

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی مکانیک

گروه : تبدیل انرژی

بهبود عملکرد سیستم‌های گرمایش خورشیدی با استفاده از
نانوسیالات

دانشجو : محمود سجادی

اساتید راهنما :

دکتر علی جباری مقدم

دکتر محمود فرزانه‌گرد

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

ماه و سال انتشار : دی‌ماه ۱۳۹۱



مدرست تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره :
تاریخ :
ویرایش :

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خلدوند منعمال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمود سجادی گوکدره رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی تحت عنوان بهبود عملکرد سیستمهای گرمایش خورشیدی با استفاده از نانوسیالات که در تاریخ ۱۳۹۱/۱۰/۱۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه : بسیار ممتاز (۱۸) دفاع مجدد مردود

۱- عالی (۲۰-۱۹) ۲- بسیار خوب (۱۸۹۹-۱۸)

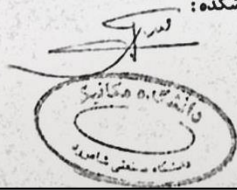
۳- خوب (۱۷۹۹-۱۶)

۴- قابل قبول (۱۵۹۹-۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	علی جبار محمدی	استاد استادیار	
۲- استاد مشاور	محمد زین العابدین		
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	محمد جبار	استاد	
۴- استاد ممتحن	عسکری	استاد استادیار	
۵- استاد ممتحن	علی عباسی نژاد	استاد استادیار	

رئیس دانشکده:



تقدیم به

۲۶۰۸ شهید دانشجوی دوران دفاع مقدس

تشکر و قدردانی

بدین وسیله مراتب تقدیر و تشکر خود را از تمام کسانی که مرا در تهیه این پایان‌نامه یاری نمودند، به خصوص پدر و مادر عزیزم که همواره مشوق من بودند و اساتید گرانقدر آقایان دکتر علی جباری مقدم و دکتر محمود فرزانه گرد، که زحمت راهنمایی این پایان‌نامه را متقبل شدند را اعلام می‌دارم. همچنین از همسر عزیزم سرکار خانم منیره حسین‌زاده که در تمامی مراحل پروژه به ویژه آزمایشات یار و یاور اینجانب بودند، صمیمانه سپاسگزارم. امیدوارم که با ارائه مناسب این پایان‌نامه گوشه کوچکی از زحمات این عزیزان را جبران نمایم

تعهد نامه

اینجانب محمود سجادی گوکدره دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بهبود عملکرد سیستمهای گرمایش خورشیدی با استفاده از نانوسیالات تحت راهنمائی دکتر علی جباری مقدم و دکتر محمود فرزانه گرد متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .

چکیده

در این کار اثر استفاده از نانوسیال اکسیدمس به عنوان سیال عامل بر بازده کلکتور خورشیدی صفحه تخت به طور آزمایشی مورد بررسی قرار گرفت. غلظت حجمی نانوذرات ۰/۴ درصد و اندازه ذرات ۴۰ نانومتر بود. دبی جرمی سیال عامل از ۱ تا ۳ کیلوگرم بر دقیقه تغییر می‌کرد. استاندارد ASHRAE به منظور محاسبه بازده مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از نانوسیال اکسیدمس در مقایسه با آب به عنوان سیال عامل بازده را افزایش می‌دهد. برای دبی ۱ کیلوگرم بر دقیقه افزایش ۲۱/۸ درصدی در بازده کلکتور را شاهد بودیم. همچنین نتایج نشان داد که انتخاب دبی بهینه تاثیر مهمی بر عملکرد کلکتور دارد.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

1. Mahmood Sajadi, Ali Jabari Moghadam, Mahmood Farzane Gord, Monireh Hoseyn Zadeh. Improve the performance of flat-plate solar collectors by using CuO-H₂O nanofluid. Submitted in Journal of Enhanced Heat Transfer at 14.01.2013.

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱.....	فصل اول: مقدمه
۲.....	۱-۱- اهمیت موضوع
۳.....	۲-۱- تاریخچه استفاده از انرژی خورشیدی
۸.....	۳-۱- انرژی در ارتباط با مشکلات زیست محیطی
۹.....	۱-۳-۱- باران اسیدی
۱۰.....	۲-۳-۱- کاهش لایه اوزن
۱۰.....	۳-۳-۱- تغییر اقلیم جهانی
۱۱.....	۴-۱- تکنولوژی انرژی تجدیدپذیر
۱۴.....	فصل دوم: موضوعات و تئوری‌های مرتبط با کلکتور خورشیدی و نانو سیالات و خلاصه کارهای انجام شده قبلی
۱۵.....	۱-۲- اساس انرژی خورشیدی
۱۵.....	۲-۲- برخی از مهم‌ترین مزایای انرژی تابشی خورشید
۱۶.....	۳-۲- کلکتورهای خورشیدی
۱۸.....	۱-۳-۲- کلکتورهای ساکن
۱۹.....	۱-۱-۳-۲- کلکتورهای صفحه تخت
۲۷.....	۲-۱-۳-۲- کلکتورهای ترکیبی سهموی

- ۳۰..... ۲-۳-۱-۳- کلکتورهای لوله خلا
- ۳۳..... ۲-۳-۲- کلکتورهای خورشیدی متحرک
- ۳۳..... ۲-۴-۲- نانوسیالات
- ۳۷..... ۲-۵-۵- مروری بر کارهای انجام شده قبلی
- ۴۵..... ۲-۶-۶- معادلات حاکم
- ۴۵..... ۲-۶-۱- نسبت تابش پخش به تابش کل و شیب کلکتور
- ۴۶..... ۲-۶-۲- ثابت زمانی کلکتور
- ۴۷..... ۲-۶-۳- بارده کلکتور
- ۴۹..... ۲-۶-۴- آنالیز خطا
- ۵۰..... فصل سوم: اجزای سیستم و روش انجام آزمایش
- ۵۱..... ۳-۱-۱- اجزای سیستم و مشخصات آنها
- ۵۲..... ۳-۲-۲- مواد
- ۵۵..... ۳-۳-۳- روش انجام آزمایش
- ۵۶..... ۳-۳-۳- شرایط یکنواخت
- ۵۸..... فصل چهارم: محاسبه و استخراج نتایج
- ۵۹..... ۴-۱-۱- انجام آزمایشات و نتایج
- ۶۰..... ۴-۱-۱-۱- جداول نتایج
- ۶۷..... ۴-۱-۲- منحنی‌های عملکرد

۷۴ ۲-۴- تاثیر دبی جریان بر عملکرد

۷۷ فصل پنجم: نتیجه‌گیری، تحلیل و پیشنهادات

۷۸ ۱-۵- جمع‌بندی

۷۹ ۲-۵- تحلیل نتایج

۷۹ ۱-۲-۵- اثر تغییر سیال عامل

۸۰ ۲-۲-۵- اثر دبی جریان

۸۱ ۳-۵- نتیجه‌گیری

۸۱ ۴-۵- پیشنهادات

فهرست اشکال

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۲۰	شکل (۱-۲) شکل شماتیک کلکتور صفحه تخت
۲۱	شکل (۲-۲) نمای جانبی از کلکتور صفحه تخت
۲۵	شکل (۳-۲) انواع مختلف کلکتورهای صفحه تخت
۲۸	شکل (۴-۲) شکل شماتیک کلکتور سهموی مرکب
۳۲	شکل (۵-۲) شکل شماتیک کلکتور لوله‌ای تحت خلا
	شکل (۶-۲) اثر نانوسیال اکسید مس در نسبت‌های جرمی مختلف بر ضریب انتقال حرارت اوپراتور در دمای عملکرد ۱۰۰ درجه سانتیگراد
۳۹	
۴۰	شکل (۷-۲) بازده ترموسیفون بسته بر حسب قدرت ورودی متفاوت و سیالات عامل مختلف
۴۱	شکل (۸-۲) درصد جذب انرژی خورشیدی بر حسب عمق نفوذ در سیال برای سیالات مختلف
۴۲	شکل (۹-۲) ضریب جذب مواد مختلف بر حسب طول موج
۴۳	شکل (۱۰-۲) بازده کلکتور میکرو بر حسب درصد حجمی برای سیالات عامل مختلف
۴۴	شکل (۱۱-۲) عملکرد کلکتورهای نانوسیال در مقایسه با کلکتورهای مرسوم و آبگرمکن برقی
۵۱	شکل (۱-۳) شکل شماتیک مورد آزمایش
۵۴	شکل (۲-۳) نمای کلی سیستم تهیه شده
۵۴	شکل (۳-۳) نانوسیال در حال تهیه به وسیله دستگاه اولتراسونیک
۶۷	شکل (۱-۴) منحنی عملکرد کلکتور برای حالت اول (آب با دبی ۳ کیلوگرم بر دقیقه)
۶۸	شکل (۲-۴) منحنی عملکرد کلکتور برای حالت دوم (نانوسیال با دبی ۳ کیلوگرم بر دقیقه)
۶۹	شکل (۳-۴) مقایسه حالت ۱ و ۲
۷۰	شکل (۴-۴) منحنی عملکرد کلکتور برای حالت سوم (آب با دبی ۲ کیلوگرم بر دقیقه)

- شکل (۵-۴) منحنی عملکرد کلکتور برای حالت چهارم (نانوسیال با دبی ۲ کیلوگرم بر دقیقه)..... ۷۰
- شکل (۶-۴) مقایسه بین حالت‌های ۴ و ۳..... ۷۱
- شکل (۷-۴) منحنی عملکرد کلکتور برای حالت پنجم (آب با دبی ۱ کیلوگرم بر دقیقه)..... ۷۲
- شکل (۸-۴) منحنی عملکرد کلکتور برای حالت ششم (نانوسیال با دبی ۱ کیلوگرم بر دقیقه)..... ۷۲
- شکل (۹-۴) مقایسه حالت‌های ۶ و ۵..... ۷۳
- شکل (۱۰-۴) تاثیر دبی جریان بر عملکرد کلکتور در حالت سیال عامل آب..... ۷۴
- شکل (۱۱-۴) تاثیر دبی جریان بر عملکرد کلکتور در حالت سیال عامل نانوسیال..... ۷۵
- شکل (۱۲-۴) مقایسه دو سیال عامل در حالت دبی بهینه برای هر کدام..... ۷۶

فهرست جداول

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۸	جدول (۱-۲) لیست جامع انواع کلکتور
۲۷	جدول (۲-۲) ویژگی‌های یک نمونه کلکتور مرکب سهموی
۳۰	جدول (۳-۲) ویژگی‌های یک نمونه از کلکتور صفحه تخت با سیال عامل آب
۳۳	جدول (۴-۲) ویژگی‌های یک نمونه کلکتور لوله‌ای تحت خلا
۵۳	جدول (۱-۳) مشخصات کلکتور خورشیدی صفحه تخت استفاده شده در این آزمایش
۶۰	جدول (۱-۴) ثابت زمانی کلکتور برای حالت‌های مختلف
۶۱	جدول (۲-۴) نتایج برای حالت اول (آب بادبی ۳ کیلوگرم بردقیقه)
۶۲	جدول (۳-۴) نتایج برای حالت دوم (نانوسیال بادبی ۳ کیلوگرم بردقیقه)
۶۳	جدول (۴-۴) نتایج برای حالت سوم (آب بادبی ۲ کیلوگرم بردقیقه)
۶۴	جدول (۵-۴) نتایج برای حالت چهارم (نانوسیال بادبی ۲ کیلوگرم بردقیقه)
۶۵	جدول (۶-۴) نتایج برای حالت پنجم (آب بادبی ۱ کیلوگرم بردقیقه)
۶۵	جدول (۷-۴) نتایج برای حالت ششم (نانوسیال بادبی ۱ کیلوگرم بردقیقه)

فهرست علائم و اختصارات

Nomenclature		Greek Symbols	
A_c	Surface area of solar collector (m^2)	$\tau\alpha$	Absorptance-transmittance product
C_p	Heat capacity (J/kg K)	τ	Time constant of solar collector (s)
$C_{p,bf}$	Heat capacity of base fluid (J/kg K)	η_i	Efficiency of flat-plate solar collector
$C_{p,np}$	Heat capacity of nanoparticles (J/kg K)	β	Slope of collector
F_R	Heat removal factor	δ	Declination
G_T	Global radiation (W/m^2)	φ	Volume fraction
\dot{m}	Mass flow rate (Kg/min)	\emptyset	Latitude
n	Number of day in year		
P_t	Error of parameters		
P_Y	Overall error		
Q_u	Rate of useful energy gained (W)		
t	Time (s)		
T_a	Ambient temperature (K)		
T_i	Inlet fluid temperature of collector (K)		
T_o	Outlet fluid temperature of collector (K)		
$T_{o,i}$	Collector outlet initial fluid temperature (K)		
$T_{o,\tau}$	Collector outlet fluid temperature after time τ (K)		
X_t	Measured parameters in error analysis		
Y	Quantity is calculated from the measured in error analysis		

فصل اول

مقدمه

۱-۱- اهمیت موضوع

خورشید نه تنها منبع عظیم انرژی است، بلکه سرآغاز حیات و منشأ تمام انرژی‌های دیگر است. طبق برآوردهای علمی در حدود ۶۰۰۰ میلیون سال از تولد این گوی آتشین می‌گذرد و در هر ثانیه ۲/۴ میلیون تن از جرم خورشید به انرژی تبدیل می‌شود. با توجه به وزن خورشید که حدود ۳۳۳۰۰۰ برابر وزن زمین است، این کره‌ی نورانی را می‌توان به عنوان منبع عظیم انرژی تا پنج میلیارد سال آینده به حساب آورد. قطر خورشید $1/39 \times 10^6$ کیلومتر است و از گازهایی نظیر هیدروژن (۸۸/۸ درصد)، هلیوم (۳ درصد) و ۶۳ عنصر دیگر که مهم‌ترین آن‌ها اکسیژن، کربن، نئون، و نیتروژن است، تشکیل شده است [۱]. میزان دما در مرکز خورشید حدود ۱۴ تا ۱۵ میلیون درجه سانتی‌گراد می‌باشد که از سطح آن با حرارتی نزدیک به ۵۶۰۰ درجه و به صورت امواج الکترومغناطیسی در فضا منتشر می‌شود. زمین در فاصله ۱۵۰ کیلومتری خورشید واقع است و ۸ دقیقه و ۱۸ ثانیه طول می‌کشد تا نور خورشید به زمین برسد.

انرژی که از طریق خورشید به انسان می‌رسد ۱۰۰۰۰ بار بیشتر از انرژی مورد نیاز انسان است. مصرف انرژی در سال ۲۰۵۰ (۴۰ سال دیگر) ۵۰ تا ۳۰۰ درصد بیشتر از مصرف امروزی خواهد بود. با این حال اگر فقط ۰/۱ درصد از سطح زمین با مبدل‌های انرژی خورشیدی پوشیده شود و تنها ۱۰٪ بازده داشته باشند، برای تأمین انرژی مورد نیاز بشر کافی است. اساساً همه انواع انرژی در جهان که ما می‌شناسیم، مبدأ خورشیدی دارند. مانند نفت، زغال سنگ، گاز طبیعی و حتی انرژی باد و جزر و مد. مزیت بزرگ انرژی خورشیدی در مقایسه با سایر انواع انرژی این است که پاک است و بدون هیچ گونه آلودگی زیست محیطی تولید می‌شود. در طی قرون گذشته، سوخت‌های فسیلی بیشترین سهم را در تهیه انرژی‌های مورد نیاز ما داشتند زیرا ارزان بودند و نگرانی از آلودگی‌های زیست محیطی بسیار کم بود [۱]. کاربردهای

انرژی خورشیدی را معمولاً به دو دسته تقسیم می‌کنند: کاربردهای نیروگاهی و غیر نیروگاهی. تاسیساتی که با استفاده از آن‌ها انرژی جذب شده حرارتی خورشید به الکتریسیته تبدیل می‌شوند، نیروگاه حرارتی خورشیدی نامیده می‌شوند. کاربردهای غیرنیروگاهی از انرژی حرارتی خورشید شامل موارد متعددی می‌باشد که اهم آن‌ها عبارتند از: آبگرمکن و حمام خورشیدی، سرمایش و گرمایش خورشیدی، آب شیرین کن خورشیدی، خشک کن خورشیدی، اجاق خورشیدی و کوره‌های خورشیدی.

۱-۲- تاریخچه استفاده از انرژی خورشیدی

بشر از زمان‌های ماقبل تاریخ فهمیده بود که استفاده از انرژی خورشید به سود اوست. تاریخ نویسان یونانی ثبت کرده‌اند که سقراط فیلسوف بزرگ این کشور، خانه‌اش را در جهتی ساخته بود که در زمستان گرم و در تابستان خنک می‌شد. از زمان ماقبل تاریخ، خورشید غذای انسان را خشک کرده و از آن محافظت کرده‌است. همچنین آب دریاها را بخار کرده تا نمک به دست بیاورد. از زمانی که بشر شروع به استدلال کرد، فهمید که پشت هر پدیده طبیعی، خورشید به عنوان یک انگیزه نیرو وجود دارد. به همین دلیل بسیاری از قبیله‌ها در ماقبل تاریخ خورشید را خدا می‌دانستند. در بسیاری از نوشته‌های مصر باستان گفته شده که هرم بزرگ (یکی از بزرگترین دستاوردهای مهندسی تاریخ) به منظور راه‌پله‌ای به سمت خورشید ساخته شده است [۲].

همانند استفاده از انرژی آب، به کارگیری انرژی خورشیدی نیز دارای پیشینه‌ی تاریخی طولانی است. بسیاری از اقوام پیش از تاریخ از این انرژی برای گرم کردن منازل، خشک کردن لباس‌ها و غذاهایشان بهره می‌برده‌اند. اهمیت انرژی خورشیدی تا آن جا بوده‌است که بسیاری از تمدن‌ها به دلیل احترام قائل بودن برای خورشید، رصدخانه‌های بدوی را به وجود آوردند تا محل خورشید در آسمان را تعیین کنند. برخی دیگر، انرژی خورشید را تا حدی با ارزش می‌دانستند که حتی استفاده از آن را در قوانین خود وضع

نموده بودند. رومی‌های باستان برای گرم کردن منازل و حمام‌ها به شدت به انرژی خورشید وابسته بودند به طوری که ساختن ساختمان‌های بلند که مانع از تابش خورشید به همسایه‌ها می‌شد، ممنوع بوده‌است. رومیان باستان تنها کسانی نبوده‌اند که تا این حد به انرژی خورشید وابسته بوده‌اند. ساکنان باستانی پرتگاه آناسازی در جنوب غربی آمریکا نیز از دانش خود در زمینه‌ی حرکت خورشید در آسمان برای گرم و سرد کردن خانه‌های خود استفاده می‌کرده‌اند. آن‌ها منازلشان را در صخره‌های رو به جنوب می‌ساختند. در زمستان، نور خورشید به خانه‌هایشان می‌تابید و صخره‌ها از آنان در مقابل بادهای سرد شمالی محافظت می‌کرد. در تابستان، پیشامدگی صخره‌ها روی ساختمان‌ها سایه ایجاد می‌نموده و در نتیجه آن‌ها را خنک می‌کرده‌است.

ایده استفاده از کلکتورهای انرژی خورشیدی به منظور سود بردن از نیروی خورشید در زمان ماقبل تاریخ (سال ۲۱۲ قبل از میلاد) ثبت شده‌است. زمانی که ارشمیدس یک روش جدید برای سوزاندن ناوگان کشتی رومی ابداع کرد. گفته شده‌است که ارشمیدس این ناوگان را به وسیله هزاران ورق صیقلی داده شده مقعر که مانند آینه بودند و نور را به روی همان کشتی بازتاب می‌کردند، مورد حمله قرار داد. تاریخ نویسان یونانی حادثه‌ای را که رومی‌ها آن را بیان کرده‌اند، ثبت کرده‌اند. رومی‌ها یک حادثه مبهم را دیده‌اند که آنها را از پای در آورده ولی هیچ ابزاری ندیده‌اند. آن‌ها بیان کردند که خدایان آن‌ها را مورد حمله قرار داده‌اند [۲].

سؤال اساسی این است که آیا ارشمیدس دانش کافی از علم اپتیک داشت یا خیر که این‌گونه توانست از راه دور این کشتی را بسوزاند. ارشمیدس کتابی با عنوان "آینه‌های سوزاننده" نوشته است اما متأسفانه هیچ کپی از آن به‌جا نمانده‌است که مدرکی به ما ارائه کند. ۱۸۰۰ سال بعد از ارشمیدس، آتاناسیوس کرشیر^۱ (۱۶۸۰-۱۶۰۱) مقداری آزمایش انجام داد تا یک توده چوب را از فاصله دور آتش بزند تا بفهمد

^۱ - Athanasius Kircher

آیا داستان ارشمیدس به لحاظ علمی توجیه دارد یا خیر. اما متأسفانه از نتایج او هم نتیجه‌ای به جا نمانده است [۳].

به طور شگفت‌انگیزی، بسیاری از کاربردهای اولیه انرژی خورشیدی، استفاده از کلکتورهای متمرکزکننده بوده‌است که ابزاری بوده‌اند که خورشید را دنبال می‌کردند. در طی قرن هجدهم، کوره‌های خورشیدی با استفاده از ورق‌های صیقلی داده‌شده از آهن و شیشه که قادر به ذوب آهن، مس و دیگر فلزات بودند، ساخته شدند. کوره‌ها در سرتاسر اروپا و خاورمیانه مورد استفاده قرار گرفتند. کوره‌ای که به وسیله دانشمند فرانسوی، آنتوین لاوزیر^۱، طراحی شده بود، به دمای قابل توجه 1750°C رسید. در این کوره از دو عدسی به طول ۱/۳۲ و ۰/۲ متر استفاده شده بود تا به این دما برسد. این دما بزرگترین دستاورد در طی یکصد سال بود.

در طی قرن نوزدهم میلادی تلاش‌هایی برای تبدیل انرژی خورشیدی به انواع دیگری از انرژی که بر اساس تولید بخار کم‌فشار در موتورهای بخار عمل می‌کنند، صورت گرفت. اگوست مان‌چوت^۲ در این زمینه با ساخت چندین موتور بخار با استفاده از نیروی خورشیدی بین سالهای ۱۸۶۴ و ۱۸۷۸ پیش قدم بود [۲]. ارزیابی که روی یکی از این موتورها توسط دولت فرانسه صورت گرفت، نشان داد که عملاً این کار بسیار پرهزینه است. در سال ۱۸۷۵ مان‌چوت با ساختن بازتابنده به شکل یک مخروط کوتاه شده یک مزیت شاخص در طراحی کلکتورهای خورشیدی ایجاد کرد. کلکتور مان‌چوت قطر ۵/۴ متر و مساحت جمع‌گرد آورنده ۱۸/۶ مترمربع داشت و از صفحات فلزی که با نقره آبکاری شده بود، تشکیل شده بود. وزن قسمت‌های متحرک ۱۴۰۰ کیلوگرم بود. ابل پیفر^۳ هم دوره مان‌چوت بود که او هم موتورهای خورشیدی می‌ساخت [۴ و ۳]. کلکتورهای خورشیدی پیفر بازتابنده‌های سهموی داشتند که از آینه‌های بسیار ریز ساخته شده بودند. در شکل، آن‌ها نسبتاً مشابه کلکتور خورشیدی مان‌چوت بودند. در سال

¹ - Antoine Lavoisier

² - August Manhot

³ - Abel Pifre

۱۹۰۱ انیاس^۱ یک کلکتور کانونی با قطر ۱۰ متر که به ماشین آلات پمپ آب به مزرعه، نیرو می‌رساند، نصب کرد. این وسیله ساختاری مانند یک چتر باز به صورت وارونه داشت و در زاویه‌ای قرار گرفته بود تا تمام اشعه‌های خورشید را به ۱۷۸۸ آینه‌ای که به صورت خطی روی سطح آن قرار گرفته بودند، برساند. اشعه‌های خورشیدی در نقطه کانونی، جایی که بویلر قرار گرفته بود، متمرکز می‌شدند. آب داخل بویلر گرم و تبدیل به بخار می‌شد و این نیروی بخار، موتور و پمپ گریز از مرکز را به حرکت در می‌آورد [۳۱]. در سال ۱۹۰۴ یک کشیش پرتغالی، یک کوره خورشیدی بزرگ ساخت. این کوره در نمایشگاه جهانی خیابان سوئیس به نمایش درآمد و به نظر می‌رسید که به لحاظ ساختاری مدرن باشد. این کوره از کلکتورهای سهموی تشکیل شده بود [۳].

شومان^۲ در سال ۱۹۱۲ متعهد شد که بزرگترین ماشین پمپ را در مصر بسازد. سیستم در سال ۱۹۱۳ در مدار عملکرد قرار گرفت. این سیستم در حال استفاده از سیلندرهای سهموی بلند به منظور متمرکز کردن نور خورشید روی یک لوله جاذب بلند بود. هر سیلندر ۶۲ متر بلندی داشت و تمام مساحت سیلندرها ۱۲۰۰ متر مربع بود. توان موتور خورشیدی به تدریج از ۳۷ کیلووات به ۴۵ کیلووات در یک بازه زمانی ۵ ساعته رسید. علی‌رغم موفق بودن این پروژه، به طور کامل در سال ۱۹۱۵ به خاطر جنگ جهانی اول و قیمت پایین سوخت، خاموش شد [۳۱ و ۴].

