_L$

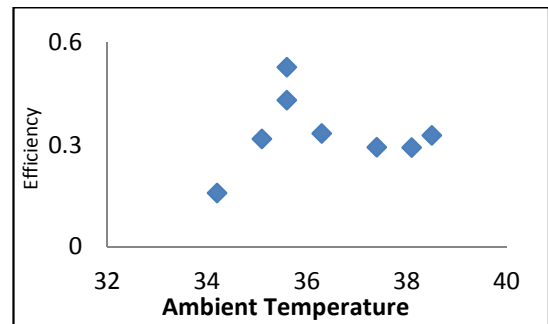


شکل ۹- بازده بر حسب مولفه x

در مرحله دوم، آزمایش برای نانوسیال Cu بر پایه آب با غلظت 500 ppm همانند مرحله قبل با مقدار $C_{nf} = 4198.1$ J/kg.K انجام شده است. این مرحله از آزمایش مطابق با اطلاعات جدول ۶ در یازدهم تیر ماه مقارن با دوم ژولای انجام شده است که آزمایش‌ها مطابق با استاندارد ASHARE

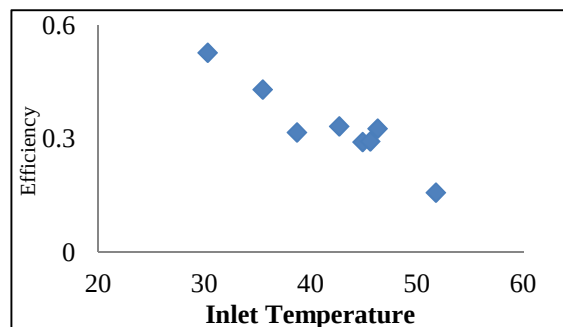


شکل ۶- نمودار بازده گردآورنده بر حسب میانگین تابش خورشیدی برای آب



شکل ۷- تغییرات بازده گردآورنده با دمای محیط

تغییرات بازده گردآورنده صفحه تخت با دمای ورودی را نیز می‌توان در شکل ۱۹ مشاهده کرد. این آزمایش در فرآیند استاندارد ASHRAE 93 تعریف نمی‌شود ولی برای بیان عملکرد گردآورنده خورشیدی مفید است. پر واضح است که با افزایش دمای ورودی اختلاف دمای خروجی و ورودی کاهش می‌یابد و در نتیجه بازده گردآورنده نیز کم می‌شود. در شکل ۱۹ روند کاهشی بازده با افزایش دمای محیط کاملاً واضح است.



شکل ۸- تغییرات بازده گردآورنده صفحه تخت با دمای ورودی

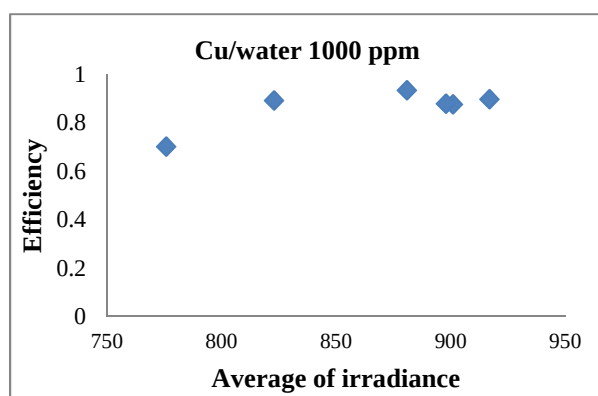
با توجه به معادله بازده گردآورنده خورشیدی صفحه تخت که در رابطه ۷ آمده است می‌توان به سادگی دریافت که برای بیان کارایی گردآورنده خورشیدی صفحه تخت مفیدترین نمودار

