دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

تحت عنوان

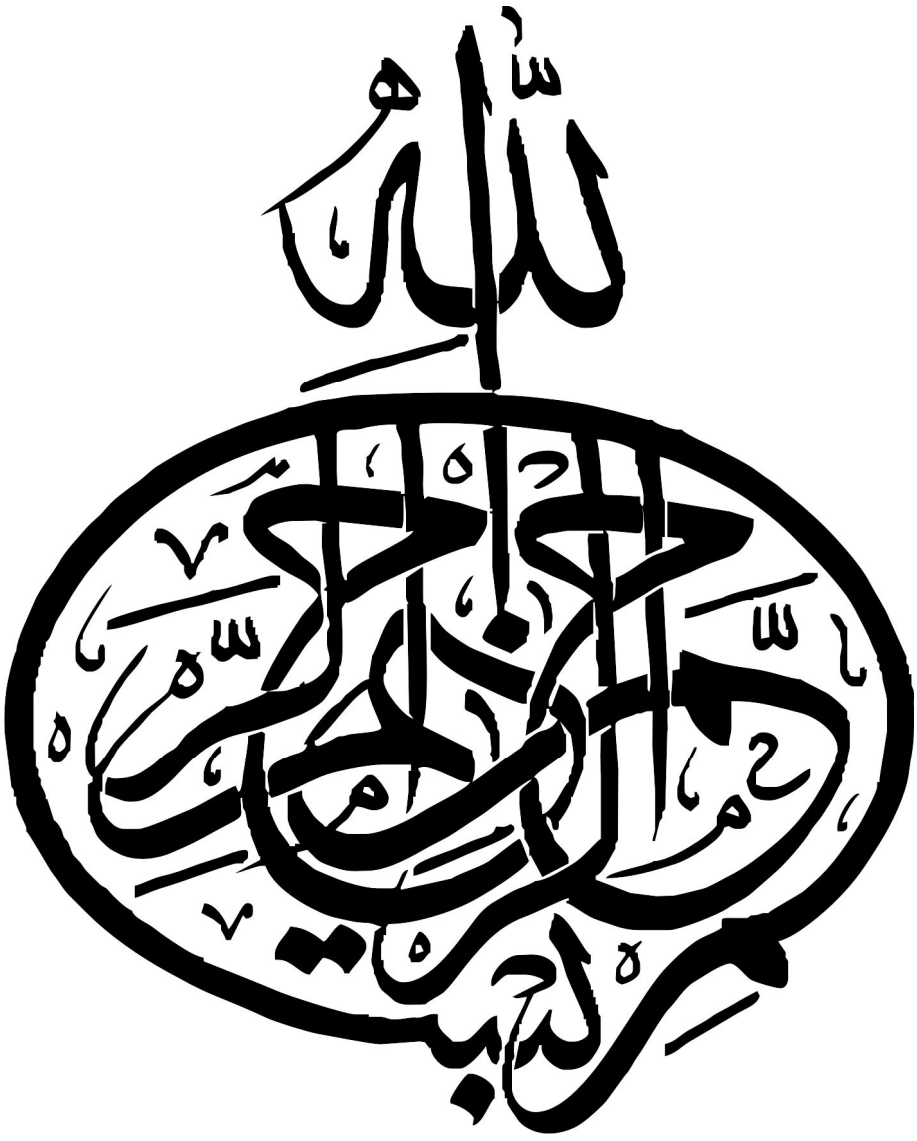
بررسی تجربی تأثیر همزمان نانو سیال و لوله های مارپیچ گیرنده درکارایی حرارتی کلکتور خورشیدی استوانه ای

استاد راهنما :
دکتر کوروش گودرزی

اساتید مشاور :
دکتر امین موسایی- مهندس احسان شجاعی زاده

پژوهشگر :
فائزه نجاتی برزکی

مهر ماه ۱۳۹۲



پایان نامه حاضر، حاصل پژوهش های نگارنده در دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی است که در مهرماه سال ۱۳۹۲ در دانشکده فنی مهندسی دانشگاه یاسوج به راهنمایی جناب آقای دکتر کورش گودرزی و مشاوره جناب آقای دکتر امین موسایی از آن دفاع شده است و کلیه حقوق مادی و معنوی آن متعلق به دانشگاه یاسوج است.

بررسی تجربی تأثیر همزمان نانو سیال و لوله های مارپیچ گیرنده درکارایی حرارتی کلکتور خورشیدی استوانه ای

به وسیله

فائزه نجاتی برزکی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:

مهندسی مکانیک-گرایش تبدیل انرژی

در تاریخ ۱۳۹۲/۷/۳ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنما: دکتر کوروش گودرزی با مرتبه علمی استادیار امضا

۲- استاد مشاور: دکتر امین موسایی با مرتبه علمی استادیار امضا

۳- استاد داور داخل گروه: دکتر غلامرضا زنده بودی با مرتبه علمی استادیار امضا

۴- استاد داور خارج گروه: دکتر هجیر کریمی با مرتبه علمی استادیار امضا

۵- نام و نام خانوادگی نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه: دکتر محمد حسین بازیار با مرتبه علمی استادیار امضا

مهرماه ۱۳۹۲

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است.