در طی ۵۰ سال اخیر، تعداد زیاد و مختلفی از سیستم‌هایی که از کلکتورهای کانونی به منظور گرم کردن سیال عامل و در نتیجه نیرو دادن به ابزار مکانیکی طراحی و ساخته شده‌است. دو تکنولوژی اصلی خورشیدی، استفاده از دریافت‌کننده‌های مرکزی و پراکنده که نقاط مختلف و خط کانونی را به منظور جمع‌آوری پرتوهای خورشیدی به کار می‌گیرند، هستند. سیستم‌های دریافت‌کننده مرکزی از رشته‌هایی از هیلوستات (آینه‌های دنبال‌کننده دوماحوره) به منظور گردآوری و تحویل انرژی تشعشع خورشید به یک

¹ - A.G.Aneas

² - Shuman

برج دریافت کننده، استفاده می کنند. تکنولوژی دریافت کننده پراکنده از بشقاب‌های سهموی، عدسی‌ها، گذرکننده‌های سیال سهموی و کاسه‌های مخصوص تشکیل شده‌است. بشقاب‌های سهموی خورشید را در دو محور دنبال می کنند و از آینه‌ها به منظور متمرکز کردن پرتوهای خورشید به نقطه کانونی دریافت کننده، استفاده می کنند. گذرگاه‌های سیال و کاسه‌ها، بازتابنده‌های دنبال کننده خط کانونی هستند که پرتو خورشید را روی لوله‌های دریافت کننده در طول مسیر خط کانونی خود متمرکز می کنند. محدوده دمایی دریافت کننده از 100°C در گذرگاه‌های سیال کم‌دما تا 150°C در بشقاب و سیستم‌های دریافت کننده مرکزی است [۵].

به نظر می رسد آب گرم و گرم کردن خانه، در نیمه دوم دهه ۱۹۴۰ بیشتر مورد توجه و علاقه قرار گرفت. زمانی که ده‌ها میلیون از منازل به وسیله سوزاندن زغال سنگ گرم می شد. ایده به این شکل بود که آب گرم می شد و سپس به رادیاتورهایی که قبلاً نصب شده بود، تغذیه می شد. تولید آبگرمکن های خورشیدی (SWH^۱) در اوایل دهه ۱۹۶۰ شروع شد. صنعت SWH خیلی سریع در سراسر جهان گسترده شد. نمونه SWH در بسیاری از حالات، از نوع ترموسیفون و متشکل از دو کلکتور صفحه تخت که سطح جذب بین ۳ تا ۴ مترمربع دارند، می باشد. یک تانک ذخیره با ظرفیت بین ۱۵۰-۱۸۰ لیتر و یک تانک ذخیره آب سرد، همه بر روی یک قالب مناسب نصب شده‌اند. یک هیتر کمکی غوطه‌ور و یا یک مبدل حرارتی، برای کمک به قسمت حرارت مرکزی برای تولید آب گرم، در زمستان و در زمان هایی که تابش خورشیدی کم است، مورد استفاده قرار می گیرد. بخش مهم دیگر SWH، بخش گردش اجباری است. در این سیستم فقط پانل‌های خورشیدی بر روی پشت‌بام قابل مشاهده هستند، تانک ذخیره آب گرم در داخل خانه تعبیه می شود و سیستم به وسیله لوله کشی و پمپ و چند ترموستات کامل می شود. این موضوع، به دلیل معماری و زیبایی جذاب تر است، اما برای نصب در واحدهای کوچک پرهزینه تر است [۶].

¹ - Solar Water Heater

با گسترش استفاده از سوخت‌های فسیلی و انرژی هسته‌ای، بهره‌گیری از انرژی خورشیدی رو به کاهش نهاد. با این حال، هزینه و سازگاری انرژی خورشیدی باعث استفاده از آن در موقعیت‌هایی شده است که امکان استفاده از سوخت‌های فسیلی و انرژی هسته‌ای وجود ندارد و یا امکان تعمیرات مهیا نیست. برای مثال می‌توان به ماهواره‌ها اشاره کرد که برای راه‌اندازی کامپیوترها و تجهیزات مختلف خود به انرژی نیاز دارند. استفاده از سوخت‌های فسیلی برای راه‌اندازی یک ماهواره در طول مدت مأموریتش در فضا، نیاز به مقادیر زیادی اکسیژن و سوخت دارد که ممکن است مانع از پرتاب موفقیت‌آمیز آن به مسیر مورد نظر شود. سوخت‌های هسته‌ای گزینه‌ای مناسب برای استفاده در فضاپیماها به نظر می‌رسند، ولی هنگام بازگشت ماهواره به زمین و احتمالاً انفجار آن، دردسرهای زیادی را به همراه خواهند داشت. مثال دیگری برای استفاده از انرژی خورشیدی که به مصارف خانگی نیز نزدیک‌تر است، بانه‌های تلفن است که در مکان‌هایی دوراز دسترس قرار دارند. به جای صرف هزینه‌های بسیار بالا برای راه‌اندازی تلفن و خطوط برق برای این بانه‌های تلفن، می‌توان از یک پانل خورشیدی مجهز به یک باتری و یک تلفن و یا تلفن ماهواره‌ای، استفاده کرد.

۱-۳- انرژی در ارتباط با مشکلات زیست محیطی

انرژی یک عامل اولیه و اصلی در تولید ثروت و یک فاکتور اساسی در پیشرفت اقتصادی است. اهمیت انرژی در پیشرفت اقتصادی به طور گسترده تعیین شده‌است و اطلاعات تاریخی مشخص می‌کند که یک رابطه قوی بین در دسترس بودن انرژی و فعال بودن اقتصاد وجود دارد. اگرچه در اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی و بعد از بحران نفت، نگرانی بر روی قیمت سوخت‌های فسیلی بود اما در سه دهه اخیر، خطر و حقیقت نابودی محیط زیست بسیار آشکارتر شده‌است. افزایش روز افزون جمعیت و مصرف انرژی در جهان، بشر را به سمت کشف راه‌حلهایی برای مشکلات زیست‌محیطی سوق داده‌است تا توسعه پایدار

فراهم شود. یکی از این راه حل‌ها، استفاده از انرژی‌های نو و پاک است که راه‌حلی بسیار مفید و مؤثر است.

یکی از تعاریف وسیع و پذیرفته‌شده از توسعه پایدار این است: توسعه‌ای که نیازهای حاضر را برطرف کند. فاکتورهای زیادی است که به توسعه پایدار کمک می‌کند. یکی از مهمترین مسایل توسعه پایدار بحث تأمین انرژی است که کاملاً پایدار باشد و با محیط زیست سازگار باشد. یک رابطه کاملاً دو طرفه بین توسعه پایدار و منابع انرژی نو وجود دارد. در زیر به سه مشکل عمده زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی پرداخته شده است.

۱-۳-۱- باران اسیدی

گازهای SO_2 و NO_x که از سوختن سوخت‌های فسیلی حاصل می‌شوند، بعد از گذر از یک فاصله زیاد، در اتمسفر قرار می‌گیرند و باعث می‌شوند که باران‌هایی که به زمین می‌رسند بسیار خطرناک و بیش از حد اسیدی باشند. واضح است که راه حل این مسأله، کنترل آلوده‌کننده‌های SO_2 و NO_2 است. این آلاینده‌ها موجب ریزش باران اسیدی هم در همان منطقه که تولید شده‌اند و هم در مناطق مجاور، می‌شوند. اخیراً توجه به مواد دیگری هم مانند (VOCs)¹، کلریدها، اوزون و مقدار کم فلزات که ممکن است در تبدیلات پیچیده شیمیایی در اتمسفر که منجر به باران اسیدی و همچنین آلودگی هوا شوند، جلب شده است. کاملاً مشخص است که بخش زیادی از فعالیت‌های مربوط به انرژی، منبع اصلی باران اسیدی است و واضح است که ساده‌ترین راه حل این مشکل، کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی است.

¹ - Volatile Organic Compounds

۱-۳-۲- کاهش لایه اوزون

اوزون اکنون در استراتوسفر است. در ارتفاع بین ۱۲ تا ۲۵ کیلومتر از سطح دریا. نقش یک متعادل کننده طبیعی را از طریق جذب اشعه‌های فرابنفش و مادون قرمز برای زمین بازی می‌کند. یک مشکل عمومی زیست‌محیطی کاهش لایه اوزون استراتوسفری است که به دلیل صدور CFC ها، هالون‌ها^۱ و NO_x است [۷]. کاهش اوزون می‌تواند منجر به افزایش صدمات ناشی از تابش فرابنفش که به زمین می‌رسد، شود که از آن جمله افزایش سرطان پوست و صدمات چشمی و صدمه به انواع گونه‌های زیست‌محیطی است. باید توجه شود که فعالیت‌های مربوط به انرژی به طور مستقیم یا غیر مستقیم در قبال این مشکل مسئول هستند. مهم‌ترین عامل کاهش اوزون گازهای CFC هستند که عموماً در تهویه مطبوع و در سیستم‌های تبرید به صورت مبرد به کار می‌روند و همچنین صدور NO_x که از سوخت‌های فسیلی و فرآیندهای احتراق بیوماس^۲ ناشی می‌شوند.

در سال ۱۹۹۸ اندازه سوراخ اوزون ۲۵ کیلومترمربع بود در حالی که در سال ۱۹۹۳ فقط ۳ کیلومترمربع بود [۸]. محققان انتظار دارند این سوراخ در ۲۰-۱۰ سال آینده به طور جدی پابرجا باشد و برطرف شدن کامل آن تا سال ۲۰۵۰ زمان می‌برد که البته در کنار آن تغییرات اقلیمی را حتماً خواهیم داشت. [۹]

۱-۳-۳- تغییر اقلیم جهانی

عنوان اثر گلخانه‌ای عموماً برای نقش همه اتمسفر (بیشتر بخار آب و ابرها) که سطح زمین را گرم نگه می‌دارد، به کار می‌رود. اخیراً همچنین اثر CO_2 که تخمین زده می‌شود در حدود ۵۰ درصد به اثر گلخانه‌ای کمک می‌کند، به شدت در حال شریک شدن با عوامل فوق است. علاوه بر این، چندین گاز دیگر مانند

^۱ - Halons(chlorinated and brominated organic compounds)

^۲ - Biomass

CH_4 ، CFS_5 ، هالون‌ها، N_2 و اوزون که به‌وسیله فعالیت‌های صنعتی و خانگی تولید می‌شوند، در این اثر شریک شده‌اند که نتیجه آن افزایش دمای زمین است. افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر، موجب افزایش حرارت به دام افتاده می‌شود (یا به عبارت دیگر موجب کاهش تشعشع از سطح زمین می‌شود) و بدین‌وسیله موجب افزایش دمای سطح زمین می‌شود. بر اساس مرجع [۱۰] دمای سطح زمین در طی قرن‌های اخیر در حدود ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته‌است و حدس زده می‌شود که ارتفاع سطح آب دریاها ۲۰ سانتیمتر بالا آمده‌باشد. این تغییرات تا حد زیادی ناشی از فعالیت‌های بشر در سرتاسر جهان است. بشر به واسطه فعالیت اقتصادی و دیگر فعالیت‌هایش، نقش بسیاری در افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای دارد. به عنوان مثال CO_2 ، از احتراق سوخت‌های فسیلی حاصل می‌شود، متان از بیشتر شدن فعالیت بشر ساطع می‌شود و تمام CFC آزاد شده به اثر گلخانه‌ای کمک می‌کند. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که با ادامه این وضعیت در قرن آینده دمای سطح زمین ممکن است ۲-۴ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کند. اگر این پیش‌بینی تحقق پیدا کند سطح آب دریاها بین ۳۰-۶۰ سانتی‌متر بالا می‌آید [۱۰]. بنابراین خطرات زیست‌محیطی جدی را شاهد خواهیم بود.

۴-۱- تکنولوژی‌های انرژی تجدیدپذیر

تکنولوژی‌های انرژی تجدیدپذیر به تبدیل یک پدیده طبیعی به یک شکل مفید از انرژی اطلاق می‌شود. این تکنولوژی‌ها از انرژی خورشید استفاده می‌کنند. اثر مستقیم و غیر مستقیم خورشید روی زمین (تشعشع خورشید، سقوط آب، باد، بایوماس)، جزرومد، زمین‌گرایی از جمله منابع انرژی محصول شده از خورشید است. این منابع پتانسیل بالایی دارند، آنها عموماً پراکنده هستند و کاملاً در دسترس نیستند، بیشتر آنها متناوب هستند و متغیرهای متفاوتی دارند. این ویژگی‌ها بهره‌برداری از آنها را سخت می‌کند

اما قابل حل است. امروزه پیشرفت‌های مهمی در زمینه کاهش هزینه‌های اولیه و نگهداری و افزایش دهنده اعتماد و کارایی این سیستم‌ها، به‌دست آمده‌است. تحقیق و توسعه جهانی در زمینه منابع انرژی تجدیدپذیر در طی دو دهه اخیر شروع شده‌است. به نظر می‌رسد در آینده نزدیک سیستم‌های تبدیل انرژی که بر مبنای انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشند به لحاظ هزینه بسیار مؤثرتر از پروژه‌های استفاده از سوخت‌های فسیلی باشند. بنابراین، سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر می‌توانند اثر سودمندی بر محیط زیست، اقتصاد و مسایل سیاسی جهان داشته‌باشند. در پایان سال ۲۰۰۱ تمامی ظرفیت نصب شده انرژی-های تجدیدپذیر برای تولید برق در سرتاسر جهان ۹ درصد بوده است [۱۱]. با پذیرفتن افزایش روزافزون مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، این عدد در سال ۲۰۵۰ به ۳۱۸ اگزاژول خواهد رسید [۱۲].

فواید رشد نصب و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌توانند در سه دسته مورد توجه قرار بگیرند: ذخیره انرژی، تولید شغل‌های جدید و کاهش آلودگی زیست محیطی. ذخیره انرژی منجر به کاهش در مصرف برق و یا دیزل که به طور مرسوم برای فراهم کردن انرژی استفاده می‌شوند، خواهد شد. این فایده می‌تواند به طور مستقیم با تولید مشابه به اقتصاد کمک کند و یا اینکه از هدر رفتن پول به منظور خرید و انتقال سوخت‌های فسیلی جلوگیری کند. فاکتور دیگری که در بسیاری از کشورها اهمیت بسیاری دارد، توانایی تکنولوژی‌های انرژی تجدیدپذیر به منظور تولید شغل است. این تکنولوژی‌ها می‌توانند به واسطه فعالیت‌هایی که دارند، تولید شغل‌های جدید کنند. به خصوص در زمینه کلکتورهای خورشیدی که هم در زمینه ساخت و هم نصب فرصت‌های شغلی زیادی تولید می‌شود. اما مهمترین فایده تکنولوژی‌های انرژی تجدید پذیر کاهش آلودگی زیست محیطی است. استفاده از این انرژی منجر به کاهش صدور گازهای سمی ناشی از سوخت‌های فسیلی می‌شود. مهمترین اثر آلاینده‌های هوا بر روی بشر و طبیعت، تأثیر آنها بر سلامت عمومی، کشاورزی و اکوسیستم است.

هدف از این پروژه، بهبود عملکرد کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت با استفاده از نانوسیالات است. در فصل دوم موضوعات و تئوری‌های مرتبط با موضوع تحقیق و فرمول‌های لازم آورده شده‌است و همچنین مروری بر کارهای انجام شده قبلی صورت گرفته‌است. در فصل سوم روش انجام آزمایشات و اجزای سیستم آزمایشی شرح داده شده‌است. در فصل چهارم، نتایج استخراج شده از آزمایشات آورده شده‌است. در فصل پنجم، نتایج تحلیل و پیشنهاداتی ارائه شده‌است.

فصل دوم

موضوعات و تئوری‌های مرتبط با گلکتور خورشیدی و

نانوسایالات

و مروری بر کارهای انجام شده قبلی

۲-۱- اساس انرژی خورشیدی

انرژی خورشیدی موجود در هسته‌ی خورشید، در واقع انرژی هسته‌ای است. در ۲۵٪ لایه‌های درونی خورشید، هیدروژن با سرعتی در حدود ۵۰۰ میلیون تن در هر ثانیه، به هلیوم تبدیل می‌شود. این مقدار معادل جرمی است که با ۱۰ میلیون واگن راه‌آهن حمل می‌شود. پس در خصوص اتمام این انرژی جای نگرانی نیست، زیرا خورشید به اندازه‌ی کافی هیدروژن دارد که این روند را تا ۵ بلیون سال دیگر ادامه دهد. این تولید انرژی به وسیله‌ی تراکم گرانشی دو برابر شده و هسته‌ی خورشید را در دمایی حدود ۱۶ میلیون درجه‌ی کلوین (۲۹ میلیون درجه‌ی فارنهایت) حفظ می‌کند. ابتدا حرارت از هسته متشعشع می‌شود و سپس از طریق هدایت به سطح خورشید می‌رسد که در دمای ۵۸۰۰ درجه‌ی کلوین باقی می‌ماند. اولین راه انتقال انرژی از سطح خورشید، تابش الکترومغناطیس است. این گونه انتقال گرما، تا حد زیادی به دمای سطح ماده و نوع انرژی وابسته است. طبق قانون استفان-بولتزمن مقدار انرژی تشعشع شده در واحد سطح با دمای ماده به توان ۴ وابسته است. این بدان معناست که میزان انرژی تشعشع شده از خورشید و بنابراین میزان انرژی خورشیدی دریافتی ما بر روی زمین، به دمای سطح وابسته است. یک تغییر یک درصدی در دمای خورشید، می‌تواند تغییری در حدود ۴٪ در میزان انرژی دریافت شده در واحد سطح ایجاد کند. شاید این مقدار زیاد به نظر نرسد، اما بیشتر از میزان مورد نیاز برای بازگرداندن ما به عصر یخبندان و یا گرم شدن جهنمی زمین است. نوع تشعشعات صادر شده از خورشید نیز به دما بستگی دارد. خورشید تابش الکترومغناطیس خود را در طول موج‌های مختلفی ساطع می‌کند. بسیاری از این تشعشعات به علت دمای سطح خورشید در محدوده‌ی طیف مرئی قرار دارند. طبق قانون وین، طول موج‌هایی که در آن‌ها بیشترین انرژی تشعشع می‌شود، به دمای جسم وابسته است. بنابراین هر چه جسم گرم‌تر شود، پیک تشعشعات به سمت طول موج‌های کوتاه‌تر می‌آید و بالعکس. به عنوان مثال، جسمی که

دمای سطحی ۴۰۰۰ درجه‌ی کلوین دارد، بیشترین انرژی را با طول موج ۷۵۰ نانومتر از خود ساطع می‌کند که نزدیک به اشعه‌ی مادون قرمز است. جسم با دمای سطحی ۶۰۰۰ درجه‌ی کلوین و طول موج ۵۰۰ نانومتر، که در محدوده‌ی سبز طیف رنگی است، بیشترین انرژی خود را تشعشع می‌کند. خارج از محدوده مرئی و رادیویی طیف، تنها قسمت کوچکی از محدوده مادون قرمز وجود دارد که انرژی توسط آن ساطع می‌شود. از جمله عواملی که میزان انرژی دریافتی توسط یک سیستم خورشیدی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، تعداد ساعات تابش آفتاب در یک منطقه است. میزان زمان تابش خورشید در طول روز، هم به مکان جغرافیایی و هم به فصل سال بستگی دارد. این به دلیل چرخش وضعی زمین و همچنین گردش آن به دور خورشید است.

۲-۲- برخی از مهم‌ترین مزایای استفاده از انرژی خورشید

- بهره‌گیری هوشمندانه از یک منبع کاملاً رایگان و بی‌پایان انرژی بدون نیاز به فناوری پیچیده.
- عدم انتشار گازهای گلخانه‌ای از قبیل دی‌اکسیدکربن در فضا و رعایت کامل ملاحظات زیست-محیطی.
- کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و در نتیجه کاهش هزینه‌های جاری انرژی تا حد قابل توجه.
- قابلیت طراحی و بهره‌برداری جهت تأمین بیش از ۸۰٪ آب گرم مصرفی و ۵۰٪ گرمایش مورد نیاز با صرف هزینه‌ای معقول.
- نصب آسان تجهیزات جمع‌کننده‌ی انرژی تابشی خورشید (کلکتورها) و سایر تجهیزات الحاقی در کوتاه‌ترین زمان ممکن.

- قابلیت بهره برداری بسیار خوب در کشور ما که بیش از دو سوم مساحت آن را مناطقی با بیش از ۳۰۰ روز تابش آفتاب در سال تشکیل می‌دهند (میانگین تابش روزانه‌ی خورشید در ایران بین ۴/۵ تا ۵/۵ کیلووات‌ساعت بر مترمربع است که رقمی بسیار قابل توجه به شمار می‌رود).
- دارا بودن کم‌ترین نیاز به تعمیر و نگهداری سیستم به واسطه‌ی بهره‌گیری از کم‌ترین تجهیزات مکانیکی.
- قابلیت تأمین سیال گرم در محدوده‌ی دمایی ۴۰ تا ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد که جهت استفاده در سیستم‌های گرمایش از کف تابشی بسیار مطلوب است.
- قابلیت تلفیق با عناصر معماری ساختمان به منظور بهره‌گیری از حداکثر تابش خورشید با کم‌ترین اتلاف انرژی.
- دارا بودن حداکثر شرایط ایمنی و حذف برخی خطرات از قبیل ترکیدگی گاز در سیستم‌های متداول امروزی.
- قابلیت بهره‌برداری در شرایط آب و هوایی بسیار متنوع و حتی در اقلیم‌های بسیار سرد با حداقل تابش خورشید.
- بازگشت پذیری سرمایه در کوتاه‌ترین زمان ممکن.
- قابلیت بهره‌گیری از یارانه‌های دولتی در راستای ترویج استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر.
- تطابق پذیری آسان با شرایط فرهنگی و اجتماعی مختلف.
- قابلیت بهره‌برداری حتی در شرایط ابری.

۲-۳- کلکتورهای خورشیدی^۱

¹ - Solar Collectors

کلکتورهای انرژی خورشیدی شکل خاصی از مبدل‌های حرارتی هستند که انرژی تشعشعی خورشید را به انرژی درونی محیط حامل، منتقل می‌کنند. بخش اصلی هر سیستم خورشیدی، کلکتور خورشیدی است که تشعشع رسیده از خورشید را جذب می‌کند، آن را به حرارت تبدیل می‌کند و به سیال (عموماً هوا، آب یا روغن) که در کلکتور جریان دارد، منتقل می‌کند. بنابراین انرژی خورشید مستقیماً به وسیله سیال عامل، به آب‌گرم، یا انرژی تهویه و یا به یک تانک ذخیره منتقل می‌شود تا در شب و یا روزهای ابری از آن استفاده شود. اساساً دو نوع کلکتور خورشیدی وجود دارند: غیرمتمرکز یا ثابت و متمرکز. کلکتورهای غیرمتمرکز دارای یک سطح هستند که همان سطح انرژی خورشید را می‌گیرد و جذب می‌کند. اما در نوع متمرکز که خورشید را دنبال می‌کند، همیشه سطوح مقعر بازتاب‌کننده‌ای وجود دارند که انرژی تابشی مستقیم خورشید را دریافت و آن را به روی یک سطح کوچکتر متمرکز کنند. تعداد زیادی از کلکتورهای خورشیدی در بازار موجود هستند. لیست جامع آنها در جدول ۱-۲ آمده است. در این قسمت به بررسی انواع مختلف کلکتور که در حال حاضر موجود هستند پرداخته می‌شود که شامل سه نوع *FPC* ، *EPC* و کلکتورهای متمرکز هستند.

