انواع روش‌های بهره‌برداری از

انرژی خورشیدی

(با نگاه ویژه به سامانه‌های فتوولتائیک)

www.ketab.ir

شماره ۵۱۷

سرشناسه: صبور، محمدرضا، ۱۳۳۹ -
عنوان و نام پدیدآور: انواع روش‌های بهره‌برداری از انرژی خورشیدی (با نگاه ویژه به سامانه‌های فتوولتاییک)/مولفان محمدرضا صبور، محمدامین جعفری، سیدمسعود حسینی‌گهر.
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری: ث، ۳۸۴ ص.: مصور (بخشی رنگی)، جدول.
فروست: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ شماره ۵۱۷.
شابک: 978-622-6655-98-9
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
یادداشت: واژه‌نامه.
یادداشت: کتابنامه: ص. ۳۰۸- ۳۲۶.
یادداشت: نمایه.
موضوع: انرژی خورشیدی/Solar energy
موضوع: برق -- سیستم‌های فتوولتایی/Photovoltaic power systems
شناسه افزوده: جعفری، محمدامین، ۱۳۷۴-
شناسه افزوده: حسینی گهر، سیدمسعود، ۱۳۴۳-
رده‌بندی کنگره: TJ۸۱۰
رده‌بندی دیویی: ۶۲۱/۴۷
شماره کتابشناسی ملی: ۸۸۵۵۶۹۲

ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی press.kntu.ac.ir

عنوان: انواع روش‌های بهره‌برداری از انرژی خورشیدی (با نگاه ویژه به سامانه‌های فتوولتاییک)
مؤلفان: دکتر محمدرضا صبور، مهندس محمدامین جعفری، مهندس سیدمسعود حسینی‌گهر
نوبت چاپ: اول
تاریخ انتشار: خرداد ۱۴۰۱
شمارگان: ۲۰۰ جلد
چاپ: نقش‌آفرین
صحافی: گرنامی
قیمت: ۱۳۲۰۰۰ تومان

تمام حقوق برای ناشر محفوظ است

خیابان میرداماد غربی- شماره ۴۷۰- انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تلفن: ۸۸۸۸۱۰۵۲
میدان ونک - خیابان ولی‌عصر(عج) - بالاتر از چهارراه میرداماد - شماره ۲۶۲۶- مرکز پخش و فروش انتشارات
تلفن: ۸۸۷۷۲۲۷۷ رایانامه: press@kntu.ac.ir - تارنما (فروش برخط): press.kntu.ac.ir

www.ketab.ir

فهرست مطالب

پیشگفتار ..... ت

فصل اول: مقدمه ۱

۱. مقدمه ۲

۱.۱ انرژی ۳

۱.۱.۱ ضرورت توسعه و استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران ۴