به همسرم
به پاس قدردانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از سلامت و امنیت و آرامش برای من فراهم آورده است.

سپاسگزاری

سپاس و ستایش آفریدگاری را که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

برخود لازم می دانم مراتب تشکر و قدردانی خود را از استاد راهنمایم جناب آقای دکتر کوروش گودرزی و استاد مشاورم جناب آقای دکتر موسایی اعلام دارم که با بهره مندی از راهنمایی های ارزشمندشان، درک صحیح جوانب مختلف این پایان نامه امکان پذیر گشت. همکاری و کمک های فکری و مالی ایشان در طول پروژه بود که مسیر ادامه این تحقیق را هموار می نمود. امید است که در فرصتی دوباره، شرایط برای استفاده هرچه بیشتر از شخصیت علمی و اخلاقی ایشان ایجاد گردد.

از مهندس احسان شجاعی زاده و مهندس کبری اسدی که در ساخت دستگاه آزمایش بسیار همکاری نمودند نهایت تشکر را دارم.

از گروه شیمی و به خصوص جناب آقای دکتر قائدی به دلیل راهنمایی های علمی ایشان تشکر و قدردانی می نمایم.

نام: فائزه **نام خانوادگی: نجاتی برزکی**
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته: مکانیک،تبدیل انرژی**
استاد راهنما: دکتر کوروش گودرزی **تاریخ ارائه:۱۳۹۲/۷/۳**

بررسی تجربی تأثیر همزمان نانو سیال و لوله های مارپیچ گیرنده درکارایی حرارتی کلکتور خورشیدی استوانه ای

چکیده:

هدف از این پایان نامه، بررسی تجربی تأثیر همزمان نانوسیال و لوله های مارپیچ گیرنده بر عملکرد حرارتی کلکتور خورشیدی استوانه ای است. این نوع از کلکتور از یک پوشش شفاف شیشه ای به شکل استوانه تشکیل شده است. درون این استوانه، یک لوله مارپیچ مسی به عنوان جاذب انرژی خورشیدی وجود دارد که سیال عامل در آن جریان می یابد و انرژی حرارتی را جذب می کند و گرم می شود. در این پژوهش، تاثیر تغییر غلظت نانوسیال، دبی سیال عامل، تغییر pH نانوسیال و تأثیر SDS به عنوان پایدار کننده بر عملکرد حرارتی کلکتور بررسی شده است. به این منظور یک کلکتور استوانه ای طراحی و ساخته شد و نانوسیال اکسید مس به عنوان سیال عامل در آن مورد آزمایش قرار گرفت. آزمایش های مورد نظر از ساعت ۱۰ صبح تا ۱۴ عصر انجام شد. برای محاسبه کارایی کلکتور با استفاده از استاندارد ASHRAE درجه حرارت سیال ورودی و خروجی کلکتور، دمای هوا، سرعت باد و میزان تشعشع خورشیدی در هر لحظه ثبت شد و کارایی آن به دست آمد. نتایج بدست آمده از آزمایشات نشان می دهد که استفاده از نانوسیال اکسید مس در مقایسه با آب، تأثیر خوبی در افزایش کارایی دارد به طوری که در بالاترین غلظت جرمی نانوسیال، کارایی کلکتور به میزان ۳۳/۲ درصد بیش از کارایی با استفاده از آب می باشد. همچنین این نانوسیال در دبی های بالاتر، به مراتب بر کارایی کلکتور مؤثرتر است و تا ۳۸٪ کارایی را نسبت به پایین ترین دبی افزایش می دهد. علاوه بر این با افزایش غلظت جرمی نانوسیال در دبی پایین، کارایی کلکتور افزایش می یابد و در نهایت استفاده از فعال کننده SDS بر روی پایداری نانوسیال و کارایی تأثیر مثبت دارد.

واژه های کلیدی :

کلکتور خورشیدی استوانه ای- نانوسیال اکسید مس- کارایی حرارتی کلکتور- استاندارد ASHRAE- دبی جرمی نانوسیال- غلظت جرمی - تشعشع خورشیدی- پایداری نانوسیال.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه

۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- اهمیت انرژی خورشیدی در جهان ۱
۱-۳- کلکتور های خورشیدی ۲
۱-۳-۱- انواع کلکتورهای خورشیدی ۳
۱-۳-۱-۱- کلکتور صفحه ای صاف ۳
۱-۳-۱-۲- کلکتور لوله ای تحت خلأ ۴
۱-۳-۱-۳- کلکتور سهموی ۶
۱-۳-۲- آزمون های کارایی کلکتور خورشیدی ۷
۱-۳-۲-۱- استاندارد ASHRAE ۷
الف) آزمون ثابت زمانی ۷
ب) آزمون بازده حرارتی ۸
۱-۴- افزایش راندمان کلکتورهای خورشیدی ۸

فصل دوم : مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه ۱۰
۲-۲- مروری بر مطالعات پیشین ۱۰