جدول (۱-۲) لیست جامع انواع کلکتور [۱۳]

Motion	Collector type	Absorber type	Concentration ratio	Indicative temperature range (°C)
Stationary	Flat plate collector (FPC)	Flat	1	30-80
	Evacuated tubular collector (ETC)	Flat	1	50-200
	Compound parabolic collector (CPC)	Tubular	1-5	60-240
Single-axing tracking	Linear Fresnel reflector (LFR)	Tubular	10-40	60-250
	Parabolic trough collector (PTC)	Tubular	15-45	60-300
	Cylindrical trough collector (CTC)	Tubular	10-50	60-300
Two-axes tracking	Parabolic dish reflector (PDR)	Point	100-1000	100-500
	Heliostat field collector (HFC)	Point	100-1500	150-2000

۲-۳-۱- کلکتورهای ساکن

کلکتورهای خورشیدی اساساً با حرکتشان (به عبارت دیگر ساکن، متحرک در یک محور، متحرک در دو محور) و دمای عملکردشان متمایز می‌شوند. در آغاز کلکتورهای خورشیدی ساکن بحث می‌شوند. این کلکتورها دائماً در یک موقعیت ثابت هستند و خورشید را دنبال نمی‌کنند. این کلکتورها به سه نوع زیر تقسیم می‌شوند:

۱. کلکتورهای صفحه تخت (FPC^1)

۲. کلکتورهای مرکب سهموی ثابت (CPC^2)

۳. کلکتورهای لوله خال (ETC^3)

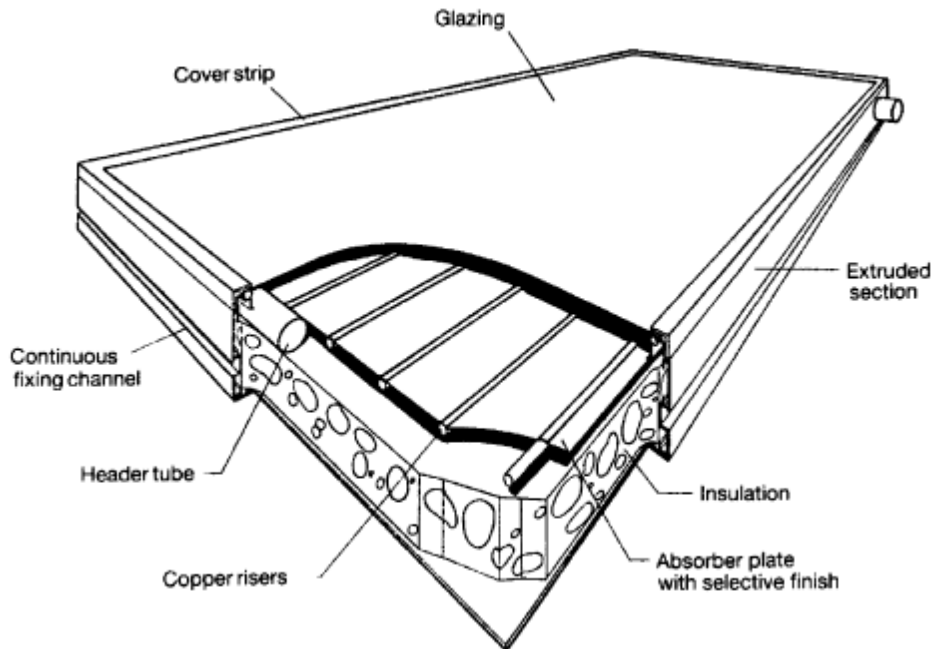
۲-۳-۱-۱- کلکتورهای صفحه تخت

نمونه کلکتور صفحه تخت در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. وقتی که تشعشع خورشید از پوشش شیشه‌ای صفحه عبور می‌کند و به سطح جاذب تیره با ضریب جذب بالا می‌رسد مقدار زیادی از این انرژی به وسیله صفحه جذب می‌شود و به محیط انتقال، منتقل می‌شود تا جهت استفاده مستقیم یا ذخیره به کار رود. سمت دیگر صفحه جاذب و کناره‌های آن به خوبی با عایق پوشیده شده‌اند تا اتلافات در لوله‌های سیال به وسیله رسانش را بسیار کم کنند. لوله‌های سیال می‌توانند به صفحه جاذب جوش داده شوند یا اینکه به شکل یکپارچه همراه با صفحه باشند. لوله‌های سیال از هر دو انتها به لوله‌های هدر با قطر بزرگتر متصل شده‌اند. پوشش شیشه‌ای صفحه به منظور کاهش اتلافات انتقال حرارت جابجایی از طریق هوای بین صفحه جاذب و شیشه استفاده می‌شود. همچنین این پوشش به کاهش اتلافات تشعشی از کلکتور کمک می‌کند به این صورت که شیشه از موادی ساخته می‌شود که انرژی خورشید به خوبی از آن عبور کند ولی تشعشع صادر شده از صفحه جاذب از آن عبور نکند. شیب قرارگیری کلکتور به موقعیت جغرافیایی و کاربرد آن بستگی دارد. یک FPC عموماً از اجزای زیر که در شکل‌های ۱-۲ و ۲-۲ نشان داده شده است، تشکیل شده است.

1 - Flat Plate Collectors

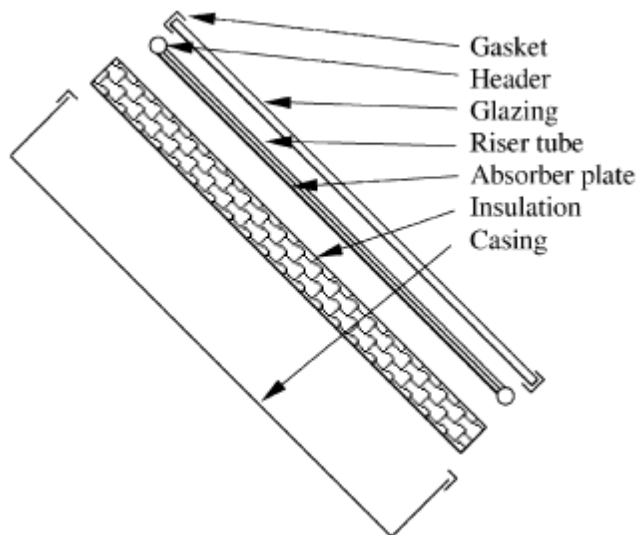
2 - Stationary Compound Parabolic Collectors

3 - Evacuated Tube Collectors



شکل (۱-۲) شکل شماتیک کلکتور صفحه تخت [۱۳]

- شیشه: یک یا چند لایه شیشه یا ماده دیگر مناسب .
- لوله‌ها: تا به وسیله انتقال حرارت هدایت یا مستقیماً عمل انتقال حرارت را از ورودی تا خروجی انجام دهند.
- صفحه جاذب که می تواند جدا و یا همراه لوله‌ها باشد.
- هدرها: به منظور وارد کردن یا خارج کردن سیال.
- عایق: به منظور کاهش اتلافات از پشت یا کناره‌های کلکتور.
- ظرف یا محفظه: به منظور نگهداری اجزا و محافظت از رطوبت و گردوغبار و ...



شکل (۲-۲) نمای جانبی از کلکتور صفحه تخت [۱۳]

FPC در انواع گسترده و از مواد مختلف ساخته شده است. سیال عامل آنها سیالاتی مانند آب، آب همراه ضدیخ و هوا می باشد. هدف اصلی، جمع آوری هر چه بیشتر انرژی خورشیدی در کنار کم کردن هزینه تا حد ممکن است. همچنین کلکتور باید دارای عمر مفید طولانی باشد. به جهت این که اثرات نامطلوب اشعه ماورای بنفش خورشید و همچنین نشست گردوغبار یا نفوذ رطوبت، شکستن شیشه به خاطر انبساط حرارتی، تگرگ، خراب کاری وجود دارند، ترجیح داده می شود تا از شیشه سخت استفاده شود. شیشه به طور گسترده برای پوشش کلکتورهای خورشیدی استفاده می شود زیرا می تواند ۹۰ درصد انرژی تشعشع خورشیدی را از خود عبور دهد. در حالی که تقریباً هیچ مقدار از انرژی ساطع شده از صفحه جذب را که دارای طول موج بالاست از خود عبور نمی دهد. شیشه همراه با آهن کم، نسبتاً ضریب عبور بالایی برای تشعشع خورشیدی دارد (تقریباً ۰/۹-۰/۸ در برخورد عمودی) اما ضریب عبور آن حدوداً صفر برای طول موج های بالا (۵۰-۵ میکرومتر) که از صفحه جذب ساطع می شود، است. فیلم ها و صفحات پلاستیکی، ضریب عبور بالایی برای طول موج های پایین دارند. اما در طول موج های بالا ضریب عبور در

حدود ۰/۴ دارند. پلاستیک‌ها عموماً محدودیت‌های دمایی نیز دارند و فقط تعداد کمی از آنها می‌توانند در مدت زمان طولانی خاصیت خود را در مقابل اشعه فرابنفش از دست ندهند. اگر چه آن‌ها باسنگ یا تگرگ نمی‌شکنند و وزن کمی دارند و انعطاف‌پذیر هستند.

نمونه‌های تجاری در دسترس از شیشه پنجره و شیشه گلخانه در تابش عمودی ضریب عبور ۰/۸۷ و ۰/۸۵ دارند. برای تشعشع مستقیم، ضریب عبور به طور قابل ملاحظه با تغییر زاویه برخورد، تغییر می‌کند. پوشش شیشه‌ای باید اجازه عبور تشعشع خورشید را تا حد ممکن بدهد و از اتلافات حرارتی نیز بکاهد. اگرچه شیشه تقریباً برای تشعشعات صفحه جاذب که طول موج بالایی دارند، کدر است، جذب همین انرژی موجب بالا رفتن دمای شیشه و اتلاف حرارت به محیط اطراف به وسیله تشعشع و جابجایی می‌شود. صفحه جاذب کلکتور انرژی خورشیدی را تا حد ممکن جذب می‌کند، در حالی که اتلافات حرارتی از آن به سمت بالا و پشت آن تا حد ممکن کم است. صفحه جاذب انرژی دریافتی را به سیال عامل منتقل می‌کند. ضریب جذب صفحه جاذب برای تشعشعات خورشیدی با طول موج پایین به جنس و رنگ پوششی و زاویه برخورد بستگی دارد. معمولاً از رنگ سیاه استفاده می‌شود، هر چند که از رنگ‌های دیگر هم به لحاظ زیبایی می‌توان استفاده کرد. با عملیات مناسب شیمیایی و الکتریکی، می‌توان صفحات را با مقادیر بالایی از ضریب جذب تشعشع خورشیدی (α) و مقادیر کم ضریب صدور طول موج پایین (ε) تولید کرد. ذاتاً، صفحات نمونه انتخابی از یک لایه نازک بالایی، که ضریب جذب بالایی برای طول موج پایین و نسبتاً قابل عبور برای تشعشع حرارتی با طول موج بالا را دارا می‌باشند، تشکیل شده‌اند که بر روی یک صفحه که ضریب بازتاب بالا و ضریب صدور پایین برای طول موج‌های پایین دارد، قرار داده می‌شود. صفحات انتخابی، به خصوص زمانی مهم می‌شوند که دمای صفحه خیلی بالاتر از دمای محیط می‌شود. اخیراً یک روش ماشین‌کاری ارزان‌قیمت برای تولید صفحات انتخابی ارائه شده است [۱۴].

یک کلکتور خورشیدی مؤثر، باید تشعشع خورشیدی برخوردی را جذب کند و آن را به انرژی حرارتی تبدیل کند و این انرژی را با کمترین اتلافات به سیال عامل انتقال دهد. ممکن است که در تولید یک صفحه جذب، انتخابی از الگوهای طراحی و مکانیزم‌های فیزیکی متفاوتی استفاده شود. اساس جذب‌های خورشیدی بر پایه دو لایه با ویژگی‌های ظاهری متفاوت که پشت سر هم قرار گرفته‌اند، می‌باشد. یک پوشش شبه رسانا یا دی‌الکتریک با ضریب جذب خورشیدی بالا و ضریب عبور بالا برای اشعه مادون قرمز بر روی یک ماده با ضریب انعکاس بالا مانند فلز، این نوع از جذب پشت سرهم را به وجود می‌آورد. راه دیگر، پوشش دادن یک ماده با ضریب جذب بالا به وسیله یک آینه که ضریب عبور بالا و همچنین ضریب بازتاب مادون قرمز بالا دارد، می‌باشد [۱۵].

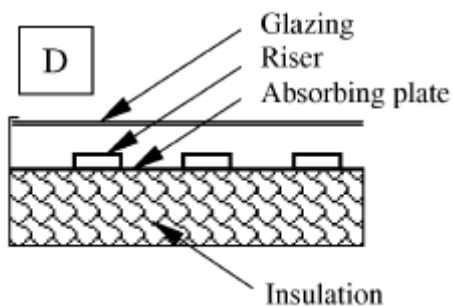
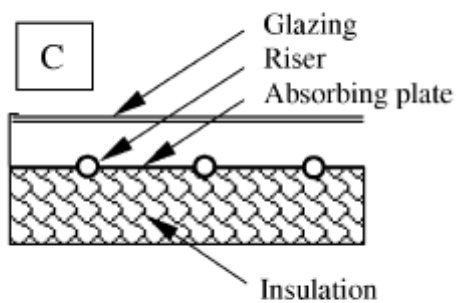
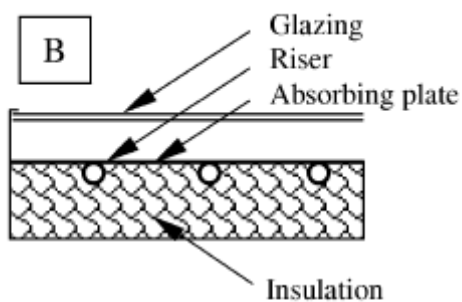
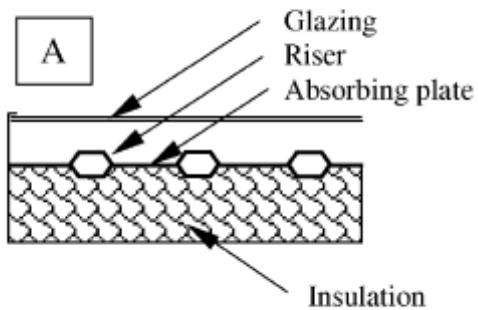
بیشترین پیشرفت در طی سال‌های اخیر مربوط به کارگیری تکنیک‌های استفاده از خلأ برای تولید جذب‌های پره‌ای شکل جهت استفاده در کاربردهای دمایی بوده‌است. تکنیک‌های خلأ امروزه به حد بلوغ رسیده‌اند و از آن‌ها به عنوان فرآیندهای کم‌هزینه و کم‌خطر برای محیط زیست یاد می‌شود.

برای کلکتورهای گرم‌کننده سیال، مسیرهای عبور باید به طور پیوسته با صفحه جذب باشد و یا محکم به صفحه متصل باشد. مسئله اساسی تعیین یک اتصال حرارتی خوب بین لوله‌ها و صفحه است به طوری که هزینه‌های مربوط به مواد و نیروی کار نیز بیش از حد بالا نرود. موادی که عموماً برای صفحات کلکتور به کار می‌روند مس، آلومینیوم و استیل ضدزنگ هستند. فرآیندهای اکستروژن برای کاربردهای دما پایین استفاده می‌شوند. اگر تمام سطح کلکتور در ارتباط با سیال انتقال حرارت باشد، هدایت حرارتی ماده مهم نیست. شکل ۲-۳ تعدادی از طراحی‌های صفحه جذب برای گرمکن‌های خورشیدی آب و هوا را نشان می‌دهد. شکل A طرح یک ورقه را نشان می‌دهد که مسیرهای عبور سیال به طور پیوسته با صفحه هستند تا از یک رسانش حرارتی خوب بین فلز و سیال اطمینان حاصل شود. شکل B و C گرمکن‌های سیال را که در آن لوله‌ها لحیم و سخت‌کاری شده و یا به هر شکل دیگر به بالا یا پایین سطح صفحه چسبیده شده‌اند،

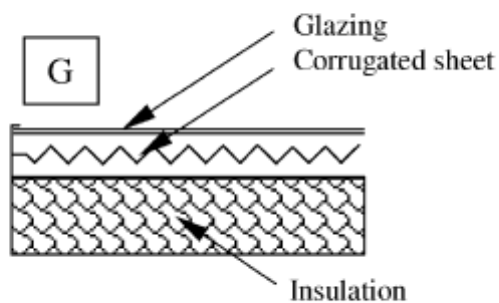
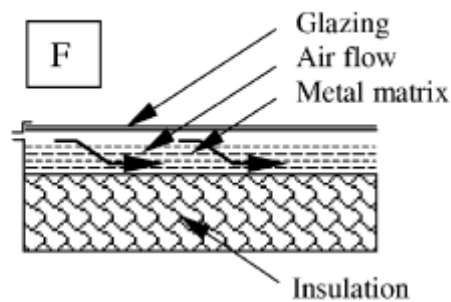
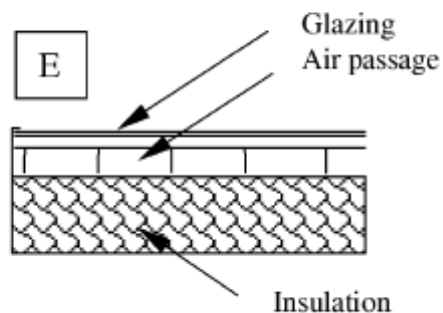
نشان می‌دهد. در این روش اغلب از لوله‌های مسی استفاده می‌شود چون مقاومت آن‌ها به خوردگی بالاست. چسب‌های حرارتی، گیره‌ها، بست‌ها و سیم‌های دارای اعوجاج از جمله انتخاب‌ها برای روش اتصال ارزان قیمت بوده‌است. شکل D استفاده از لوله‌های مستطیلی اکستروژده شده را برای به‌دست آوردن یک مساحت انتقال حرارت بزرگ‌تر بین لوله و صفحه نشان می‌دهد. فشار مکانیکی، چسب حرارتی یا لحیم کردن ممکن است جهت متصل کردن استفاده شود. از روش لحیم نرم نباید استفاده شود چون در شرایط سکون و دماهای بالا، اتصال دچار مشکل می‌شود. هوا و یا دیگر گازها می‌توانند به وسیله *FPC* گرم شوند، به‌خصوص اگر از نوع سطوح گسترش یافته (شکل E) استفاده شود تا اثر ضرایب انتقال حرارت پایین بین فلز و هوا را خنثی کند. فلز مشبک (شکل F) یا ورق‌های فلزی با رشته‌های ریز ممکن است زمانی که سطح عملکرد بالایی نیاز است استفاده شود. نیاز اساسی مساحت ارتباطی بزرگ بین صفحه جاذب و هوا است. کاربردهای مختلفی از کلکتورهای خورشیدی با سیال عامل هوا گزارش شده‌است [۲۲-۱۶]. کاهش اتلاف حرارت از سطح جاذب می‌تواند با انتخاب سطح جاذب مناسب برای کاهش انتقال حرارت تشعشعی یا جلوگیری از انتقال حرارت جابجایی، صورت بگیرد. فرانسیا^۱ نشان داد که قرار دادن یک شانه عسل در فضای هوای بین شیشه و سطح جاذب می‌تواند بسیار مناسب باشد [۲۳].

¹ - Francia

Water systems



Air systems



شکل (۲-۳) انواع مختلف کلکتورهای صفحه تخت [۱۳]

طبقه دیگری از کلکتورها، کلکتورهای خورشیدی بدون پوشش یا بدون شیشه است. این دسته معمولاً ارزان قیمت هستند و برای کاربردهایی که قیمت کم فاکتور مهمی است مانند پیش گرم کردن آب برای استفاده خانگی یا صنعتی، گرم کردن آب استخرهای شنا، گرم کردن فضا و هوا برای کاربردهای صنعتی و کشاورزی، مناسب هستند.

FPC معمول ترین نوع کلکتور به لحاظ استفاده است. *FPC* معمولاً برای کاربردهای دمایی تا حد 100°C به کار می رود، اگرچه انواع جدیدی از آنها که از عایق خلأ استفاده می کنند، می توانند به آرامی به مقادیر بالاتر نیز برسند [۲۴]. دماهای سکون در کلکتور های استاندارد *FPC* تا بیش از 200°C می رسد. مشخصه های یک نمونه کلکتور *FPC* با سیال عامل آب در جدول ۲-۲ نشان داده شده است. اخیراً تعدادی تکنیک مدرن به وسیله صنعت، مانند استفاده از ماشین جوش اولتراسونیک، معرفی شده است. این تکنیک سرعت و کیفیت جوش ها را بهبود می دهد و برای جوش پره ها یا رابرها برای بهبود انتقال حرارت رسانش استفاده می شود. مزیت بزرگ این روش این است که عملیات جوشکاری در دمای اتاق انجام می شود. بنابراین تغییر شکل در قسمت های جوشکاری شده به وجود نمی آید. این کلکتورها با پوشش های انتخابی، *FPC* پیشرفته نامیده می شوند و مشخصات نمونه آنها در جدول ۲-۲ آمده است .

جدول (۲-۲) ویژگی‌های یک نمونه از کلکتور صفحه تخت با سیال عامل آب [۱۳]

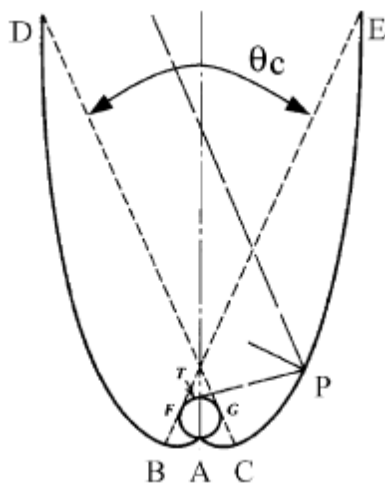
Parameter	Simple flat plate collector	Advanced flat plate collector
Fixing of risers on the absorber plate	Embedded	Ultrasonically welded
Absorber coating	Black mat paint	Chromium selective coating
Glazing	Low-iron glass	Low-iron glass
Efficiency mode	$nv_s(T_i - T_a)/G$	$nv_s(T_i - T_a)/G$
flow rate per unit area at test condition(kg/s m ²)	0.015	0.015
intercept efficiency	0.79	0.80
negative of the first-order(W/m ² °C)	6.67	4.78
incidence angle modifier constant	0.1	0.1
Collector slope angle	Latitude + 5 to 10°	Latitude + 5 to 10°

۲-۳-۱-۲- کلکتور های ترکیبی سهموی

*CPC*ها متمرکزکننده هستند. آن‌ها توانایی بازتاب کردن تمام اشعه‌های خورشید بر روی جاذب را دارند. پتانسیل آن‌ها به عنوان کلکتورهای انرژی خورشیدی توسط وینستون نشان داده شد. مشکل حرکت متمرکزکننده به دنبال حرکت خورشید، می‌تواند با استفاده از یک وسیله دو قسمتی که از دو سهمی که روبروی هم قرار گرفته‌اند و در شکل ۲-۴ نشان داده شده‌است، کاهش پیدا کند. متمرکزکننده‌های مرکب سهموی می‌توانند تشعشع ورودی خورشید را تا حد زیادی و در محدوده زاویه‌ای بزرگی بپذیرند. با استفاده از بازتاب کننده‌های درونی متعدد، هر تشعشعی که به سطح این کلکتور می‌رسد راه خود را برای متمرکز شدن روی جاذب که در کف کلکتور قرار گرفته پیدا می‌کند. جاذب می‌تواند ساختارهای متفاوتی داشته باشد. می‌تواند استوانه‌ای و یا تخت باشد.

در *CPC* نشان داده شده در شکل ۲-۴، بخش پایینی بازتابنده (*AB* و *AC*) دایره‌ای است در حالی که قسمت بالایی (*BD* و *CE*) سهمی هستند. از آنجایی که بخش بالایی سهم کمی در رساندن اشعه‌های خورشید به جاذب دارد، معمولاً کوتاه می‌شوند و شکل کوتاه‌تری از *CPC* را که ارزان‌تر هم هست، می‌-

سازند. *CPC* ها عموماً به وسیله شیشه پوشش داده می‌شوند تا گردوغبار و مواد دیگر به داخل کلکتور راه پیدا نکنند و موجب کاهش بازتابندگی دیواره‌ها نشوند. این کلکتورها با متمرکزکننده‌های خطی یا گذرگاهی بسیار مفید هستند. زاویه قابل پذیرش، زاویه پرتویی است که از منبع نور می‌آید و می‌تواند به جاذب برخورد کند. (θ_c در شکل). همچنین بسته به زاویه قابل پذیرش، کلکتور می‌تواند ساکن و یا متحرک باشد.



شکل (۲-۴) شکل شماتیک کلکتور مرکب سهموی

متحرک کننده *CPC* می‌تواند در طول محور بلند خود در جهت شمال- جنوب و یا مشرق- مغرب قرار گیرد و روزنه آن در شیبی مستقیم به سمت خط استوا و زاویه مساوی با عرض جغرافیایی منطقه باشد. زمانی که در جهت شمال- جنوب قرار بگیرد کلکتور باید به وسیله چرخش محور خود خورشید را دنبال کند تا همواره در مقابل خورشید قرار بگیرد.

