بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی شیمی

ساخت لوله‌های جاذب با پوشش‌های انتخابی طیفی راندمان بالا در کلکتورهای خورشیدی

پایان نامه کارشناسی ارشد پدیده‌های انتقال

رضا الیاسی

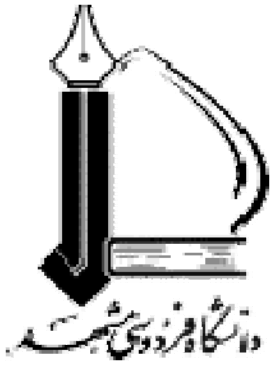
استاد راهنما

دکتر سید مصطفی نوعی

استاد مشاور

دکتر نوید رمضانیان

۱۳۹۱



دانشکده مهندسی

گروه مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی (پدیده‌های انتقال) آقای رضا الیاسی

تحت عنوان

ساخت لوله‌های جاذب با پوشش‌های انتخابی طیفی راندمان بالا در کلکتورهای خورشیدی

در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۱۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر سید مصطفی نوعی
۲- استاد مشاور پایان نامه	دکتر نوید رمضانیان
۳- استاد داور خارجی	دکتر محمدجواد مغربی
۴- استاد داور داخلی و نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر سعید زینالی هریس

مدیر گروه مهندسی شیمی **دکتر مهدی پورافشاری چنار**

تقدیر و تشکر

پس از حمد و سپاس به درگاه خداوند متعال که توفیق انجام این تحقیق را عنایت فرمود؛ لازم می‌دانم از:

آقای دکتر سید مصطفی نوعی (استاد راهنما)، به خاطر زحمات بی‌دریغ و راهنمائی‌های ارزنده در تمامی مراحل تحقیق، تدوین و ویرایش پایان نامه،

آقای دکتر نوید رمضانیان (استاد مشاور)، به خاطر تجربیات ارزشمند و مشاوره‌های فراوان در جهت بهبود انجام این پژوهش،

آقایان دکتر سعید زینالی هریس و دکتر محمدجواد مغربی، به خاطر قبول زحمت مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاعیه،

خانم‌ها دکتر نفیسه فرهادیان و دکتر راحله محمدپور، به خاطر پیشنهادهای سودمند و راهبردی ایشان،

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، به خاطر حمایت تشویقی پایان نامه،

و تمامی اساتید محترم گروه مهندسی شیمی دانشگاه فردوسی مشهد که در طول تحصیلات دانشگاهی افتخار شاگردی آنها را داشته‌ام،

صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

اینجانب رضا الیاسی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده پایان نامه: ساخت لوله‌های جاذب با پوشش‌های انتخابی طیفی راندمان بالا در کلکتورهای خورشیدی، تحت راهنمایی آقای دکتر سید مصطفی نوعی متعهد می‌شوم:

- **تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.**
- **در استفاده از نتایج محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.**

- **مطالب مندرج درپایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.**
- **کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد و مقالات مستخرج با نام دانشگاه فردوسی مشهد و یا Ferdowsi University of Mashhad به چاپ خواهد رسید.**
- **حقوق معنوی تمام افرادی که در بدست آوردن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت شده است.**
- **در کلیه مراحل این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده 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 و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.**

مالکیت نتایج و حق نشر

- **کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. این مطلب باید به نحـو مقتضـی در تولیدات علمی مربوطه ذکر گردد.**
- **استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.**

تاریخ

۱۳۹۱/۱۱/۱۱

امضای دانشجو

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

که هر

لحظه دعایشان را احساس می کنم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

پیش‌گفتار ۲

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه ۳

۱-۲- کلکتورهای خورشیدی ۴

۱-۲-۱- انواع کلکتورهای خورشیدی ۴

۱-۳- سطوح جاذب ۹

۱-۳-۱- سطوح غیرانتخابی یا نیمه‌انتخابی ۹

۱-۳-۲- سطوح انتخابی ۱۰

۱-۴- خصوصیات سطوح جاذب انتخابی ۱۲

۱-۴-۱- نحوه‌ی محاسبه‌ی پارامترهای α و ε ۱۳

۱-۵- مشخصات مطلوب سطوح جاذب انتخابی ۱۶

۱-۶- روش‌های ساخت سطوح جاذب انتخابی ۱۶

۱-۶-۱- رسوب‌دهی الکتریکی ۱۷

۱-۶-۲- رسوب‌دهی بخار فیزیکی ۱۸

۱-۶-۳- رنگ‌کاری ۱۹

۱-۶-۴- پوشش‌های تبدیلی ۲۱

۱-۷- محدوده‌ی دمایی کارکرد پوشش‌های جاذب انتخابی ۲۲

۱-۷-۱- ارزیابی معیار عملکرد با انجام آزمایش پایداری حرارتی ۲۳

فصل دوم: مروری بر پژوهش‌های پیشین

۲-۱- مقدمه ۲۵

۲-۲- روش رنگ‌کاری ۲۵

۲-۲-۱- رنگ‌کاری پوشش سیلوکسان (اصلاح شده به طریق آلی با رنگدانه‌ی معدنی $FeMnCuO_x$-P320) بر روی ماده‌پایه‌ی آلومینیم ۲۵