فصل سوم : مبانی نظری تحقیق

۳-۱- مقدمه ۱۵
۳-۲- نانوسیالات ۱۵
۳-۲-۱- مزایای بالقوه نانوسیال ۱۶
۳-۲-۲- روش های ساخت نانوسیال ۱۷
۳-۲-۲-۱- روش ساخت یک مرحله ای ۱۷
۳-۲-۲-۲- روش ساخت دو مرحله ای ۱۸
۳-۲-۳- معادلات حاکم بر نانوسیالات ۱۹
۳-۲-۳-۱- روش های تحلیل نانوسیالات ۱۹
۳-۲-۳-۲- مشخصات ترموفیزیکی نانوسیال ۲۰
الف) رسانایی حرارتی نانوسیال ۲۰
ب) ویسکوزیته ۲۳
ج) چگالی ۲۴

د) ظرفیت حرارتی ویژه..... ۲۴
۳-۲-۴- پایدار کردن نانوذرات در نانوسیالات..... ۲۵
۳-۲-۴-۱- استفاده از فعال کننده های سطح و پخش کننده ها..... ۲۶
۳-۲-۴-۲- تغییر pH سوسپانسیون..... ۲۶
۳-۲-۴-۳- استفاده از نوسانات ماورای صوت..... ۲۷
۳-۲-۵- تئوری حاکم بر کلکتور خورشیدی استوانه ای..... ۲۷

فصل چهارم : معرفی دستگاه آزمایش

۴-۱- مقدمه..... ۳۲
۴-۲- ساخت سیستم آزمایش..... ۳۲
۴-۲-۱- کلکتور خورشیدی..... ۳۳
۴-۲-۲- الکتروپمپ..... ۳۴
۴-۲-۳- دبی سنج..... ۳۵
۴-۲-۴- مبدل حرارتی..... ۳۶
۴-۲-۵- سنسورهای حرارتی..... ۳۷
۴-۳- ساخت نانوسیال..... ۳۸
۴-۳-۱- استفاده از دستگاه آلتراسونیک..... ۳۹
۴-۳-۱-۱- بررسی تغییر دمای نانوسیال در دستگاه آلتراسونیک..... ۴۰
الف) تغییر شعاعی دما..... ۴۰
ب) تغییر محوری دما..... ۴۰
۴-۳-۲- ساخت نانوسیال CuO بدون مواد فعال کننده..... ۴۰
۴-۳-۳- ساخت نانوسیال CuO همراه با مواد فعال کننده..... ۴۱
۴-۳-۴- ساخت نانوسیال همراه با مواد فعال کننده و تغییر مقدار pH نانوسیال..... ۴۳
۴-۳-۵- بررسی توزیع سایز نانوذرات در نانوسیال CuO..... ۴۳

فصل پنجم : تحلیل نتایج

۵-۱- مقدمه..... ۴۵
۵-۲- تشعشع خورشیدی..... ۴۵
۵-۳- دماها در طول زمان تست گیری..... ۴۶
۵-۴- تعیین ثابت زمانی خورشیدی..... ۴۶
۵-۵- بررسی تأثیر دبی جریان سیال بر کارایی کلکتور خورشیدی..... ۴۷
۵-۶- بررسی تأثیر استفاده از نانوسیال CuO بر کارایی کلکتور..... ۴۹
۵-۶-۱- بکارگیری نانوسیال CuO با درصدهای جرمی مختلف در یک دبی ثابت..... ۴۹
۵-۶-۲- بکارگیری نانوسیال CuO با درصد جرمی ثابت در دبی های مختلف ۵۴
۵-۶-۳- بررسی تأثیر پایدارکننده SDS بر کارایی کلکتور..... ۵۶
۵-۶-۴- بررسی تأثیر تغییر pH نانوسیال بر کارایی کلکتور..... ۵۷
۵-۷- نتیجه گیری..... ۵۷
۵-۸- پیشنهادات برای ادامه کار حاضر..... ۵۸

پیوست ها

نمودار تشعشع خورشیدی در روزهای مختلف..... ۵۹
نمودار کارایی حرارتی برای دبی های مختلف جریان آب..... ۶۰
نمودار کارایی حرارتی برای نانوسیال CuO..... ۶۱