مرحله از آزمایش بر اساس اطلاعات جدول ۷ در پانزدهم تیر ماه مقارن با ششم زولای انجام شده است. آزمایش‌ها مطابق با استاندارد ASHARE 93 در یک بازه تقارنی نسبت به ظهر خورشیدی (۱۳:۰۹) در روز انجام آزمایش انجام شده است. بازه گردآورنده خورشیدی برحسب میانگین تابش خورشیدی برای نانو سیال Cu بر پایه آب با غلظت 1000 ppm در شکل ۱۱ رسم شده است. در این شکل بازه تابش از W/m^2 ۷۷۵ تا ۹۲۵ گسترده است. در ابتدا نمودار شاهد افزایش قابل توجه بازه گردآورنده با افزایش متوسط تابش خواهیم بود به طوریکه در W/m^2 ۸۸۰ به بیشینه مقدار خود یعنی ۹۰٪ می‌رسد. اما بعد از این مقدار بازه تقریباً ثابت باقی می‌ماند. در نتیجه میانگین بازه گردآورنده خورشیدی برای نانو سیال با غلظت 1000 ppm در حدود ۸۵٪ خواهد بود. این مقدار بیشینه بازه در طول آزمایش بوده است و از مقادیر دو مرحله پیشین نیز بیشتر است. در جدول ۹ می‌توان خلاصه‌ای از نتایج و آزمایش‌های انجام شده در سه مرحله انجام شده است را مشاهده کرد.

جدول ۸- میانگین بازه گردآورنده برای سیال‌های عامل مورد استفاده

سیال عامل	میانگین بازه گردآورنده
آب	۵۹٪
نانوسیال 500 ppm	۷۴٪
نانوسیال 1000 ppm	۸۵٪

اگر نمودار بازه گردآورنده برحسب میانگین تابش خورشیدی رسم شود به شکل زیر خواهد بود که می‌توان گفت بازه میانگین سیال آب برای گردآورنده برابر با ۸۵٪ خواهد بود.

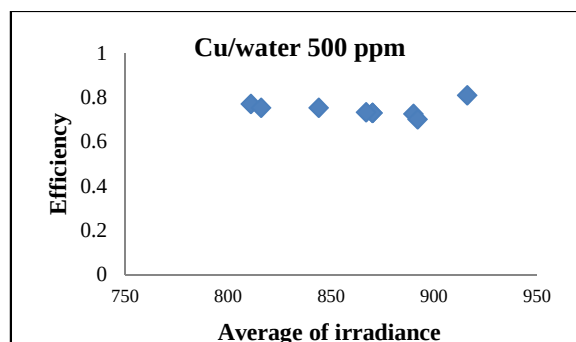


شکل ۱۱- نمودار بازه گردآورنده برحسب میانگین تابش خورشیدی برای نانو سیال Cu بر پایه آب با غلظت 1000 ppm

در یک بازه تقارنی نسبت به ظهر خورشیدی (۱۳:۰۸) در روز انجام آزمایش انجام شده است. بازه گردآورنده برحسب میانگین تابش خورشیدی برای نانو سیال Cu بر پایه آب با غلظت 500 ppm در شکل ۱۰ رسم شده است. در شکل به خوبی مشاهده می‌شود که بازه گردآورنده در تابش W/m^2 ۸۰۰-۹۰۰ تقریباً روندی ثابت دارد و در تابش بیشتر از W/m^2 ۹۰۰ افزایش اندکی مشاهده خواهد شد. میانگین بازه گردآورنده در این حالت در حدود ۷۴٪ خواهد بود که بیشتر از مقدار بازه کلکتور برای سیال پایه است.

جدول ۶- داده‌های مربوط به مرحله دوم آزمایش

T_i	T_o	T_a	I_t	η_i
26.2	32.3	38	890	0.727328
26	32	38.1	870	0.731851
26.3	32.3	37.3	870	0.731851
26	31.9	37.7	811	0.772008
26.3	32.3	36.8	867	0.734383
26.3	32.1	35	816	0.754273
27.9	34.9	35.5	916	0.810948
26.9	32.8	33.6	892	0.701904
27.5	33.5	35.9	844	0.754396



شکل ۱۰- نمودار بازه گردآورنده برحسب میانگین تابش خورشیدی برای نانو سیال Cu بر پایه آب با غلظت 500 ppm

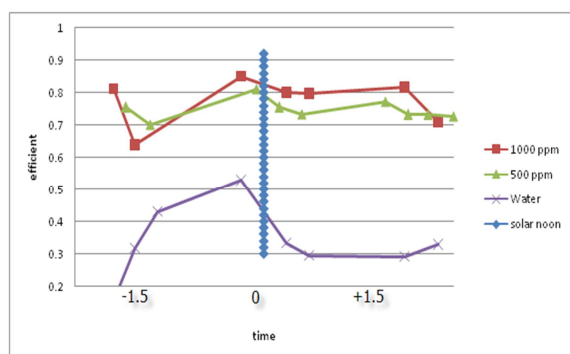
در مرحله دوم، آزمایش برای نانو سیال Cu بر پایه آب با غلظت 1000 ppm همانند مرحله قبل با مقدار $C_{nf}=4196.2$ j/kg.K انجام شده است.

