

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



انتشارات
۷۶۲

انرژی خورشیدی

معرفی سامانه‌ها و فرایندهای نیروگاهی و غیرنیروگاهی انرژی خورشیدی

دکتر محمودرضا گلزاریان

عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

سرشناسه: گلزاریان، محمودرضا، ۱۳۵۵ -
 عنوان و نام پدیدآور: انرژی خورشیدی: معرفی سامانه‌ها و فرایندهای نیروگاهی و غیرنیروگاهی انرژی خورشیدی / محمودرضا گلزاریان؛ ویراستار علمی مهدی خجسته‌پور؛ ویراستار ادبی مصطفی قندهاری.
 مشخصات نشر: مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات، ۱۳۹۹.
 مشخصات ظاهری: ۳۷۶ ص: مصور، جدول، نمودار.
 فروست: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۷۶۲.
 شابک: ISBN: 978-964-386-454-5
 وضعیت فهرست‌نویسی: فیبا.
 یادداشت: کتابنامه، نمایه.
 عنوان دیگر: معرفی سامانه‌ها و فرایندهای نیروگاهی و غیرنیروگاهی انرژی خورشیدی.
 موضوع: انرژی خورشیدی
 موضوع: نیروگاه‌های خورشیدی
 شناسه افزوده: خجسته‌پور، مهدی، ۱۳۵۰-، ویراستار.
 شناسه افزوده: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات.
 رده‌بندی کنگره: TJA۱۰
 رده‌بندی دیویی: ۶۲۱/۴۷
 شماره کتابشناسی ملی: ۷۳۹۶۳۴۲

انرژی خورشیدی

معرفی سامانه‌ها و فرایندهای نیروگاهی و غیرنیروگاهی انرژی خورشیدی

پدیدآورنده: دکتر محمودرضا گلزاریان
 ویراستار علمی: دکتر مهدی خجسته‌پور
 ویراستار ادبی: مصطفی قندهاری
 مشخصات: وزیری، ۲۰۰ نسخه، چاپ اول، زمستان ۱۳۹۹
 چاپ و صحافی: چاپخانه دقت
 بها: ۷۰۰/۰۰۰ ریال
 حق چاپ برای انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد محفوظ است.

مراکز پخش:

فروشگاه و نمایشگاه کتاب پردیس: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، جنب سلف یاس
 تلفن: ۳۸۸۰۲۶۶۶ - ۳۸۸۳۳۷۲۷ (۰۵۱)
 مؤسسه کتابیران: تهران، خیابان کارگر جنوبی، خیابان لبافی‌نژاد، بین خیابان فروردین و اردیبهشت،
 شماره ۲۳۸، تلفن: ۶۶۴۹۴۴۰۹ - ۶۶۴۸۴۷۱۵ (۰۲۱)
 مؤسسه دانشیران: تهران، خیابان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) نبش خیابان نظری، شماره ۱۴۲
 تلفکس: ۶۶۴۰۰۲۲۰ - ۶۶۴۰۰۱۴۴ (۰۲۱)

<http://press.um.ac.ir>

Email: press@um.ac.ir



انتشارات
۷۶۲

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	۷
فصل ۱. انرژی خورشیدی برای بشر.....	۹
۱-۱ چرا انرژی و مخصوصاً برق اهمیت دارد؟.....	۹
۲-۱ سوخت‌های فسیلی و منابع انرژی تجدیدپذیر.....	۱۱
۳-۱ انرژی خورشیدی در مقایسه با سایر منابع انرژی تجدیدپذیر.....	۱۳
۴-۱ دیماند و مصرف.....	۱۴
۵-۱ محدودیت استحصال انرژی خورشیدی.....	۲۰
۶-۱ روش‌های تبدیل انرژی خورشیدی: روش‌های استحصال انرژی از آفتاب.....	۲۲
فصل ۲. خورشید.....	۲۵
۱-۲ موقعیت خورشید و طبیعت انرژی خورشیدی.....	۲۵
۲-۲ چرخه لکه‌های خورشیدی.....	۳۱
فصل ۳. تئوری انرژی خورشیدی و ویژگی‌های خورشید.....	۳۵
۱-۳ تفاوت حرارت (گرما) و درجه حرارت (دما).....	۳۶
۲-۳ مقاومت حرارتی.....	۳۸
۳-۳ تفاوت نور تولیدشده با تشعشع و نور تولیدشده با مواد رنگی.....	۶۱
۴-۳ تابش خورشیدی.....	۶۳
۵-۳ ثابت خورشیدی: میزان تابش در سطح اتمسفر زمین.....	۶۴
۶-۳ دمای مؤثر سطح سیاره‌ها.....	۶۹
۷-۳ تغییرات انرژی تا زمین.....	۷۴
۸-۳ اندازه‌گیری تابش خورشیدی.....	۸۵
۹-۳ تاریخچه ثبت جریان تابشی (جهت مطالعه آزاد).....	۸۹
۱۰-۳ پرسش‌های پایان فصل.....	۹۱