۲-۲-۲- رنگ‌کاری پوشش لاکی پلی‌یورتان‌آلکید (با رنگدانه‌ی دوده‌ای) بر روی ماده‌پایه‌ی آلومینیم.....۲۸
۲-۲-۳- رنگ‌کاری پوشش‌های سیلیکونی (با رنگدانه‌ی معدنی $FeMnCuO_x$) و فنوکسی (با رنگدانه‌ی آلی کربن سیاه) بر روی ماده‌پایه‌ی آلومینیم.....۳۰
۲-۲-۴- رنگ‌کاری پوشش‌های پلی‌سیلوکسان و اپوکسی/سیلیکونی سیاه بر روی موادپایه‌ی آلومینیم، مس و فولاد زنگ‌نزن.....۳۲
۲-۲-۵- رنگ‌کاری پوشش‌های فنوکسی و آریل - پلی‌سیلوکسان (با رنگدانه‌های کربن سیاه و $FeMnCuO_x$ به همراه ماده‌ی افزودنی fumed silica) بر روی ماده‌پایه‌ی آلومینیم.....۳۴
۲-۲-۶- بیان مختصری از سایر کارهای انجام شده.....۳۷
۲-۳- روش رسوب‌دهی الکتریکی.....۴۲
۲-۳-۱- رسوب‌دهی الکتریکی نیکل‌سیاه بر روی ماده‌پایه‌ی مس.....۴۲
۲-۳-۲- رسوب‌دهی الکتریکی کروم‌سیاه ($Cr\text{-}Cr_2O_3$) بر روی ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن آبکاری شده با نیکل.....۴۴
۲-۳-۳- بیان مختصری از سایر کارهای انجام شده.....۴۵
۲-۴- روش تبدیل شیمیایی.....۴۷
۲-۴-۱- پوشش تبدیل شیمیایی نیکل‌سیاه بر روی موادپایه‌ی آهن گالوانیزه و آلومینیم آبکاری شده با روی.....۴۷
۲-۴-۲- پوشش تبدیل شیمیایی مس‌سیاه بر روی ماده‌پایه‌ی مس.....۴۸
۲-۴-۳- بیان مختصری از سایر کارهای انجام شده.....۴۹
۲-۵- روش آندکاری.....۵۰
۲-۵-۱- پوشش تبدیلی روی‌سیاه بر روی ماده‌پایه‌ی آلومینیم به روش آندکاری.....۵۰
۲-۶- روش رسوب‌دهی بخار فیزیکی.....۵۲
۲-۶-۱- رسوب‌دهی بخار فیزیکی پوشش ترکیبی فلز - دی‌الکتریک (سرمِت) $Ni\text{-}SiO_2$ بر روی موادپایه‌ی مس و آلومینیم.....۵۲
۲-۶-۲- بیان مختصری از سایر کارهای انجام شده.....۵۴
۲-۷- نتیجه‌گیری بر اساس پایداری حرارتی.....۵۶
فصل سوم: بخش تجربی - مواد و روش‌ها
۳-۱- مقدمه.....۵۸
۳-۲- پیش‌عمل‌آوری یا آماده‌سازی سطح برای پوشش‌دهی.....۵۹
۳-۲-۱- صیقل‌کاری مکانیکی.....۶۰
۳-۲-۲- صیقل‌کاری شیمیایی و الکتروشیمیایی.....۶۰