از آنجایی که زاویه قابل قبول متمرکزکننده عریض است، ضرورتی ندارد که شیب آن در هر فصل از سال تنظیم شود. همچنین می‌تواند ساکن باشد اما در این حالت فقط در ساعاتی که خورشید در محدوده

زاویه قابل قبول است، می‌تواند پرتوهای خورشید را دریافت کند. زمانی که متمرکزکننده در طول محور بلند خود در جهت مشرق-مغرب قرار بگیرد، با یک تنظیم کوچک در شیب آن در هر فصل، قادر است پرتوهای خورشید را به واسطه زاویه قابل قبول عریض خود دریافت نماید. کمترین زاویه قابل قبول در این حالت باید با ماکسیمم زاویه برخوردی که در صفحه عمودی شمال-جنوب تصویر می‌شود، در طول زمان-هایی که به خروجی از آن نیاز است، برابر باشد. برای کلکتورهای *CPC* ساکن که در این حالت قرار می‌گیرند کمترین زاویه قابل قبول 47° است. این زاویه کاهش میزان پرتودهی از تابستان تا کوتاهترین روز زمستان را پوشش می‌دهد. در عمل، زاویه‌های بزرگ‌تر به منظور قادرسازی کلکتور به جمع‌آوری تشعشع پراکنده در یک نسبت تمرکز پایین به کار می‌روند. کلکتورهای با نسبت تمرکز کمتر از ۳ به لحاظ عملی بسیار مورد علاقه هستند. آن‌ها قادر هستند نسبت بالایی از تشعشع پراکنده‌ای که به سطح آن‌ها برخورد می‌کند دریافت کنند بدون آنکه نیازی به دنبال کردن خورشید باشد.

دو نوع اساسی از کلکتورهای *CPC* طراحی شده‌است. متقارن و غیرمتقارن. آن‌ها معمولاً دو نوع اصلی از جاذب‌ها را به کار می‌گیرند. لوله همراه با پره و جاذب‌های تیوب شکل. ملاحظات طراحی عملی مانند انتخاب نوع دریافت کننده، روشی به منظور معرفی فاصله بهینه بین دریافت کننده و بازتابنده، و اثر شیشه‌ای که دور دریافت کننده را پوشانده در مرجع [۶] آمده‌است. ویژگی‌های یک نمونه از کلکتور *CPC* در جدول ۲-۳ آمده‌است.

جدول (۳-۲) ویژگی‌های یک نمونه کلکتور مرکب سهموی [۱۳]

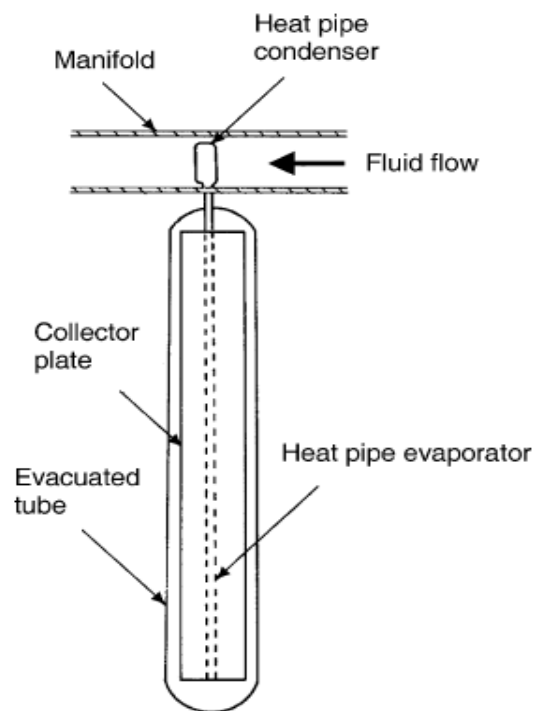
Parameter	Value
Collector fin efficiency factor	0.9
Overall loss coefficient of collector per unit aperture area (W/m^2 °C)	1.5
Reflectivity of walls of CPC	0.85
Half-acceptance angle of CPC (degree)	45
absorbance of absorber plate	0.95
Number of cover plates	1
Index of refraction of cover material	1.526
Products of extinction coefficient and the thickness of each cover plate	0.0375
Collector slope angle	Local latitude

۳-۱-۳-۲- کلکتورهای لوله خلأ

کلکتورهای صفحه تخت ساده مرسوم برای استفاده در اقلیم‌های گرم و آفتابی توسعه یافت. اگرچه سودمندی آن‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای در روزهای سرد، ابری و وزش باد شدید که شرایط مهیا نیست، کاهش می‌یابد. علاوه بر این، اثرات آب و هوایی مانند میعان و رطوبت که موجب از بین رفتن پیش از موعد مواد داخلی و در نتیجه کاهش عملکرد و شکست سیستم می‌شود. کلکتورهای لوله گرمایی خلأ، متفاوت با دیگر نمونه‌های موجود در بازار عمل می‌کنند. همان‌طور که در شکل ۲-۵ نشان داده شده است، این کلکتورهای خورشیدی از یک لوله حرارتی در کنار یک تیوب پرشده از خلأ، تشکیل شده است.

ETC نشان می‌دهد که ترکیب یک سطح خوب همراه با یک بازدارنده مؤثر انتقال حرارت جابجایی، می‌تواند منجر به عملکرد خوب در دماهای بالا شود [۲۵]. پوشش خلأ اتلافات رسانش و جابجایی را کاهش می‌دهد، بنابراین این کلکتورها می‌توانند در دماهای بالاتر نسبت به *FPC* عمل کنند. مانند *FPC*، آن‌ها

هم تشعشع مستقیم و هم تشعشع پراکنده خورشید را جمع‌آوری می‌کنند. بنابراین بازده آن‌ها در زوایای برخوردی کم، بالاتر است. این ویژگی یک مزیت را به *ETC* نسبت به *FPC* می‌دهد. *ETC* از مواد با تغییر فاز مایع به بخار جهت انتقال حرارت در بازده بالا استفاده می‌کند. قسمت اصلی این کلکتورها، لوله حرارتی (یک رساننده حرارتی با بازده بالا) است که در داخل یک تیوب خلأ قرار گرفته‌است. این لوله به یک پره مسی سیاه که تیوب را در بر گرفته‌است، متصل شده‌است (صفحه جاذب). یک نوک فلزی از بالای هر تیوب بیرون آمده‌است (کندانسور). لوله گرمایی یک مقدار کم از سیال (مانند متانول) را در خود جای داده‌است که یک سیکل تبخیر-میعان را طی می‌کند. در این سیکل، حرارت خورشید سیال را تبخیر می‌کند. سیال تبخیرشده، در داخل لوله حرکت می‌کند و در کندانسور با آزاد کردن گرمای نهان خود به مایع تبدیل می‌شود. سیال مایع شده دوباره به لوله باز می‌گردد و این سیکل دائماً تکرار می‌شود. انتقال بخار به این شکل به خاطر اختلاف در چگالی بخار و مایع است که به آن پدیده ترموسیفون نیز می‌گویند. نوک‌های فلزی بالای تیوب داخل یک مبدل حرارتی قرار گرفته‌اند. آب و یا متانول از داخل این مبدل عبور کرده و حرارت آزادشده را دریافت می‌کنند. مایع گرم شده در داخل یک مبدل حرارتی دیگر گردش می‌کند و حرارت خود را به یک فرایند یا به آب ذخیره شده داخل تانک می‌دهد.



شکل (۵-۲) شماتیک کلکتور لوله‌ای تحت خلا [۱۳]

به دلیل آن که هیچ‌گونه تبخیر یا میعان‌ی در بالای دمای تغییر فاز ممکن نیست، لوله گرمایی یک حفاظت ذاتی از خود در مقابل یخ‌زدگی و فوق‌گرم‌شدن را ایجاد می‌کند. این کنترل دمای ذاتی، یک ویژگی منحصر به فرد برای کلکتور لوله گرمایی تحت خلا است.

ETC اساساً از یک لوله گرمایی داخل یک لوله خلا تشکیل شده‌است. تعداد زیادی از شکل‌های مختلف *ETC* در بازار موجود است [۲۶]. لوله‌های خلا با بازتابنده‌های *ETC* هم به وسیله بعضی تولیدکنندگان تجاری شده‌است. ویژگی‌های یک نمونه *ETC* در جدول ۲-۴ نشان داده شده‌است.

جدول (۲-۴) ویژگی‌های یک نمونه کلکتور لوله‌ای تحت خلا [۱۳]

Parameter	Value
Glass tube diameter	65mm
Glass thickness	1.6mm
Collector length	1965mm
Absorber plate	Copper
Coating	Selective
Absorber area for each collector	0.1m ²
Efficiency mode	$nv_s(T_i - T_a)/G$
Flow rate per unit area (kg/s m ²)	0.014
Intercept efficiency	0.82
Negative of the first-order coefficient	2.19
Collector slope angle	Latitude + 5 to 10°

۲-۳-۲- کلکتورهای خورشیدی متحرک

این نوع کلکتورها بر مبنای حرکتشان به دو نوع حرکت در یک محور و حرکت در دو محور تقسیم می‌شوند. در نوع اول به دمای ۲۴۰ درجه و در نوع دوم به ۵۰۰ درجه نیز می‌توان رسید. توضیحات کامل انواع کلکتورهای خورشیدی متحرک در مرجع [۱۳] آورده شده است.

۲-۴- نانوسیالات

گروهی جدید از سیالات که قادر به انتقال حرارت می‌باشند، نانوسیال نامیده می‌شوند. نانوسیالات به وسیله پخش و منتشر کردن ذرات در اندازه‌های نانومتری (۱۰۰-۱ نانومتر) در سیالات متداول منتقل

کننده گرما، به منظور افزایش هدایت گرمایی و بهبود عملکرد انتقال حرارت، ساخته می‌شوند. این ذرات عموماً فلز یا اکسید فلز هستند و باعث افزایش ضرایب انتقال حرارت هدایت و جابه‌حایی می‌شوند [۲۷].

نتایج آزمایش‌هایی که در رابطه با نحوه انتقال حرارت بر روی چندین نمونه نانوسیال انجام شد، نشان می‌دهد که عملکرد نانوسیالات در انتقال حرارت عموماً بیشتر از آن چیزی است که به صورت نظری پیش‌بینی شده است. این واقعیت یک کشف اساسی در مسئله انتقال حرارت می‌باشد.

خواص استثنایی نانوسیالات شامل هدایت حرارتی بیشتر نسبت به سوسپانسیون‌های معمولی، رابطه غیرخطی بین هدایت و غلظت مواد جامد و بستگی شدید هدایت به دما است. این خواص استثنایی، به همراه پایداری، روش تهیه نسبتاً آسان و ویسکوزیته قابل قبول باعث شده تا نانوسیالات به عنوان یکی از مناسب‌ترین و قوی‌ترین انتخاب‌ها در زمینه سیالات خنک‌کننده مطرح شوند. مقدار کمی (حدود یک درصد حجمی) از نانوذرات مس یا نانولوله‌های کربنی در اتیلن گلیکول یا روغن به ترتیب افزایش ۴۰ و ۱۵۰ درصدی در هدایت حرارتی این سیالات ایجاد می‌کند.

مزیت‌های استفاده از نانوسیالات در مقایسه با سوسپانسیون‌های رایج جامد- مایع در زیر آمده-

است: [۲۷]

- مشخصه مساحت ظاهری بالا و بنابراین سطح انتقال حرارت بالاتر بین ذرات و سیال
- پایداری پخش بالا به واسطه حرکت براونی ذرات
- کاهش یافتن توان پمپ کردن در مقایسه با سیال خالص برای میزان انتقال حرارت مساوی
- توانایی تنظیم مشخصات مانند رسانندگی گرمایی با تغییر دادن غلظت ذرات به منظور

کاربردهای مختلف

نانوتکنولوژی به منظور استفاده در کاربردهای زیادی که به منظور فراهم کردن منابع انرژی پاک تر و با بازدهی بالاتر هدف گذاری شده اند، مورد استفاده و توجه قرار گرفته است. تعداد زیادی از این کاربردها، ممکن است به طور مستقیم بر روی انتقال انرژی تاثیر نداشته باشند، ولی در عین حال هر کدام از آنها پتانسیل کم کردن نیاز به برق و نفت و یا گاز طبیعی را دارند که موجب بهبود سیستم های انتقال انرژی از لحاظ دیگر خواهد شد. تولید و استفاده از انرژی با بازده بالاتر، هزینه های ساخت و ساز، حفاظت و نگهداری را کاهش می دهد.

پیدایش تعداد زیاد فرایندهای انتقال حرارت، درخواست برای تکنولوژی های نو به منظور بهبود انتقال حرارت را ایجاد کرده است. به عنوان مثال، ریزپردازنده ها به طور دایم در حال کوچک تر شدن و نیرومندتر شدن هستند و در نتیجه آن خواسته ها از انتقال حرارت به طور پیوسته با گذشت زمان افزایش می یابند و منجر به چالش های جدید در مدیریت حرارت می شوند. بنابراین علاقه زیاد به بهبود بازده فرایندهای انتقال حرارت موجود، وجود دارد. به عنوان مثال، در سیستم های مربوط به وسایل حمل و نقل موتوری، بهبود فرایند انتقال حرارت منجر به استفاده از مبدل حرارتی کوچک تر برای سیستم خنک کاری و در نتیجه کاهش وزن وسیله خواهد شد.

روش های زیادی به منظور افزایش انتقال حرارت در سیستم ها وجود دارد. جریان انتقال حرارت در یک فرایند می تواند بر اساس فرمول $Q = hA\Delta T$ محاسبه شود که در آن Q جریان حرارت، h ضریب انتقال حرارت و A مساحت انتقال حرارت و ΔT اختلاف دمای ناشی از انتقال حرارت است [۲۸]. از روی این فرمول، می توان این گونه استنتاج کرد که به منظور افزایش انتقال حرارت باید حداقل یکی از مقادیر h یا A و یا ΔT افزایش یابد.

اختلاف دمای بزرگ تر منجر به افزایش انتقال حرارت می شود، اما اختلاف دما اغلب به وسیله فرایند یا ساختار ماده محدود می شود. به عنوان مثال، حداکثر دما در یک راکتور هسته ای باید در زیر یک حد

معین نگه داشته شود تا از واکنش‌های فرار و فروگداخت جلوگیری شود. بنابراین افزایش اختلاف دما فقط با کاهش دمای پایین امکان‌پذیر است که این عمل هم موج کاهش نرخ فرایند هسته‌ای و کاهش بازده فرایند خواهد شد [۲۸].

افزایش دادن مساحت انتقال حرارت، یک استراتژی معمول برای بهبود انتقال حرارت است و تعداد زیادی از مبدل‌های حرارتی مانند رادیاتورها و مبدل‌های صفحه-پوسته به منظور افزایش سطح انتقال حرارت، طراحی شده‌اند. این استراتژی در ریزپردازنده‌ها و سیستم‌های میکروالکترومکانیکی (MEMS) نمی‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد چون سطح نمی‌تواند افزایش یابد. در سیستم‌های مربوط به وسایل نقلیه موتوری و هوافضا، افزایش سطح انتقال حرارت فقط با افزایش سطح مبدل‌های حرارتی امکان‌پذیر است که نتیجه آن افزایش ناخواسته وزن سیستم است [۲۸].

بهبود انتقال حرارت می‌تواند با افزایش ضریب انتقال حرارت، h ، چه با به کارگیری بیشتر از روش‌های انتقال حرارت موثرتر و چه با بهبود ویژگی‌های حرارتی ماده انتقال حرارت، نیز صورت بگیرد. به عنوان مثال، سیستم‌هایی که از جابه‌جایی اجباری به جای جابه‌جایی آزاد استفاده می‌کنند، ضریب انتقال حرارت بزرگ‌تری دارند. اضافه کردن موادی به ماده انتقال حرارت، منجر به بهبود ویژگی‌های حرارتی آن می‌شود. به عنوان مثال، اضافه کردن گلیکول‌ها به آب منجر به کاهش دمای انجماد و افزایش دمای جوش می‌شود. اضافه کردن ذرات جامد به سیال نیز می‌تواند منجر به افزایش ضریب انتقال حرارت شود که نمونه آن، نانوسیالات هستند [۲۷-۳۱].

نانوسیالات در محدوده وسیعی از صنعت استفاده می‌شوند مانند سیستم‌های تولید انرژی، سیستم‌های الکترونیکی مانند ریزپردازنده‌ها و MEMS‌ها و در بیوتکنولوژی. اخیراً توجه کمپانی‌های بزرگ که پتانسیل نانوسیالات را دیده‌اند، برای بهبود عملکرد سیستم خاص خودشان، افزایش یافته‌است.

انند [۳۲-۳۴].
Ford و GM ، Nanocars در این میان پروژه‌های تحقیقاتی بیشتری در این زمینه انجام داده-

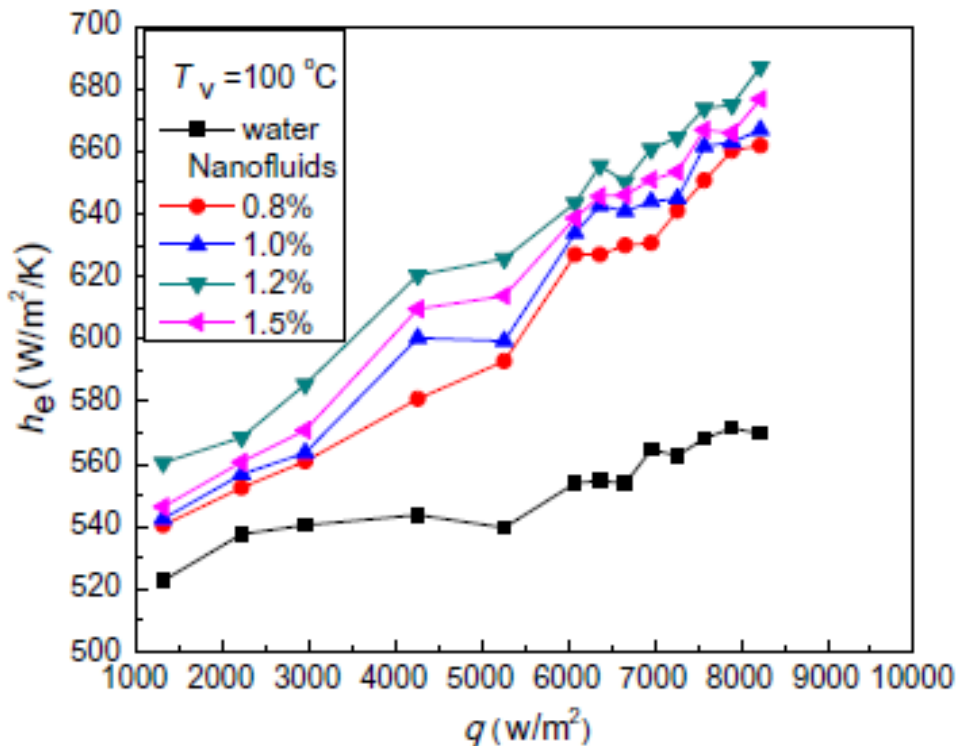
از جمله کاربردهای نانوسیالات عبارت است از: [۳۵]

خنک‌سازی تجهیزات الکترونیک، کاربرد در چیلرها، کاربرد در سیستم تبرید خانگی، خنک‌سازی موتور وسایل نقلیه، کاربرد به عنوان خنک‌کننده در فرایند ماشین‌کاری، خنک‌سازی ژنراتور دیزل تولید برق، احتراق دیزل، کاهش دمای لوله گاز در بویلر، آب‌گرمکن خورشیدی، گرمایش و سرمایش در ساختمان‌ها، کاربرد در ترانسفورماتور، کاربرد در مبدل‌های حرارتی، کاربرد در صنعت دفاع و فضا و کشتی‌سازی، کاربردهای پزشکی، کاربرد در راکتور هسته‌ای و...

۲-۵- مروری بر برخی از کارهای انجام شده

ترموسیفون دوفازی بسته یا لوله گرمایی بدون فتیله، متشکل از یک ظرف استوانه‌ای است که دو سر آن بسته شده است و مقدار کمی از یک سیال عامل درون آن تحت شرایط خلا قرار دارد. این وسیله به‌طور معمول شامل سه بخش تبخیرکننده، آدیاباتیک و چگالنده است. در نوع باز، یک طرف لوله باز است و قسمت چگالنده به صورت جدا به این سر لوله وصل می‌شود. حرارت ورودی به بخش تبخیرکننده ترموسیفون موجب جوشش و تبخیر سیال عامل می‌شود، سپس بخار با از دست دادن گرمای نهان خود در بخش چگالنده به صورت یک فیلم مایع، تحت تاثیر نیروی گرانش به بخش تبخیرکننده باز می‌گردد. از آنجایی که میزان گرمای نهان تبخیر سیال قابل توجه می‌باشد، حرارت زیادی با حداقل اختلاف دما بین دو سر لوله انتقال می‌یابد. در عمل هدایت حرارتی موثر ترموسیفون‌ها ۲۰۰ الی ۵۰۰ برابر مس که یک فلز با قابلیت حرارتی بالا می‌باشد، است.

در سال ۲۰۰۱ محققان چینی [۳۶] در طی یک کار آزمایشگاهی یک لوله ترموسیفون باز را که در کلکتورهای خورشیدی لوله خلا به کار می‌رود در یک محیط داخلی و با شبیه‌سازی نور خورشید، مدل-سازی کرده‌اند. یک‌بار آب و یک‌بار آب همراه با نانو ذرات اکسیدمس، سیال عامل انتخاب شد. اثرات نسبت پرشدن (نسبت حجم قسمت اوپراتور به حجم سیال عامل)، نوع سیال عامل، نسبت نانوذرات و دمای عملکرد مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در این تحقیق تاثیر این پارامترها بر روی عملکرد ترموسیفون با اثر این پارامترها بر ضریب انتقال حرارت قسمت اوپراتور نشان داده شده‌است. فرمول‌های مربوط به ضریب انتقال حرارت اوپراتور (h_e) به طور کامل در همین مرجع آورده شده‌است. نتایج آزمایش نشان داد که نسبت بهینه پرشدن (نسبت حجم سیال عامل به حجم تبخیرکننده) ۶۰ درصد بود. عملکرد حرارتی ترموسیفون با افزایش دمای عملکرد افزایش یافت. جایگزین کردن نانوسیال اکسیدمس به جای آب به عنوان سیال عامل، ضریب انتقال حرارت اوپراتور را ۳۰ درصد افزایش داد. نسبت جرمی نانو ذرات، اثر قابل توجهی بر روی ضریب انتقال حرارت اوپراتور داشت و نسبت ۱/۲ درصد به عنوان نسبت بهینه برای بهبود عملکرد معرفی شد.

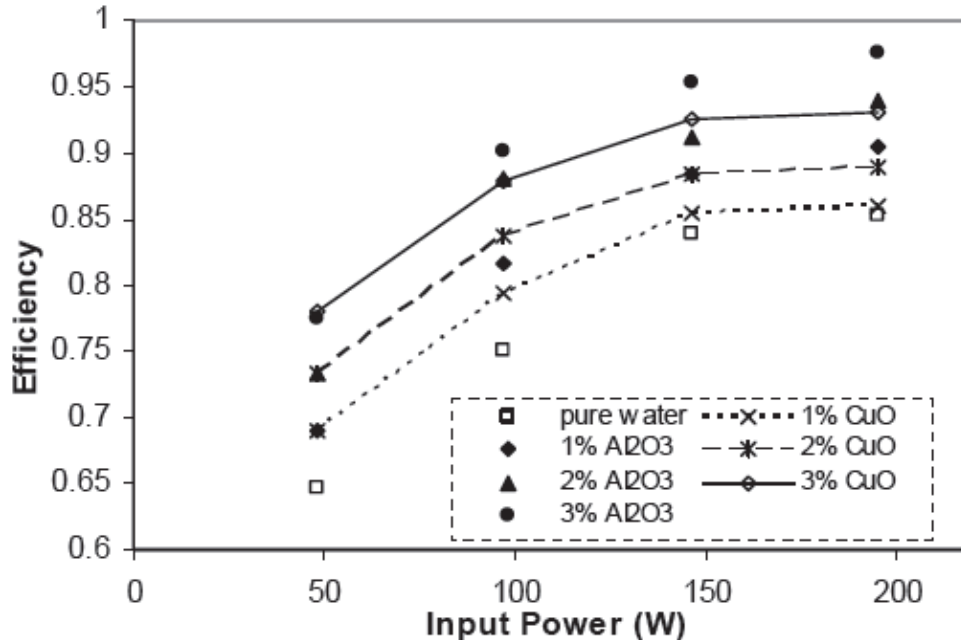


شکل (۲-۶) اثر نانوسیال اکسید مس در نسبت‌های جرمی مختلف بر ضریب انتقال حرارت اواپراتور در دمای عملکرد

۱۰۰ درجه سانتیگراد [۳۶]

مصطفی کاهانی و همکاران در سال ۱۳۸۹ [۳۷] عملکرد حرارتی یک ترموسیفون بسته در اثر استفاده از نانوسیال‌های اکسید فلزی در مقایسه با آب را مورد مقایسه قرار داده‌اند. در این پژوهش پس از تهیه نانوسیال‌های اکسید آلومینیوم-آب و اکسید مس-آب در غلظت‌های مختلف حجمی از ۱ تا ۳ درصد، نقش استفاده از آن‌ها به عنوان محیط انتقال حرارت در داخل سیستم ترموسیفون دوفازی بسته بررسی شده است. نتایج تجربی نشان می‌دهد که در صورت استفاده از نانوسیال به جای آب به عنوان سیال عامل در سیستم ترموسیفون دوفازی بسته، راندمان سیستم به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. به طوری که در نسبت پرشدن ۴۵ درصد، استفاده از نانوسیال‌های اکسید آلومینیوم-آب و یا اکسید مس-آب به جای آب خالص به ترتیب منجر به افزایش ۱۴/۷ و ۱۳/۴ درصدی در راندمان سیستم مورد استفاده می‌گردد.

