



طراحی و محاسبات کلکتورهای حرارتی خورشیدی

مهندس محسن یزدی

دکتر محمد حسن خوشگفتارمنش

سرشناسه	: یزدی، محسن، ۱۳۷۴ -
عنوان و نام پدیدآور	: طراحی و محاسبات کلکتورهای حرارتی خورشیدی/محسن یزدی، محمدحسن خوشگفتارمنش.
مشخصات نشر	: قم: دانشگاه قم، انتشارات، ۱۳۹۹. / مشخصات ظاهری: ۳۰۴ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: 978-600-843665-2
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: کلکتورهای خورشیدی / Solar collectors
موضوع	: انرژی حرارتی خورشیدی / Solar thermal energy
شناسه افزوده	: خوشگفتارمنش، محمدحسن، ۱۳۶۱ - دانشگاه قم. انتشارات
رده بندی کنگره	: TJ ۸۰۹/۹۷ - رده بندی دیویی: ۶۲۱/۴۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۷۴۳۲۵۳۶ - وضعیت رکورد: فیپا



انتشارات دانشگاه قم

عنوان: طراحی و محاسبات کلکتورهای حرارتی خورشیدی
مؤلف: مهندس محسن یزدی، دکتر محمد حسن خوشگفتارمنش

چاپ و صحافی: هوشنگی

ناظر فنی: علیرضا معظمی

صفحه آرا: محسن یزدی

طراح جلد: محسن یزدی

نوبت و سال چاپ: اول، زمستان ۱۳۹۹

شمارگان: ۵۰۰

بهاء: ۴۵۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۴۳۶-۶۵-۲

آدرس الکترونیکی: Publication@Qom.ac.ir

کلیه حقوق مادی و معنوی برای ناشر محفوظ است.

قم، بلوار الغدیر، دانشگاه قم، اداره چاپ و انتشارات دانشگاه

تلفن: ۰۲۵-۳۲۱۰۳۳۴۴ - ۰۲۵-۳۲۱۰۳۳۴۵

فهرست مطالب

۱- تابش خورشید.....	۱
۱-۱- تابش خورشید.....	۱
۲-۱- ثابت خورشیدی.....	۴
۳-۱- توزیع طیفی تابش فرازمینی.....	۷
۴-۱- تغییرات تابش فرازمینی.....	۱۰
۵-۱- تعاریف.....	۱۱
۶-۱- مدارهای زمین.....	۱۷
۷-۱- جهت تابش مستقیم.....	۱۸
۸-۱- زاویه‌های ردیابی سطوح.....	۳۱
۹-۱- نرخ تابش مستقیم خورشید روی سطح شیب‌دار نسبت به سطح افقی.....	۳۶
۱۰-۱- سایه.....	۴۴
۱۱-۱- تابش فرازمینی روی یک سطح افقی.....	۵۵
۱۲-۱- منابع.....	۶۱
۲- تابش خورشیدی قابل دریافت.....	۶۳
۱-۲- داده‌های تابش خورشید.....	۶۳
۲-۲- مؤلفه‌های تابش مستقیم و پراکنده ساعتی.....	۷۱
۳-۲- تابش روی سطوح شیب‌دار.....	۷۵
۴-۲- تابش روی سطح شیب‌دار: آسمان ایزوتروپیک.....	۸۳
۵-۲- تابش روی سطوح شیب‌دار: غیر ایزوتروپیک.....	۸۵
۶-۲- تابش مستقیم روی سطوح متحرک.....	۹۵
۷-۲- منابع:.....	۹۷
۳- جذب تابش خورشید.....	۹۹

۱-۳- بازتاب تابش.....	۱۰۰
۲-۳- جذب تابش.....	۱۰۵
۳-۳- خواص اپتیکال کاورهای سیستم‌های خورشیدی.....	۱۰۶
۴-۳- وابستگی زاویه‌ای ضریب جذب خورشیدی.....	۱۱۳
۵-۳- ضریب عبور برای تابش پراکنده.....	۱۱۴
۶-۳- ضریب عبور-جذب.....	۱۱۷
۷-۳- وابستگی زاویه‌ای ($\tau\alpha$).....	۱۱۹
۸-۳- تابش جذب شده خورشید.....	۱۲۰
۹-۳- منابع.....	۱۲۸
۴- کلکتورهای صفحه تخت.....	۱۲۹
۱-۴- توصیف کلکتورهای صفحه تخت.....	۱۳۰
۲-۴- معادله اصلی تعادل انرژی کلکتورهای صفحه تخت.....	۱۳۰
۳-۴- توزیع دما در کلکتورهای صفحه تخت.....	۱۳۲
۴-۴- ضریب اتلاف حرارت کلی.....	۱۳۶
۵-۴- توزیع دما بین لوله‌ها و ضریب بازده کلکتور.....	۱۵۵
۶-۴- توزیع دما در جهت جریان.....	۱۶۶
۷-۴- ضریب دفع حرارتی کلکتور و ضریب جریان.....	۱۶۷
۸-۴- میزان تابش بحرانی.....	۱۷۲
۹-۴- دماهای متوسط سیال و صفحه.....	۱۷۳
۱۰-۴- حاصل ضرب ضریب عبور-ضریب جذب مؤثر.....	۱۷۵
۱۱-۴- تأثیر غبار و سایه.....	۱۷۹
۱۲-۴- اثرات ظرفیت حرارتی در کلکتورهای صفحه تخت.....	۱۸۱
۱۳-۴- هندسه‌های صفحه گرم‌کننده مایع.....	۱۸۶