۳-۳- پیش‌عمل‌آوری موادپایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶، مس و آلومینیم.....۶۱
۳-۴- روش‌های خشک شدن فیلم رنگ.....۶۱
۳-۵- ساختار لایه‌ای نمونه‌های تهیه شده.....۶۲
۳-۶- رسوب‌دهی الکتریکی زیرلایه‌های به کار رفته در تهیه‌ی نمونه‌ها.....۶۳
۳-۶-۱- رسوب‌دهی الکتریکی زیرلایه‌ی کروم بر روی ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶.....۶۳
۳-۶-۲- رسوب‌دهی الکتریکی زیرلایه‌ی روی برای ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶.....۶۴
۳-۶-۳- رسوب‌دهی الکتریکی زیرلایه‌ی نیکل بر روی ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶.....۶۵
۳-۷- پوشش‌های تبدیلی به کار رفته در تهیه‌ی نمونه‌ها.....۶۵
۳-۷-۱- پوشش تبدیل شیمیایی روی‌سیاه برای موادپایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ آبکاری شده با نیکل.....۶۵
۳-۷-۲- پوشش تبدیلی اکسید آلومینیم (Al_2O_3) بر روی ماده‌پایه‌ی آلومینیم به روش آندکاری.....۶۷
۳-۸- رنگ‌کاری لایه‌های جاذب به کار رفته در تهیه‌ی نمونه‌ها.....۶۸
۳-۸-۱- رنگ‌کاری پوشش پلی‌استری (با رنگدانه‌ی کربن سیاه) بر روی موادپایه‌ی آلومینیم، مس و فولاد زنگ-نزن ۳۱۶ به شیوه‌ی پاشش الکترواستاتیکی.....۶۸
۳-۸-۲- رنگ‌کاری پوشش آلکید - آمینی (با رنگدانه‌ی کربن سیاه) بر روی موادپایه‌ی آلومینیم، مس و فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ به شیوه‌ی پاشش دستی.....۷۲
۳-۹- رسوب‌دهی بخار فیزیکی زیرلایه‌ی مس بر روی ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و سپس پوشش‌دهی لایه‌ی هادی کربنی.....۷۶
۳-۱۰- تصاویر به دست آمده از نمونه‌های جاذب انتخابی خورشیدی.....۷۸
فصل چهارم: بخش تجربی - نتایج و بحث
۴-۱- مقدمه.....۸۱
۴-۲- نمونه آزمایش.....۸۲
۴-۳- تجهیزات آزمایش.....۸۲
۴-۴- شرح آزمایش.....۸۳
۴-۴-۱- اندازه‌گیری انعکاس طیفی در محدوده‌ی مرئی.....۸۳
۴-۴-۲- اندازه‌گیری انعکاس طیفی در محدوده‌ی مادون قرمز نزدیک.....۸۵
۴-۵- نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری مختصات رنگی در محدوده‌ی مرئی.....۸۶
۴-۶- نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری انعکاس طیفی در محدوده‌ی مرئی.....۸۸
۴-۶-۱- انعکاس طیفی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و بدون زیرلایه.....۸۸

۴-۶-۲- انعکاس طیفی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و زیرلایه‌ی کروم.....۸۹
۴-۶-۳- انعکاس طیفی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و زیرلایه‌ی روی.....۹۰
۴-۶-۴- انعکاس طیفی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و زیرلایه‌ی نیکل.....۹۰
۴-۶-۵- انعکاس طیفی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و زیرلایه‌های نیکل - کروم.....۹۱
۴-۶-۶- انعکاس طیفی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی مس.....۹۲
۴-۶-۷- انعکاس طیفی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی آلومینیم و یا آلومینیم آندکاری شده.....۹۲
۴-۷- نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری انعکاس طیفی در محدوده‌ی مادون قرمز نزدیک.....۹۳
۴-۷-۱- انعکاس طیفی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و بدون زیرلایه.....۹۳
۴-۷-۲- انعکاس طیفی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و زیرلایه‌ی کروم.....۹۴
۴-۷-۳- انعکاس طیفی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و زیرلایه‌ی روی.....۹۵
۴-۷-۴- انعکاس طیفی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و زیرلایه‌ی نیکل.....۹۵
۴-۷-۵- انعکاس طیفی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و زیرلایه‌های نیکل - کروم.....۹۶
۴-۷-۶- انعکاس طیفی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی مس.....۹۷
۴-۷-۷- انعکاس طیفی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی آلومینیم و یا آلومینیم آندکاری شده.....۹۷
۴-۸- نحوه‌ی اندازه‌گیری انعکاس طیفی مربوط به نمونه‌ی ۱۰.....۹۸
۴-۸-۱- شرح آزمایش.....۹۸
۴-۸-۲- نتایج آزمایش.....۹۹
۴-۹- نحوه‌ی اندازه‌گیری ضریب نشر حرارتی نمونه‌ها.....۱۰۰
۴-۹-۱- روش و تجهیزات آزمایش.....۱۰۰
۴-۹-۲- شرح انجام آزمایش.....۱۰۱
۴-۱۰- نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری ضریب نشر حرارتی.....۱۰۳
۴-۱۰-۱- ضریب نشر حرارتی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و بدون زیرلایه.....۱۰۳
۴-۱۰-۲- ضریب نشر حرارتی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و زیرلایه‌ی کروم.....۱۰۳

۴-۱۰-۳- ضریب نشر حرارتی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و زیرلایه‌ی روی.....۱۰۴
۴-۱۰-۴- ضریب نشر حرارتی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و زیرلایه‌ی نیکل.....۱۰۵
۴-۱۰-۵- ضریب نشر حرارتی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و زیرلایه‌های نیکل - کروم.....۱۰۵
۴-۱۰-۶- ضریب نشر حرارتی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی مس.....۱۰۶
۴-۱۰-۷- ضریب نشر حرارتی مربوط به نمونه‌هایی با ماده‌پایه‌ی آلومینیم و یا آلومینیم آندکاری شده.....۱۰۷