جدول ۷- داده‌های مربوط به مرحله سوم آزمایش

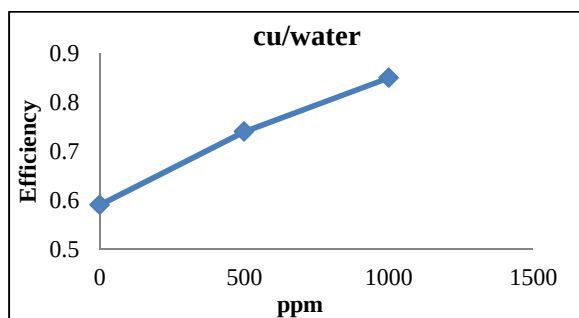
T_i	T_o	T_a	I_t	η_i
25.3	30	37.8	669.8353	0.77917
26.3	33.7	39.4	917	0.896117
26.3	33.4	39	901	0.875056
26	33.1	39.2	898	0.877979
26	33.4	38.2	881	0.932735
25.4	30.3	36.8	776	0.701191
25.7	32.3	37	823	0.890526

استفاده از نانوسیال می‌توان سیستم کنترلی ساده‌تری را به کار برد که طبیعتاً در هزینه‌های اولیه سیستم خورشیدی صرفه‌جویی می‌شود.

در شکل ۱۵ نمودار تغییرات نسبت بازده گردآورنده خورشیدی (بازده با استفاده از نانو سیال/ بازده با استفاده از آب) به تابش متوسط دریافتی رسم شده است. نمودار نتایج جالبی را نشان می‌دهد که مزیت دیگر استفاده از نانوسیالات در گردآورنده خورشیدی محسوب می‌شود. در هر دو نمونه یعنی نانوسیال ۱۰۰۰ ppm نانوسیال ۵۰۰ ppm با افزایش متوسط تابش خورشیدی این نسبت کاهش می‌یابد و نمودار روندی نزولی را نشان می‌دهد. در واقع نانوسیالات در تابش‌های کمتر سبب افزایش بازده بیشتری می‌شوند. آنچه که مشخص است یکی از معایب گردآورنده‌های خورشیدی بازده آن در تابش‌های کم (در سعاتی که از ظهر خورشیدی فاصله دارد) است.



شکل ۱۲- تغییرات بازده گردآورنده خورشیدی صفحه تخت با زمان



شکل ۱۳- تغییرات بازده گردآورنده خورشیدی صفحه تخت با غلظت نانوسیال

۷- نتیجه گیری

به طور کلی اگر نمودار تغییرات بازده میانگین گردآورنده در تابش‌های مختلف را بر حسب تغییرات درصد حجمی را رسم کنیم شاهد افزایش بازده گردآورنده با افزایش درصد حجمی نانوذره خواهیم بود. استفاده از نانوسیالات به عنوان محیط جدیدی برای انتقال گرما می‌تواند تأثیر بسزایی در افزایش میزان انتقال گرما داشته باشد. در این پژوهش با استفاده از نانو