۲.۱.۱ خورشید و ویژگی‌های انرژی خورشیدی ۶

توان انرژی خورشیدی ۷

۳.۱.۱ سیر تحول فناوری و نگاه انسان در بهره‌برداری از انرژی خورشید ۷

۴.۱.۱ اجزای اصلی تشکیل‌دهنده‌ی سامانه‌های انرژی خورشیدی ۱۲

۵.۱.۱ انواع روش‌های بهره‌برداری از انرژی خورشیدی ۱۳

فصل دوم: سامانه‌های مولد خورشیدی غیر نیروگاهی ۱۵

۲. مقدمه ۱۶

۱.۲ تولیدکننده‌های غیرنیروگاهی ثابت ۱۶

۱.۱.۲ چراغ‌های خورشیدی ۱۶

مزایای چراغ‌های خورشیدی ۱۷

معایب چراغ‌های خورشیدی ۱۸

۲.۱.۲ چراغ‌های ترکیبی (هایبرید) خورشیدی- بادی ۲۱

۳.۱.۲ آب‌گرمکن خورشیدی ۲۳

تاریخچه‌ی آب‌گرمکن خورشیدی ۲۳

انواع گردآورنده خورشیدی ۲۷

گردآورنده صفحه تخت ۲۷

گردآورنده‌های لوله‌ای تحت خلأ ۲۹

گردآورنده‌های با منبع ذخیره‌ی یکپارچه (ICS) ۳۴

گردآورنده‌های ICS ترموسیفون ۳۷

۴.۱.۲ پمپ آب خورشیدی ۳۷

۲.۲ تولیدکننده‌های غیرثابت (قابل حمل) ۴۰

ایستگاه تولیدکننده‌ی برق خورشیدی متحرک ۴۱

فصل سوم: سامانه‌های تولیدکننده‌ی نیروگاهی حرارتی خورشیدی ۴۳

۳. مقدمه ۴۴

www.ketab.ir

۱.۳ فناوری‌های حرارتی خورشیدی ۴۵
۱.۱.۳ سایر فناوری‌های حرارتی خورشیدی ۴۷
۲.۱.۳ ویژگی‌های گردآورنده‌ها در نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی ۴۸
۳.۱.۳ ذخیره‌ی انرژی در نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی ۴۹
۴.۱.۳ موتورهای حرارتی و تبدیل انرژی ۵۰
۵.۱.۳ انتقال برق نیروگاه ۵۱
۲.۳ نیروگاه‌های مبتنی بر متمرکزکننده‌های خورشیدی ۵۱
۱.۲.۳ نیروگاه‌های خورشیدی سهموی خطی و بازتابنده‌ی فرسنل ۵۲
تاریخچه‌ی ظهور نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی خطی ۵۲
جزئیات فناوری نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی سهموی خطی ۵۴
جزئیات فناوری نیروگاه‌های سهموی خطی با استفاده از بازتابنده‌های فرسنل ۵۷
۲.۲.۳ نیروگاه‌های برج خورشیدی ۵۹
جزئیات فناوری نیروگاه‌های برج خورشیدی ۶۰
تولید برق توسط نیروگاه‌های برج خورشیدی ۶۲
سامانه‌های هدایت‌شونده به کمک هوا ۶۴
۳.۲.۳ نیروگاه‌های سهموی بشقابی خورشیدی ۶۵
جزئیات فناوری نیروگاه سهموی بشقابی خورشیدی ۶۶
تولید برق در سامانه‌های دارای متمرکزکننده‌ی سهموی بشقابی خورشیدی ۶۸
پروژه‌های تجاری‌سازی شده‌ی نیروگاه‌های سهموی بشقابی خورشیدی ۷۰
۳.۳ سایر فناوری‌های نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی ۷۱
۱.۳.۳ نیروگاه‌های دودکش خورشیدی ۷۲
۲.۳.۳ نیروگاه استخر خورشیدی ۷۴
پروژه‌های اجرا شده‌ی نیروگاه‌های استخر خورشیدی ۷۵
جزئیات نیروگاه‌های استخر خورشیدی ۷۶

فصل چهارم: پدیده‌ی فتوولتائیک و تحول روش تولید برق خورشیدی ۸۱

۴. مقدمه ۸۲
۱.۴ پدیده‌ی فتوولتائیک و مکانیزم عملکرد سلول خورشیدی ۸۳
۱.۱.۴ پارامترهای عملکردی سلول خورشیدی ۸۶
مدار معادل و نمودار جریان- ولتاژ سلول خورشیدی ۸۶
جریان اتصال کوتاه (I_{sc}) ۸۷
ولتاژ مدارباز (V_{oc}) ۸۷
شرایط تست استاندارد (STC) ۸۸
دمای سلول در کارکرد نامی (NOCT) ۸۹

www.ketab.ir

شرایط تست پنل‌های فتوولتائیک برای نیروگاه‌های عملکردی مقیاس بزرگ (PTC) ۸۹
جریان فوتونی یا نوری (I_{ph}) ۹۲
حداکثر توان خروجی سلول خورشیدی (P_m یا $P_{Maximum\ Power\ Point\ (MPP)}$) ۹۲
مقاومت سری (R_S) ۹۳
مقاومت موازی (R_{Sh}) ۹۴
ضریب پُری (FF) ۹۵
راندمان سلول خورشیدی (η) ۹۷
دمای سلول خورشیدی ۹۸
نحوه‌ی محاسبه‌ی تأثیر دمای سلول خورشیدی بر توان، ولتاژ و جریان ۱۰۱
راندمان تبدیل فوتون اصابت نموده به چگالی جریان الکتریکی (IPCE) ۱۰۱
راندمان کوانتمی داخلی ۱۰۲
راندمان کوانتمی خارجی ۱۰۳
۲.۴ اجزای تشکیل‌دهنده‌ی سامانه‌های فتوولتائیک ۱۰۴
۱.۲.۴ سلول، ماژول، پنل و آرایه‌های فتوولتائیک ۱۰۴
۲.۲.۴ انواع روش‌های استقرار پنل‌های فتوولتائیک بر روی سطوح مختلف ۱۰۵
استقرار پنل‌ها بر روی زمین (زمینی) ۱۰۷
استقرار پنل‌ها در ساختمان‌ها (ساختمانی) ۱۱۶
استقرار پنل‌ها بر روی آب (آبی) یا FPV ۱۱۹
۳.۲.۴ زاویه‌ی قرارگیری پنل‌های خورشیدی و دنبال‌کننده‌های تابش خورشید ۱۲۱
ویژگی‌های تابش خورشیدی و محاسبه‌ی انرژی فوتون ۱۲۳
انواع تابش خورشید بر روی پنل‌های خورشیدی و روش اندازه‌گیری توان تابشی خورشید ۱۲۳
محاسبه‌ی زاویه‌ی مناسب و جهت قرارگیری پنل‌های خورشیدی ۱۲۵
زاویه ارتفاع خورشید و زاویه اوج ۱۳۱
جرم هوا (AM) ۱۳۴
منحنی مسیر حرکت تابش خورشید در آسمان ۱۳۶
انواع دنبال‌کننده‌های تابش خورشید (ردیاب‌ها) ۱۳۸
محاسبه‌ی اندازه‌ی فاصله‌ی پنل‌های خورشیدی در ردیف‌های پی‌درپی در نیروگاه ۱۴۲
۳.۴ طبقه‌بندی انواع سامانه‌های فتوولتائیک از لحاظ کاربری ۱۴۴
۱.۳.۴ سامانه‌های فتوولتائیک متصل به شبکه ۱۴۴
انواع دسته‌بندی سامانه‌های متصل به شبکه جهت فروش برق در ایران ۱۴۷
شرایط قرارداد خرید تضمینی برق در نیروگاه‌های متصل به شبکه ۱۴۹
ضریب ساعتی ۱۵۱
نحوه اعمال ضریب ساعتی در طراحی نیروگاه به منظور درآمدزایی بیشتر ۱۵۲
۲.۳.۴ سامانه‌های فتوولتائیک مستقل از شبکه ۱۵۳
۳.۳.۴ سامانه‌های فتوولتائیک چندگانه یا هایبرید ۱۵۶