۴-۱۱- جمع‌بندی نتایج به دست آمده از تعیین خصوصیات نوری نمونه‌ها.....۱۰۷
۴-۱۲- تعیین خصوصیات غیرنوری برخی از نمونه‌ها به کمک آزمون‌های دستگاهی.....۱۱۰
۴-۱۲-۱- بررسی ساختاری و عنصری به کمک دستگاه SEM مجهز به آشکارساز EDS.....۱۱۰
۴-۱۲-۲- تعیین ضخامت لایه‌ای به کمک میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی و نوری متالورژیکی.....۱۱۴
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۵-۱- نتیجه‌گیری کلی.....۱۱۷
۵-۲- ارائه‌ی پیشنهادات.....۱۱۸
مراجع.....۱۱۹

چکیده

بدون شک در آینده‌ای نه چندان دور، انرژی خورشیدی به دلیل سازگاری با محیط زیست به فراگیرترین منبع انرژی مورد استفاده بشر تبدیل خواهد شد. استفاده از انرژی حرارتی خورشید در سیستم‌های مبتنی بر به کارگیری کلکتورهای خورشیدی، از اهمیت خاصی برخوردارند. در کلکتورهای خورشیدی، معمولاً از سطوح جاذبی با پوشش‌های انتخابی طیفی استفاده کرده که دارای ضریب جذب خورشیدی (α) بالا و ضریب نشر حرارتی (ε) پایینی هستند. لذا، سطوح جاذب به عنوان مهم‌ترین جزء یک کلکتور خورشیدی در سیستم‌های گرمایش خورشیدی به حساب می‌آیند. هدف اصلی، بالا بردن میزان جذب انرژی حرارتی خورشیدی و بنابراین افزایش راندمان کلکتور خواهد بود. از این رو، ضرایب جذب و نشر سطوح جاذب دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. سطوح جاذب انتخابی را می‌توان با استفاده از برخی مواد و یا با ترکیب آنها به روش های گوناگونی ساخت. شیوه‌های متداول ساخت بر مبنای پوشش‌دهی سطح صورت می‌گیرند به طوری که اصولاً ضریب جذب خورشیدی به لایه‌ی جاذب سیاه و ضریب نشر حرارتی به زیرلایه‌ی پوشش مربوط می‌شوند. در این پژوهش، مواد مختلفی به روش‌های رسوب‌دهی الکتریکی، تبدیل شیمیایی (نظیر تبدیل کروماتی)، آندکاری، رنگ‌کاری و کندوپاش برطبق فرمول‌های مشخص و شرایط عملیاتی موجود نیز پوشش‌دهی می‌شوند. در حالی که، موادی نظیر فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶، مس و آلومینیم به عنوان ماده‌پایه‌ی نمونه‌ها به کار برده شده‌اند. نمونه‌ها سطح جاذب انتخابی از نوع زوج‌های جاذب - انعکاسگر در نظر گرفته می‌شوند. مطابق نتایج حاصل از اندازه‌گیری انجام شده بر روی خواص طیفی یا نوری نمونه‌های جاذب ساخته شده؛ می‌توان گفت که تعداد زیادی از این سطوح، ضریب جذب خورشیدی بالایی در حدود ۰/۸۵ و ضریب نشر حرارتی پایینی در حدود ۰/۱۰ را در $100^{o}C$ به خود اختصاص می‌دهند. به طور کلی، اغلب آنها از راندمان تبدیل فوتوترمال (η) و ضریب انتخابگری (α/ε) نسبتاً بالایی برخوردار می‌باشند. همچنین، مورفولوژی یا ریزساختار سطحی به همراه درصد نسبی عناصر موجود در پوشش‌ها؛ و نیز تصویر مقطع عرضی به منظور تعیین ضخامت تقریبی فیلم‌های تشکیل شده در برخی از نمونه‌های تهیه شده، توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به آشکارساز طیف‌نمایی تفکیک انرژی (EDS) مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفتند.

کلمات کلیدی: سطوح جاذب، پوشش‌های انتخابی طیفی، خواص نوری، مبدل‌های فوتوترمال، انرژی خورشیدی، کلکتورهای خورشیدی

پیش‌گفتار

هدف اصلی از انجام این پژوهش، بهینه‌سازی مصرف انرژی و یا بهبود عملکردی دستگاه کلکتور خورشیدی از طریق افزایش راندمان آن بوسیله‌ی ساخت سطوح جاذبی با پوشش‌های انتخابی طیفی می‌باشد. از آنجائی که سطوح جاذب به عنوان مهم‌ترین جزء یک کلکتور خورشیدی در سیستم‌های گرمایش خورشیدی به حساب می‌آیند. لذا لزوم استفاده از فن‌آوری‌هایی که بتوانند انرژی خورشیدی را با راندمان بالایی به انرژی حرارتی تبدیل کنند، بیش از پیش آشکار می‌شود. یکی از اهداف کاربردی این پژوهش، دست‌یابی به فن‌آوری ساخت سطوح جاذب خورشیدی با استفاده از روش‌های مقرون به صرفه، لحاظ شده است. علاوه بر این، با توجه به انحصاری بودن این فن‌آوری در اختیار چند کشور خارجی، موفقیت در انجام این پژوهش می‌تواند گام بلندی در جهت بومی‌کردن آن در کشور بر دارد.

