دانشگاه سیستان و بلوچستان
تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک

عنوان:

مطالعه تجربی انتقال حرارت در یک گردآورنده خورشیدی صفحه تخت با سیال با قابلیت هدایت متفاوت

اساتید راهنما:

دکتر امین بهزادمهر

دکتر فرامرز سرحدی

تحقیق و نگارش:

مهدی رحمدل

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)

مهر ۱۳۹۲

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان مطالعه تجربی انتقال حرارت در یک گردآورنده خورشیدی صفحه تخت با سیال با قابلیت هدایت متفاوت قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک توسط دانشجو مهدی رحمدل تحت راهنمایی استاد پایان نامه جناب آقای دکتر امین بهزادمهر تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

مهدی رحمدل

این پایان نامه ..... واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ..... توسط هیئت داوران بررسی و درجه ..... به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:			
استاد راهنما:			
استاد مشاور:			
داور ۱:			
داور ۲:			
نماینده تحصیلات تکمیلی:			

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب مهدی رحمدل تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: مهدی رحمدل

امضاء

تقدیم به پدر و مادر مهربان

و

همسر عزیزم

سپاسگزاری

اکنون که با یاری خداوند متعال این پایان‌نامه به اتمام رسیده بر خود لازم می‌دانم از تمامی کسانی که به نوعی اینجانب را در انجام این پژوهش یاری نموده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. از زحمات شایان و بی‌دریغ استاد بزرگوار، صبور و مهربانم جناب آقای دکتر بهزادمهر که همیشه مشوق اینجانب بودند و راهنمایی‌های ایشان همواره یاور من در این پژوهش بوده، همچنین جناب آقای دکتر سرحدی که خالصانه و با صبر و شکیبایی اینجانب را در اتمام این پروژه کمک و همراهی کردند، کمال تشکر و قدرانی را دارم.

همچنین از برادران عزیزم مصطفی و مجتبی و نیز دوستان گرانقدرم مهندس فرهاد عیسی‌زائی، مهندس جواد یزدان‌پناهی، مهندس محسن رجحانیان، مهندس محمد داستانیان و تمام کسانی که به نحوی مرا در انجام این پروژه یاری نموده‌اند، سپاسگزاری می‌نمایم.

چکیده:

هدف این پژوهش، بررسی تجربی انتقال حرارت در یک گردآورنده خورشیدی صفحه تخت با سیالات با قابلیت هدایت حرارتی متفاوت می‌باشد. از این‌رو یک گردآورنده خورشیدی صفحه تخت ساخته و در شهر زاهدان آزمایش شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده طی آزمایشات، شامل شدت تابش خورشیدی، دبی جریان، سرعت باد محیط، زاویه‌ی گردآورنده، دمای محیط، دمای منبع ذخیره، دمای سطح لوله و دمای ورود و خروج توده سیال می‌باشد. آزمایشات در روزهای کاملاً صاف و آفتابی برای دبی‌های جرمی مختلف و زوایای مختلف گردآورنده انجام شد. با توجه به این‌که تلفات حرارتی از سطح صفحه جاذب متغیر است، نمی‌توان یک مقدار ثابت برای تلفات حرارتی و در نتیجه شار حرارتی در طول گردآورنده فرض کرد. لذا بدین منظور طول گردآورنده با توجه به موقعیت ترموکوپل‌های جاسازی شده روی سطح لوله به ۷ قسمت مساوی تقسیم‌بندی و برای هر قسمت فرض شده است که میزان تلفات حرارتی و در نتیجه شار حرارتی مقدار ثابتی دارد و با این فرض مسئله بررسی شده است.

مشاهدات تجربی نشان داد که هر کدام از پارامترهای اندازه‌گیری شده به تنهایی می‌تواند روی عملکرد حرارتی گردآورنده تأثیر بسزایی داشته باشد. همچنین نتایج نشان داد که افزایش ضریب هدایت حرارتی سیال می‌تواند باعث افزایش دمای توده سیال در خروج شود، اگرچه نمی‌توان در حالت کلی اثر ضریب هدایت حرارتی سیال روی ضریب انتقال حرارت جابجایی و عدد ناسلت را تحلیل کرد.