www.ketab.ir

فصل پنجم: انواع سلول‌های خورشیدی ۱۶۱

۵. مقدمه ۱۶۲

۱.۵ دسته‌بندی کلی ساخت سلول‌های خورشیدی ۱۶۳

۱.۱.۵ سلول‌های خورشیدی نسل اول: سلول‌های سیلیکون بلوری ۱۶۴

سیلیکون درجه‌ی متالورژیکال ۱۶۵

سیلیکون درجه‌ی الکترونیک ۱۶۶

سلول‌های خورشیدی سیلیکونی مونوکریستال (تک‌بلوری) ۱۶۸

سلول‌های خورشیدی سیلیکونی پالی‌کریستال (چندبلوری یا مالتی‌کریستال) ۱۷۳

سلول‌های خورشیدی گالیم آرسنایاد (GaAs) ۱۷۶

۲.۱.۵ سلول‌های خورشیدی نسل دوم: سلول‌های خورشیدی لایه نازک ۱۷۸

سلول‌های خورشیدی لایه نازک سیلیکونی آمورف و سیلیکونی میکروکریستالی ۱۸۰

کپسوله نمودن ماژول‌های خورشیدی ۱۸۲

تلفات PID در پنل‌های خورشیدی ۱۸۵

سلول‌های خورشیدی لایه نازک مس ایندیم گالیم سلناید یا CIGS ۱۸۸

سلول‌های خورشیدی لایه نازک کادمیم تلوراید یا CdTe ۱۹۰

۳.۱.۵ سلول‌های خورشیدی نسل سوم ۱۹۱

سلول‌های خورشیدی حساس‌شده به رنگدانه (DSSCs) ۱۹۲

سلول‌های خورشیدی نقطه کوانتمی (QDs) ۱۹۸

سلول‌های خورشیدی آلی و پلیمری (OPSCs) ۲۰۰

سلول‌های خورشیدی پروسکایتی (PVSCs) ۲۰۷

سلول‌های خورشیدی چندپیوندی (MJ) ۲۱۰

۴.۱.۵ سلول‌های خورشیدی نسل چهارم ۲۱۴

گرافن و مشتقات آن ۲۱۵

زمینه‌های کاربردی گرافن ۲۱۸

تحقیقات حال حاضر بر روی کاربردهای گرافن ۲۲۶

جایگزینی سایر موادها ۲۲۶

الحاق با سایر موادها ۲۲۷

نانولوله‌های کربنی (CNTs) ۲۲۸

CNTها به عنوان الکترود شفاف رسانا یا همان TCE ۲۲۹

CNTها به عنوان لایه‌های حامل ۲۳۰

CNTها به عنوان لایه‌های فعال ۲۳۱

۵.۱.۵ نتیجه‌ی نهایی بررسی نسل‌های مختلف سلول‌های خورشیدی ۲۳۲

۶.۱.۵ سامانه‌های سلول خورشیدی با متمرکزکننده یا CPVها ۲۳۷

اصول جمع‌آوری و دسته‌بندی کردن تابش خورشیدی ۲۳۷

www.ketab.ir

۷.۱.۵ سامانه‌های سلول فتوولتائیک با متمرکزکننده‌ی خورشیدی لومینسنت (LSC)..... ۲۴۰

فصل ششم: سایر اجزای سامانه‌های فتوولتائیک و باتری‌ها..... ۲۴۵

۶. مقدمه..... ۲۴۶

۱.۶ خصوصیات متفاوت ماژول‌های خورشیدی در اتصالات سری و موازی سلول‌های هر ماژول ۲۴۶