فصل ۴. تاریخچه استفاده از انرژی خورشیدی..... ۹۹

فصل ۵. نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی..... ۱۲۳

- ۱-۵ نیروگاه‌های معمول (سوخت فسیلی)..... ۱۲۳
- ۲-۵ نیروگاه‌های هم‌زمان گرما و برق..... ۱۲۵
- ۳-۵ نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی..... ۱۲۷
- ۴-۵ کوره خورشیدی..... ۱۴۵
- ۵-۵ مزایای نیروگاه‌های خورشیدی..... ۱۵۵

فصل ۶. کاربردهای غیرنیروگاهی انرژی گرمایی خورشیدی..... ۱۵۷

- ۱-۶ آب گرم کن‌های خورشیدی..... ۱۵۷
- ۲-۶ گرمایش و سرمایش ساختمان..... ۲۰۵
- ۳-۶ آب شیرین کن خورشیدی..... ۲۱۸
- ۴-۶ خوراک‌پز خورشیدی..... ۲۳۴
- ۵-۶ خشک کن خورشیدی..... ۲۴۷

فصل ۷. تئوری فتوولتائیک: نیمه‌رساناها..... ۲۵۹

- ۱-۷ مواد رسانا، نارسانا و نیمه‌رسانا..... ۲۶۰
- ۲-۷ نظریه نوآرها در جامدات..... ۲۶۲
- ۳-۷ ویژگی‌های نیمه‌رساناها و انواع آن..... ۲۶۸
- ۴-۷ نیمه‌رسانای درونی یا ذاتی..... ۲۶۹
- ۵-۷ افزودن ناخالصی به نیمه‌رساناها و تولید نیمه‌رساناهای بیرونی..... ۲۷۱
- ۶-۷ سلول خورشیدی..... ۲۷۹
- ۷-۷ پرسش‌های پایان فصل..... ۲۸۲

فصل ۸. سامانه‌های فتوولتائیک (غیرنیروگاهی)..... ۲۸۵

- ۱-۸ انواع سلول‌های خورشیدی فتوولتائیک..... ۲۸۸
- ۲-۸ سلول‌های نسل اول: کریستالی سیلیکونی..... ۲۸۹
- ۳-۸ سلول‌های خورشیدی نسل دوم: فیلم نازک..... ۲۹۹
- ۴-۸ سلول‌های خورشیدی نسل سوم (فتوولتائیک نوظهور)..... ۳۰۴
- ۵-۸ عملکرد سلول خورشید..... ۳۰۹
- ۶-۸ تأثیر میزان تابش و دما بر تولید الکتریسته پنل فتوولتائیک..... ۳۲۰

۷-۸ طبقه‌بندی سیستم‌های فتوولتائیک..... ۳۲۳

۸-۸ نحوه محاسبات جهت اندازه اجزای لازم برای سامانه برق فتوولتائیک منفصل از شبکه..... ۳۳۵