کلمات کلیدی:انتقال حرارت - گردآورنده خورشیدی صفحه تخت - مطالعه تجربی - قابلیت هدایت حرارتی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- مروری بر پژوهش‌های گذشته ۳
۱-۲-۱- پژوهش‌های تئوری ۳
۱-۲-۲- پژوهش‌های تجربی ۱۱
۱-۲-۳- پژوهش‌های تئوری و تجربی ۱۶
۱-۳- ضرورت و هدف‌های پژوهش ۲۴
فصل دوم: گردآورنده‌های خورشیدی ۲۵
۲-۱- گردآورنده‌های خورشیدی ۲۶
۲-۱-۱- گردآورنده‌های غیر متمرکز (بدون حرکت) ۲۶
۲-۱-۱-۱-گردآورنده‌های صفحه تخت ۲۷
۲-۱-۱-۲-گردآورنده‌های سهموی مرکب ۳۳
۲-۱-۱-۳-گردآورنده‌های لوله تخلیه‌ای ۳۴
۲-۱-۲- گردآورنده‌های متمرکز کننده تعقیب‌کننده خورشید ۳۶
۲-۱-۲-۱-گردآورنده‌های تشتک سهموی ۳۸
۲-۱-۲-۲-منعکس‌کننده‌های خطی فرزنل ۳۹
۲-۱-۲-۳-منعکس‌کننده‌های بشقابی سهموی ۴۰
۲-۱-۲-۴-گردآورنده چرخ آیینه‌ای دورانی (هلیوستات) ۴۱
۲-۲- کاربردهای گردآورنده‌های خورشیدی ۴۳
۲-۲-۱- سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی ۴۳
۲-۲-۲- سرمایش و گرمایش فضای خورشیدی ۴۳
۲-۲-۳- سرمایش خورشیدی ۴۴
۲-۲-۴- گرمایش فرآیند صنعتی ۴۵
۲-۲-۵- سیستم‌های نمک‌زدایی خورشیدی ۴۵
۲-۲-۶- سیستم‌های تولید توان حرارتی خورشیدی ۴۶
۲-۲-۷- کوره‌های خورشیدی ۴۶
۲-۳- تحلیل انرژی گردآورنده‌های خورشیدی صفحه تخت ۴۶
فصل سوم: تعریف مسئله ۵۶
۳-۱- تعریف مسئله ۵۷

۳-۲- طراحی و ساخت گردآورنده خورشیدی صفحه تخت ۵۸
۳-۳- ابزار دقیق و سیستم‌های اندازه‌گیری پارامترها ۶۳
۳-۳-۱- دماسنج لیزری ۶۳
۳-۳-۲- نورسنج ۶۴
۳-۳-۳- بادسنج ۶۴
۳-۳-۴- ثبت‌کننده‌ی داده ۶۵
۳-۳-۵- ترموکوپل‌ها ۶۶
۳-۳-۶- جریان‌سنج ۶۸
۳-۳-۷- تحلیل‌گر خواص حرارتی ۷۰
۳-۳-۸- دماسنج‌های جیوه ای ۷۰
۳-۴- دقت دستگاه‌های اندازه‌گیری ۷۱
فصل چهارم: آنالیز داده‌های آزمایشگاهی ۷۲
۴-۱- تشریح روش انجام آزمایش ۷۳
۴-۲- محاسبه‌ی دمای توده سیال ۷۴
۴-۳- بررسی صحت نتایج آزمایشگاهی ۷۸
۴-۴- نتایج آزمایشگاهی ۷۹
۴-۳-۱- اثر تغییر سرعت باد محیط روی عملکرد گردآورنده ۸۰
۴-۳-۲- اثر تغییر شدت تابش خورشیدی روی عملکرد گردآورنده ۸۴
۴-۳-۳- اثر تغییر دبی جرمی جریان روی عملکرد گردآورنده ۸۵
۴-۳-۴- اثر تغییر نوع سیال عامل ۸۷
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۸
۵-۱- خلاصه نتایج ۱۰۹
۵-۲- پیشنهاداتی برای ادامه کار ۱۱۰
مراجع ۱۱۱
پیوست‌ها ۱۱۸
پیوست (الف) - نحوه محاسبه عدم قطعیت ۱۱۹