۱.۱.۶ اتصال موازی سلول‌ها در یک ماژول..... ۲۴۶

۲.۱.۶ اتصال سری سلول‌ها در یک ماژول..... ۲۴۸

۳.۱.۶ استفاده از دیود بایپس..... ۲۵۰

کاهش تلفات ناشی از سایه‌اندازی..... ۲۵۰

جلوگیری از ایجاد نقاط داغ روی سلول..... ۲۵۳

۲.۶ متصل نمودن ماژول‌های خورشیدی و اتصال رشته‌ها (استرینگ‌ها)..... ۲۵۴

۳.۶ اجزای جریان مستقیم (DC)..... ۲۵۵

۴.۶ کابل‌کشی، اتصالات و سایر تجهیزات نیروگاه‌های خورشیدی..... ۲۵۷

۱.۴.۶ کابل DC، AC و اتصالات کابل‌ها..... ۲۵۷

۲.۴.۶ انواع کلیدهای مورد استفاده در سامانه..... ۲۶۰

۳.۴.۶ مسئله‌ی بار مصرفی در توان خروجی مولد برق خورشیدی..... ۲۶۱

بار مقاومتی..... ۲۶۱

۴.۴.۶ مبدل DC / DC..... ۲۶۲

طرز کار مبدل DC / DC..... ۲۶۲

مبدل باک..... ۲۶۳

مبدل بوست یا تقویت..... ۲۶۳

۵.۴.۶ دنبال‌کننده‌ی نقطه‌ی حداکثر توان یا MPPT..... ۲۶۴

۶.۴.۶ سامانه‌های خورشیدی متصل به شبکه و اینورتر متصل به شبکه..... ۲۶۵

مفاهیم نصب سامانه‌های فتوولتائیک متصل به شبکه..... ۲۶۵

اینورترهای بدون ترانسفورماتور..... ۲۶۹

اینورترهای با ترانسفورماتور اصلی..... ۲۷۰

اینورترهای با ترانسفورماتور HF..... ۲۷۱

مفهوم اینورتر چند رشته‌ای و مستر- اسلیو اینورترها..... ۲۷۲

راندمان اینورترها..... ۲۷۳

پدیده‌ی جزیره‌ای شدن نیروگاه خورشیدی..... ۲۷۴

۷.۴.۶ سامانه‌های خورشیدی مستقل از شبکه و اینورتر مستقل از شبکه..... ۲۷۵

مبانی ساختار سامانه فتوولتائیک مستقل از شبکه..... ۲۷۵

اینورتر سامانه فتوولتائیک مستقل از شبکه..... ۲۷۶

www.ketab.ir

۸.۴.۶ ذخیره‌ساز انرژی (باتری) ۲۷۷
اصول ساختار باتری سرب-اسید ۲۷۸
انواع باتری‌های سرب-اسید ۲۸۰
ظرفیت باتری ۲۸۲
ولتاژ باتری ۲۸۳
باتری‌های پایه نیکل ۲۸۴
باتری نیکل-کادمیوم ۲۸۴
باتری هیدرید فلز نیکل ۲۸۷
باتری‌های لیتیوم-یون ۲۸۹
باتری‌های شناور ۲۹۱
باتری‌های وانادیوم-ریداکس ۲۹۲
باتری‌های زینک-برم (روی-برم) ۲۹۳
باتری‌های سدیم-سولفور (سدیم-گوگرد) ۲۹۴
ذخیره‌ی هیدروژن به عنوان یک سامانه ذخیره‌ی جایگزین ۲۹۶
۹.۴.۶ کنترل‌کننده‌ی شارژ ۲۹۷
کنترل‌کننده‌ی شارژ سری ۲۹۸
کنترل‌کننده‌ی شارژ موازی ۲۹۹
کنترل‌کننده‌ی شارژ MPP ۲۹۹
نمونه‌هایی از محصولات کنترل‌کننده‌ی شارژ ۳۰۰
۱۰.۴.۶ تجهیزات حفاظتی ۳۰۲
سامانه‌ی زمین در نیروگاه‌های فتوولتائیک ۳۰۲
فیوز فتوولتائیک DC ۳۰۲
برقگیر DC یا همان SPD ۳۰۳
فیوز باتری ۳۰۵

فهرست منابع ۳۰۷

منابع ۳۰۸

واژه‌نامه ۳۲۷

نمایه ۳۵۳

www.ketab.ir

فهرست جداول

جدول ۱-۱: سیر تحول فناوری و نگاه انسان در بهره‌برداری از انرژی خورشیدی از گذشته تاکنون ۸

جدول ۴-۱: مقایسه‌ی شرایط تست PTC و STC در کنار یکدیگر ۹۰

جدول ۴-۲: مقایسه‌ی کلی ویژگی‌های سامانه‌های BAPV با BIPV ۱۱۷

جدول ۶-۱: نمونه‌هایی از برندهای معتبر کابل‌های ماژول و مشخصات آن‌ها ۲۵۸

جدول ۶-۲: مزایا و معایب انواع مختلف اینورترها ۲۷۱

جدول ۶-۳: داده‌های دو نمونه مختلف از کنترل‌کننده‌های شارژ خورشیدی ۳۰۱

www.ketab.ir

فهرست اشکال

شکل ۲-۱: الف) نمونه چراغ خورشیدی در خیابان ب) طرح شماتیک اجزای تشکیل‌دهنده‌ی یک چراغ خورشیدی..... ۱۸

شکل ۲-۲: نحوه‌ی عملکرد چراغ خورشیدی به کمک حسگر PIR برای مدیریت بهینه‌ی مصرف برق باتری..... ۱۹

شکل ۲-۳: نمونه‌هایی از چراغ‌های خورشیدی مدرن با امکاناتی ویژه برای رهگذران پیاده..... ۲۰

شکل ۲-۴: نمای نزدیک نمونه‌ی خروجی شارژر برای دستگاه‌های مختلف همچون گوشی تلفن همراه در چراغ‌های خورشیدی مدرن نمایش داده شده‌ی شکل ۲-۳..... ۲۱

شکل ۲-۵: الف) نمونه چراغ خورشیدی-بادی هایبرید ب) طرح شماتیک اجزای تشکیل‌دهنده‌ی یک چراغ خورشیدی-بادی هایبرید..... ۲۲

شکل ۲-۶: الف) جزئیات و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی یک گردآورنده صفحه‌تخت. ب) نمونه‌ی یک گردآورنده صفحه تخت بر روی سقف سازه. ج و د) دو نوع نمونه پرکاربرد از انواع چینش لوله‌های داخل گردآورنده‌های صفحه تخت که بسته به شرایط آب و هوایی متفاوت، قرار داده می‌شوند. ... ۲۸

شکل ۲-۷: الف) جزئیات و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی گردآورنده‌های لوله‌ای تحت خلأ شیشه‌ای تکی. ب) نمونه‌ی واقعی یک گردآورنده لوله‌ای تحت خلأ..... ۳۰

شکل ۲-۸: الف) جزئیات و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی گردآورنده‌های لوله‌ای تحت خلأ شیشه‌ای دوتایی. ب) نمونه‌ی واقعی یک گردآورنده لوله‌ای تحت خلأ شیشه‌ای دوتایی..... ۳۲

شکل ۲-۹: الف) جزئیات و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی گردآورنده‌های لوله‌ای تحت خلأ جریان-مستقیم. ب و ج) نمونه‌های واقعی گردآورنده‌های لوله‌ای تحت خلأ جریان-مستقیم..... ۳۴

شکل ۲-۱۰: الف) جزئیات و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی یک گردآورنده ICS مخزن تکی. ب و ج) نمونه های گردآورنده ICS مخزن تکی..... ۳۵