فصل ۹. نرم افزارهای خورشیدی..... ۳۵۷

۱-۹ نرم افزار Polysun..... ۳۵۷

۲-۹ نرم افزار TSOL..... ۳۵۹

۳-۹ نرم افزار PVSOL..... ۳۶۱

۴-۹ نرم افزار Homer Energy..... ۳۶۲

۵-۹ نرم افزار RETScreen..... ۳۶۴

۶-۹ نرم افزار PVsyst..... ۳۶۵

منابع..... ۳۶۹

نمایه..... ۳۷۳

press.um.ac.ir

پیشگفتار

خورشید منبع انرژی بسیار فراوان (تقریباً بی‌انتهای)، بسیار ارزان (تقریباً رایگان)، پاک و در دسترس است. دریافت و جذب گرما و نور خورشید و تبدیل آن به انرژی بسیار اقتصادی است و بهره‌برداری از این انرژی، بدون تولید آلودگی‌های محیط‌زیستی است و با استفاده از این انرژی، میزان دی‌اکسید کربن جو هم به شدت کاهش می‌یابد. سایر منابع انرژی دو مزیت اصلی انرژی خورشیدی را که شامل در دسترس بودن و تمام‌نشدنی بودن است، ندارند. انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی مانند نفت، گاز، زغال‌سنگ، علاوه بر مشکلات محیط‌زیستی که دارند، تمام‌شدنی هستند. سوختن و تولید انرژی از این منابع فسیلی، معمولاً ردپای کربن^۱ بزرگی را به‌جای خواهد گذاشت. انرژی هسته‌ای^۲، انرژی جایگزین بهتری برای سوخت‌های فسیلی است؛ اما آلودگی‌های خطرناک حاصل از استفاده از این نوع انرژی و فناوری تاحدی مرتبط با مسائل سیاسی که بسیار پیچیده، گران‌قیمت و در انحصار چند کشور خاص است، محدودیت بزرگی برای گسترش این انرژی محسوب می‌گردد.

در برابر منابع فسیلی، تابش خورشیدی تقریباً در بسیاری از نواحی ایران به‌مقدار زیادی قابل دسترس است. انرژی خورشیدی ردپای کربن ندارد و انرژی پاک و بدون آلودگی است. به‌ازای تولید هر کیلووات برق خورشیدی، به همان میزان، در منابع انرژی به‌ویژه منابعی که برای تولید و تزریق برق به شبکه برق مورد استفاده قرار می‌گیرد صرفه‌جویی می‌کنید. فناوری جذب و دریافت انرژی خورشیدی و ایجاد نیروگاه‌ها و تولید سامانه‌های کوچک و بزرگ جذب انرژی خورشیدی، انحصاری و پیچیده نیست و علاوه بر وارد کردن فناوری، قابلیت اجرا و تولید انبوه تجهیزات مرتبط با این انرژی در کشور وجود دارد و پس از راه‌اندازی سامانه‌های خورشیدی، تقریباً هزینه‌ای برای تولید انرژی توسط آن‌ها پرداخت نمی‌شود.

آنچه در این کتاب مورد توجه قرار گرفته است، توضیح در مورد اهمیت انرژی خورشیدی، دانش پایه‌ای درباره انرژی خورشیدی، ویژگی‌های خاص این انرژی و موارد متعددی از شیوه‌های جذب و استفاده از انرژی خورشیدی به‌صورت نیروگاهی و غیرنیروگاهی (خانگی و تجاری) است. البته با توجه به قیمت بالای تجهیزات خورشیدی، هنوز لازم است که دولت با ایجاد مشوق‌های جدید و ادامه حمایت‌های تشویقی مالی از جمله اختصاص یارانه، پاداش‌های اقتصادی و بخشودگی مالیاتی زمینه را برای گسترش استفاده بیشتر مردم از این انرژی پاک مهیا سازد. از طرف دیگر، تبلیغات رسانه‌ای به‌منظور فرهنگ‌سازی در زمینه صرفه‌جویی در مصرف انرژی و توسعه و تأکید بر حفظ محیط‌زیست و کاهش دی‌اکسید کربن می‌تواند مردم بیشتری از کشورمان را به سمت سرمایه‌گذاری و استفاده از این منبع انرژی مفید هدایت کند.

کتاب حاضر در نه فصل تنظیم شده است. در فصل اول، در مورد اهمیت انرژی خورشیدی در بین منابع انرژی فسیلی و همچنین منابع انرژی تجدیدپذیر صحبت شده است. در فصل دوم، درباره انرژی خورشید، این ستاره پرنرژی،

1. Carbon footprint

۲. اورانیوم که در نیروگاه اتمی استفاده می‌شود، یک منبع غیرتجدیدپذیر (non-renewable resource) است. در این نیروگاه، گازهای گلخانه‌ای تولید نمی‌شود، ولی مسائل دفن ضایعات حاصل از نیروگاه اتمی و مسائل زیست‌محیطی از جمله نگرانی‌های استفاده از این منبع برای تولید انرژی است.