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۲-۱. گردآورنده‌های خورشیدی [۷۴] ۲۷

جدول ۲-۲. کاربردهای انرژی خورشیدی و انواع گردآورنده‌های مورد استفاده[۷۵] ۴۴

جدول ۳-۱. دقت ابزارهای اندازه‌گیری مورد استفاده ۷۱

جدول ۴-۱. مقدار ضریب هدایت حرارتی اندازه‌گیری شده برای سیالات مورد استفاده ۸۷

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲-۱. نمای کلی یک گردآورنده صفحه تخت [۷۵] ۲۸

شکل ۲-۲. نمای تجزیه‌شده گردآورنده صفحه تخت [۷۵] ۲۹

شکل ۲-۳. انواع مختلف گردآورنده‌های خورشیدی صفحه تخت [۷۵] ۳۱

شکل ۲-۴. نمای کلی یک گردآورنده سهموی مرکب [۷۵] ۳۳

شکل ۲-۵. نمای کلی یک گردآورنده لوله تخلیه‌ای[۷۵] ۳۵

شکل ۲-۶. گردآورنده صفحه تخت با منعکس‌کننده‌های مسطح[۷۵] ۳۷

شکل ۲-۷. شماتیکی از گردآورنده تشتک سهموی [۷۵] ۳۹

شکل ۲-۸. گردآورنده تشتک سهموی از نوع فرزنل [۷۵] ۳۹

شکل ۲-۹. طرح شماتیکی از سطح زیرین دریافت‌کننده نورانی از یک میدان منعکس‌کننده خطی فرزنل[۷۵] ۴۰

شکل ۲-۱۰. شماتیکی از گردآورنده بشقابی سهموی[۷۵] ۴۱

شکل ۲-۱۱. شماتیکی از یک سیستم دریافت‌کننده مرکزی[۷۵] ۴۲

شکل ۲-۱۲. نرخ انرژی‌های ورودی و خروجی گردآورنده ۴۸

شکل ۲-۱۳. توزیع دما در صفحه جذب‌کننده در جهت عمود بر جهت جریان سیال[۷۷] ۵۱

شکل ۲-۱۴، تغییر دمای سیال در جهت جریان [۷۷] ۵۴

شکل ۳-۱. طرح شماتیک گردآورنده صفحه تخت خورشیدی ساخته شده همراه با جزئیات از نمای جانبی ۵۹