۱۹۰	۴-۱۴- اندازه‌گیری عملکرد کلکتور.....
۱۹۱	۴-۱۵- مشخصات کلکتور.....
۱۹۳	۴-۱۶- منابع.....
۱۹۵	۵- کلکتورهای متمرکز کننده.....
۱۹۷	۵-۱- پیکربندی کلکتورها.....
۲۰۰	۵-۲- عملکرد حرارتی کلکتورهای متمرکز کننده.....
۲۱۱	۵-۳- عملکرد اپتیکال کلکتورهای متمرکز کننده.....
۲۱۴	۵-۴- هندسه متمرکز کننده‌های تصویری خطی.....
۲۱۹	۵-۵- خطاهای ساخت و تأثیر زاویه برخورد.....
۲۲۱	۵-۶- اصلاح کننده زاویه برخورد.....
۲۲۷	۵-۷- منابع.....
۲۲۹	۶- حل مثالهای کاربردی نرم افزار ترنسیس.....
۲۶۷	۷- نکات ویژه تحلیل سیستم‌های خورشیدی و کدنویسی.....

جابر بن عبدالله انصاری از پیامبر گرامی اسلام صَلَّی اللهُ عَلَیْهِ وَآلِهِ وَسَلَّمَ پرسید: «آیا شیعیان در زمان غیبت قائم از وجود مبارک او بهره مند می‌شوند؟» پیامبر صَلَّی اللهُ عَلَیْهِ وَآلِهِ وَسَلَّمَ در پاسخ فرمود:

"إِیْ وَ الَّذِیْ بَعَثَنِیْ بِالنُّبُوَّةِ إِنَّهُمْ یَسْتَضِیُّوْنَ بِنُورِهِ وَ یَنْتَفِعُونَ بِوِلَايَتِهِ فِیْ غَیْبَتِهِ کَأَنْتَفَاعِ النَّاسِ بِالشَّمْسِ وَ إِنْ تَجَلَّلَهَا سَحَابٌ یَا جَابِرُ هَذَا مِنْ مَّکْنُونِ سِرِّ اللَّهِ وَ مَخْزُونِ عِلْمِهِ فَاکْتُمُوهُ إِلَّا عَنْ أَهْلِهِ"

آری؛ قسم به خدایی که مرا به نبوت مبعوث کرد، آنها از نور او روشنی می‌یابند و از ولایتش بهره می‌برند، همان طوری که مردم از **خورشید** بهره‌مند می‌شوند، گرچه ابر آن را بپوشاند. ای جابر، این از اسرار پنهان الهی و گنجینه دانش اوست. آن را مکتوم دار، مگر از اهلس.

کمال الدین و تمام النعمة، ج ۱، ص ۲۵۳؛ کفایة الأثر، ص ۵۴.

خداوند را سپاس می‌گویم که به ما فرصت داد تا عمر خود را در راه علم و دانش سپری کنیم،

و همواره استادانی دلسوز و فرزانه بر سر راهمان قرار داد تا در این راه دراز و بی پایان علم جویی، راهنمای راهبان و مسکین

آتش سیری نپذیرمان باشند. به امید آنکه به یاد خورشید تابان راهبان،

شمع کوچکی بر سر راه تشنه‌مان دیگر باشیم.

تقدیم به

محضر مولا و آقا امام زمان عجل الله تعالی فرجه الشریف.

سردار شهید حاج قاسم سلیمانی و دانشمند شهید دکتر محسن فخری زاده.

پدر و مادر عزیزمان، آنان که وجودمان جز هدیه وجودشان نیست.

پیشگفتار

امروزه توسعه پایدار^۱، یکی از مهم‌ترین بحث‌هایی است که در جهان و خصوصاً کشورهای توسعه‌یافته وجود دارد، و در زمینه‌های مختلف مورد توجه قرار می‌گیرد. انقلاب صنعتی سبب شد، بشر منابع انرژی را به شدت مصرف کند، تا بتواند صنعت را گسترش دهد. این اتفاق سبب آلودگی محیط زیست و مشکلات بسیار زیادی ناشی از این آلودگی شد، که در دهه‌های اخیر به شکل‌های مختلف بروز کرده است. انتشار زیاد گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوخت‌های فسیلی، سبب گرمایش جهانی شده است؛ و امروزه اثرات این گرمایش جهانی، در تغییر اقلیم‌ها در نقاط مختلف جهان، سیل‌ها و خشکسالی‌های مختلف، قابل مشاهده است.