اطلاعاتی ارائه داده شده است. در فصل سوم، به روابط و مفاهیم انرژی و ویژگی‌های انرژی خورشیدی مخصوصاً از دیدگاه انتقال حرارت پرداخته شده است. درک این روابط می‌تواند در اتخاذ تصمیمات صحیح برای جذب و دریافت انرژی کمک‌کننده باشد. در فصل چهارم به تاریخچه مختصری از استفاده بشر از انرژی خورشیدی و پیشرفت‌های انسان استحصال و استفاده از این انرژی مرور شده است. در فصل پنجم و ششم، کاربردهای نیروگاهی و غیرنیروگاهی گرمایی انرژی خورشیدی و فناوری‌های آن‌ها توضیح داده شده است. در فصل هفتم و هشتم به ویژگی‌های نیمه‌رساناها و کاربرد آن‌ها در پنل‌های فتوولتائیک که در آن‌ها تبدیل مستقیم نور خورشید به انرژی الکتریسیته اتفاق می‌افتد پرداخته شده است. در فصل نهم، برخی از ابزارها و نرم‌افزارهای محاسباتی و مدیریتی انرژی خورشیدی معرفی می‌شوند. با توجه به گسترده بودن کاربردهای انرژی خورشیدی، امکان پوشش و توضیح تمام تجهیزات استحصال انرژی خورشیدی در یک کتاب فراهم نیست. بنابراین، در این کتاب سعی شده است که برخی از موارد و مطالب اساسی مرتبط با انرژی خورشیدی که دارای کاربرد بیشتری هستند، آورده و توضیح داده شود. مخاطبان این کتاب، دانشجویان مقاطع کارشناسی و تحصیلات تکمیلی مهندسی بیوسیستم‌گرایش انرژی‌های تجدیدپذیر و دانشجویان مهندسی مکانیک، گرایش تبدیل انرژی هستند. در عین حال، مطالب کتاب به گونه‌ای است که می‌تواند برای سایر علاقه‌مندان به مبحث انرژی خورشیدی مفید باشد.

این کتاب حاصل تلاش چندین سال تدریس درس‌های مرتبط با انرژی خورشیدی از جمله انرژی‌های نو، سامانه‌های حرارتی خورشیدی و سامانه فتوولتائیک و اجرا و مشاوره پروژه‌های پژوهشی خورشیدی در سطوح کارشناسی و تحصیلات تکمیلی است. در نگارش و تدوین این کتاب کوشیده‌ام ضمن به‌روز بودن مطالب، مطالعه آن نیز برای خوانندگان روان و آسان باشد. هرچند تلاش شده است که با مرور چندبار مطالب کتاب، اشکالات آن تا حد ممکن برطرف گردد، با این حال امکان اینکه اشکالات املایی و انشایی از زیر چشم ما خارج شده باشد، وجود دارد. بنابراین از خوانندگان محترم، اعم از دانش‌آموزان و دانشجویان عزیز و نیز اساتید گرامی سپاسگزار خواهم شد اگر انتقادات و دیدگاه‌های اصلاحی خود را به این جانب به‌صورت ایمیلی به m.golzarian@um.ac.ir یا mahmood.golzarian@gmail.com یا به‌صورت تلگرامی به آی‌دی [@Mahmood.Golzarian](https://t.me/Mahmood.Golzarian) ارسال فرمایند.

در پایان بر خود لازم می‌دانم که از خانم مهندس مهتار فیعی بابت پیشنهاد موارد اصلاحی که روی پیش‌نویس اولیه کتاب دادند، تشکر کنم. از آقای دکتر مهدی خجسته‌پور که زحمت ویراستاری علمی این کتاب را تقبل کردند، متشکرم. از آقای قندهاری بابت ویراستاری ادبی قابل تقدیر، تیزبینانه و بسیار دقیق این کتاب بسیار سپاسگزارم. همچنین از همه کسانی که در آماده‌سازی و چاپ این کتاب من را حمایت و تشویق کرده‌اند، تشکر و قدردانی کنم. از داوران محترم که زحمت داوری را تقبل کردند و در اسرع وقت این کار را انجام دادند، سپاسگزار می‌کنم و همچنین به‌طور ویژه از آقای دکتر صابری مدیر محترم نشر آثار علمی دانشگاه فردوسی مشهد و کارکنان زحمت‌کش این مدیریت (آقایان قندهاری، نخعی، محمدزاده، ...) به‌دلیل فراهم کردن امکانات چاپ این کتاب کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در پناه تابش الطاف الهی حق باشید.

محمودرضا گلزاریان

تابستان ۱۳۹۹