این پایان نامه از پنج فصل تشکیل شده است. به طوری که موضوع‌های مورد بحث در هر فصل به شرح ذیل می‌باشند. در ابتدای این پایان‌نامه در فصل اول، مقدمه‌ای درباره‌ی اهمیت و لزوم بکارگیری انرژی خورشیدی مطرح شده و سپس کلیاتی درباره‌ی کلکتورهای خورشیدی، سطوح جاذب، خصوصیات سطوح انتخابی، نحوه‌ی محاسبه‌ی پارامترهای ضریب جذب خورشیدی (α_S) و ضریب نشر حرارتی (ε_T)، روش‌های ساخت و محدوده‌ی دمایی کارکردی سطوح جاذب انتخابی نیز بیان خواهند شد. در فصل دوم، با مروری بر مقالات منتشر شده در زمینه‌ی ساخت سطوح جاذب خورشیدی به همراه ارائه‌ی نتایج به دست آمده از هر یک، سعی شده است تا به جمع‌بندی مطلوب‌تری (قبل از ورود به بخش تجربی و ارائه‌ی نتایج نهائی) بتوان دست یافت. در فصل سوم، شرح جزئیات مربوط به نحوه‌ی ساخت هر یک از نمونه‌ها (از جمله مواد و روش‌های به کار رفته) آورده شده است. در فصل چهارم، علاوه بر شرح‌کلی دستگاه‌های مورد نیاز برای تعیین خصوصیات نوری[1] (نظیر α_S و ε_T) و غیرنوری[2] (نظیر بررسی ساختاری و عنصری) نمونه‌ها، سعی شده است تا حد امکان به بحث و بررسی نتایج به دست آمده از انجام هر یک از آزمون‌ها نیز پرداخته شود. در انتهای این پایان نامه در فصل ششم، نتیجه‌گیری کلی به دست آمده از انجام این پژوهش به طور خلاصه ذکر شده و پیشنهادات لازم جهت ادامه‌ی کار ارائه شده است.

[1] Optical Characterization
[2] Non-Optical Characterization

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی و پایان‌پذیر بودن منابع آنها، تلاش‌ها و تحقیقات وسیعی را در بکارگیری انواع دیگری از انرژی (به خصوص انرژی‌های تجدیدپذیر[1])، موجب شده است. انرژی خورشیدی[2] به جهت نامحدود بودن، قابل دسترس بودن و سازگاری با محیط زیست، جایگاه ویژه-ای را در این بین به خود اختصاص داده است. نظر به اینکه بهره‌گیری از انرژی خورشیدی به سرمایه-گذاری اولیه‌ی نسبتاً بالایی نیاز دارد؛ در نتیجه، لزوم استفاده از فن‌آوری‌هایی که بتوانند انرژی خورشیدی را با راندمان بالایی به انرژی حرارتی تبدیل کنند، بیش از پیش آشکار می‌شود[۱]. لذا با توجه به نیازهای امروزه‌ی صنعت کشور یعنی مبحث هدفمندکردن یارانه‌ها و واقعی‌شدن بهای انرژی؛ بهینه‌سازی هر چه بیشتر سیستم‌های مصرف‌کننده‌ی انرژی، باعث افزایش ارزش افزوده و کاهش هزینه‌های مرتبط با آن می‌شوند.

به طور کلی، دو راه اصلی جهت استفاده از انرژی خورشیدی وجود دارد. یکی تبدیل انرژی خورشیدی مستقیماً به انرژی الکتریکی (توسط سیستم‌های فوتوولتائیک) و دیگری تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی

---

[1] Renewable Energy
[2] Solar Energy

حرارتی و سپس به انرژی الکتریکی، که البته این تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی حرارتی توسط سیستم‌های گرمایش خورشیدی[1] یا فوتوترمال[2] صورت می‌گیرد. سیستم‌های گرمایش خورشیدی دارای قسمتی به نام کلکتور[3] هستند که وظیفه‌ی اصلی آن جمع‌آوری انرژی خورشید می‌باشد. بنابراین در کلکتورها معمولاً اصل بر این است که برای جذب گرمای خورشید، یک سطح سیاه در معرض تابش خورشید قرار می‌گیرد[۲]. کلکتورهای خورشیدی از یک دریافت‌کننده‌ی انرژی و یک پوشش شفاف به منظور کاهش اتلاف حرارتی کلکتور از طریق جابجایی، تشکیل شده‌اند. لذا برای تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی حرارتی (به وسیله‌ی سطوح جاذب) به کار رفته تا از این طریق سبب گرمایش سیال عامل انتقال حرارت[4] (HTF) نیز بشوند. در این زمینه، طرح‌های مختلفی برای سیستم‌های دریافت‌کننده‌ی انرژی کلکتورها ارائه شده است. تبدیل انرژی خورشیدی به حرارت، معمولاً یا از طریق جذب مستقیم در HTF و یا به شیوه‌ی غیرمستقیم (که غالباً این‌گونه‌اند) توسط سطح جاذبی که حرارت از طریق آن به HTF منتقل شده، انجام می‌گیرد[۱].

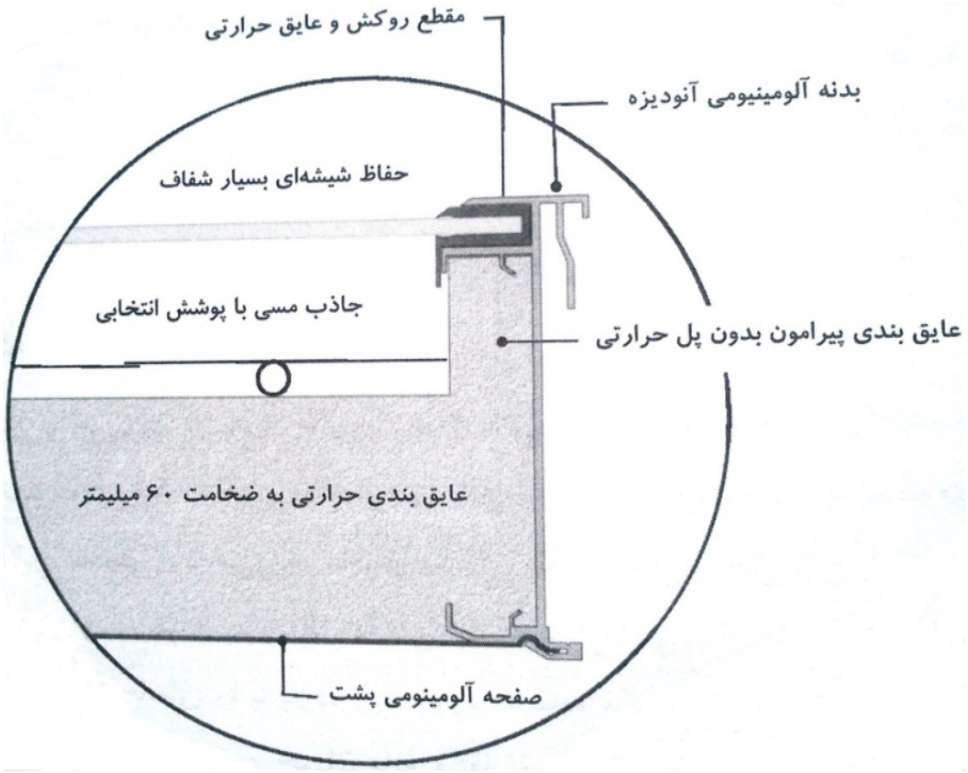
۱-۲- کلکتورهای خورشیدی

۱-۲-۱- انواع کلکتورهای خورشیدی

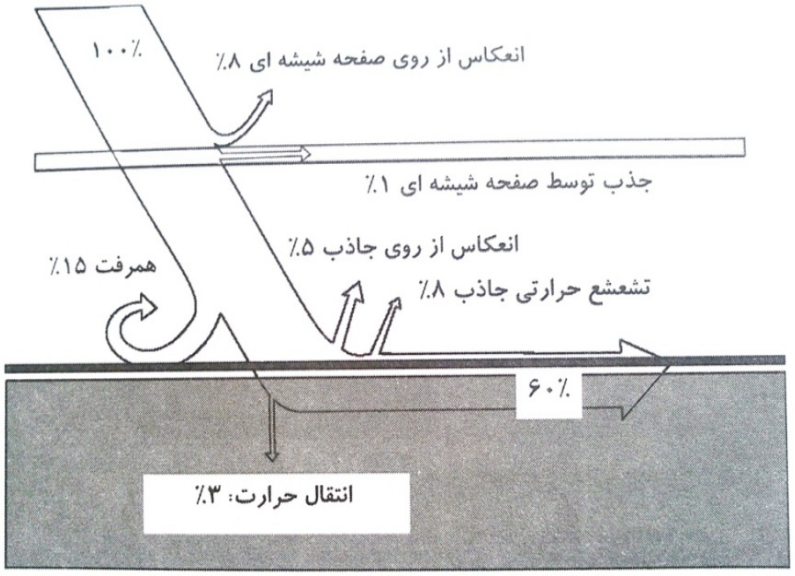
روش تبدیل گرمایش خورشیدی (فوتوترمال) با استفاده از کلکتورهای خورشیدی، روشی مستقیم برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی می‌باشد. کلکتورهای خورشیدی به دو دسته‌ی کلی غیرمتمرکزکننده[5] و متمرکزکننده[6] طبقه‌بندی می‌شوند. در نوع غیرمتمرکزکننده، سطح کلکتور (سطح دنبال‌کننده‌ی تابش خورشیدی) در واقع همان سطح جاذب (سطح جذب‌کننده‌ی تابش خورشیدی) است. کلکتورهای صفحه-تخت[7] (FPC) و کلکتورهای لوله‌ای تحت خلاء[8] (ETC)، کلکتورهایی از نوع غیرمتمرکزکننده هستند. این کلکتورها عمدتاً برای کاربردهای آب‌گرم خورشیدی و فرآیندهای صنعتی حرارتی طراحی شده‌اند[۳]. لذا، نمای‌کلی FPC به همراه روند تحولات انرژی آن، به ترتیب در شکل‌های (۱-۱) و (۱-۲) آورده شده است[۵].