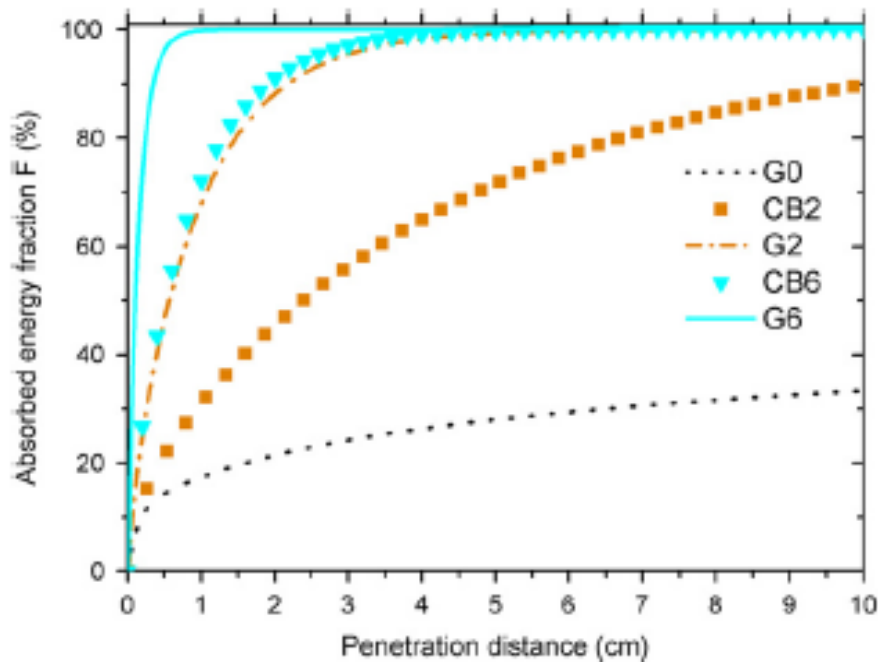
همچنین در مورد هر دو نانوسیال، ماکزیمم راندمان در نسبت پرشدن ۳۵ درصد و در غلظت حجمی ۳ درصد حاصل می‌شود.



شکل (۲-۷) بازده ترموسیفون بسته بر حسب قدرت ورودی متفاوت و سیالات عامل مختلف [۳۷]

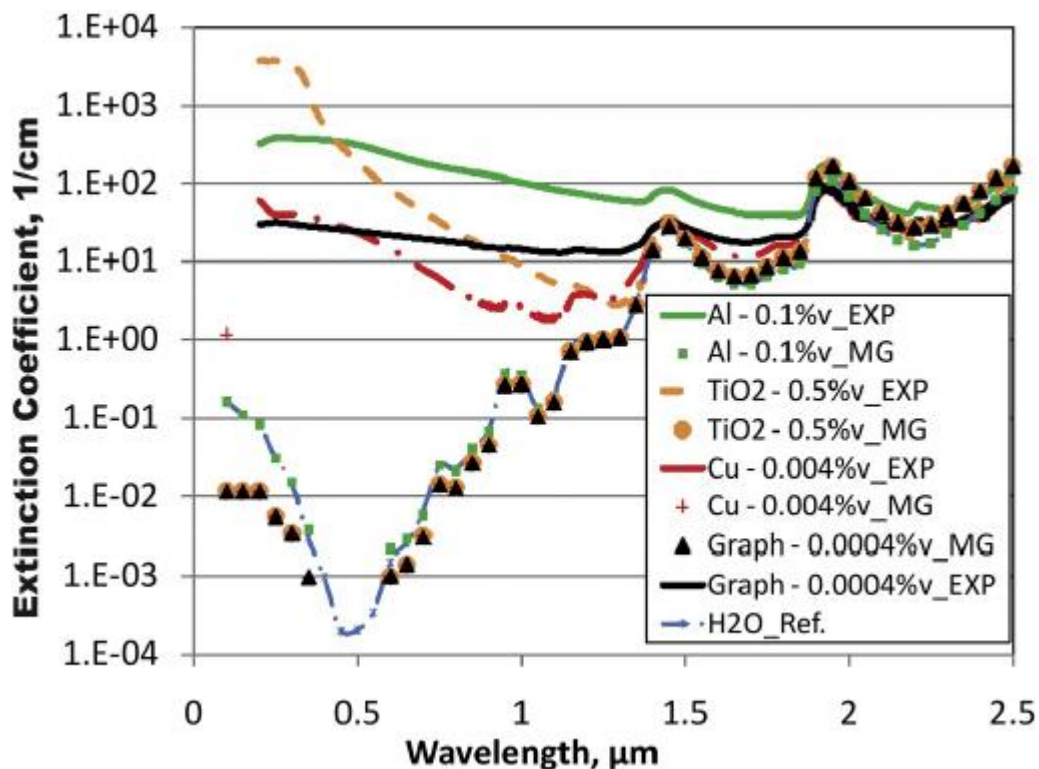
سانی و همکاران در سال ۲۰۱۱ [۳۸] در طی گزارش‌شان یک نانوسیال جدید را که از معلق سازی نانو ذرات کربن nanohorn در سیال پایه اتیلن گلیکول به دست آمده است، به منظور استفاده در کاربردهای انرژی خورشیدی، معرفی کردند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که استفاده از این نانوسیال، در مقایسه با نانوسیالی که از نانوذرات کربن سیاه به دست آمده است، می‌تواند برای افزایش بازده وسایل حرارتی خورشیدی مناسب باشد و هزینه‌ها را نیز کاهش دهد. در شکل درصد جذب انرژی خورشیدی بر حسب میزان نفوذ نور خورشید در ماده مورد نظر نشان داده شده است. در این شکل G0 سیال خالص را بدون نانوذره، G2 نانوسیال کربن نانوهورن با غلظت ۰/۰۱ گرم بر لیتر، G6 نانو سیال کربن نانوهورن با غلظت

غلظت ۰/۰۶ گرم بر لیتر، CB2 نانوسیال کربن سیاه با غلظت ۰/۰۱ گرم بر لیتر، CB6 نانوسیال کربن سیاه با غلظت ۰/۰۶ گرم بر لیتر را نشان می‌دهند.



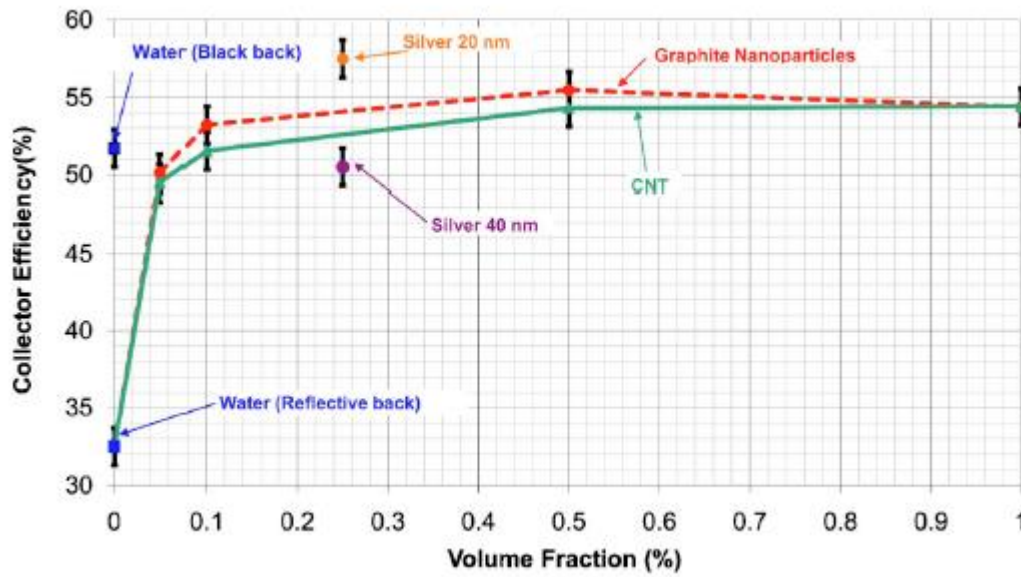
شکل (۲-۸) درصد جذب انرژی خورشیدی بر حسب عمق نفوذ در سیال برای سیالات مختلف [۳۸]

تیلور و همکاران در سال ۲۰۱۱ [۳۹] تاکید کرده‌اند که به منظور درک اثر نانوسیالات بر بهبود عملکرد در کاربردهای خورشیدی، باید توانایی آن‌ها در تبدیل انرژی نور خورشید به انرژی حرارتی تعیین شود. بنابراین در این مطالعه ضریب جذب برای نانوسیالات مختلف بر اساس مدل ماکسول-گرانت و همچنین یک تقریب آزمایشگاهی به دست آمده است. این ضریب جذب در طول موج‌های مختلف نشان داده شده است و همان طور که می‌دانیم بازه طول موج ۰/۲۵ تا ۲/۵ میکرومتر نور خورشید برای انرژی خورشیدی بازه اساسی است.



شکل (۲-۹) ضریب جذب مواد مختلف بر حسب طول موج [۳۹]

اتانیکار در سال ۲۰۱۰ [۴۰] در یک کار آزمایشگاهی عملکرد یک کلکتور خورشیدی میکرو (مساحت ۱۵ سانتی مترمربع و عمق کانال ۱۵۰ میکرومتر) را تحت اثر استفاده از نانوسیالات مختلف مورد بررسی قرار داد. او نانولوله کربن، نانو ذرات گرافیت و نانوذرات نقره در اندازه‌های مختلف و در نسبت‌های حجمی متفاوت را در سیال پایه آب خالص پراکنده کرده و بازده کلکتور را اندازه‌گیری کردند. همان‌طور که در شکل می‌بینید، او بهبود عملکرد تا ۵ درصد را ثبت کرد.



شکل (۲-۱۰) بازده کلکتور میکرو بر حسب درصد حجمی برای سیالات عامل مختلف [۴۰]

اتانیکار و گولدن در سال ۲۰۱۰ [۴۱] اثر زیست محیطی و اقتصادی استفاده از نانوسیالات را به منظور بهبود بازده کلکتور خورشیدی در مقایسه با کلکتورهای خورشیدی مرسوم مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها گزارش داده‌اند که در کنار بهبود بازده ۳/۵ درصدی، هزینه‌ها ۲۰ درصد و میزان آلودگی‌های زیست محیطی ۳ درصد افزایش پیدا می‌کند. در شکل ۲-۱۱ عملکرد سه نوع آبگرمکن در طول سال نشان داده شده‌است. آبگرمکن برقی، آبگرمکن خورشیدی با کلکتورهای مرسوم و آبگرمکن خورشیدی با کلکتورهایی که از نانوسیالات استفاده می‌کنند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میزان جذب انرژی خورشیدی در کلکتورهای با استفاده از نانوسیالات ۵ درصد بیشتر از کلکتورهای مرسوم است.

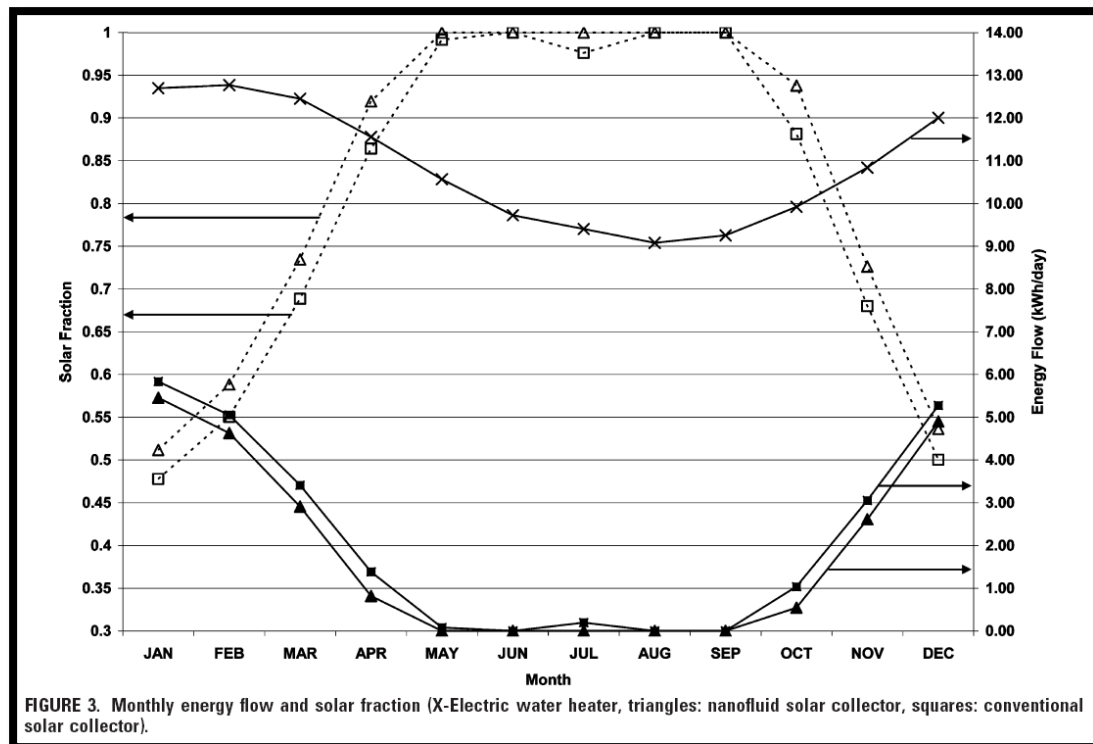


FIGURE 3. Monthly energy flow and solar fraction (X-Electric water heater, triangles: nanofluid solar collector, squares: conventional solar collector).

شکل (۲-۱۱) عملکرد کلکتورهای نانوسیال در مقایسه با کلکتورهای مرسوم و آبگرمکن برقی [۴۱]

تیاگی، فلان و پراشر در سال ۲۰۰۹ [۴۲] به صورت تئوری توانایی استفاده از نانوسیال را در کلکتور غیرمتمرکز جذب مستقیم (DAC) مورد مطالعه قرار داده‌اند. آن‌ها عملکرد این کلکتور را با یک کلکتور صفحه تخت مرسوم مقایسه کرده‌اند. آن‌ها در این تحقیق از نانوذرات آلومینیوم استفاده کرده و نشان داده‌است که بازده این کلکتور در حدود ۱۰ درصد بیشتر از کلکتور صفحه تخت مرسوم است.

ناتارجان و استیش در سال ۲۰۰۹ [۴۳] بهبود ضریب هدایت حرارتی سیال پایه را در اثر استفاده از نانوکربن‌های لوله‌ای شکل (CNT) بررسی کرده و پیشنهاد داده‌اند که اگر این نانوسیالات به عنوان محیط انتقال حرارت مورد استفاده قرار گیرند، باعث افزایش بازده آبگرمکن‌های خورشیدی مرسوم می‌شوند.

ماسودا و همکاران [۴۴] نانو ذرات آلومینیوم اکسید و تیتانیوم اکسید را با درصد جرمی ۳/۴٪ در مایع خالص پخش کردند و مشاهد کردند که ضریب هدایت حرارتی به ترتیب ۳۲٪ و ۱۱٪ افزایش پیدا می کند.

گریم در سال ۱۹۹۳ [۴۵] ذرات آلومینیوم با اندازه ۸۰-۱ نانومتر را به سیال اضافه کرد و افزایش ۱۰۰٪ در ضریب هدایت حرارتی را برای درصد جرمی ۱۰-۰/۵٪ گزارش نمود.

تسای و همکاران در سال ۲۰۰۴ [۴۶] از نانوسیالات با اندازه های مختلف در یک لوله حرارتی استفاده کرد و مقاومت حرارتی را بین ۰/۱۷ تا ۰/۲۱۵ محاسبه نمودند.

فالکنر در سال ۲۰۰۳ [۴۷] با استفاده از نانوسیال در سیستم خنک کننده کانال جریان شاهد افزایش میزان خنک کنندگی بود.

کیم در سال ۲۰۰۶ [۴۸] نانو ذرات مس، اکسیدمس و اکسید آلومینیوم را در سیستم جذبی آب- آمونیاک به کار برد. او مشاهده نمود که در غلظت های حجمی ۱٪ نانو ذرات مس و ۱۸/۷٪ آمونیاک، حداکثر نسبت جذبی موثر با افزایش در حدود ۳/۲۱ برابر ایجاد می گردد.

محققان در مرجع [۴۹] از نانوذرات آلومینیوم در سیستم خنک کنندگی الکترونیکی استفاده نمودند. آن ها در تحقیقات خود از نانوذرات ۳۶ و ۴۷ نانومتری استفاده کرده بودند و نشان دادند که در غلظت های حجمی یکسان، استفاده از نانو ذرات کوچک تر باعث افزایش بیشتر ضریب انتقال حرارت می شود.

سریکان در سال ۲۰۰۹ [۵۰] با افزودن نانوذرات به سیالات برش توانست عملکرد حرارتی آن ها را افزایش دهد. او با پیش بینی ضریب انتقال حرارت سیال برش، دمای تولید شده در فرایند ماشین کاری را محاسبه و با نتایج تجربی مقایسه نمود. او با شبیه سازی توسط نرم افزار انسیس نشان داد که با

افزودن نانوذرات به سیال برش می‌توان عملکرد ماشین‌کاری را افزایش داد به طوری که با افزودن نانوذرات به سیال برش، ظرفیت انتقال حرارت تا حدود ۶ درصد افزایش یافته‌است.

محققان در مرجع [۵۱] با مطالعه عددی، تاثیر انواع نانوسیالات را بر روی عملکرد مبدل حرارتی میکرو کانال بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که نانوسیالات آلومینیوم و نقره بیشترین ضریب انتقال حرارت و کمترین افت فشار را در مقایسه با نانوسیالات دیگر دارند.

۲-۶- معادلات حاکم

۲-۶-۱- نسبت تابش پخش به تابش کل و شیب کلکتور [۵۲]

تابش کلی خورشید شامل دو قسمت تابش مستقیم و تابش پخش است. بنابراین داریم:

$$G_T = G_b + G_d \quad (1-2)$$

β شیب کلکتور است و شیب بهینه مربوط به هر ماه هم برابر است با:

$$\beta = |\phi - \delta| \quad (2-2)$$

δ در رابطه بالا از رابطه (۲-۳) به دست می‌آید. در رابطه بالا ϕ عرض جغرافیایی بر حسب درجه است.

δ بر حسب درجه برابر است با: (n شماره روز در سال میلادی)

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{n+284}{365}\right) \quad (3-2)$$

نسبت تابش پخش به تابش کل از روابط زیر به دست می‌آید:

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_s < 81.4 \\ 0.3 \leq K_T \leq 0.8 \end{array} \right. \frac{G_d}{G_T} = 1.31 - 3.22K_T + 3.427K_T^2 - 1.821K_T^3 \quad (4-2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_s > 81/4 \\ 0.3 \leq K_T \leq 0.8 \end{array} \right. \frac{G_d}{G_T} = 1.31 - 3.22K_T + 3.427K_T^2 - 1.821K_T^3 \quad (5-2)$$

K_T در روابط بالا ضریب صافی هوا نام دارد که مقادیر آن برای شهرهای مختلف ایران و در ماههای مختلف در مرجع محاسبه شده است.

ω_s زاویه‌ی ساعتی طلوع و غروب خورشید روی صفحه‌ی افقی:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \delta \tan \phi) \quad (6-2)$$

برای صفحه‌ی شیب‌دار نیز:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \delta \tan(\phi - \beta)) \quad (7-2)$$

۲-۶-۲- ثابت زمانی کلکتور

در استاندارد [۵۳] ASHRAE¹ 93، تست ثابت زمانی از دو مرحله تشکیل شده است. ابتدا کلکتور در مقابل تابش خورشید قرار گرفته و دمای ورودی سیال به کلکتور تحت کنترل قرار می‌گیرد به طوری که برابر دمای هوای محیط باشد. بعد از اینکه به شرایط یکنواخت که در فصل بعد توضیح داده خواهد شد، رسیدیم، سطح کلکتور به سرعت توسط پوششی پوشانیده می‌شود. سپس بلافاصله دمای سیال ورودی (که تحت کنترل است) و دمای سیال خروجی از کلکتور (که تحت کنترل نیست) به طور پیوسته تحت

¹ - American Society of Heating and Refrigerating and Air-conditioning Engineers Inc.

بررسی قرار می‌گیرد. کاهش دمای خروجی سیال در طول زمان اطلاعات لازم جهت تخمین ثابت زمانی کلکتور را به دست می‌دهد. ثابت زمانی کلکتور عبارتست از:

$$\frac{T_{o,\tau} - T_i}{T_{o,i} - T_i} = 0/368 \quad (6-2)$$

۲-۶-۳- بازده کلکتور

بر اساس آنچه در استاندارد 93 ASHRAE آمده‌است، میزان انرژی حرارتی مفید خروجی از کلکتور صفحه تخت با سطح مقطع A_c از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$Q_u = A_c F_R [G_T - U_L (T_i - T_a)] \quad (7-2)$$

این فرمول در واقع اختلاف بین میزان انرژی که توسط کلکتور جذب می‌شود و میزان انرژی که بر روی کلکتور به وسیله انتقال حرارت هدایت، جابجایی و تشعشع مادون قرمز، به محیط اطراف داده می‌شود را نشان می‌دهد. در این فرمول G_T تشعشع خورشیدی جذب شده توسط کلکتور بر واحد سطح جاذب است. حاصل ضرب $U_L (T_i - T_a)$ میزان انرژی اتلافی را نشان می‌دهد. در این فرمول U_L ضریب انتقال حرارت کلی اتلافات، T_i دمای سیال در ورودی کلکتور و T_a دمای محیط است. F_R فاکتور برداشت حرارت^۱ است که به صورت نسبت انرژی واقع دریافت شده کلکتور به حداکثر مقدار انرژی که کلکتور می‌تواند دریافت کند، تعریف می‌شود. حداکثر مقدار انرژی زمانی به دست می‌آید که دمای تمام

¹ -heat removal factor

سطح کلکتور با دمای سیال ورودی به کلکتور مساوی باشد. روش محاسبه فاکتور برداشت حرارت به طور کامل در مرجع [۵۲] آمده است.

همچنین میزان انرژی مفید دریافتی از کلکتور با داشتن دمای سیال در ورودی و خروجی کلکتور، با ضرب اختلاف این دو دما در میزان ظرفیت حرارتی سیال عامل کلکتور به دست می آید. بنابراین داریم:

$$Q_u = \dot{m}c_p(T_o - T_i) \quad (۸-۲)$$

بازده کلکتور خورشیدی صفحه تخت عبارت است از میزان انرژی مفید دریافتی از کلکتور به میزان انرژی خورشیدی جذب شده توسط کلکتور. بنابراین داریم:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c G_T} = F_R - F_R U_L \frac{T_i - T_a}{G_T} = \frac{\dot{m}c_p(T_o - T_i)}{A_c G_T} \quad (۹-۲)$$

در این فرمول G_T شدت تابش لحظه‌ای کلی بر صفحه جاذب است که توسط سولارمتر اندازه‌گیری می‌شود.

در فرمول بالا c_p ظرفیت حرارتی ویژه سیال عامل است. از آنجایی که در قسمتی از آزمایشات از نانوسیال به عنوان سیال عامل استفاده می‌شود، از فرمول زیر که در مرجع [۵۴] آمده است، جهت محاسبه ظرفیت حرارتی ویژه نانوسیال استفاده می‌شود:

$$c_{p,nf} = c_{p,np}(\varphi) + c_{p,bf}(1 - \varphi) \quad (۱۰-۲)$$

که در آن $c_{p,nf}$ ظرفیت گرمایی ویژه نانوسیال، $c_{p,np}$ ظرفیت گرمایی ویژه نانوذرات، $c_{p,bf}$ ظرفیت گرمایی ویژه سیال پایه و φ نسبت حجمی نانوذرات در نانوسیال است.

۲-۶-۴- آنالیز خطا

بررس میزان خطاهای موجود در آزمایش و محاسبه آن از ضروریات انجام یک آزمایش معتبر می‌باشد.