شکل ۲-۱۱: الف) جزئیات و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی یک گردآورنده ICS لوله‌ای. ب و ج) نمونه‌های گردآورنده ICS لوله‌ای..... ۳۶

شکل ۲-۱۲: الف) جزئیات و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی یک گردآورنده ICS ترموسیفون. ب و ج) نمونه های گردآورنده ICS ترموسیفون بر روی سقف سازه..... ۳۸

www.ketab.ir

شکل ۲-۱۳: الف) جزئیات و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی نمونه‌ای از سامانه پمپاژ خورشیدی آب. ب و ج) نمونه‌هایی از پمپ‌های آب. ۳۹

شکل ۲-۱۴: الف، ب و ج) نمونه‌هایی از تولیدکننده‌های پرتابل خورشیدی. ۴۰

شکل ۲-۱۵: الف و ب) نمونه‌هایی از ایستگاه‌های تولیدکننده‌ی برق خورشیدی متحرک. ۴۱

شکل ۳-۱: الف) طرح شماتیک نیروگاه حرارتی خورشیدی سهموی خطی. ب) نمونه‌ای واقعی از خطوط طویل سامانه گردآورنده نیروگاه حرارتی خورشیدی سهموی خطی. ۵۴

شکل ۳-۲: الف) طرح شماتیک نیروگاه حرارتی خورشیدی خطی با بازتابنده‌های فرسنل. ب) نمونه ای واقعی از خطوط طویل سامانه گردآورنده نیروگاه حرارتی خورشیدی خطی با بازتابنده‌های فرسنل. ۵۸

شکل ۳-۳: الف) طرح شماتیک نیروگاه برج خورشیدی. ب و ج) نمونه‌های واقعی از نیروگاه‌های برج خورشیدی ۶۰

شکل ۳-۴: الف) طرح شماتیک نیروگاه سهموی بشقابی خورشیدی. ب و ج) نمونه‌های واقعی از نیروگاه‌های سهموی بشقابی خورشیدی. ۶۷

شکل ۳-۵: الف) طرح شماتیک نیروگاه دودکش خورشیدی. ب) نیروگاه دودکش خورشیدی واقع در مانزانرز اسپانیا. ۷۳

شکل ۳-۶: نیروگاه استخر خورشیدی واقع در شهر ال پاسو. ۷۵

شکل ۳-۷: طرح شماتیک طرز قرارگیری سه لایه‌ی آب‌نمک در استخر خورشیدی. ۷۷

شکل ۳-۸: طرح شماتیک چرخه‌ی تولید الکتریسیته از استخر خورشیدی ۷۸

شکل ۴-۱: الف) طرح شماتیک یک سلول خورشیدی در مقابل نور خورشید. ب) اتصال P-N و نحوه ی ایجاد جریان برق خورشیدی در سلول‌های فتوولتائیک ۸۵

شکل ۴-۲: الف) مدار معادل سلول خورشیدی ب) نمودار جریان – ولتاژ سلول خورشیدی ۸۶

شکل ۴-۳: تأثیر مقاومت سری بر روی نمودار جریان – ولتاژ سلول خورشیدی ۹۴

شکل ۴-۴: تأثیر مقاومت موازی بر روی نمودار جریان – ولتاژ سلول خورشیدی. ۹۵

شکل ۴-۵: ناحیه‌ی خاکستری رنگ نشان‌دهنده‌ی مفهوم ضریب پری است. ۹۶

شکل ۴-۶: نمونه‌ای داده‌برگ چند ماژول خورشیدی با توان‌های متفاوت محصول شرکت کندین سولار. ۹۸

www.ketab.ir

شکل ۴-۷: واحدهای تشکیل دهنده‌ی صفحه‌های فتوولتائیک یک نیروگاه فتوولتائیک در کنار یکدیگر..... ۱۰۵

شکل ۴-۸: نمونه‌هایی از سازه‌های زمینی سلول‌های خورشیدی با اتصال به زمین به کمک پی پیش ساخته..... ۱۰۸

شکل ۴-۹: نیروگاه ۳/۸ مگاواتی خورشیدی احداث شده بر روی یک لندفیل بسته شده (لندفیل-سولار) در شهر شروزبری ایالت ماساچوست امریکا..... ۱۱۰

شکل ۴-۱۰: محل‌های پارک خودرو با سایبان خورشیدی..... ۱۱۲

شکل ۴-۱۱: الف) نمای شماتیکی از روسازی خورشیدی هوشمند دارای ال‌ای‌دی نمایشگر پیام خطر و علائم و خط‌کشی‌های ترافیکی ب) نمونه‌هایی از پروژه‌های اولیه‌ی راه خورشیدی اجرا شده‌ی غیرهوشمند..... ۱۱۵

شکل ۴-۱۲: نمونه‌هایی از ردیف‌های قرار داده شده‌ی پنل‌های خورشیدی بر روی سقف مسطح ساختمان‌ها..... ۱۱۸

شکل ۴-۱۳: نمونه‌هایی از نصب سلول خورشیدی به صورت BAPV بر روی بالکن یک ساختمان (در دو تصویر بالایی از پشت و جلوی سلول خورشیدی) و بر روی سقف شیبدار و دیوار ساختمان (دو تصویر پایینی)..... ۱۱۸

شکل ۴-۱۴: نمونه‌هایی از نصب سلول خورشیدی به صورت BIPV به عنوان نرده‌ی بالکن و سقف ساختمان (دو تصویر بالایی) و به عنوان دیوار ساختمان (دو تصویر پایینی)..... ۱۱۹