شکل ۳-۲. طرح شماتیک صفحه و لوله ساخته شده از نمای روبرو ۵۹

شکل ۳-۳. گردآورنده خورشیدی مورد آزمایش از نمای روبرو ۶۰

شکل ۳-۴. گردآورنده خورشیدی مورد آزمایش از نمای راست ۶۱
شکل ۳-۵. گردآورنده خورشیدی مورد آزمایش از نمای چپ ۶۲
شکل ۳-۶. تصویر دماسنج لیزری 1326S ۶۳
شکل ۳-۷. تصویر تابش‌سنج 1339R ۶۴
شکل ۳-۸. تصویر بادسنج MC-86 ..... ۶۵
شکل ۳-۹. تصویر ثبت‌کننده‌ی داده USB4718 ..... ۶۶
شکل ۳-۱۰. نمونه‌ای از ترموکوپل‌های نوع K ۶۷
شکل ۳-۱۱. نحوه قرارگیری و توزیع ۸ ترموکوپل در طول لوله ۶۷
شکل ۳-۱۲. نحوه بستن ترموکوپل روی سطح لوله ۶۸
شکل ۳-۱۳. نمودار کالیبراسیون ترموکوپل‌های نوع K ۶۹
شکل ۳-۱۴. تصویر جریان‌سنج همراه با شیر سوزنی استفاده‌شده ۶۹
شکل ۳-۱۵. تصویر تحلیل‌گر خواص حرارتی مدلKD2 PRO ۷۰
شکل ۴-۱. نحوه توزیع ترموکوپل‌های نوع K برای اندازه‌گیری دمای سطح لوله و توده سیال ... ۷۴
شکل ۴-۲. نمایش مجموع شار رسیده و تلفات حرارتی از سطح لوله در هر قسمت ۷۵
شکل ۴-۳. کانتورهای دمایی اندازه‌گیری شده برای شرایط مشخص تحت زاویه ۴۵ درجه ۷۸
شکل ۴-۴. مقایسه دمای توده سیال اندازه‌گیری شده و به‌دست آمده از تحلیل یک‌بعدی گردآورنده در طول لوله برای شرایط مشخص شکل قبلی تحت زاویه ۴۵ درجه ۷۹
شکل ۴-۵. تأثیر سرعت باد روی دمای سطح لوله و توده سیال در دبی جرمی ۰/۰۰۸۳۲ و زاویه ۴۵ درجه ۸۰
شکل ۴-۶. اثر سرعت باد روی ضریب انتقال حرارت و عدد ناسلت در دبی جرمی ۰/۰۰۸۳۲ و زاویه ۴۵ درجه ۸۱
شکل ۴-۷. تأثیر سرعت باد روی دمای سطح لوله و توده سیال در دبی جرمی ۰/۰۰۸۳۲ و زاویه ۶۰ درجه ۸۲
شکل ۴-۸. اثر سرعت باد روی ضریب انتقال حرارت و عدد ناسلت در دبی جرمی ۰/۰۰۸۳۲ و زاویه ۴۵ درجه ۸۲

شکل ۴-۹. تأثیر شدت تابش خورشیدی روی دمای سطح لوله و توده سیال در دبی جرمی ۰/۰۰۸۳۲ و زاویه ۳۰ درجه ۸۳
شکل ۴-۱۰. اثر شدت تابش خورشیدی روی ضریب انتقال حرارت و عدد ناسلت در دبی جرمی ۰/۰۰۸۳۲ و زاویه ۴۵ درجه ۸۴
شکل ۴-۱۱. تأثیر دبی جرمی جریان روی دمای سطح لوله و توده سیال در زاویه ۶۰ درجه ۸۵
شکل ۴-۱۲. اثر دبی جرمی جریان روی ضریب انتقال حرارت و عدد ناسلت در زاویه ۶۰ درجه ۸۶
شکل ۴-۱۳. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی دمای توده سیال و دمای سطح لوله در دبی جرمی جریان ۰/۰۰۸۳۲ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۳۰ درجه ۸۸
شکل ۴-۱۴. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال در دبی جرمی جریان ۰/۰۰۸۳۲ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۳۰ درجه ۸۹
شکل ۴-۱۵. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی عدد ناسلت در رینولدز ۱۰۸۰ و زاویه ۳۰ درجه ۸۹
شکل ۴-۱۶. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی دمای توده سیال و دمای سطح لوله در دبی جرمی جریان ۰/۰۰۸۳۲ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۴۵ درجه ۹۰
شکل ۴-۱۷. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال در دبی جرمی جریان ۰/۰۰۸۳۲ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۴۵ درجه ۹۱
شکل ۴-۱۸. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی عدد ناسلت در رینولدز ۱۰۸۰ و زاویه ۴۵ درجه ۹۲
شکل ۴-۱۹. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی دمای توده سیال و دمای سطح لوله در دبی جرمی جریان ۰/۰۰۸۳۲ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۶۰ درجه ۹۳
شکل ۴-۲۰. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال در دبی جرمی جریان ۰/۰۰۸۳۲ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۶۰ درجه ۹۳
شکل ۴-۲۱. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی عدد ناسلت در رینولدز ۱۰۸۰ و زاویه ۶۰ درجه ۹۴
شکل ۴-۲۲. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی دمای توده سیال و دمای سطح لوله