مراجع..... ۶۴

فهرست شکل ها

شکل **صفحه**

شکل (۱-۱) : اجزای کلکتور صفحه ای صاف..... ۳
شکل (۱-۲) : کلکتور لوله ای تحت خلأ..... ۴
شکل (۱-۳) : اجزای کلکتور لوله ای تحت خلأ..... ۵
شکل (۱-۴) : نمونه ای از یک کلکتور لوله خلأ به همراه لوله حرارتی..... ۶
شکل (۱-۵) : کلکتور سهموی..... ۶
شکل (۳-۱) : روش تک مرحله ای ساخت نانوسیال..... ۱۸
شکل (۳-۲) : نسبت رسانایی حرارتی نانوسیال به سیال پایه نسبت به دما در کسر حجمی ۱٪..... ۲۲
شکل (۳-۳) : نسبت رسانایی حرارتی نانوسیال به سیال پایه در کسر حجمی ۱٪ و بر اساس قطر نانوذره..... ۲۲
شکل (۳-۴) : نسبت رسانایی حرارتی نانوسیال به سیال پایه بر حسب کسر حجمی نانوذرات..... ۲۳
شکل (۳-۵) : ضریب هدایت حرارتی نانوسیال CuO در آب به صورت وابسته به دما..... ۲۵
شکل (۳-۶) : شماتیک کلکتور استوانه ای و مدار مقاومت گرمایی آن..... ۲۸
شکل (۴-۱) : شماتیکی از سیکل مورد آزمایش..... ۳۲
شکل (۴-۲) : کلکتور خورشیدی استوانه ای با لوله های گیرنده مارپیچ..... ۳۳
شکل (۴-۳) : نمایی از پمپ الکتریکی مورد استفاده ۳۴
شکل (۴-۴) : شیر تنظیم دبی تعبیه شده در خروجی پمپ..... ۳۴
شکل (۴-۵) : نمایی از دبی سنج مورد استفاده..... ۳۵
شکل (۴-۶) : نمایی از منبع حرارتی و مبدل درون آن..... ۳۶
شکل (۴-۷) : نمونه ای از ترموکوپل مورد استفاده..... ۳۷
شکل (۴-۸) : نمایی از دستگاه داده برداری..... ۳۷
شکل (۴-۹) : نمای کلی از مدل آزمایشگاهی..... ۳۸
شکل (۴-۱۰) : نمونه ای از نانوپودر CuO خریداری شده..... ۳۸
شکل (۴-۱۱) : دستگاه آلتراسونیک مورد استفاده..... ۳۹
شکل (۴-۱۲) : بررسی تغییرات دمایی نانوسیال الف)در راستای شعاعی. ب)در راستای محوری..... ۴۰
شکل (۴-۱۳) : فعال کننده SDS مورد استفاده در پایان نامه..... ۴۱
شکل (۴-۱۴) : نانوسیال CuO به همراه پایدارکننده..... ۴۲
شکل (۴-۱۵) : توزیع سایز نانوذره CuO در نانوسیال بر حسب قطر..... ۴۳
شکل (۴-۱۶) : تصویر TEM گرفته شده از نانوذره CuO ۴۴
شکل (۵-۱) : دماها و تشعشع خورشیدی در یک روز نمونه از انجام آزمایش..... ۴۶
شکل (۵-۲) : وابستگی ثابت زمانی خورشیدی به دبی جریان سیال..... ۴۷
شکل (۵-۳) : نمودار کارایی حرارتی برای دبی های مختلف جریان آب..... ۴۸

شکل (۵-۴) : کارایی لحظه ای کلکتور برای نانوسیال CuO در دبی Lit/min ۰/۵ با درصد جرمی مختلف..... ۵۰
شکل (۵-۵) : کارایی حرارتی برای نانوسیال CuO در دبی Lit/min ۰/۵ با درصد جرمی مختلف..... ۵۰
شکل (۵-۶) : کارایی لحظه ای کلکتور برای نانوسیال CuO در دبی Lit/min ۱ با درصد جرمی مختلف..... ۵۲
شکل (۵-۷) : کارایی حرارتی کلکتور برای نانوسیال CuO در دبی Lit/min ۱ با درصد جرمی مختلف..... ۵۲
شکل (۵-۸) : کارایی حرارتی کلکتور برای نانوسیال CuO در دبی Lit/min ۲ با درصد جرمی مختلف..... ۵۳
شکل (۵-۹) :کارایی لحظه ای کلکتور برای نانوسیال CuO در دبی Lit/min ۲ با درصد جرمی مختلف..... ۵۳
شکل (۵-۱۰) : نمودار کارایی حرارتی برای نانوسیال CuO با درصد جرمی wt ۰/۱ در سه دبی مختلف..... ۵۴
شکل (۵-۱۱) : نمودار کارایی حرارتی برای نانوسیال CuO با درصد جرمی wt ۰/۲ در سه دبی مختلف..... ۵۴
شکل (۵-۱۲) : نمودار کارایی حرارتی برای نانوسیال CuO با درصد جرمی wt ۰/۴ در سه دبی مختلف..... ۵۵
شکل (۵-۱۳) : نمودار کارایی حرارتی برای نانوسیال CuO با درصد جرمی wt ۰/۱ بدون پایدارکننده و با پایدارکننده SDS در مقایسه با آب در دبی Lit/min ۱ ..... ۵۶
شکل (۵-۱۴) : نمودار کارایی حرارتی برای نانوسیال CuO به همراه پایدارکننده SDS در سه pH مختلف..... ۵۷