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به منظور تولید برق و حرارت، یکی از راهکارهای بسیار مفید در زمینه مقابله با آلودگی محیط زیست و گام مهمی در زمینه توسعه پایدار می‌باشد. از میان تمام منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشید پتانسیل بیشتری در زمینه تولید برق دارد؛ و در اکثر نقاط جهان به وفور در دسترس است.

با وجود این که انرژی که به صورت کلی به سطح زمین وارد می‌شود، مقدار زیادی دارد؛ اما تابش خورشید در یک سطح محدود انرژی زیادی را فراهم نمی‌آورد. بنابراین برای استفاده از حرارت تابش خورشید، باید از کلکتورهای حرارتی خورشیدی بهره گرفت. کلکتورهای حرارتی خورشیدی صفحه تخت، برای رسیدن به دماهای پایین حدود ۸۰ درجه سانتی‌گراد مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای رسیدن به دماهای بالاتر، کلکتورهای حرارتی متمرکزکننده مورد نیاز می‌باشند. کلکتورهای حرارتی متمرکزکننده خورشیدی، تابش خورشید را به ناحیه کوچکی متمرکز می‌کنند، و به این صورت می‌توانند به دماهای بالا دست یابند. برای رسیدن به دماهایی در حدود ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد از کلکتورهای متمرکزکننده سهموی خطی^۲ استفاده می‌شود.

به دلیل موقعیت بسیار خوبی که کشور ما به منظور استفاده از انرژی خورشید دارد، استفاده از این انرژی پاک، تجدیدپذیر، و رایگان، بسیار سودمند است، و می‌تواند در مسیر توسعه پایدار گام مهمی برای کشور ما باشد. رشد علمی در این زمینه نیازمند حضور دانشجویان فعال در این عرصه می‌باشد. هم‌اکنون دانشجویان زیادی در سراسر کشور وجود دارند که علاقه‌مند به علم خورشید هستند، و دوست دارند برای پیش بردن کشور در این دانش وسیع، سهمی داشته باشند.

^۱ Sustainable Development

^۲ Parabolic Trough Collector

شروع یادگیری علم خورشید، بسیار پر پیچ و خم است، و معمولاً در شروع کار دانشجویان با انبوهی از مراجع علمی مواجه می‌شوند، که نمی‌دانند باید از کجا شروع کنند. بدیهی است، این کتاب تمام آنچه که باید دانشجویان درباره علم خورشید بدانند را شامل نمی‌شود، اما نقطه شروع بسیار خوبی برای یادگیری این علم سودمند می‌باشد. این کتاب مشتمل بر هفت فصل است. منابع هر فصل در پایان همان فصل آورده شده است. در سراسر کتاب تلاش بر این بوده، که محتوای اصلی موضوعات مختلف به خوبی توضیح داده شود؛ و در مواردی که احتمال بر این بوده که ذکر نکات بیشتر لازم است، منبع مناسب برای پیگیری بیشتر موضوع ارائه شده است. یکی از ابزارهای مهم تحقیق در منابع بین‌المللی درباره هر موضوع مدنظر، دانستن کلیدواژه‌های درست راجع به آن موضوع است. در سراسر این کتاب سعی بر آن بوده کلید واژگان مناسب علم خورشید، به زبان فارسی و همچنین به صورت لاتین در پاورقی‌ها، در اختیار خواننده قرار گیرد.

مفاهیم ارائه شده در هر فصل ارتباط زیادی به فصل‌های قبل از آن دارد؛ بنابراین توصیه می‌شود مطالعه کتاب از ابتدا شروع شود. در سه فصل اول این کتاب درباره مسائل کلی که باید برای درک تابش خورشید دانست، صحبت می‌شود. فصل چهارم طراحی و محاسبات کلکتورهای حرارتی صفحه تخت را اشاره می‌کند. در فصل پنجم، طراحی و محاسبات کلکتورهای سهموی خطی که از نوع کلکتورهای متمرکزکننده تابش خورشید می‌باشد، توضیح داده می‌شود. فصل ششم، سه مثال از نرم‌افزار ترنسیس را حل می‌کند. سعی شده است، در این فصل با رویکرد جدیدی بر اساس حل مثال از نرم‌افزار ترنسیس، تا حد زیادی این نرم‌افزار، فراگرفته شود. فصل هفتم کتاب شامل توضیحات و نکات تکمیلی راجع به نیروگاه‌ها و سیستم‌های خورشیدی بر مبنای کلکتورهای حرارتی خورشیدی سهموی خطی می‌باشد. یکی از چالش‌های مهم دانشجویان رشته‌های مهندسی، کدنویسی است. فصل هفتم کتاب شامل دو مثال کدنویسی در محیط نرم‌افزار متلب^۳ است، دانشجویان با دقت روی این مثال‌ها علاوه بر آموختن تحلیل دینامیکی^۴ سیستم‌های خورشیدی، با مبانی کدنویسی آشنا می‌شوند و با کمی جستجو در منابع رایگان آموزش کدنویسی به یک کدنویس ماهر تبدیل می‌شوند؛ ان شاء الله.

³ MATLAB

⁴ Dynamic Analysis