شکل ۴-۱۵: نمونه‌هایی از نصب سلول‌های خورشیدی نیروگاه خورشیدی بر روی آب (دو تصویر بالایی) و نمای نمونه‌ای از سامانه‌های نگهدارنده‌ی سلول خورشیدی بر روی آب به صورت شناور (دو تصویر پایینی)..... ۱۲۱

شکل ۴-۱۶: انواع تابش پرتوهای نور خورشید که به سطح پنل خورشیدی می‌رسند..... ۱۲۴

شکل ۴-۱۷: نمونه‌هایی از دستگاه آفتاب‌سنج یا پیرانومتر..... ۱۲۵

شکل ۴-۱۸: زاویه انحراف زمین و وضعیت زمین نسبت به تابش خورشید در حدود آذرماه-دی‌ماه (اوایل زمستان برای نیم‌کره شمالی)..... ۱۲۶

شکل ۴-۱۹: نحوه‌ی تغییر زاویه‌ی تابش خورشید بر روی کره‌ی زمین در طول سال بر اثر وجود زاویه انحراف در محور زمین و حرکت آن به دور خورشید..... ۱۲۸

www.ketab.ir

شکل ۴-۲۰: مفهوم زاویه‌های ارتفاع خورشید، زاویه اوج، زاویه انحراف خورشید و راستای افق دلخواه یا همان عرض جغرافیایی محل موردنظر به صورت شماتیک بر روی کره‌ی زمین..... ۱۳۳

شکل ۴-۲۱: خلاصه‌ی کلی زاویه‌های آزیموث، زاویه ارتفاع خورشید و زاویه اوج از دیدگاه یک مشاهده‌گر بر روی زمین..... ۱۳۴

شکل ۴-۲۲: مفهوم AM که از تقسیم مقدار طول Y به مقدار طول X قابل یافتن است..... ۱۳۵

شکل ۴-۲۳: نحوه‌ی محاسبه‌ی AM به کمک یک مانع و فرمول ۴-۲۳..... ۱۳۵

شکل ۴-۲۴: منحنی مسیر حرکت تابش خورشید در آسمان با ساعت خورشیدی در نقطه‌ای از تهران که از نرم‌افزار PVSYST دریافت شده است..... ۱۳۶

شکل ۴-۲۵: منحنی مسیر حرکت خورشید در آسمان با ساعت محلی در نقطه‌ای از تهران که از نرم افزار PVSYST دریافت شده است..... ۱۳۷

شکل ۴-۲۶: نمونه‌هایی از سامانه‌های خورشیدی با ردیاب دو-محوره..... ۱۳۸

شکل ۴-۲۷: نمونه‌هایی از سامانه‌های خورشیدی با ردیاب تک-محوره..... ۱۳۹

شکل ۴-۲۸: پارامترهای موردنظر در فرمول ۴-۲۴ برای محاسبه‌ی فاصله‌ی مناسب بین ردیف‌های پنل‌ها..... ۱۴۳

شکل ۴-۲۹: طرح اجزای تشکیل‌دهنده‌ی سامانه‌های فتوولتائیک متصل به شبکه..... ۱۴۶

شکل ۴-۳۰: طرح اجزای تشکیل‌دهنده‌ی سامانه‌های فتوولتائیک مستقل از شبکه..... ۱۵۵

شکل ۴-۳۱: نمونه‌های شماتیک (تصویر بالا) و واقعی (تصویر پایین) از سامانه‌های خورشیدی هایبرید از دسته‌ی اول که منابع تولیدکننده‌ی مختلف برق را برای فراهم نمودن برق متناوب بدون قطعی ترکیب می‌کند..... ۱۵۷

شکل ۵-۱: الف) نمونه‌ی شماتیک از رشد دادن دانه‌ی کریستالی در کوره‌ی CZ برای تولید شمش خالص سیلیکون. ب) نمونه‌های واقعی از شمش‌های بدست آمده به کمک فرآیند CZ با قطرهای مختلف ج) نمونه شمش سیلیکون برش داده شده برای ورقه ورقه نمودن و تولید ورقه سیلیکون موردنیاز برای ساخت سلول خورشیدی مونوکریستال..... ۱۶۹

شکل ۵-۲: نمونه‌ای پنل خورشیدی مونوکریستال که یکی از سلول‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن بزرگ نمایی شده است..... ۱۷۰

www.ketab.ir

شکل ۵-۳: نمونه‌ای شماتیک از فرآیند رشد شمش سیلیکون تک‌کریستالی خالص به روش FZ ۱۷۲

شکل ۵-۴: الف) بلوک پالی‌کریستال بدست آمده از فرآیند ذوب سیلیکون ب) برش بلوک سیلیکونی بدست آمده به قطعه‌های کوچک‌تر ج) قطعه‌های سیلیکونی کوچک‌تر آماده برای ورقه ورقه نمودن د) ورقه‌ی سیلیکونی پالی‌کریستال بدست آمده از ورقه ورقه نمودن قطعه‌های بزرگ سیلیکون پالی کریستال..... ۱۷۳

شکل ۵-۵: نمونه‌ای پنل خورشیدی پالی‌کریستال که یکی از سلول‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن بزرگ نمایی شده است..... ۱۷۴

شکل ۵-۶: نمونه‌ای از سلول خورشیدی مونوکریستال و پالی‌کریستال در کنار یکدیگر برای مقایسه ی شکل آن‌ها ۱۷۵