فهرست جدول ها

جدول **صفحه**

جدول (۱-۱) : حدود مجاز پارامترهای مختلف جهت دستیابی به شرایط یکنواخت در استاندارد ASHRAE..... ۸
جدول (۳-۱) : خواص ترمو فیزیکی آب و نانوذره اکسید مس..... ۲۵
جدول (۴-۱) : مشخصات کلکتور مورد استفاده..... ۳۳
جدول (۴-۲) : مشخصات پمپ الکتریکی مورد استفاده..... ۳۵
جدول (۴-۳) : مشخصات دستگاه آلتراسونیک..... ۳۹
جدول (۴-۴) : دستور تنظیم دستگاه آلتراسونیک..... ۴۱
جدول (۴-۵) : خواص شیمیایی SDS..... ۴۲
جدول (۵-۱) : ثابت زمانی برای دبی های مختلف جریان آب..... ۴۷
جدول (۵-۲) : مقادیر $F_R(\tau\alpha)$ و $F_R U_L$ به ازای دبی های مختلف جریان آب..... ۴۸
جدول (۵-۳) : مقادیر $F_R(\tau\alpha)$ و $F_R U_L$ برای نانوسیال با درصد جرمی مختلف در دبی ۰/۵ Lit/min..... ۵۱
جدول (۵-۴) : مقادیر $F_R(\tau\alpha)$ و $F_R U_L$ برای آب و نانوسیال با درصد جرمی مختلف در دبی ۱ Lit/min..... ۵۲
جدول (۵-۵) : مقادیر $F_R(\tau\alpha)$ و $F_R U_L$ برای آب و نانوسیال با و بدون SDS..... ۵۶

فصل اول

مقدمه

۱-۱-مقدمه

انرژی خورشیدی، یکی از منابع تأمین انرژی رایگان، پاک و عاری از اثرات مخرب زیست محیطی است که از دیرباز به روش های گوناگون مورد استفاده بشر قرار گرفته است. امروزه از این انرژی به طور وسیعی برای گرمایش آب استفاده می شود. کلکتور ها مهمترین بخش آبگرمکن های خورشیدی هستند که کار اصلی آنها جذب انرژی خورشیدی و تبدیل آن به گرما و انتقال آن به سیال عامل جاری داخل لوله ها یا کانال ها می باشد. کلکتور مورد بررسی ما در این تحقیق از نوع استوانه ای می باشد که در دسته کلکتورهای لوله ای قرار می گیرد. در مرکز آن لوله مارپیچ مسی به عنوان جاذب انرژی خورشید قرار گرفته است و سیال عامل درون این لوله جریان می یابد. در این کلکتور از نانوسیال به عنوان سیال عامل استفاده می شود تا با افزایش میزان انتقال حرارت، کارایی کلکتور نیز افزایش یابد. بنابراین در این فصل به اهمیت انرژی خورشیدی، انواع کلکتورهای خورشیدی و اهمیت نانوسیالات و کاربرد آنها پرداخته شده است.

۱-۲-اهمیت انرژی خورشیدی در جهان

رشد علم و صنعت و فن آوری در جهان امروز، روش های مختلف استفاده از انرژی را که در دوران قبل از انقلاب صنعتی معمول بود دگرگون کرده و شناخت منابع انرژی جدید، تحولی عظیم در توسعه صنعتی و تکامل اجتماعی بشر به وجود آورده است. وابستگی شدید جوامع صنعتی به منابع انرژی به خصوص سوخت های فسیلی و به کارگیری و مصرف بی‌رویه ی آن ها، منابع عظیمی را که طی قرون متمادی در لایه های زیر زمین تشکیل شده است تخلیه می نماید. اگر تمامی سوخت های فسیلی را جمع کنیم و بسوزانیم، این انرژی، معادل تابش ۴ روز خورشید به سطح زمین است و از این لحاظ خورشید، منبعی عظیم از انرژی به شمار می رود. با توجه به این که منابع انرژی زیرزمینی با سرعت فوق العاده ای مصرف می شوند و در آینده ای نه چندان دور چیزی از آن ها باقی نخواهند ماند، نسل فعلی وظیفه دارد به آن دسته از منابع انرژی که دارای عمر و توان زیادی هستند روی بیاورد و دانش