جهت محاسبه خطا در آزمایشات این تحقیق از فرمول زیر استفاده شده است: [۵۵]

$$P_Y = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Y}{\partial X_t} P_t \right)^2 \right]^{1/2} \quad (۱۱-۲)$$

در این فرمول X_t پارامتر قابل اندازه‌گیری و P_t خطای آن است. Y کمیت مورد محاسبه از روی

پارامترهای قابل اندازه‌گیری می‌باشد. P_Y نیز مقدار خطای کلی و تاثیر تمام خطاها است. در این کار X_t

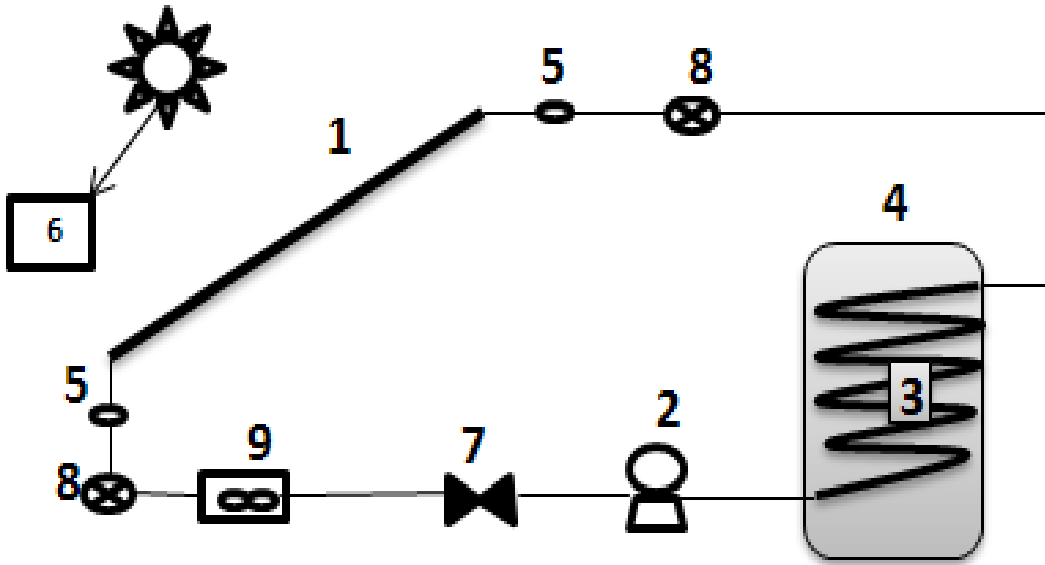
شامل دماهای ورودی و خروجی کلکتور، دبی جریان و شدت تابش می‌باشد و Y بازده کلکتور است.

فصل سوم

اجزای سیستم

وروش های انجام آزمایش

۱-۳- اجزای سیستم و مشخصات آنها



شکل (۱-۳) شماتیک سیستم مورد آزمایش

۱- کلکتور: کلکتور خورشیدی به کار رفته در این کار از نوع کلکتور صفحه تخت (FPC) است که ساخت شرکت پلار می باشد که مشخصات کامل آن در جدول ۱-۳ آمده است. این کلکتور رو به سمت جنوب و در شیب حدودا ۱۷ درجه قرا می گیرد. این شیب میانگین شیب بهینه مربوط به ماه های تیر و مرداد برای اقلیم مشهد است که از فرمول ۲-۲ به دست می آید. طبق این فرمول شیب بهینه برای ماه تیر ۱۳/۴۹ درجه و برای ماه مرداد ۱۹/۶۵ درجه است.

- ۲- پمپ: جهت گردش سیال در سیستم از یک عدد پمپ مدل UPS25-40 ساخت شرکت گراندفوس با ولتاژ ۲۳۰ ولت و توان خروجی ۲۵ و ۳۵ و ۴۰ وات در سه دور مختلف استفاده شده است. در این پروژه فقط از توان ۲۵ وات استفاده شده است.
- ۳- مبدل حرارتی: برای انجام عمل انتقال حرارت از کویل مسی به طول ۱۵ متر در داخل تانک استفاده شده است.
- ۴- تانک ذخیره: که یک تانک پلاستیکی ۲۰ لیتری می باشد.
- ۵- دماسنج: دو عدد دماسنج نفوذی دیجیتال با دقت ۰/۱ ساخت شرکت پاپیولار تایوان برای اندازه گیری دمای سیال در ورودی و خروجی کلکتور و یک عدد دماسنج جیوه ای معمولی برای اندازه گیری دمای محیط.
- ۶- تشعشع سنج: مدل TES-1333 با دقت ۱ وات بر مترمربع.
- ۷- شیر کنترل: یک عدد شیر ساده که بعد از پمپ جهت کنترل جریان قرار داده شده است.
- ۸- شیر اتومات تخلیه هوا: دو عدد که یکی در بالاترین نقطه سیستم و دیگری در ورودی کلکتور جهت خارج ساختن هوای داخل سیستم تعبیه شده است. این دو شیر به طور اتومات عمل هواگیری را انجام می دهند.
- ۹- دبی سنج: یک عدد دبی سنج شیشه ای که با استفاده از شناور داخل آن مقدار دبی خوانده می شود.
- نمای کلی سیستم مورد آزمایش در شکل ۳-۳ آمده است.

۳-۲- مواد

جهت تهیه نانوسیال مورد نیاز، نانوذرات اکسیدمس کروی با خلوص ۹۹ درصد و اندازه ۴۰ نانومتر که به رنگ سیاه می باشد، از شرکت نانوپیشگامان خریداری شدند. جهت پخش کردن ذرات در سیال پایه

آب مقطر از دستگاه همزن اولتراسونیک XL2020 که در آزمایشگاه صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی موجود بود، استفاده شد. ذرات به مدت ۲ ساعت و با غلظت حجمی ۰/۴ درصد تحت امواج اولتراسوند قرار گرفتند. سپس نانوسیال تهیه شده در داخل سیستم ریخته شد. در شکل ۳-۴ نانوسیال تهیه شده نشان داده شده است.

جدول (۱-۳) مشخصات کلکتور خورشیدی صفحه تخت استفاده شده در این آزمایش

Specification	Dimension	Unit
Occupied Area	200×94×9/5	Cm
Absorption Area	1/51	m ²
Weight	38/5	Kg
Frame (Al6063 Extruded)	-	-
Glass (Float)	t = 4	Mm
Header Pipe (cu)	Φ=22,t=0/9	Mm
Connector Riser Pipe to Absorber Sheet (cu)	Φ=10,t=0/9	Mm
Absorption Sheet: Thermal Emission: 7% Solar Absorption: 96/2% Coating Method: Vacuum Magnetron Sputtering		



شکل (۲-۳) نمای کلی سیستم تهیه شده



شکل (۳-۳) نانوسیال در حال تهیه به وسیله دستگاه اولتراسونیک

۳-۳- روش انجام آزمایش

براساس آنچه در فرمول ۲-۹ اشاره شد، بازده یک کلکتور خورشیدی از فرمول زیر به دست می-

آید:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c G_T} = F_R - F_R U_L \frac{T_i - T_a}{G_T} = \frac{\dot{m} c_p (T_o - T_i)}{A_c G_T} \quad (9-2)$$

براساس این فرمول اگر $x = \frac{T_i - T_a}{G_T}$ و فرض کنیم مقادیر F_R و U_L در طول یک مجموعه

تست گیری ثابت باشند (که فرض منطقی هم است) و η را برحسب x رسم نماییم، حاصل یک خط

راست خواهد بود که عرض از مبدا این خط F_R و شیب آن معرف حاصلضرب $F_R U_L$ است.

برای به دست آوردن عملکرد یک کلکتور، باید حداقل ۱۶ نقطه داده داشت. مقادیری که باید برای

هر نقطه داده اندازه گیری شوند شامل دمای سیال عامل در ورودی و خروجی کلکتور، دبی جرمی،

دمای محیط و شدت تابش خورشیدی کل می باشد. برای به دست آوردن ۱۶ نقطه داده باید در

۴دمای مختلف ورودی سیال عامل به کلکتور در ۴زمان مختلف از روز که بهتر است نسبت به

ظهر خورشیدی متقارن باشند، مقادیر فوق اندازه گیری شوند. ۴دمای مختلف ورودی به کلکتور هم به

این صورت انتخاب می شوند که حداکثر دمایی که کلکتور می تواند به آن برسد، تعیین می شود. سپس

سعی می شود که ۴دمای به صورت زیر انتخاب شوند:

۱- دمای محیط

۲- ۳۰ درصد دمای حداکثر

۳- ۶۰ درصد دمای حداکثر

۴- ۹۰ درصد دمای حداکثر

طبق استاندارد، زمان داده از بین ۵ دقیقه و یا τ هرکدام که بزرگتر باشند، انتخاب می‌شوند. در طول زمان داده باید شرایط یکنواخت (که در ادامه خواهد آمد) برقرار باشد. همچنین هر نقطه داده به یک زمان پیش‌داده نیاز دارد که طبق استاندارد ۱۵ دقیقه است و در طول این زمان هم باید شرایط یکنواخت برقرار باشد. پس برای رسیدن به یک نقطه داده، ابتدا باید در ۱۵ دقیقه تغییر مقادیر را رصد نمود تا مطابق شرایط یکنواخت باشند. سپس در طول زمان داده تغییرات مقادیر را ثبت کرده و در صورتی که شرایط یکنواخت در آن زمان هم برقرار باشد، از آن‌ها میانگین‌گیری کرده و نتیجه را به عنوان داده به دست آمده موفق گزارش می‌کنیم. قابل تذکر است که هرگاه در زمان پیش‌داده و داده، شرایط از حالت یکنواخت خارج شود، تلاش برای رسیدن به داده باید دوباره از اول انجام شود.

۳-۴- شرایط یکنواخت

طبق آنچه در استاندارد آمده است بایستی شرایط زیر فراهم باشد تا شرایط یکنواخت حاصل شود:

۱- حداقل تابش خورشیدی ۷۹۰ وات بر مترمربع باشد و محدوده تغییرات آن ± 32 وات بر مترمربع باشد.

۲- تغییرات دمای محیط از ۱/۵ کلوین تجاوز نکند و محدوده تغییرات دمای محیط برای کل مجموعه تست‌ها از ۳۰ کلوین بیشتر نباشد.

۳- تغییرات دبی جرمی جریان بیش از ± 2 درصد مقدار خوانده شده نباشد.

۴- تغییرات دمای سیال در ورودی کلکتور از ۱ کلوین تجاوز نکند.

۵- حداکثر کسر تابش پراکنده از ۲۰ درصد بیشتر نباشد. برای رسیدن به این منظور از فرمول (۲-۵) استفاده می‌کنیم. ضریب صافی هوا نیز در مرجع [۵۶] برای شهرهای مختلف ایران و در ماه‌های مختلف آمده‌است.

۶- سرعت باد هوای اطراف بین ۲/۲ تا ۴/۵ متر بر ثانیه باشد. برای رسیدن به این خواسته بعد از انجام آزمایشات، سرعت باد در روزهایی که آزمایش انجام شده از ایستگاه هواشناسی که در نزدیکی محل آزمایش قرار دارد، گرفته شد و مورد بررسی قرار گرفت.

فصل چہارم

محاسبہ و استخراج نتیجہ

۴-۱- انجام آزمایشات و نتایج

بعد از اینکه سیستم آزمایش طراحی و ساخته شد، آزمایشات را شروع می‌کنیم. با توجه به اینکه تغییر دبی و تغییر سیال عامل دو استراتژی جهت بررسی عملکرد کلکتور است، ابتدا از آب خالص به عنوان سیال عامل و در سه دبی ۱ و ۲ و ۳ کیلوگرم بر دقیقه و بعد از نانوسیال اکسیدمس در سه دبی ۱ و ۲ و ۳ کیلوگرم بر دقیقه استفاده می‌کنیم. بنابراین عملکرد کلکتور را برای ۶ حالت باید تعیین کنیم:

- ۱- سیال عامل آب بادبی ۳ کیلوگرم بر دقیقه
- ۲- سیال عامل نانوسیال بادبی ۳ کیلوگرم بر دقیقه
- ۳- سیال عامل آب بادبی ۲ کیلوگرم بر دقیقه
- ۴- سیال عامل نانوسیال بادبی ۲ کیلوگرم بر دقیقه
- ۵- سیال عامل آب بادبی ۱ کیلوگرم بر دقیقه
- ۶- سیال عامل نانوسیال بادبی ۱ کیلوگرم بر دقیقه

چون برای هر حالت حداقل ۱۶ نقطه داده نیاز داریم، مجموعاً باید حداقل ۹۶ نقطه داده به دست آوریم. هر نقطه داده بعد از اینکه ۱۵ دقیقه سیستم در حالت یکنواخت قرار داشت در زمان داده که ماکسیمم ۵ دقیقه و T (ثابت زمانی) است، یک داده را به دست می‌آوریم. پس در هر حالت ابتدا باید ثابت زمانی کلکتور را تعیین نماییم. با توجه به روش گفته شده در بخش ثابت زمانی برای هر حالت در جدول ۴-۱ آمده است.

جدول (۴-۱) ثابت زمانی کلکتور برای حالت‌های مختلف

شماره حالت	۱	۲	۳	۴	۵	۶
ثابت زمانی (ثانیه)	۶۵	۶۷	۸۰	۸۷	۹۸	۱۱۰

۱۶ نقطه داده از ۴ دمای مختلف سیال ورودی در ۴ زمان مختلف از روز به دست می‌آیند. ۴ دمای مختلف با توجه به توضیحات داده شده در بخش برای دبی‌های ۳ و ۲ کیلوگرم بر دقیقه به صورت: دمای محیط، ۴۹ درجه سانتیگراد، ۵۸ درجه سانتیگراد و ۶۵ درجه سانتیگراد و برای دبی ۱ کیلوگرم بر دقیقه با توجه به این که دمای خروجی بالا بوده جهت جلوگیری از تغییر فاز چهار دمای ورودی به شکل دمای محیط، ۴۵ درجه، ۵۳ درجه و ۶۰ درجه انتخاب می‌شوند. با توجه به این که باید در زمان پیش‌داده و داده حداکثر تغییرات دمای ورودی یک درجه سانتیگراد باشد، جهت کنترل دما یک شیلنگ متصل به آب شهری را در داخل تانک قرار می‌دهیم و با باز و بسته کردن جریان آب به داخل تانک، دما را کنترل می‌کنیم.

۴-۱-۱-۱-۴ جداول نتایج

جداول مربوط به نتایج به شرح زیر است.

جدول (۲-۴) نتایج برای حالت اول (آب بادی ۳ کیلوگرم بردقیقه)

ردیف	دمای ورودی (درجه سانتیگراد)	دمای خروجی (درجه سانتیگراد)	شدت تابش (وات بر متر مربع)	دمای محیط (درجه سانتیگراد)	بازده	خطا
-۱	۳۸/۲	۴۳/۵	۱۰۰۰	۳۸	۰/۵۵۴	۰/۰۲۳۹۶
-۲	۴۸/۷	۵۳/۵	۱۰۶۵	۴۲	۰/۴۷۱	۰/۰۲۱۲۰
-۳	۵۷/۵	۶۲/۲	۱۱۳۴	۴۱	۰/۴۷	۰/۰۱۹۶۸
-۴	۶۵/۲	۶۹/۵	۱۱۸۲	۴۲	۰/۳۸	۰/۰۱۷۹۹
-۵	۴۲/۴	۴۸/۹	۱۱۹۸	۴۲	۰/۵۶۷	۰/۰۲۲۹۰
-۶	۴۹/۵	۵۴/۸	۱۲۰۰	۴۱	۰/۴۶۲	۰/۰۱۹۹۶
-۷	۵۸/۱	۶۲/۶	۱۱۳۴	۴۱	۰/۴۱۵	۰/۰۱۹۲۱
-۸	۶۵/۴	۶۹/۵	۱۰۴۰	۴۲	۰/۴۱۲	۰/۰۱۹۹۷
-۹	۴۰/۸	۴۴/۸	۸۰۸	۴۱	۰/۵۱۸	۰/۰۲۵۳۹
-۱۰	۴۹	۵۲/۴	۹۰۸	۳۵	۰/۳۹۱	۰/۰۲۱۰۳
-۱۱	۵۸/۱	۶۱/۱	۸۰۷	۴۳	۰/۳۸۹	۰/۰۲۲۵۹
-۱۲	۶۴/۸	۶۸/۲	۱۰۴۱	۳۶	۰/۳۴۱	۰/۰۱۸۳۵
-۱۳	۳۴	۴۲/۳	۱۲۵۹	۳۴	۰/۶۸۹	۰/۰۲۶۲۲
۱۴	۴۸/۸	۵۳/۲	۹۱۶	۴۳	۰/۵۰۲	۰/۰۲۳۵۰
-۱۵	۵۸/۳	۶۳/۵	۱۱۴۵	۳۸	۰/۴۷۵	۰/۰۲۰۶۸
-۱۶	۶۴/۸	۷۰	۱۳۱۵	۴۱	۰/۴۱۳	۰/۰۱۸۰۰

مشاهده می‌شود که حداکثر خطا برای این حالت ۲/۵۴ درصد است.

جدول (۳-۴) نتایج برای حالت دوم (نانوسیال بادی ۳ کیلوگرم بر دقیقه)

خطا	بازده	دمای محیط (درجه سانتیگراد)	شدت تابش (وات بر متر مربع)	دمای خروجی (درجه سانتیگراد)	دمای ورودی (درجه سانتیگراد)	ردیف
۰/۰۲۶۲۳	۰/۵۵۸	۳۸	۱۰۹۲	۴۴/۹	۳۸	-۱
۰/۰۲۰۷۹	۰/۴۹۹	۳۸	۱۲۳۵	۵۴/۹	۴۹	-۲
۰/۰۱۹۳۲	۰/۳۹۸	۳۵	۱۰۷۵	۶۲/۱	۵۸	-۳
۰/۰۱۷۵۴	۰/۳۷۹	۳۶	۱۲۴۲	۶۹/۵	۶۵	-۴
۰/۰۲۴۴۴	۰/۵۵۸	۳۶	۱۱۳۵	۴۲/۶	۳۶	-۵
۰/۰۲۲۰۳	۰/۵۳۸	۳۷	۱۲۰۵	۵۵/۲	۴۹	-۶
۰/۰۲۱۱۱	۰/۴۶۹	۳۶	۱۰۷۰	۶۲/۸	۵۸	-۷
۰/۰۲۳۰۱	۰/۴۱۲	۳۵	۸۱۱	۶۸/۲	۶۵	-۸
۰/۰۲۱۸۸	۰/۵۰۵	۳۴	۱۰۹۵	۳۹/۳	۳۴	-۹
۰/۰۱۹۶۲	۰/۴۶۲	۳۵	۱۲۶۴	۵۴/۶	۴۹	-۱۰
۰/۰۱۷۹۹	۰/۴۰۷	۳۵	۱۲۸۵	۶۳	۵۸	-۱۱
۰/۰۱۸۳۲	۰/۴۰۳	۳۶	۱۲۱۸	۶۹/۷	۶۵	-۱۲
۰/۰۲۴۱۷	۰/۴۹۲	۳۵۴	۸۴۹	۳۹	۳۵	-۱۳
۰/۰۱۹۳۴	۰/۴۵	۳۶	۱۲۵۳	۵۴/۴	۴۹	۱۴
۰/۰۱۸۴۶	۰/۴۱۷	۳۶	۱۲۵۳	۶۳	۵۸	-۱۵
۰/۰۱۸۵۴	۰/۳۸۲	۳۵	۱۱۲۰	۶۹/۱	۶۵	-۱۶

حداکثر خطا در این حالت ۲/۶۲ درصد است.

جدول (۴-۴) نتایج برای حالت سوم (آب بادی ۲ کیلوگرم بر دقیقه)

خطا	بازده	دمای محیط (درجه سانتیگراد)	شدت تابش (وات بر متر مربع)	دمای خروجی (درجه سانتیگراد)	دمای ورودی (درجه سانتیگراد)	ردیف
۰/۰۳۳۵۶	۰/۶۳۵	۳۱	۱۱۰۹	۴۱/۱	۳۱	-۱
۰/۰۳۳۰	۰/۶۲۸	۳۳	۱۲۵۳	۶۰/۳	۴۹	-۲
۰/۰۲۹۳۸	۰/۵۵۴	۳۲	۱۲۳۲	۶۷/۸	۵۸	-۳
۰/۰۲۴۷	۰/۴۴	۴۲	۹۵۰	۷۰/۶	۶۴/۶	-۴
۰/۰۳۶۱۳	۰/۶۳۵	۳۵	۱۱۳۵	۴۶/۴	۳۵/۲	-۵
۰/۰۳۰	۰/۵۸۴	۳۳	۱۱۸۰	۵۹/۲	۴۹/۳	-۶
۰/۰۲۸۷۷	۰/۵۳۷	۳۶	۱۱۱۶	۶۶/۹	۵۸/۳	-۷
۰/۰۲۴۰۱	۰/۴۴۹	۴۲	۱۳۶۵	۷۳/۸	۶۵	-۸
۰/۰۳۶۲۷	۰/۶۷۱	۳۴	۸۲۰	۴۱/۹	۳۴	-۹
۰/۰۳۱۷۲	۰/۵۸۶	۳۵	۹۲۷	۵۶/۵	۴۸/۷	-۱۰
۰/۰۲۷۵۱	۰/۵۱۲	۳۵	۱۱۳۰	۶۶/۳	۵۸	-۱۱
۰/۰۲۲۹۳	۰/۴۲	۳۶	۱۱۹۵	۷۲/۳	۶۵/۱	-۱۲
۰/۰۳۶۴۱	۰/۶۷۴	۳۴	۸۱۷	۴۱/۹	۳۴	-۱۳
۰/۰۳۱۴۳	۰/۵۸	۳۴	۹۲۵	۵۶/۶	۴۸/۹	۱۴
۰/۰۲۹۴۷	۰/۵۴۸	۳۷	۱۰۵۵	۶۶/۶	۵۸/۳	-۱۵
۰/۰۲۳۶۱	۰/۴۳۴	۳۸	۱۲۰۳	۷۲/۵	۶۵	-۱۶

حداکثر خطا در این حالت ۳/۶۴ درصد است.

جدول (۴-۵) نتایج برای حالت چهارم (نانوسیال بادی ۲ کیلوگرم بردقیقه)

خطا	بازده	دمای محیط (درجه سانتیگراد)	شدت تابش (وات بر متر مربع)	دمای خروجی (درجه سانتیگراد)	دمای ورودی (درجه سانتیگراد)	ردیف
۰/۰۳۰۳۸	۰/۶۵۸	۳۳	۹۰۲	۴۰/۲	۳۳	-۱
۰/۰۲۹۶۴	۰/۵۵۶	۳۵	۱۱۵۲	۵۸/۲	۴۹	-۲
۰/۰۲۸۶۳	۰/۵۳۹	۳۷	۱۲۴۰	۶۷/۳	۵۷/۷	-۳
۰/۰۲۷۲۷	۰/۵	۳۸	۱۰۱۷	۷۲/۳	۶۵	-۴
۰/۰۳۵۵۱	۰/۷۳۹	۳۶	۱۲۷۲	۴۸/۴	۳۶	-۵
۰/۰۳۰۵۵	۰/۵۷۷	۳۹	۱۲۰۷	۵۹	۴۹	-۶
۰/۰۲۹۳۳	۰/۵۴۷	۳۸	۱۰۸۳	۶۶/۵	۵۸	-۷
۰/۰۲۶۳۹	۰/۴۹۳	۳۷	۱۲۴۲	۷۳/۸	۶۵	-۸
۰/۰۴۲۲۴	۰/۸	۳۸	۹۲۲	۴۹	۳۸/۴	-۹
۰/۰۳۱۵۵	۰/۶۰۵	۳۷	۱۲۶۷	۵۹/۹	۴۹	-۱۰
۰/۰۲۸۸۴	۰/۵۴۴	۳۷	۱۲۵۵	۶۸/۲	۵۸/۴	-۱۱
۰/۰۳۱۵۱	۰/۵۹۶	۳۸	۱۲۰۳	۷۵/۳	۶۵	-۱۲
۰/۰۳۹۰۹	۰/۷۵۱	۳۸	۱۲۸۰	۵۱/۸	۳۸	-۱۳
۰/۰۳۲۳	۰/۵۸۹	۳۷	۸۲۸	۵۶	۴۹	۱۴
۰/۰۲۹۸۸	۰/۵۴۷	۳۷	۹۱۷	۶۵/۲	۵۸	-۱۵
۰/۰۳۲۱۴	۰/۶۰۴	۳۸	۱۰۷۳	۷۴/۳	۶۵	-۱۶

حداکثر خطا برای این حالت ۴/۲۲ درصد می باشد.