---

[1] Solar Thermal Systems
[2] Photothermal
[3] Collector
[4] Heat Transfer Fluid
[5] Non-Concentrating
[6] Concentrating
[7] Flat Plate collector
[8] Evacuated Tube Collector



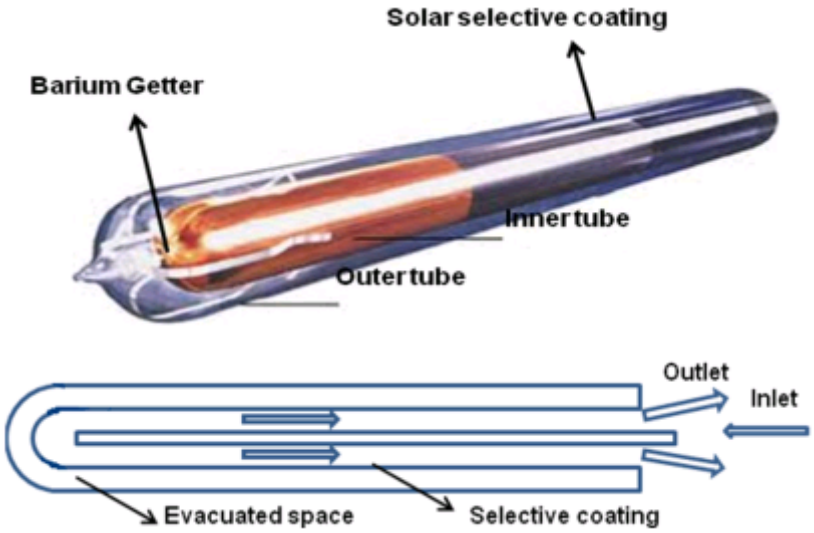
شکل ۱-۱: ساختمان کلکتور خورشیدی صفحه‌تخت (FPC) [۵]



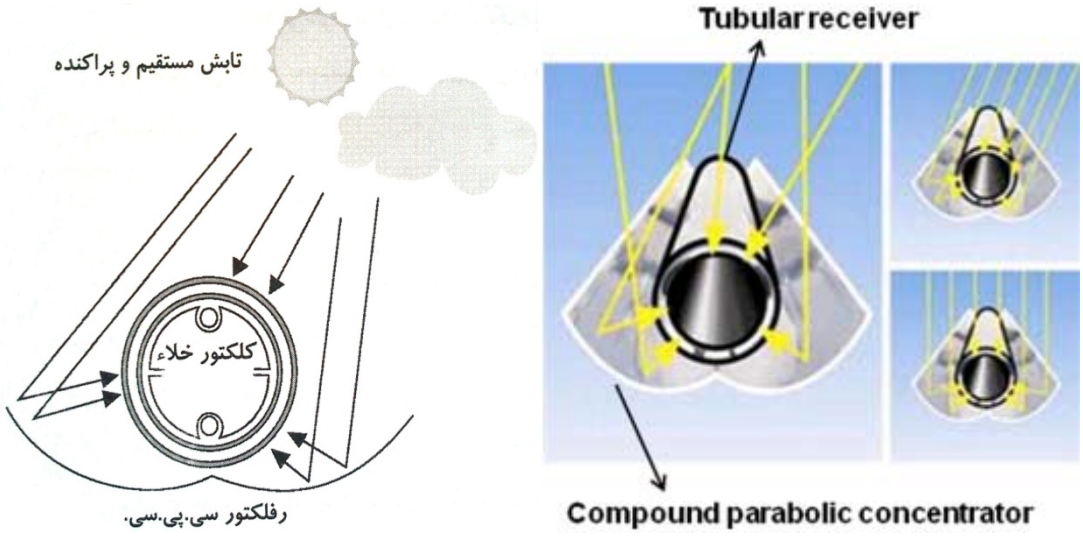
شکل ۱-۲: تحولات انرژی در کلکتور خورشیدی صفحه‌تخت (FPC) [۵]