خود را برای بهره برداری از آن ها گسترش دهد. فن آوری آلوده نشدن هوا و محیط زیست و از همه مهم تر ذخیره شدن سوخت های فسیلی برای آیندگان، یا تبدیل آن ها به مواد و مصنوعات با ارزش با استفاده از تکنیک پتروشیمی، از عمده دلایلی هستند که لزوم استفاده از انرژی خورشیدی را برای کشور ما آشکار می سازد. با توجه به بحران های به وجود آمده انرژی در سطح جهان و معضلات ناشی از کاربرد انرژی های تجدید ناپذیر، کاربرد انرژی های نو و تجدید پذیر در مصارف مختلف روز به روز افزایش یافته است. سیاست های اتخاذ شده در بسیاری از کشورها از دهه هفتاد میلادی موجب توجه روز افزون به این انرژی ها و به ویژه انرژی خورشیدی شده است. برآورد ها نشان می دهد که کشور های جهان، انرژی خورشید را به عنوان یکی از منابع اصلی تأمین کننده انرژی در آینده می دانند، زیرا به فن آوری های پیشرفته و پرهزینه نیاز نداشته و به علاوه استفاده از آن بر خلاف انرژی هسته ای، خطرات و اثرات نامطلوبی از خود باقی نمی گذارد و برای کشورهایی که فاقد منابع انرژی زیرزمینی هستند، مناسب ترین راه برای دستیابی به نیرو و رشد و توسعه اقتصاد می باشد. در کشور ما نیز از حدود سال ۱۳۷۰ تلاش ها و برنامه ریزی ها در جهت شناخت پتانسیل انرژی های نو و به ویژه انرژی خورشید و کاربرد هرچه بیشتر آنها آغاز شده است. ایران به دلیل قرار گرفتن در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی، از پتانسیل بالایی در زمینه بهره برداری از این موهبت خدادادی برخوردار است، به طوری که در ۹۰ درصد از خاک کشورمان بیش از ۳۰۰ روز آفتاب مؤثری وجود دارد. میزان تابش انرژی خورشیدی در ایران بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلو وات ساعت بر متر مربع در سال تخمین زده شده است. انرژی خورشیدی همانند سایر انرژی ها به طور مستقیم یا غیر مستقیم می تواند به دیگر اشکال انرژی از جمله گرما و الکتریسیته تبدیل شود. عوامل زیادی در تغییر شدت، کمیت و کیفیت انرژی خورشیدی مؤثر اند که عبارتند از طول و عرض جغرافیایی محل، ضخامت و ترکیبات اتمسفر (نوع و مقدار ذرات موجود در اتمسفر)، رطوبت هوا، ابری یا آفتابی بودن، ارتفاع پوشش ابرها از سطح زمین، فصل ها و ساعات شبانه روز و طول مسیر حرکت اشعه خورشید تا زمین. شناخت و تأمین این عوامل، لازمه طراحی موفق یک سیستم خورشیدی می باشد.

۱-۳-کلکتورهای خورشیدی

مهم ترین بخش از هر آبگرمکن خورشیدی، کلکتور ها هستند که کار اصلی آنها جذب تابش خورشیدی و تبدیل آن به گرما و انتقال آن به سیال عامل جاری داخل لوله ها یا کانال ها می باشند. یک کلکتور خورشیدی را می توان نوع ویژه ای از مبدل گرمایی در نظر گرفت، با این تفاوت که در مبدل های گرمایی، گرما معمولاً از طریق جابجایی یا هدایت به سیال دیگر منتقل می شود و انتقال گرما از طریق تابش در آنها بسیار ناچیز است. در حالی که در یک کلکتور خورشیدی، انتقال حرارت از طریق تابش نقش اساسی دارد که این انرژی خورشیدی (تابشی) به وسیله سطح جاذب کلکتورهای خورشیدی جمع آوری می شود.

کلکتورها به سه دسته تقسیم می شوند که بر اساس این تقسیم بندی روش انتقال حرارت هر کدام متفاوت خواهد بود. انتخاب نوع کلکتور به شرایط آب و هوایی منطقه و دمای مطلوب مورد نیاز (دمای آب داغ) بستگی دارد. امروزه انواع کلکتورها با تکنولوژی جدید و پیشرفته ساخته می شوند و مواد

جاذب به کاررفته دارای حداکثر جذب و حداقل نشر و انعکاس می باشند. بازده یک کلکتور خورشیدی که به صورت انرژی حرارتی قابل استفاده بر انرژی دریافتی از خورشید تعریف می شود، بستگی به فاکتور هایی از قبیل نوع کلکتور، واکنش طیفی سطح دریافت کننده، عایق کاری کلکتور و اختلاف دمای بین کلکتور و هوای بیرون دارد.

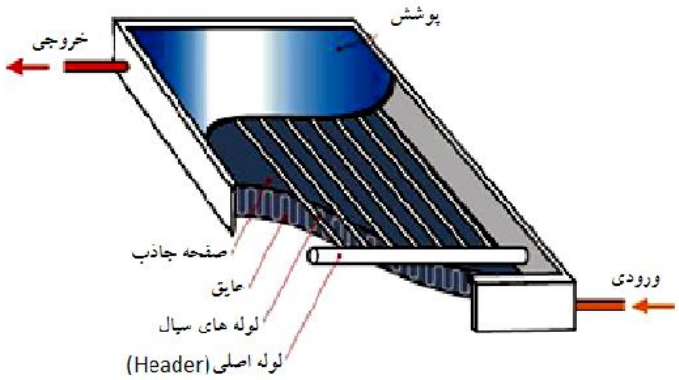
۱-۳-۱- انواع کلکتورهای خورشیدی

در حالت کلی کلکتورها را می توان به ۳ دسته زیر تقسیم کرد [۱]:

- کلکتور صفحه ای صاف [۱]
- کلکتور لوله ای تحت خلأ[۲]
- کلکتور سهموی[۳]

۱-۳-۱-۱- کلکتور صفحه ای صاف

این نوع از کلکتور در حقیقت ساده ترین و پراستفاده ترین نوع کلکتور است. ساختار آن به صورت یک جعبه مستطیل شکل بوده که در داخل آن یک صفحه جاذب فلزی از جنس مس یا آلومینیوم قرار دارد که معمولاً به رنگ های تیره است و به منظور جذب بهتر تشعشع خورشیدی می باشد. در زیر این صفحه، لوله یا کانال هایی قرار گرفته که سیال عامل (هوا یا آب و مایع ضد یخ) در آنها جریان دارد. جهت افزایش کارایی و کاهش اتلاف حرارتی، اطراف کلکتور عایق بندی شده است. این کلکتور در دماهای متوسط (بین ۳۰ تا ۸۰ درجه سانتی گراد) مورد استفاده قرار می گیرد و در شرایطی که در طول ماه های زمستان به گرما نیاز است مناسب ترین کلکتور می باشد.