جدول (۴-۶) نتایج برای حالت پنجم (آب بادی ۱ کیلوگرم بر دقیقه)

خطا	بازده	دمای محیط (درجه سانتیگراد)	شدت تابش (وات بر متر مربع)	دمای خروجی (درجه سانتیگراد)	دمای ورودی (درجه سانتیگراد)	ردیف
۰/۰۵۹۰۶	۰/۵۷۷	۳۱	۱۰۸۱	۴۸/۹	۳۱	-۱
۰/۰۵۷۶۳	۰/۵۶۳	۳۴	۱۲۶۸	۶۵/۷	۴۵/۲	-۲
۰/۰۵۶۴۴	۰/۵۵۱	۳۶	۱۱۲۵	۷۱	۵۳/۲	-۳
۰/۰۵۵۵	۰/۵۴۲	۳۶	۱۲۰۸	۷۸/۴	۵۹/۶	-۴
۰/۰۶۰۴۴	۰/۵۹	۳۶	۹۰۴	۵۱/۳	۳۶	-۵
۰/۰۵۸۳۷	۰/۵۷	۳۵	۱۰۱۵	۶۱/۶	۴۵	-۶
۰/۰۵۷۰۷	۰/۵۲	۳۶	۱۱۲۵	۷۱	۵۳	-۷
۰/۰۵۳۴۸	۰/۵۲۲	۳۶	۱۲۰۷	۷۸/۱	۶۰	-۸
۰/۰۴۷۷۴	۰/۴۶۶	۳۳	۱۱۰۰	۴۷/۷	۳۳	-۹
۰/۰۴۷۴۹	۰/۴۶۴	۳۳	۱۲۴۰	۶۱/۶	۴۵/۱	-۱۰
۰/۰۴۶۴۷	۰/۴۵۴	۳۵	۱۲۹۰	۷۰	۵۳/۲	-۱۱
۰/۰۴۴۳۸	۰/۴۳۳	۳۶	۱۲۹۵	۷۶/۱	۶۰	-۱۲
۰/۰۴۸۵۷	۰/۴۷۴	۳۲	۱۱۲۵	۴۷/۵	۳۲/۲	-۱۳
۰/۰۴۵۷۷	۰/۴۴۷	۳۳	۱۲۱۷	۶۰/۸	۴۵/۲	۱۴
۰/۰۴۵۴۹	۰/۴۴۴	۳۳	۱۲۷۹	۷۰/۵	۵۴/۲	-۱۵
۰/۰۴۵۶۵	۰/۴۴۶	۳۵	۱۲۹۰	۷۶/۵	۶۰	-۱۶

حداکثر خطا برای این حالت ۶ درصد است.

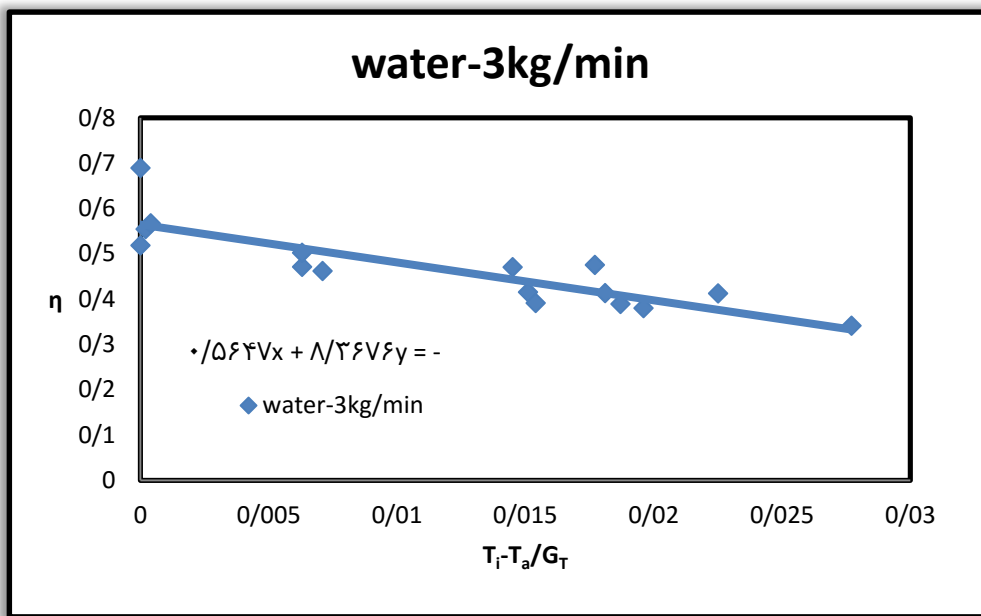
جدول (۴-۷) نتایج برای حالت ششم (نانوسیال بادبی ۱ کیلوگرم بر دقیقه)

خطا	بازده	دمای محیط (درجه سانتیگراد)	شدت تابش (وات بر متر مربع)	دمای خروجی (درجه سانتیگراد)	دمای ورودی (درجه سانتیگراد)	ردیف
۰/۰۷۱۵۳	۰/۷۶۱	۳۳	۱۱۰۱	۵۵/۱	۳۳	-۱
۰/۰۸۳۵۹	۰/۷۳۴	۳۸	۱۰۲۷	۶۹/۱	۴۵	-۲
۰/۰۷۳۰	۰/۷۱۴	۳۵	۱۱۰۳	۷۵/۶	۵۳	-۳
۰/۰۷۴۷۸	۰/۶۲۲	۳۸	۱۱۵۶	۸۴/۳	۶۰	-۴
۰/۰۷۸۳۷	۰/۷۴۷	۳۶	۱۰۴۱	۵۸/۹	۳۶	-۵
۰/۰۷۳۱۵	۰/۷۱۴	۳۵	۸۶۸	۶۲/۸	۴۵	-۶
۰/۰۷۳۱۸	۰/۷۱۴	۳۸	۱۲۴۱	۷۸/۵	۵۳	-۷
۰/۰۶۸۱۱	۰/۶۶۶	۳۷	۱۱۵۱	۸۲/۴	۶۰/۴	-۸
۰/۰۷۷۸۸	۰/۷۶۶	۳۶	۱۲۶۸	۶۳/۷	۳۶	-۹
۰/۰۷۴۲۵	۰/۷۲۸	۳۵	۱۲۲۵	۷۰/۶	۴۵	-۱۰
۰/۰۶۵۹۱	۰/۷۱۶	۳۷	۱۱۵۷	۷۴/۷	۵۳/۳	-۱۱
۰/۰۷۲۴۸	۰/۷۰۸	۳۷	۱۲۰۴	۸۴/۵	۶۰	-۱۲
۰/۰۷۶۴۳	۰/۶۹۹	۳۸	۱۲۳۰	۶۴/۴	۳۸	-۱۳
۰/۰۷۵۰۷	۰/۸۱۷	۳۶	۱۲۵۷	۷۲	۴۵/۵	۱۴
۰/۰۴۶۱۱	۰/۷۱۴	۳۳	۱۲۷۷	۷۰/۵	۵۴	-۱۵
۰/۰۶۳۳۸	۰/۷۳۱	۳۶	۱۱۹۲	۸۱/۵	۶۰/۳	-۱۶

برای این حالت حداکثر خطا ۸/۳۴ درصد است.

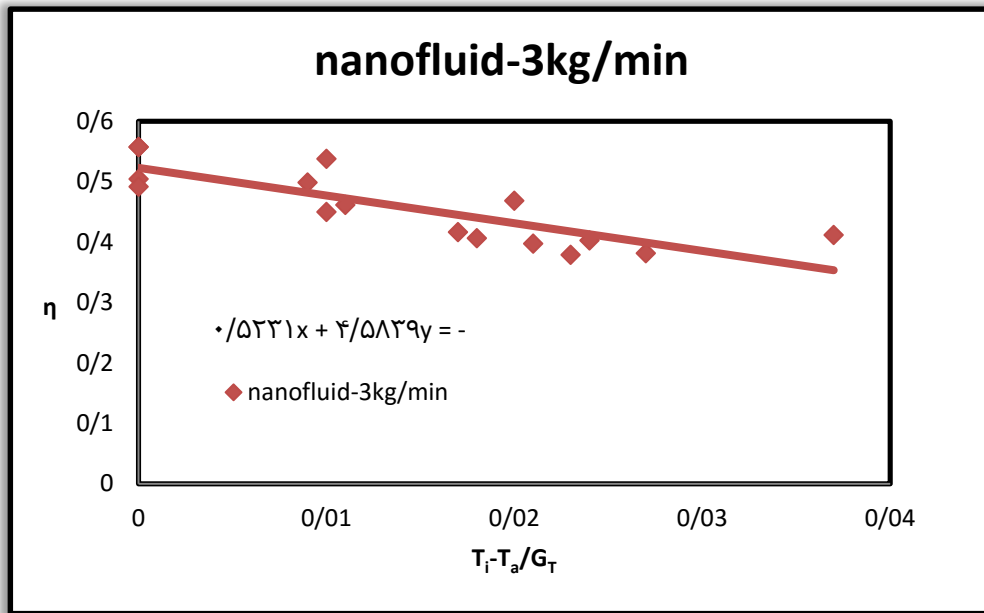
۲-۱-۴- منحنی‌های عملکرد

منحنی‌های عملکرد برای هر حالت و مقایسه بین آن‌ها به شرح زیر است.



شکل (۱-۴) منحنی عملکرد کلکتور برای حالت اول (آب با دبی ۳ کیلوگرم بر دقیقه)

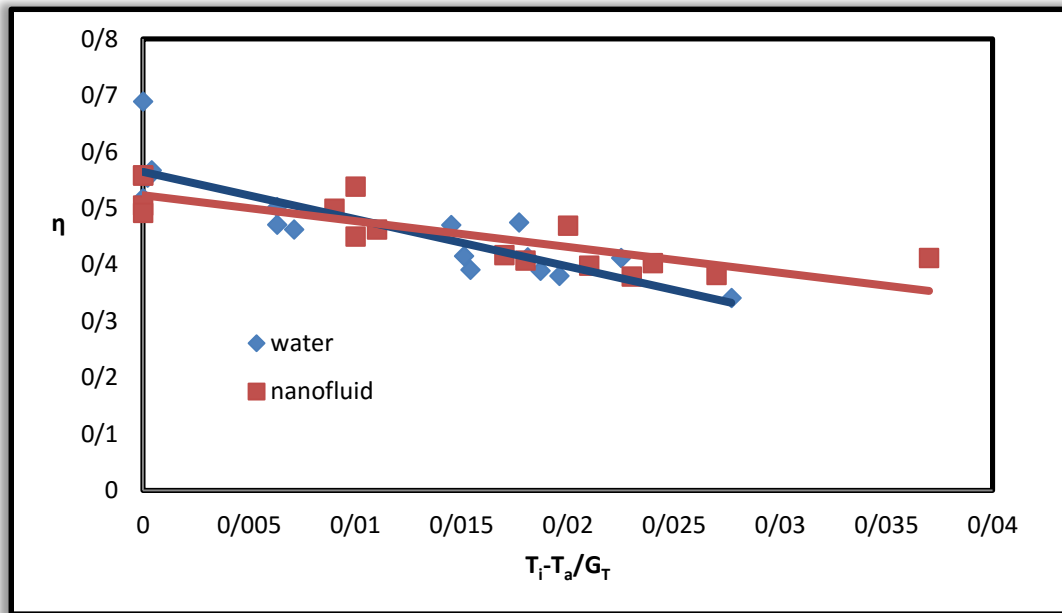
از معادله خط رسم شده، با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش ۳-۳، می‌توان F_R و U_L را برای هر حالت محاسبه نمود. برای این حالت $F_R = 0.5647$ و $U_L = 14/82$ وات بر مترمربع-کلوین است.



شکل (۲-۴) منحنی عملکرد کلکتور برای حالت دوم (نانوسیال با دبی ۳ کیلوگرم بر دقیقه)

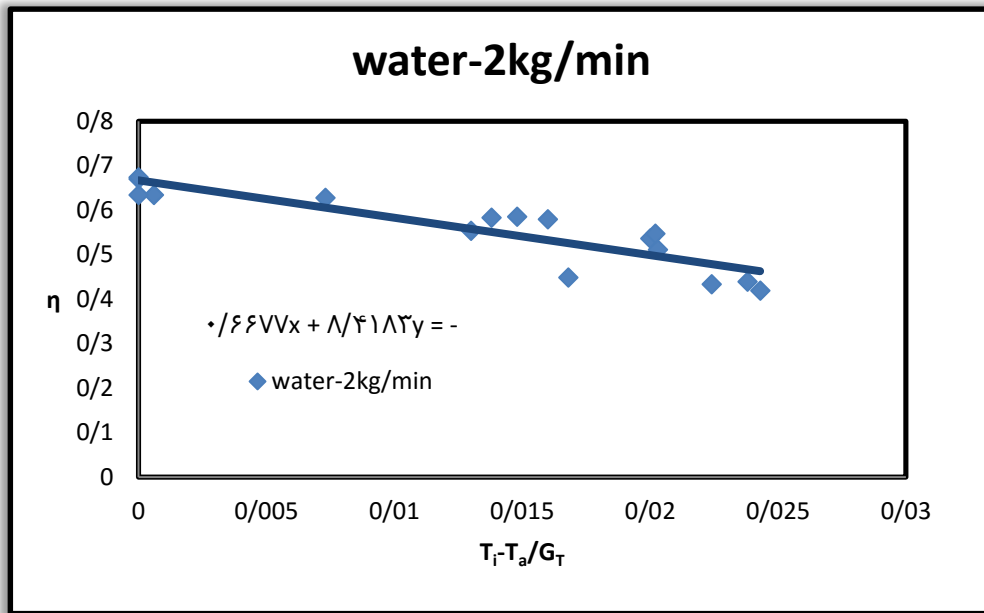
از معادله خط داریم: $F_R = 0.5231$ و $U_L = 8.76$ وات بر مترمربع-کلوین.

مقایسه حالت ۱ و ۲: منحنی عملکرد دو حالت بر روی یک نمودار به شکل زیر است.



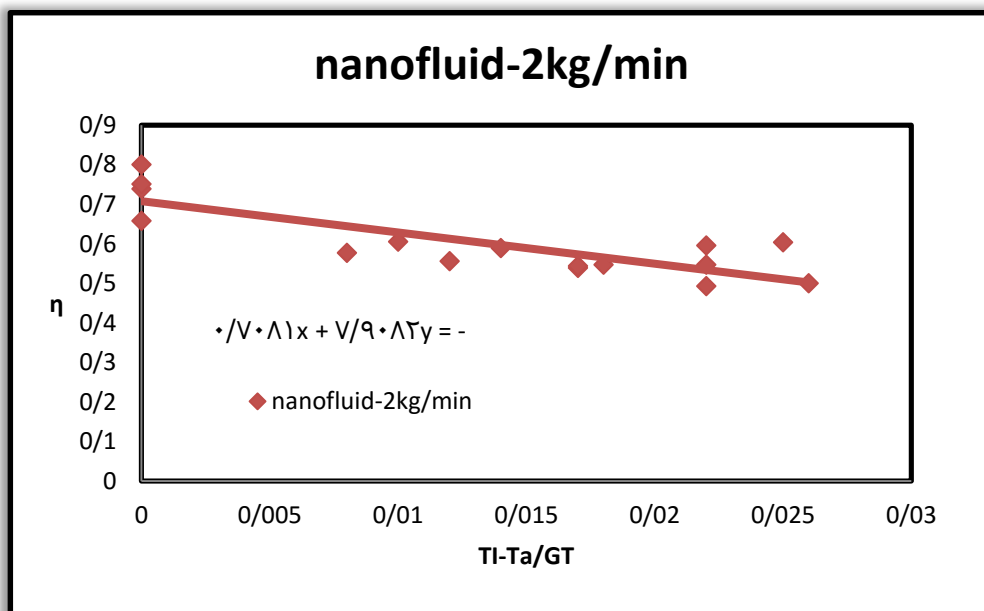
شکل (۳-۴) مقایسه حالت ۱ و ۲

از مقایسه دو حالت در دبی ۳ کیلوگرم بر ثانیه متوجه می‌شویم که تغییر سیال عامل بر روی بازده کلکتور تاثیری ندارد. دلیل این مطلب این است که همان‌طور که در ادامه خواهد آمد این مقدار دبی برای هیچ‌کدام از این دو سیال عامل مقدار بهینه نیست.



شکل (۴-۴) منحنی عملکرد کلکتور برای حالت سوم (آب با دبی ۲ کیلوگرم بر دقیقه)

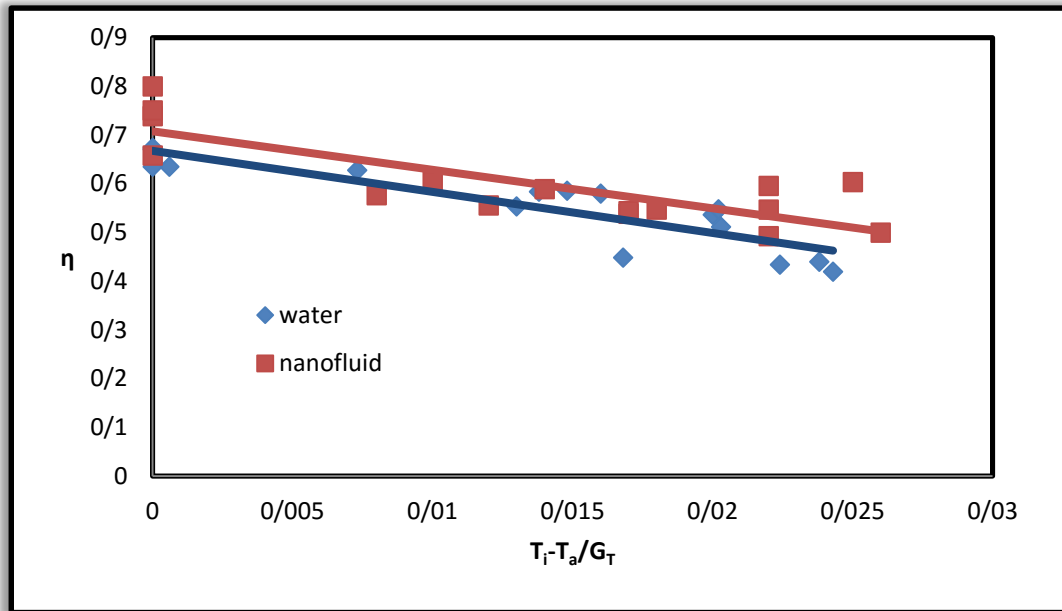
از معادله خط داریم $F_R = 0.6677$ و $U_L = 12/61$ وات بر مترمربع-کلوین.



شکل (۴-۵) منحنی عملکرد کلکتور برای حالت چهارم (نانوسیال با دبی ۲ کیلوگرم بر دقیقه)

از معادله خط داریم $F_R=0.7081$ و $U_L=11/17$ وات بر مترمربع-کلوین.

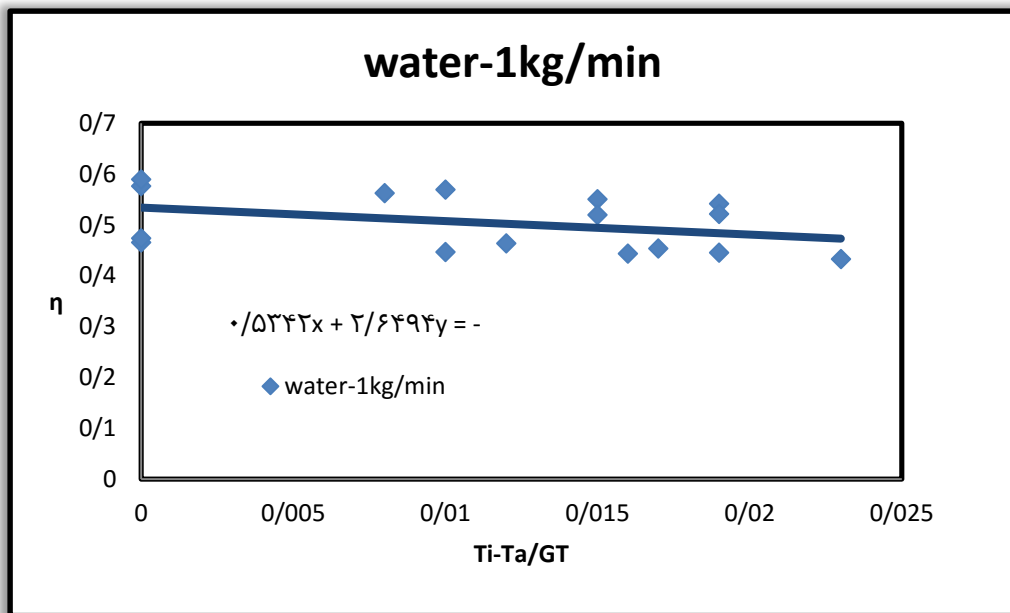
مقایسه حالت ۴ و ۳: منحنی عملکرد در دو حالت ۴ و ۳ بر روی یک نمودار به شکل زیر است.



شکل (۴-۶) مقایسه بین حالت‌های ۴ و ۳

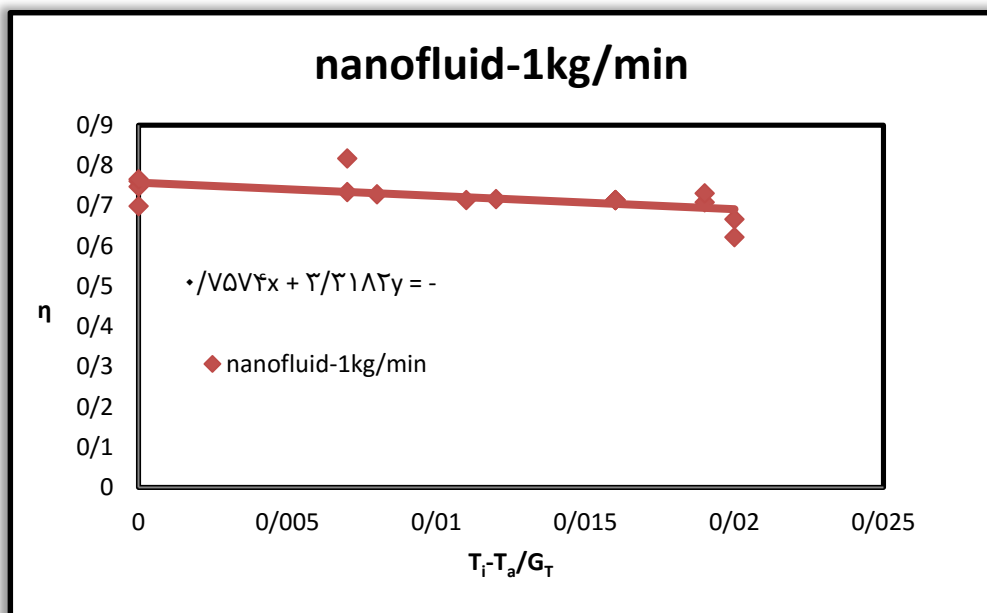
از مقایسه دو حالت متوجه می‌شویم که به طور میانگین بازده در حالت سیال عامل نانوسیال

از ۴/۷۴ درصد بیشتر از حالت سیال عامل آب است.



شکل (۷-۴) منحنی عملکرد کلکتور برای حالت پنجم (آب با دبی ۱ کیلوگرم بر دقیقه)

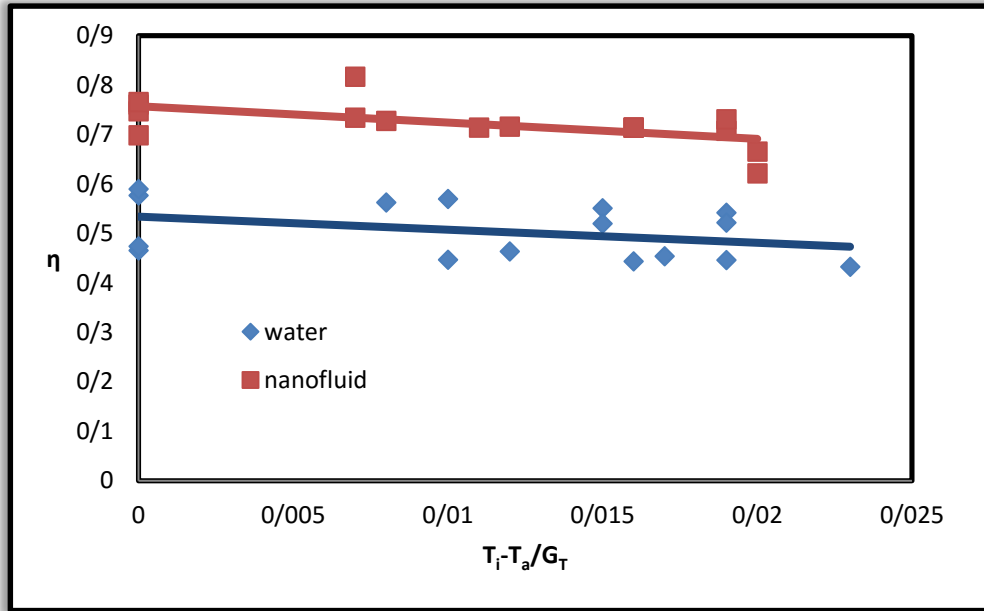
از معادله خط داریم: $F_R = 0.5242$ و $U_L = 4/96$ وات بر مترمربع-کلوین.



شکل (۸-۴) منحنی عملکرد کلکتور برای حالت ششم (نانوسیال با دبی ۱ کیلوگرم بر دقیقه)

از معادله خط داریم: $F_R=0.7574$ و $U_L=4.38$ وات بر مترمربع-کلوین.

مقایسه حالت ۵ و ۶: منحنی عملکرد برای دو حالت بر روی یک نمودار به شکل زیر است.