شکل ۵-۷: شماتیکی از ترتیب فرآیند تولید سلول‌های خورشیدی برمبنای مواد سیلیکون آمورف ۱۸۱

شکل ۵-۸: الف) نحوه‌ی تغییرات ولتاژ نسبت به زمین در هنگام استفاده از اینورتر ترانسفورماتوردار ب) نحوه‌ی تغییرات ولتاژ نسبت به زمین در هنگام استفاده از اینورتر بدون ترانسفورماتور (حالت شناور)..... ۱۸۶

شکل ۵-۹: الف) تست الکترولومینانس یک پنل خورشیدی قبل (پنل سمت راست تصویر) و بعد (پنل سمت چپ تصویر) از تست PID که در این پنل منجر به کاهش توان در حدود ۳۲ درصد شده که این پنل در تست PID مردود شده است..... ۱۸۸

شکل ۵-۱۰: مقطع عرضی سلول خورشیدی CIGS که لایه‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن نشان داده شده است..... ۱۸۹

شکل ۵-۱۱: مقطع عرضی سلول خورشیدی CDTE که لایه‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن نشان داده شده است..... ۱۹۰

شکل ۵-۱۲: شماتیک سلول‌های خورشیدی حساس‌شده به رنگدانه ۱۹۳

شکل ۵-۱۳: طیف جذب نور نقاط کوانتمی CDSE با قطرهای متفاوت..... ۱۹۹

شکل ۵-۱۴: جدایش بار در یک اکسایتون به بارهای آزاد الکترون و حفره در محل اتصال دونور-اکسپتور..... ۲۰۱

www.ketab.ir

شکل ۵-۱۵: نمای شماتیک یک سلول خورشیدی پلیمری معکوس (الف) و سلول خورشیدی پلیمری معمول (ب)..... ۲۰۳

شکل ۵-۱۶: نمای شماتیک یک سلول خورشیدی چندپیوندی اتصال ناهمگون (الف) و سلول خورشیدی تک‌پیوندی (ب)..... ۲۰۳

شکل ۵-۱۷: ساختار شیمیایی پلیمرهای کونژوگه‌ای که معمولاً در سلول‌های خورشیدی پلیمری مورد استفاده قرار می‌گیرند..... ۲۰۵

شکل ۵-۱۸: . روند مقدار راندمان تبدیل توان در OPVCها طی سالیان گذشته..... ۲۰۷

شکل ۵-۱۹: . ساختار پروسکایت: در شکل بالا منظور از A کاتیون‌های مونوولنت (MONOVALENT)، B سرب و X ید می‌باشد..... ۲۰۸

شکل ۵-۲۰: الف) تابش و ضرایب جذب در مقابل طول موج ب) نمایش شماتیک یک سلول خورشیدی دو اتصالی..... ۲۱۱

شکل ۵-۲۱: راندمان سلول‌های خورشیدی چندپیوندی به عنوان تابعی از تعداد اتصالات P-N در سلول موردنظر..... ۲۱۲

شکل ۵-۲۲: ابزاراهای فناورانه و فرآیندهای مورد استفاده برای طراحی سلول‌های خورشیدی چندپیوندی III-V جدید..... ۲۱۳

شکل ۵-۲۳: آرایش‌های مختلف لانه‌زنبوری اتم‌های کربن بسته به ابعادشان..... ۲۱۵

شکل ۵-۲۴: ساختار شیمیایی گرافن اکسید..... ۲۱۷

شکل ۵-۲۵: بخش (A) نشان‌دهنده‌ی وابستگی مقاومت ورقه‌ای به ضخامت فیلم و بخش (B) نشان‌دهنده‌ی وابستگی انتقال نور خورشیدی در کل طیف به مقاومت ورقه‌ای برای موادهای مختلف می‌باشد..... ۲۲۰

شکل ۵-۲۶: بخش (A) ارائه‌ی شماتیک و ساختار باند یک PSC با ساختار GLASS/ITO/ZNO/P3HT:PCBM/AU/PEDOT:PSS/G را نشان می‌دهد و بخش (B) مشخصات نمودار J-V (نمودار ولتاژ-چگالی جریان) اندازه‌گیری شده از دو طرف یک PSC با الکترود گرافن رویی و لایه‌های فعال با ضخامت متفاوت را نشان می‌دهد..... ۲۲۱

شکل ۵-۲۷: ارائه‌ی شماتیک یک PSC با "گرافن عامل‌دار شده / (P3OT)" به عنوان لایه‌ی فعال. ۲۲۲

www.ketab.ir

شکل ۵-۲۸: بخش (A) دیاگرام انرژی سلول خورشیدی با اتصال شاتکی نیمه‌هادی/گرافن تحت نور را نشان می‌دهد و بخش (B) نمای شماتیک سلول خورشیدی با اتصال شاتکی مبتنی بر گرافن را ارائه می‌دهد. حفره‌ها (+H) و الکترون‌های (-E) فتوتولید شده (تولید شده به کمک خاصیت فتوولتائیک) به ترتیب به سمت لایه‌های گرافن و نیمه‌هادی هدایت می‌شوند..... ۲۲۵

شکل ۵-۲۹: بخش (A) نمودار درصد انتقال نوری در طول موج‌های مختلف نور در دو مواد را نشان می‌دهد و بخش (B) میکروگرافی نیروی اتمی را نشان داده و بخش (C) مشخصات نمودار J-V (نمودار ولتاژ-چگالی جریان) کامپوزیت P3HT/SWCNT هنگامی که به عنوان لایه‌ی HTL استفاده می‌شود را نشان می‌دهد. ۲۳۰