شکل (۱-۱) : اجزای کلکتور صفحه ای صاف

۱-*Flat Plate Collector*
۲-*Evacuated Tube Collector*
۳-*Concentrating Collector*

این کلکتورها بر حسب نوع سیال عامل به ۲ دسته تقسیم می شوند :

۱-کلکتور صفحه تخت مایع[۱]

۲-کلکتور صفحه تخت هوا[۲]

۱-۳-۱-۲- کلکتور لوله ای تحت خلأ

این نوع از کلکتور را می توان یکی از کاراترین و گرانترین انواع کلکتورهای خورشیدی دانست. این کلکتور از تعدادی لوله دو جداره شفاف موازی تشکیل شده است که در داخل آن یک لوله با پوششی از ماده جاذب قرار دارد. هوا از فضای بین دو جداره خارج گردیده و خلأ ایجاد شده از اتلاف حرارت جلوگیری می کند. این کلکتور برای تأمین آب در دماهای بالای ۶۰ درجه سانتی گراد یا در مناطق بسیار سرد مورد استفاده قرار می گیرد. کاربرد این کلکتور ها بیشتر از سایر کلکتور ها بوده و برای موارد تجاری و صنعتی مورد استفاده قرار می گیرند. همچنین می توان جهت آبگرمکن های خانگی، گرم کردن ساختمانها و استخرهای خانگی از این نوع کلکتور استفاده نمود. با توجه به توان بالای این کلکتورها، از طریق ایجاد چرخه سرمایشی، می توان از این کلکتورها برای سرد کردن ساختمانها نیز استفاده نمود. راندمان بالا و کمترین اتلاف حرارتی از مزیت های این کلکتور بوده و به علت وجود خلأ بین پوشش و جذب کننده، اتلاف گرمایی آنها حتی در هوای سرد، بسیار پایین است. در شکل (۱-۲) یک کلکتور لوله ای تحت خلأ نشان داده شده است.

شکل (۱-۲) :کلکتور لوله ای تحت خلأ

۱-*Liquid Flat Plate Collector*

۲-*Air Flat Plate Collector*

شکل (۱-۳) : اجزای کلکتور لوله ای تحت خلأ

کلکتور های لوله ای تحت خلأ در دو نوع زیر طبقه بندی می شوند :

۱-کلکتور لوله ای جریان مستقیم[۱]

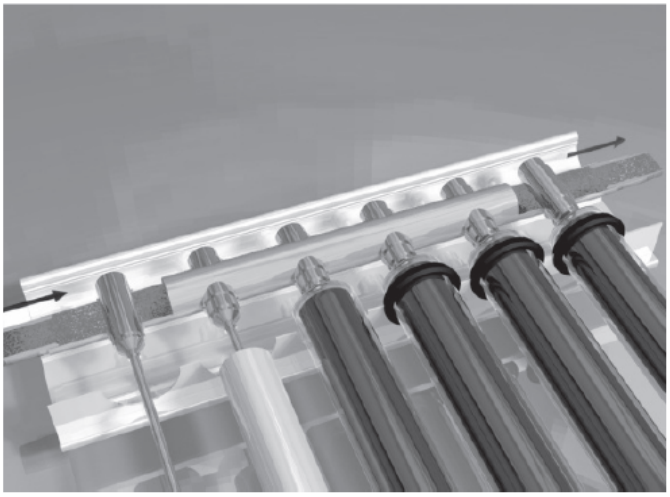
۲-کلکتور لوله گرمایی[۲]

در نوع کلکتور لوله ای جریان مستقیم، سیال به طور مستقیم و بدون واسطه در داخل لوله های خلأ جریان می یابد و پس از قرارگیری در مقابل تشعشع خورشید و افزایش دمای سیال، طبق پدیده فیزیکی ترموسیفون سیال به سمت بالای لوله حرکت کرده و به مخزن ذخیره آب گرم باز می گردد. با حرکت سیال به سمت بالا، سیال سرد و خنک جای آن را پر می کند و به این ترتیب سیکل گرمایش آب تکمیل می شود.

کلکتور لوله گرمایی، یک کلکتور لوله ای خلأ شامل تعدادی لوله شیشه ای سربسته است که در داخل هریک از آنها یک صفحه فلزی جاذب به همراه یک لوله، که در داخل آن سیال حساس به درجه حرارت همچون متانول است قرار دارد. پرتو خورشید موجب گرم شدن و تبخیر سیال عامل داخل لوله گرمایی می شود. سیال تبخیر شده به سمت بالا صعود کرده و به سمت چگالنده و نهایتاً مبدل گرمایی موجود در قسمت انتهایی لوله خلأ حرکت می کند. در آنجا بخار داخل لوله گرمایی چگالیده شده و محتوی گرمای خود را به سیال ثانویه ناقل انرژی گرمایی خورشیدی منتقل می کند. پس از انجام انتقال حرارت، سیال چگالیده شده به سمت پایین لوله گرمایی جریان می یابد که در آنجا مجدداً به وسیله پرتو خورشید گرم و نهایتاً تبخیر می شود و این چرخه دائماً تکرار می گردد.