همچنین، طرح‌کلی ETC (با مشخص کردن مسیر جریان سیال و سطح جاذب) در شکل (۱-۳) نشان داده شده است[۸]. البته در مورد کلکتورهای ETC، می‌توان با قرار دادن آینه‌های متمرکزکننده‌ای در

مقابل آنها، تابش خورشید را به طور خطی متمرکز کرد. به همین دلیل، کلکتورهای متمرکزکننده‌ی سهموی مرکب[1] (CPC) نامیده می‌شوند. بنابراین، طرح‌کلی CPC در شکل (۱-۴) ارائه شده است[۵و۸].



شکل ۱-۳: طرح‌کلی کلکتور خورشیدی لوله‌ای تحت خلاء (ETC) جریان مستقیم[2] [۸]

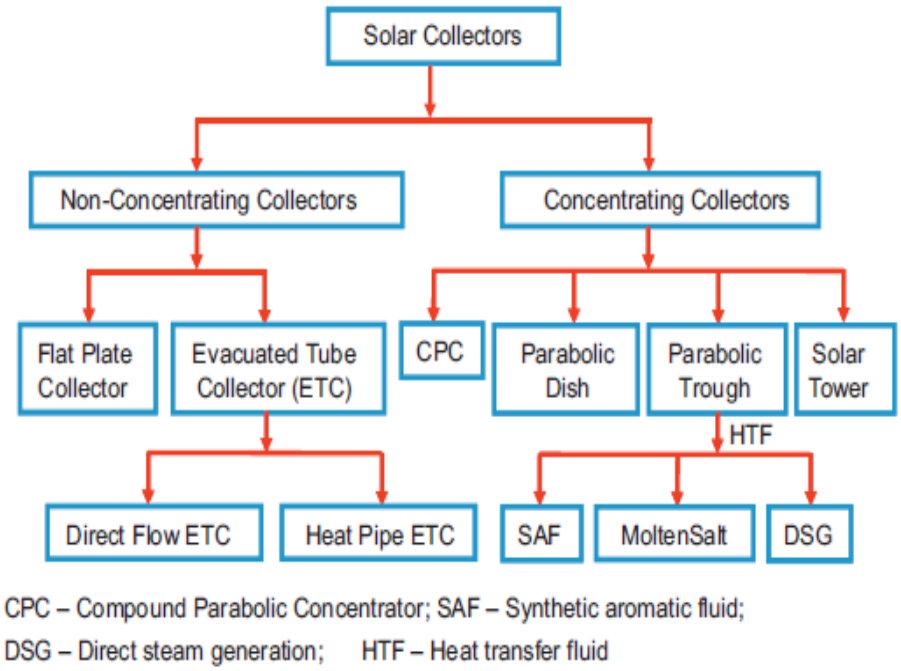


شکل ۱-۴: طرح‌کلی کلکتور خورشیدی متمرکزکننده‌ی سهموی مرکب (CPC) [۵و۸]

کلکتورهای متمرکزکننده‌ی انرژی خورشیدی[3] (CSP)، از جاذب‌های خورشیدی به منظور تبدیل تابش خورشیدی به انرژی حرارتی - الکتریکی استفاده می‌کنند. از اینرو مطابق شکل (۱-۵)، کلکتورهای

[1] Compound Parabolic Concentrator
[2] Direct Flow
[3] Concentrating Solar Power

متمرکزکننده‌ی به کار برده شده در سیستم‌های تولید برق حرارتی - خورشیدی[۱] (SEGS) را می‌توان به انواع کلکتورهای سهموی خطی[۲] (PTC)، فرسنل خطی[۳] (LFR)، دریافت‌کننده‌ی مرکزی[۴] (CRT) و بشقابی استرلینگ[۵] (PDC) تقسیم بندی نمود[۳].



شکل ۱-۵: انواع کلکتورهای خورشیدی [۳]

به طور کلی، محدوده‌های دمایی عملیاتی مناسب برای کاربردهای خورشیدی را می‌توان به دمای کم ($T < ۱۰۰°C$)، دمای متوسط ($۱۰۰°C < T < ۴۰۰°C$) و دمای بالا ($T > ۴۰۰°C$) طبقه‌بندی کرد[۴]. حال به منظور درک بهتری از انواع سیستم‌های گرمایش خورشیدی بر حسب نوع کاربرد، می‌توان به شکل (۱-۶) رجوع کرد.

[1] Solar Electric Generating System
[2] Parabolic Trough Collector
[3] Linear Fresnel Reflector
[4] Central Receiver Tower or Power Tower
[5] Paraboloidal Dish Concentrator or Stirling Dish