در دبی جرمی جریان ۰/۰۱۶۶۳ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۳۰ درجه ۹۵
شکل ۴-۲۳. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال در دبی جرمی جریان ۰/۰۱۶۶۳ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۳۰ درجه ۹۵
شکل ۴-۲۴. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی عدد ناسلت در رینولدز ۲۱۶۰ و زاویه ۳۰ درجه ۹۶
شکل ۴-۲۵. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی دمای توده سیال و دمای سطح لوله در دبی جرمی جریان ۰/۰۱۶۶۳ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۴۵ درجه ۹۷
شکل ۴-۲۶. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال در دبی جرمی جریان ۰/۰۱۶۶۳ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۴۵ درجه ۹۷
شکل ۴-۲۷. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی عدد ناسلت در رینولدز ۲۱۶۰ و زاویه ۴۵ درجه ۹۸
شکل ۴-۲۸. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی دمای توده سیال و دمای سطح لوله در دبی جرمی جریان ۰/۰۱۶۶۳ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۶۰ درجه ۹۹
شکل ۴-۲۹. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال در دبی جرمی جریان ۰/۰۱۶۶۳ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۶۰ درجه ۹۹
شکل ۴-۳۰. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی عدد ناسلت در رینولدز ۲۱۶۰ و زاویه ۶۰ درجه ۱۰۰
شکل ۴-۳۱. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی دمای توده سیال و دمای سطح لوله در دبی جرمی جریان ۰/۰۲۴۹۵ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۳۰ درجه ۱۰۱
شکل ۴-۳۲. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال در دبی جرمی جریان ۰/۰۲۴۹۵ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۳۰ درجه ۱۰۱
شکل ۴-۳۳. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی عدد ناسلت در رینولدز ۳۲۴۰ و زاویه ۳۰ درجه ۱۰۲
شکل ۴-۳۴. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی دمای توده سیال و دمای سطح لوله در دبی جرمی جریان ۰/۰۲۴۹۵ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۴۵ درجه ۱۰۳

شکل ۴-۳۵. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال در دبی جرمی جریان ۰/۰۲۴۹۵ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۴۵ درجه ۱۰۳
شکل ۴-۳۶. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی عدد ناسلت در رینولدز ۳۲۴۰ و زاویه ۴۵ درجه ۱۰۴
شکل ۴-۳۷. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی دمای توده سیال و دمای سطح لوله در دبی جرمی جریان ۰/۰۲۴۹۵ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۶۰ درجه ۱۰۵
شکل ۴-۳۸. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال در دبی جرمی جریان ۰/۰۲۴۹۵ کیلوگرم بر ثانیه و زاویه ۶۰ درجه ۱۰۵
شکل ۴-۳۹. اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی سیال روی عدد ناسلت در رینولدز ۳۲۴۰ و زاویه ۶۰ درجه ۱۰۶

فهرست علائم

علامت	نشانه
$A(\mathrm{m}^2)$	سطح انتقال حرارت
$C_p(J/kgK)$	ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت
CPC	گردآورنده سهموی مرکب
CTC	گردآورنده تشتک استوانه‌ای
$D(m)$	قطر لوله
$dx(m)$	بعد المان در جهت عرض صفحه
$dy(m)$	بعد المان در جهت طول صفحه
ETC	گردآورنده لوله تخلیه‌ای
$\dot{E}(W)$	نرخ انرژی
FPC	گردآورنده صفحه تخت
F'	ضریب بازده پره
$G(W/m^2)$	شدت تابش خورشیدی
$h(W/m^2K)$	ضریب انتقال حرارت جابجایی
HFC	گردآورنده چرخ آیینه‌ای دورانی
$k(W/mK)$	ضریب هدایت حرارتی
$L(m)$	طول
LFR	منعکس‌کننده خطی فرزنل
$\dot{m}(kg/s)$	دبی جرمی جریان

PDR	منعکس‌کننده بشقابی سهموی
PTC	گردآورنده تشتک سهموی
$q(W)$	نرخ حرارت منتقل شده
$q''(W/m^2)$	شار حرارتی بر واحد سطح
$\dot{Q}(W)$	نرخ حرارت جذب شده
$T(^0C)$	دما
$U(W/m^2K)$	ضریب اتلافات حرارتی
$V\,(m/s)$	سرعت باد محیط
$W(m)$	طول پره

علائم یونانی	**نشانه**
α	ضریب جذب
$\delta(m)$	ضخامت متوسط
ε	ضریب صدور
η	راندمان
$\sigma(W/m^2K^4)$	ثابت استفان-بولتزمن
ϕ	میزان تأثیر صفحه