۱-*Direct Flow Evaquated Tube Collector*

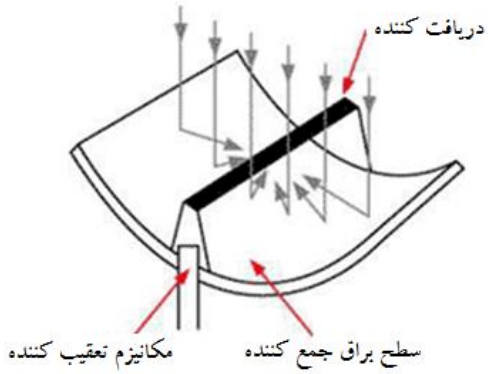
۲-*Heat Pipe Evaquated Tube Collector*



شکل (۱-۴) : نمونه ای از یک کلکتور لوله خلأ به همراه لوله حرارتی

۱-۳-۱-۳- کلکتور سهموی

این کلکتورها سطح آیینه ای داشته و برای تجمع انرژی خورشیدی بر روی لوله جاذب که شامل سیال انتقال حرارت است به کار می رود. در این نوع کلکتور تنها تابش مستقیم خورشید جذب می شود. انرژی جذب شده توسط این کلکتورها از نوع صفحه تخت بیشتر است اما تجهیزات مکانیکی مورد نیاز برای جذب انرژی خورشید و نگهداری از آن در درازمدت بسیار گران قیمت خواهد بود. این کلکتورها در هر ساعت باید حدود ۱۵ درجه در جهت حرکت خورشید چرخش داشته باشند. در شکل (۱-۵) یک نمونه از کلکتور سهموی نشان داده شده است.



شکل (۱-۵) : کلکتور سهموی

۱-۳-۲-آزمون های کارایی کلکتورهای خورشیدی

برای انجام تست بر روی کلکتور خورشیدی روش های متعددی ارائه گردیده است که به صورت استاندارد جهانی معرفی می شوند. استانداردهای موجود در تست کارایی کلکتور خورشیدی به قرار زیر می باشند [۱] :

- استاندارد ایزو $ISO\ 9459-1,2,3,4,5$
- استاندارد ملی اروپایی $EN\ 12976-2, ENV\ 129777-2$
- استاندارد آمریکایی ASHRAE 95،SRCCTM -1/OG 300

هر سه استاندارد فوق، نیازمند انجام آزمون ثابت زمانی[۱] و آزمون بازده حرارتی لحظه ای[۲] هستند. علی رغم برخی از تفاوت های جزیی در خواسته های هر استاندارد، تمامی استانداردها پارامترهایی که برای محاسبه بازده حرارتی درازمدت لازم است را توضیح داده اند. استاندارد ASHRAE با توجه به جامع تر بودن آن اساس محاسبات ما در این پایان نامه قرار گرفته است.

۱-۳-۲-۱- استاندارد ASHRAE

الف) آزمون ثابت زمانی(τ)

در این استاندارد، تست ثابت زمانی از دو مرحله تشکیل می شود. ابتدا کلکتور در مقابل تابش خورشید قرار گرفته و دمای سیال ورودی به کلکتور تحت کنترل قرار می گیرد، به طوری که برابر دمای هوای خشک محیط باشد. بعد از اینکه به شرایط یکنواخت (مطابق جدول ۱-۱) رسید، سطح کلکتور به سرعت توسط پوششی پوشانده می شود و سپس بلافاصله دمای سیال ورودی که تحت کنترل است و دمای سیال خروجی از کلکتور به طور پیوسته تحت بررسی قرار می گیرد. کاهش دمای خروجی سیال در طول زمان، اطلاعات لازم جهت تخمین ثابت زمانی کلکتور را به دست می دهد. ثابت زمانی کلکتور عبارتست از مدت زمان لازم برای کاهش اختلاف دمای سیال ورودی و خروجی از کلکتور به میزان ۰/۳۶۸ یا $(1/e)$ از مقدار اولیه آن.

$$\frac{T_{o,\tau}-T_i}{T_{o,i}-T_i}=\frac{1}{e}=0/368 \qquad (1-1)$$

که در آن، $T_{o,\tau}$ دمای خروجی در زمان τ، $T_{o,i}$ دمای خروجی در شرایط ماندگار (درست قبل از تغییر ناگهانی در مقدار تابش برخوردی به کلکتور) و T_i دمای سیال ورودی به کلکتور است.

ثابت زمانی به نوع ساخت، مواد به کار برده شده، نوع سیال ناقل گرما، چگونگی جریان سیال و دمای کار بستگی دارد و باید در شرایط واقعی اندازه گیری شود.

۱-*Time Constant*

۲-*Instantaneous thermal efficiency test*