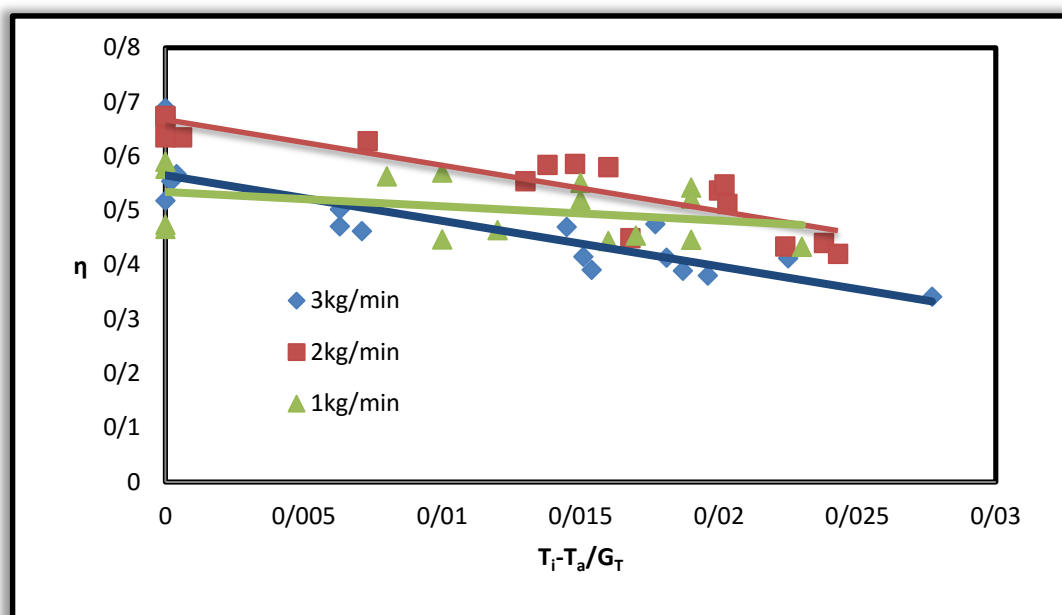


شکل (۴-۹) مقایسه حالت‌های ۵ و ۶

با مشاهده شکل متوجه بهبود بازده به طور مشخص در حالت استفاده از سیال عامل نانوسیال می-شویم. به طور میانگین بازده در حالت سیال عامل نانوسیال ۲۱/۸ درصد بیشتر از حال سیال عامل آب است.

۲-۴- تاثیر دبی جریان بر عملکرد

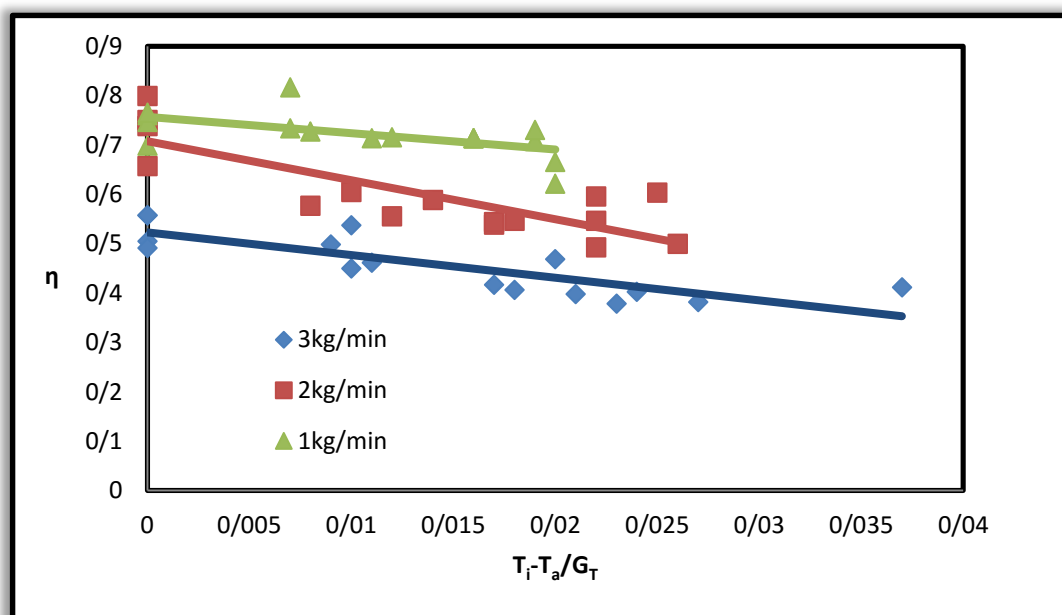
۱- سیال عامل آب: منحنی عملکرد برای سه دبی ۱ و ۲ و ۳ کیلوگرم بر دقیقه به شکل زیر است.



شکل (۴-۱۰) تاثیر دبی جریان بر عملکرد کلکتور در حالت سیال عامل آب

با توجه به شکل واضح است که دبی جریان بر روی عملکرد تاثیر زیادی دارد و با انتخاب دبی بهینه می‌توان به بازدهی بالاتری رسید. برای این حالت دبی ۲ کیلوگرم بر دقیقه از میان سه مقدار، دبی بهینه است.

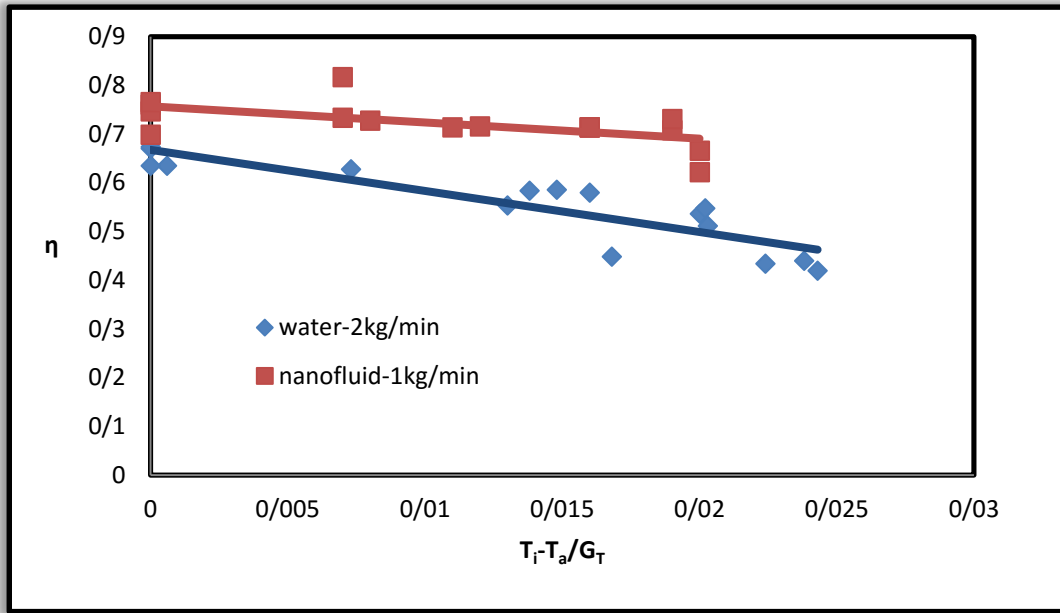
۲- سیال عامل نانوسیال: منحنی عملکرد برای سه دبی ۱ و ۲ و ۳ کیلوگرم بر دقیقه به شکل زیر است.



شکل (۴-۱۱) تاثیر دبی جریان بر عملکرد کلکتور در حالت سیال عامل نانوسیال

اثر تغییر دبی بر عملکرد برای این حالت هم واضح است. برای این حالت دبی بهینه از بین سه مقدار، دبی ۱ کیلوگرم بر دقیقه است.

مقایسه دوسیال عامل در حالت دبی بهینه برای هر کدام: اگر برای هر کدام از دو سیال عامل آب و نانوسیال، دبی بهینه به درستی انتخاب شود، مقایسه، تاثیر صحیح سیال عامل را نشان خواهد داد. نمودار در شکل آمده است.



شکل (۴-۱۲) مقایسه دو سیال عامل در حالت دبی بهینه برای هر کدام

از مقایسه بین دو حالت متوجه می‌شویم که بازدهی در حالت نانوسیال به طور میانگین ۱۶/۷ درصد بیشتر است.

فصل پنجم

نتیجہ گیری، تجزیہ، تحلیل و پیشہادات

۵-۱- جمع‌بندی نتایج

در کار آزمایشگاهی صورت گرفته در این تحقیق سعی بر این بوده‌است تا به بهبود عملکرد کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت کمک شود. به این منظور دو پارامتر مهم در عملکرد این کلکتورها مورد توجه قرار گرفت. سیال عامل کلکتور و دبی جریان سیال داخل کلکتور. سیال عامل که به طور عمده در این کلکتورها استفاده می‌شود، آب است ولی در این تحقیق سعی شده‌است که دسته نسبتاً جدیدی از سیالات به نام نانوسیالات که خواص انتقال حرارت بهتری نسبت به سیالات خالص دارند، به جای آب استفاده و سپس مقایسه شود. نانوسیالات از پراکندن ذرات جامد با ابعاد نانو در یک سیال پایه به دست می‌آیند. در این کار ما از نانو ذرات اکسیدمس با اندازه میانگین ذرات ۴۰ نانومتر در سیال پایه آب استفاده کردیم. همچنین اثر دبی جرمی سیال عامل هم مورد بررسی قرار گرفت. در نتیجه ما ۶ حالت برای انجام آزمایشات در نظر گرفتیم. دو سیال عامل در سه دبی مختلف (۱ و ۲ و ۳ کیلوگرم بر دقیقه). آزمایشات مطابق استاندارد ASHRAE انجام شد. در پایان ما ۹۶ داده به دست آوردیم که مقادیر آنها به طور کامل همراه با خطاهای محاسبه شده برای هر یک در جداول ۴-۴، ۳-۲، ۴-۴، ۴-۴، ۵-۴، ۶-۴ و ۷-۴ لیست شده‌اند.

۵-۲- تحلیل نتایج

۵-۲-۱- اثر تغییر سیال عامل

منحنی عملکرد کلکتور برای هر ۶ حالت در شکل‌های ۴-۱، ۴-۲، ۴-۴، ۴-۵، ۴-۷ و ۴-۸ نشان داده شده است. در شکل ۴-۳، عملکرد کلکتور در دبی ۳ کیلوگرم بر دقیقه در دو حالت استفاده از آب و نانوسیال اکسیدمس نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود تفاوت چندانی وجود ندارد. به عبارت دیگر، استفاده از نانوسیال اکسیدمس در این دبی، تاثیر چندانی بر بهبود عملکرد ندارد. اما همان‌طور که در شکل‌های ۴-۶ و ۴-۹ مشاهده می‌شود با کاهش دبی، بازده کلکتور در حالت استفاده از نانوسیال بیشتر می‌شود. به طوری که به ترتیب در دبی ۲ و ۳ کیلوگرم بر دقیقه افزایش میانگین ۴/۷۴ و ۸/۲۱ درصدی در بازده کلکتور مشاهده می‌شود.

تغییر سیال عامل موجب تغییر ضریب انتقال حرارت می‌شود. پراکندن نانوذرات در سیال خالص، ضریب هدایت حرارتی سیال را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد. این کار موجب افزایش سطح انتقال حرارت نیز می‌شود. همچنین تشدید توربولانس، توقف رشد لایه مرزی و حرکات بی قاعده ذرات معلق ممکن است از دلایل تشدید انتقال حرارت در نانوسیالات باشد. مطالعات مختلفی برای تعیین مدلی که انتقال حرارت را در نانوسیالات نشان دهد انجام شده و همچنان نیز ادامه دارد. اما هنوز مدلی که بتواند به طور کامل منطبق بر نتایج تجربی باشد، ارائه نشده است.

۵-۲-۲- اثر تغییر دبی جریان

با توجه به نتایج قسمت قبل، مشخص می‌شود که انتخاب دبی مناسب برای کلکتور یکی از مهمترین پارامترهای عملکرد کلکتور است. در شکل‌های ۴-۱۰ و ۴-۱۱، منحنی عملکرد کلکتور در حالت سیال عامل آب و نانوسیال اکسیدمس در سه دبی مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود دبی بهینه برای هر دو حالت یکسان نیست. در واقع برای هر حالت یک دبی بهینه خاص وجود دارد که باید با تغییر دبی به دبی مطلوب رسید. در شکل ۴-۱۰ وقتی دبی از ۳ به ۲ کیلوگرم بر دقیقه تغییر می‌کند، افزایش میانگین بازده در حدود ۹ درصد و وقتی از ۲ به ۱ کیلوگرم بر دقیقه تغییر می‌کند کاهش میانگین بازده در حدود ۳/۸ درصد است. در شکل ۴-۱۱ نیز وقتی دبی از ۳ به ۲ کیلوگرم بر دقیقه تغییر می‌کند، افزایش میانگین بازده در حدود ۱۴/۵ درصد و وقتی از ۲ به ۱ کیلوگرم بر دقیقه تغییر می‌کند، افزایش میانگین بازده در حدود ۱۱/۹ درصد مشاهده می‌شود.

وقتی دبی کاهش پیدا می‌کند، عدد رینولدز کاهش می‌یابد و در نتیجه عدد ناسلت نیز کاهش می‌یابد. کاهش عدد ناسلت منجر به کاهش ضریب انتقال حرارت شده و در نتیجه بازده کاهش می‌یابد. اما با تغییر دبی، پارامتر دیگری نیز تغییر می‌کند. هر چه دبی کم شود، اختلاف دمای سیال در ورودی و خروجی کلکتور بیشتر می‌شود. چون سیال امکان تبادل حرارت بیشتر با تابش خورشید را پیدا می‌کند. بر اثر این موضوع نرخ انتقال حرارت و در نتیجه بازده بیشتر می‌شود. بنابراین ترکیبی از دو پارامتر که عکس یکدیگر عمل می‌کنند، تاثیر تغییر دبی بر بازده کلکتور را نشان می‌دهند و رفتار مشاهده شده را توجیه می‌کنند.

۵-۳- نتیجه گیری

در این تحقیق آزمایشگاهی، اثر دو پارامتر تغییر سیال عامل و دبی جریان بر عملکرد کلکتور بررسی شد. نتایج نشان داد که هر دوی این پارامترها تاثیر زیادی بر عملکرد کلکتور دارد و اگر به درستی انتخاب شوند می‌توانند منجر به افزایش بازده کلکتور و بهبود کارایی آن شوند. شکل ۴-۱۲، حالتی را نشان می‌دهد که برای هر دو سیال عامل دبی جریان مناسب انتخاب شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تغییر سیال عامل در دبی بهینه منجر به افزایش ۱۶/۷ درصدی در بازده کلکتور می‌شود.

۵-۴- پیشنهادات

نانوسیالات دسته نسبتا جدیدی از مواد هستند که به واسطه ویژگی‌های مناسب انتقال حرارت در انواع سیستم‌های انتقال حرارت می‌توانند موثر واقع شوند.

کلکتورهای خورشیدی را می‌توان در هر سیستمی که نیاز به منبع گرم دارد، به کار برد. مثلا استفاده در چیلر جذبی به جای ژنراتور.

برای توسعه کار صورت گرفته، می‌توان غلظت نانوسیال را تغییر داد و نتایج را مقایسه نمود. همچنین می‌توان آزمایش را برای نانوذرات مختلف و با اندازه‌های مختلف انجام داد و به بررسی نتایج پرداخت.

با توجه به مثبت بودن نتایج این آزمایش، می‌توان انتظار داشت که سرعت تجاری سازی کلکتورهای خورشیدی که به منظور تامین آب گرم اماکن به کار می‌روند، افزایش یابد و شاهد افزایش استفاده از این وسایل باشیم تا در کنار صرفه‌جویی در هزینه‌ها، محیط زیستی پاک نیز داشته باشیم.

- [1] Kreith F, Kreider JF. Principles of solar engineering. New York: McGraw-Hill; 1978.
- [2] Anderson B. Solar energy: fundamentals in building design. New York: McGraw-Hill; 1977.
- [3] Meinel AB, Meinel MP. Applied solar energy: an introduction. Reading, MA: Addison-Wesley; 1976.
- [4] Kreider JF, Kreith F. Solar heating and cooling. New York: McGraw-Hill; 1977.
- [5] SERI. Power from the sun: principles of high temperature solar thermal technology; 1987.
- [6] Kalogirou S. Solar water heating in Cyprus. Current status of technology and problems. Renewable energy 1997;10:107-12.
- [7] Dincer I. Energy and environmental impacts: present and future perspectives. Energy Sources 1998;20(4/5):427-53.
- [8] www.worldwatch.org.
- [9] Dincer I. Environmental impacts of energy. Energy Policy 1999;27(14):845-54.
- [10] Colombo U. Development and the global environment. In: Hollander JM, editor. The energy-environment connection. Washington, DC: Island Press; 1992. P. 3-14.
- [11] Sayigh AAW. Renewable energy: global progress and examples. Renewable Energy 2001, WREN 2001;15-17.
- [12] Johanson TB, Kelly H, Reddy AKN, Williams RH, editors. Renewable energy-sources for fuels and electricity. Washington, DC: Island Press; 1993. P. 1-71.

[13] Kalogirou A. Solar thermal collectors and applications, *Prog Energ Combust* 2004;30: 231-95.

[14] Konttinen P, Lund PD, Kilpi RJ. Mechanically manufactured selective solar absorber surfaces. *Solar Energy Mater Solar Cells* 2003;79(3):273-83.

[15] Wackelgard E, Niklasson GA, Granqvist CG. Selective solar absorbing coatings. In: Gordon J, editor. *Solar energy: the state of the art*. Germany: ISES; 2001. P. 109-44.

[16] Close DJ. Solar air heaters. For low and moderate temperature applications. *Solar Energy* 1963;7(3):117-24.

[17] Gupta CL, Garg HP. Performance studies on solar air heaters. *Solar Energy* 1967;11(1):25-31.

[18] Wijeydundera NE, Lee LAh, Tjioe LEk. Thermal performance study of two-pass solar air heaters. *Solar Energy* 1982;28(5):363-70.

[19] Samuel TD. Heat withdrawal from multi-layer thermal trap collectors. *Solar Energy* 1983;30(3):261-70.

[20] Biondi P, Cicala L, Farina G. Performance analysis of solar air heaters of conventional design. *Solar Energy* 1988;41(1):101-7.

[21] Parker BF, Lindley MR, Colliver DG, Murphy WE. Thermal performance of three solar air heaters. *Solar Energy* 1993;51(6):467-79.

[22] Kolb A, Winter ERF, Viskanta R. Experimental studies on a solar air collector with metal matrix absorber. *Solar Energy* 1999;65(2):91-8.

[23] Francia G. A new collector of solar radiant energy. *UN Conf New Sources Energy*, Rome 1961;4:572.

[24] Benz N, Hasler W, Hetfleish J, Tratzky S, Klein B. Flat-plate solar collector with glass TI. *Proceedings of Eurosun's98 Conference on CD-ROM*, Portoroz, Slovenia; 1998.

[25] ASHRAE Handbook of HVAC Applications, Atlanta; 1995[chapter 30].

[26] Lin Q, Furbo S. Solar heating systems with evacuated tubular solar collector. Proceedings of Eurosun's98 Conference on CD-ROM, Portoroz, Slovenia; 1998.

[27] Choi S In: Siginer DA, Wang HP, editors. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles in development and applications of non-newtonian flows, New York: ASME; 1995. P. 99-105.

[28] Beck M. Thermal conductivity of metal oxide nanofluids. PHD thesis. Georgia Institute of technology; 2008.

[29] Xuan YM, Roetzel W. Conceptions of heat transfer correlation of nanofluids. Int J Heat Mass Transfer 2000;43(19):3701-7.

[30] Choi SUS, Yu W, Hull JR, Zhang ZG, Lockwood FE. Nanofluids for vehicle thermal management. Society of Automotive Engineers; 2001. p.139-44.

[31] Koblinsky P, Nayak SK, Zapol P. Charge distribution and stability of charged carbon nanotubes. Phys Rev Lett 2002;89[article number:255503].

[32] Wang XQ, Mujumdar AS. Review on nanofluids. Part II: experiments and applications. Braz J Chem Eng 2008;25:631-48.

[33] Sarit KD. Nanofluids-the cooling medium of the future. Heat transfer Eng 2006;27(10):1-2.

[34] Lee S, Choi SUS. Application of metallic nanoparticle suspensions. ANL;1997.

[35] Saidur R, Leong K, Mohammad H. A review on applications and challenges of nanofluids. Renewable and sustainable energy reviews 2011;15:1646-68.

[36] Lue L, Liu Z, Xiao H. Thermal performance of an open thermosyphon using nanofluids for high-temperature evacuated tubular solar collectors. J of Sol Energy 2001;85: 379-87.

[37] کاهانی مصطفی، نوعی حسین، زینالی سعید. مقایسه عملکرد حرارتی یک ترموسیفون دوفازی بسته در اثر استفاده از نانوسیال‌های فلزی. نشریه جداسازی و پدیده‌های انتقال. سال بیست و یکم. شماره یک. ۱۳۸۹.

[38] Sani E, Mercatelli L, Barison S, Pagura C, Agresti F, Colla L, Sansoni P. Potential of carbon nanohorn based suspensions for solar thermal collectors. *Sol Energ Mat Sol C* 2011;95: 2994-3000.

[39] Taylor RA, Phelan PE, Otonicar T, Adrian R, Prasher RS. Nanofluid Optical Property Characterization Towards Efficient Direct Absorber Solar Collectors. *Mechanical Engineering Faculty Works* 2011;6:225.

[40] Otonicar T, Phelan PE, Prasher RS, Rosengarten G, Taylor RA. Nanofluid-based direct absorption solar collector. *J Renewable Sustainable Energy* 2010;2:033102.

[41] Otonicar T, Golden J. Comparative environmental and economic analysis of convectional and nanofluid solar hot water technologies. *Environ Sci Technol* 2009;43:6082-7.

[42] Tyagi H, Phelan P, Prasher R. Predicted efficiency of a low-temperature nanofluid based direct absorption solar collectors. *J Sol Energy Eng* 2009;131:0410041-7.

[43] Natarajan E, Sathish R. Role of nanofluids in solar water heater. *Int J Adv Manuf Technol*; 2009, doi:10.1007/s00170-008-1876-8.

[44] Masuda H, Ebata A, Teramae K, Hishinuma N. Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles. *Netsu Bussei (Japan)* 1993;7:227-33.

[45] Grimm A. Powdered aluminum-containing heat transfer fluids, German Patent DE 4131516A1 (1993).

[46] Tesi C, Chien P, Ding P, Chan B, Luh T, Chen P. Effect of structural character of gold nanoparticles in nanofluid on heat pipe thermal performance. *Mater. Lett* 2004;58(9):1461-65.

[47] Fulkner D, Khotan M, Shekarriz R. Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, IEEE, San Jose, CA, United States 2003; pp 223-30.

[48] Kim J, Jung J, Kang Y. The effect of nano-particles on the bubble absorption performance in a binary nanofluid. *Int J Refrig* 2006;29:22-9.

[49] Nguyen C, Roy G, Gauthier C, Galanis N. Heat transfer enhancement using Al₂O₃-water nanofluid for an electronic liquid cooling system. *Appl Therm Eng*, 2007;27: 1501-1506.

[50] Srikan RR, Rao DN, Subrahmanyam MS, Vamsi KP. Applicability of cutting fluids with nanoparticles inclusion as coolant in machining. *Proc IMechE Part J: Eng Tribol* 2009;223.

[51] Mohammad HA, Bhaskaran G, Shuaib NH, Saidur R. Heat transfer and fluid flow characteristics in microchannels heat exchanger using nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15:1502-12.

[52] Duffie J, Beckman W. *Solar engineering of thermal processes*, NJ: J. Wiley, Sons Inc; 2006.

[53] ASHRAE Standard 93-2003. *Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors*; 2003. Atlanta, GA, USA.

[54] Zhou L, Wang B. On the specific heat capacity of CuO nanofluid. *Hindawi Publishing Corporation*;2010, doi: 10.1155/2010/172085.

[55] Mills A, Chang B. *Error analysis of experiments*. Engineering IV University of California 2004;46-147.

[56] Yousefi T, Veisy F, Shojaeizadeh E, Zinadini S. An experimental investigation on the effect of MWCNT-H₂O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors. *Exp Therm Fluid Sci* 2012;39:207-12.

[57] Saidur R, Meng T, Said Z, Hasanuzzaman M, Kamyar A. Evaluation on the effect of nanofluid-based absorbers on direct solar collector. *Int J Heat Mass Tran* 2012;55:5899-907.

[58] Keshavarz M, Razvarz S. Experimental investigation of aluminum oxide nanofluid on heat pipe thermal performance. *Int Commun Heat Mass* 2012;39:1444-48.

[59] Bejan A, Kraus AD. In: Heat transfer handbook. Hoboken, NJ: J. Wiley, Sons Inc; 2003.

Abstract

In this study, the effect of CuO-water nanofluid, as the working fluid, on the efficiency of a flat-plate solar collector is investigated experimentally. The volume fraction of nanoparticles was 0.4% and the particle dimension was 40nm. The mass flow rate of working fluid varied from 1 to 3 kg/min. The ASHRAE standard was used to calculate the efficiency. The results show that, in comparison water as absorption medium using the nanofluid as working fluid increase the efficiency. For 1 kg/min of mass flow rate the increased efficiency was 21.8%. From the results it can be concluded that the choice of optimum mass flow rate causes increase in efficiency.