علائم زیرنویس	**نشانه**
$\boldsymbol{a}$	چسب اتصال
a	محیط

b	توده سیال
s	سطح لوله
in	ورودی
out	خروجی
gen	تولیدی
st	تغییرات در حجم کنترل
p	صفحه جاذب
pm	متوسط صفحه
p_0	ابتدای پره
o	خارجی
l	کلی
b	سطح پایین
t	سطح بالایی
$\boldsymbol{s}$	سطح جانبی
$conv$	جابجایی
w	باد
sky	آسمان
i	عایق زیرین
u	مفید
L	چپ
R	راست
o	خارجی
$cond$	هدایت
$solar$	خورشیدی
$loss$	اتلافات

lux	واحد لوکس
tube	لوله
s, p	سطح به لوله

اعداد بدون بعد	**نشانه**
Nu	ناسلت
Re	رینولدز

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

خورشید ستاره‌ای به قطر تقریبی $1/39 \times 10^6$ کیلومتر است که در فاصله متوسط $1/49 \times 10^8$ کیلومتر از زمین قرار دارد. در بسیاری از موارد می‌توان انرژی خورشید را یک چشمه‌ی انرژی نقطه‌ای در نظر گرفت، زیرا متوسط زاویه رأس آن نسبت به ناظری که در روی زمین قرار گرفته است حدود نیم درجه است. سرچشمه اصلی انرژی خورشیدی، واکنش‌های همجوشی هسته‌ای تبدیل هیدروژن به هلیم در مرکز خورشید با دمای حدود ۲۰ میلیون کلوین است. تاریخچه این مدل به نظریه نسبیت خاص انیشتین و به اوایل قرن بیستم، ۱۹۰۵، برمی‌گردد. البته تمام انرژی تابشی خورشیدی به خاطر برهم‌کنش‌های فیزیکی در جو زمین، به زمین نمی‌رسد و با یک برآورد تقریبی می‌توان گفت که در هوای صاف ۶۱ درصد و در هوای نسبتاً ابری به ۲۷ درصد می‌رسد، به هر حال همین مقدار انرژی منشأ بیشتر انرژی‌های روی زمین از جمله منابع سوخت فسیلی، انرژی باد، انرژی زمین‌گرمایی، اقیانوس‌ها و غیره می‌باشد و می‌طلبد که از آن به نحو خوبی در طول روز استفاده شود. انرژی خورشیدی را در مقایسه با انرژی سوخت‌های فسیلی انرژی تجدیدپذیر گویند و گاهی همراه با انرژی باد و زمین‌گرمایی از آن‌ها به عنوان انرژی‌های نو یاد می‌کنند[۱].

بنا به گفته وزارت نیرو ایالات‌متحده امریکا در هر ساعت، انرژی نور خورشیدی به اندازه تأمین کل نیاز انرژی دنیا به مدت یک سال می‌باشد. مقدار انرژی سالانه که از خورشید به زمین می‌رسد 4×10^{18} ژول است. مقدار انرژی که سالانه توسط جمعیت کره زمین مصرف می‌شود حدود 3×10^{14} ژول است.

کشور ایران در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرار گرفته است و در منطقه‌ای واقع شده که به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی و امکان استفاده از این انرژی جهت تأمین نیازهای انرژی خود بسیار غنی می‌باشد و در بین نقاط جهان در بالاترین رده‌ها قرار دارد. در اکثر نقاط کشور به خاطر اقلیم خشک و کم بودن ابرها میزان دریافتی انرژی خورشیدی نسبتاً بالا می‌باشد. در ایران به طور متوسط سالیانه بیش از ۲۸۰ روز آفتابی گزارش شده است که بسیار قابل توجه است[۲].

با توجه به محدودیت منابع سوخت فسیلی و زیان‌بار بودن استفاده غیراصولی از این‌گونه سوخت‌ها برای سلامت محیط‌زیست، تحقیقات و کاربردهای انرژی‌های تجدیدپذیر در مجامع صنعتی و علمی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار گشته است. در این میان انرژی خورشید، با توجه به این‌که انرژی کاملاً پاک و عاری از هر گونه