تغییرات بازده گردآورنده خورشیدی صفحه تخت با زمان را نیز می‌توان در شکل ۱۲ مشاهده کرد. محور افقی نمودار زمان را نشان می‌دهد. داده‌ها برای بازه زمانی متقارن ۱٫۵ ساعت نسبت به ظهر خورشیدی در نمودار رسم شده است. برای هر سه آزمایش با نزدیک شدن به ظهر خورشیدی بازده گردآورنده افزایش یافته و به بیشینه مقدار خود می‌رسد ولی با گذشت زمان از ظهر خورشیدی بازده گردآورنده کاهش می‌یابد. نکته قابل توجه این است روند این کاهش در هر سه نمونه یکسان نیست و برای نمونه ۱۰۰۰ ppm شیب آن کمتر از دو نمونه دیگر است. به عبارت دیگر برای نمونه ۱۰۰۰ ppm تغییرات بازده در پیرامون ظهر خورشیدی کمتر است. این در حالی است که برای آب بازده گردآورنده ۱٫۵ ساعت قبل از ظهر خورشیدی ۲۰٪ در ظهر خورشیدی ۵۰٪ و در ۱٫۵ ساعت بعد از ظهر خورشیدی به ۳۰٪ می‌رسد. این نوسانات بازده برای نانوسیال به عنوان سیال عامل خیلی کمتر است. این نتیجه در عمل بسیار دلگرم کننده است چرا که یکی از معایب آبگرم کن‌های خورشیدی نسبت به نوع گازی عدم ثبات بازده آنها می‌باشد. این مشکل معمولاً با استفاده از سیستم‌های کنترلی و مخزن و هیتر کمکی قابل حل است. با استفاده از نانوسیال می‌توان هزینه‌های مربوط به این وسایل را تا حدودی کاهش داد که به خودی خود باعث کاهش هزینه اولیه ساخت می‌شود.

در شکل ۱۳ بازده گردآورنده برای غلظت‌های مختلف نانوسیال نشان داده شده است. شکل به خوبی نشان می‌دهد که با افزایش غلظت نانوسیال بازده کلتور روندی صعودی داشته و از حدود ۶۰٪ برای سیال پایه به ۸۵٪ برای نانوسیال ۱۰۰۰ ppm می‌رسد. به عبارت دیگر حضور نانوذرات در سیال سبب می‌شود که سیال انرژی بیشتری را از صفحه جاذب روی گردآورنده جذب کند و در نتیجه بازده آن بیشتر شود. روند تغییرات بازده با متوسط تابش خورشیدی برای هر سه نمونه در شکل ۱۴ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که برای هر سه نمونه با افزایش متوسط تابش، بازده گردآورنده نیز افزایش می‌یابد که به عنوان یک روند کلی در بازده گردآورنده مورد تایید است. در شکل ۱۴ بیشترین مقادیر را مربوط به نانوسیال ۱۰۰۰ ppm و بعد از آن نانوسیال ۵۰۰ ppm می‌باشد. نکته قابل توجه این است که بازده گردآورنده در مواردی که از نانوسیال استفاده شده دارای نوسانات کمتری است و تقریباً ثابت می‌ماند. این یک مزیت بزرگ برای گردآورنده‌های خورشیدی صفحه تخت محسوب می‌شود چرا که هدف از سیستم گرمایش تامین آب گرم دائمی با دمای تقریباً ثابت است. تغییرات دمای آب معمولاً سبب مصرف بیش از اندازه آب می‌شود. راه حل موجود استفاده از سیستم‌های کنترلی و مخازن نگهدارنده و گرمایش کمکی می‌باشد. حال اینکه با

characteristics of nanofluids", Current Applied Physics, 6S1, pp. 67–71, 2006.

[3] H. Masuda, A. Ebata, K. Teramae, N. Hishinuma, "Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles", Netsu Bussei, vol. 7, no. 4, pp. 227–233, 1993.

[4] Sopian K, Alghoul MA. "Evaluation of thermal efficiency of double-pass solar collector with porous–nonporous media", Renew Energy, vol. 34, pp. 640–645, 2009.

[5] P. Selvakumar, P. Somasundaram, P. Thangavel, "Performance study on evacuated tube solar collector using thermintol D-12 as heat transfer fluid coupled with parabolic trough", Energy Conversion and Management, vol. 85, pp. 505–510, 2014.

[6] Soteris A. Kalogirou, "A detailed thermal model of a parabolic trough collector receiver", Energy, vol. 48, pp. 298–306, 2012.

[7] Richard J. Sadus, "Molecular Simulation of Fluids: Theory, Algorithms and and Object-Orientation", Elsevier, Amsterdam, 1999.

[8] T. Arima, Sh. Yamasaki, K. Idemitsu, Y. Inagaki, "Equilibrium and nonequilibrium molecular dynamics simulations of heat conduction in uranium oxide and mixed uranium–plutonium oxide", Journal of Nuclear Materials vol. 376, pp. 139–145, 2008.

[9] Sh. Maruyama, "A molecular dynamics simulation of heat conduction in finite length SWNTs", Physica B 323, pp. 193–195, 2002.

[10] ASHRAE Standard 86-93, "Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors", Atlanta, GA, USA, 1986.

[11] Røsjorde, S. Kjelstrup, D. Bedeaux, B. Hafskjold, "Nonequilibrium Molecular Dynamics Simulations of Steady-State Heat and Mass Transport in Condensation. II. Transfer Coefficients", Journal of Colloid and Interface Science, vol. 240, pp. 355–364, 2001.

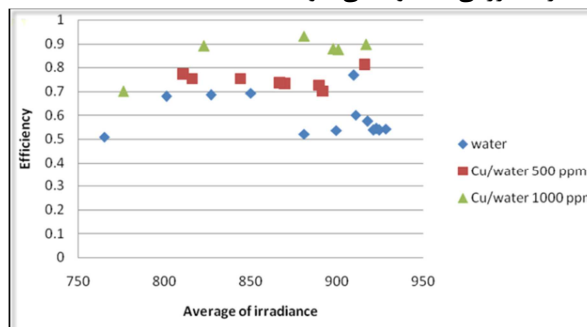
[12] M. Rahmati, H. Modarress, "Nitrogen adsorption on nanoporous zeolites studied by Grand Canonical Monte Carlo Simulation", Journal of Molecular Structure: THEOCHEM, vol. 901, pp. 110–116, 2009.

[13] Xinfang Li, Dongsheng Zhu, "Evaluation on dispersion behavior of the aqueous copper nano-suspensions", Journal of Colloid and Interface Science, vol. 310, pp. 456–463, 2007.

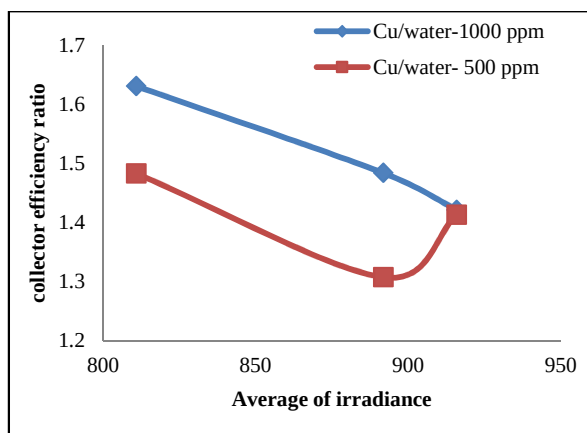
[14] Michael P. Beck, Tongfan Sun, Aryn S. Teja, "The thermal conductivity of alumina nanoparticles dispersed in ethylene glycol", Fluid Phase Equilibria, vol. 260, pp. 275–278, 2007.

[15] Min-Sheng Liu, Mark Ching-Cheng Lin, C.Y. Tsai, Chi-Chuan Wang, "Enhancement of thermal conductivity with Cu for nanofluids using chemical reduction method", International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 49, pp. 3028–3033, 2006.

سیال فلزی Cu برپایه آب به بررسی این پدیده برای یک گردآورنده خورشیدی پرداخته شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با استفاده از این نانوسیال می‌توان بازده گردآورنده خورشیدی صفحه تخت را تا میزان قابل توجهی بالا برد، و در نهایت اگر تغییرات بازده گردآورنده در یک نمودار رسم کنیم به طور کلی شاهد افزایش بازده گردآورنده با افزودن نانوذرات به سیال پایه خواهیم بود. نکته آخر اینکه با استفاده از نانو سیالات می‌توان سیستم را زودتر راه اندازی کرد که مزیت بزرگی محسوب می‌شود.



شکل ۱۴- تغییرات بازده گردآورنده خورشیدی صفحه تخت با میانگین تابش خورشیدی



شکل ۱۵- تغییرات نسبت بازده گردآورنده خورشیدی صفحه تخت با میانگین تابش خورشیدی

تشکر و قدردانی:

با تشکر ویژه از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF)

مراجع

[1] N. Sankar, N. Mathew, C.B. Sobhan, "Molecular dynamics modeling of thermal conductivity enhancement in metal nanoparticle suspensions", International Communications in Heat and Mass Transfer, vol. 35, pp. 867–872, 2008.

[2] Y. Hwang, H.S. Park, J.K. Lee and W.H. Jung, "Thermal conductivity and lubrication