شکل ۵-۳۰: بهترین راندمان‌های تحقیقاتی سلول‌ها به تفکیک انواع فناوری‌های بکار برده شده در آنها در سال‌های مختلف برگرفته از گزارش آزمایشگاه انرژی‌های تجدیدپذیر ملی ایالات متحده‌ی امریکا (NREL)..... ۲۳۵

شکل ۵-۳۱: اصول متمرکز کردن نور با استفاده از لنز فرسنل (چپ) و آینه‌ی سهموی (راست). ۲۳۸

شکل ۵-۳۲: جابجایی منحنی مشخصه‌ی I/V سلول خورشیدی برای تابش مضاعف دو برابری. علاوه بر جریان اتصال کوتاه، ولتاژ مدار باز و در نتیجه ولتاژ MPP نیز افزایش می‌یابد..... ۲۳۸

شکل ۵-۳۳: نمونه‌هایی از سامانه‌های سلول خورشیدی با متمرکزکننده یا اصطلاحاً CPVها. مسیر اشعه‌های تابش و عکس ماژول متمرکزکننده‌ی FLATCON (دو تصویر سمت چپ) و سامانه آینه‌ی سهموی (تصویر سمت راست)..... ۲۴۰

شکل ۵-۳۴: الف) طرح شماتیک یک پنجره‌ی فتوولتائیک شامل سه لایه که دو لایه‌ی آن شیشه‌ای و در لایه‌ی میانی آن از متمرکزکننده‌ی لومینسنت به جای شیشه استفاده شده است. در حاشیه‌ی پنل پنجره از سلول فتوولتائیک استفاده شده است. ب) تصویر یک متمرکزکننده‌ی لومینسنت منعطف ساخته شده از نانوکریستال‌های سیلیکون، تحت روشنایی مادون قرمز. ج) نمونه‌هایی از امکان یکپارچه‌سازی متمرکزکننده‌های لومینسنت با فضاهای عمومی مانند سایبان پارکینگ‌ها یا ایستگاه-های اتوبوس یا حائل‌های صوتی اتوبان‌ها. د) تصویر گرفته شده از بخشی از یک پنجره‌ی سه لایه با لایه‌ی میانی متمرکزکننده‌ی خورشیدی لومینسنت تحت روشنایی محیطی. ۲۴۲

شکل ۶-۱: نمودار جریان-ولتاژ و مدار یک مدل ماژول خورشیدی کوچک که از سه سلول متصل به صورت موازی تشکیل شده و ولتاژها در تمامی سلول‌ها برابر و جریان‌ها جمع شده‌اند. ۲۴۷

www.ketab.ir

شکل ۶-۲: سایه‌اندازی بر روی یک سلول از سه سلول ماژول فرضی و تأثیر آن بر روی کاهش جریان کلی مدار که نتیجتاً مشاهده می‌شود، جریان منحنی مشخصه کلی به همان میزان کاهش جریان سلول سایه‌دار می‌باشد..... ۲۴۸

شکل ۶-۳: نمودار جریان-ولتاژ و مدار یک مدل ماژول خورشیدی کوچک که از سه سلول متصل به صورت سری تشکیل شده و جریان‌ها در تمامی سلول‌ها برابر و ولتاژها جمع شده‌اند..... ۲۴۹

شکل ۶-۴: سایه‌اندازی بر روی یک سلول در ماژول فرضی و تأثیر آن بر روی کاهش نقطه توان حداکثر کلی مدار که نتیجتاً مشاهده می‌شود، سایه‌اندازی جزئی بر روی یک سلول با اتصال سری، باعث شده تا سلول سایه‌دار به عنوان گلوگاه عمل کند و جریان کلی را به شدت کاهش دهد.... ۲۴۹

شکل ۶-۵: ماژول خورشیدی با ۳۶ سلول که توان آن به طور بسیار زیادی، به خاطر سایه‌اندازی تنها یک سلول، با افت شدیدی روبرو شده است..... ۲۵۰

شکل ۶-۶: ماژول خورشیدی با ۳۶ سلول و دیود بایپس بر روی هرکدام که در این حالت افت توان در هنگام سایه‌اندازی بر روی هر کدام از سلول‌ها، حداقل می‌گردد..... ۲۵۱

شکل ۶-۷: منحنی مشخصهٔ ماژول خورشیدی ارائه شده در شکل ۶-۶ با تعداد دیودهای بایپس مختلف که نشان دهنده‌ی تأثیر قوی سایه بر روی توان ماژول در هنگام کمتر بودن تعداد دیودها است..... ۲۵۲

شکل ۶-۸: ماژول خورشیدی با ۳۶ سلول بدون دیود بایپس، که سلول سایه‌دار مانند یک بار عمل می‌کند که توسط ۳۵ سلول باقیمانده به طور گسترده‌ای گرم می‌شود..... ۲۵۳

شکل ۶-۹: ماژول خورشیدی با ۳۶ سلول و دو دیود بایپس که ولتاژ سلول سایه‌دار در مقایسه با شکل ۶-۸ به وضوح فرو می‌رود تا گرمایش کاهش یابد..... ۲۵۳

شکل ۶-۱۰: ساختار یک نیروگاه خورشیدی با چندین استرینگ..... ۲۵۵

شکل ۶-۱۱: ساختار یک نیروگاه فتوولتائیک معمول متصل به شبکه‌ی برق؛ خروجی استرینگ‌های جداگانه در جعبه اتصال تولیدکننده‌ی برق خورشیدی تجمیع شده و از طریق خط اصلی به اینورتر متصل می‌شوند..... ۲۵۵

شکل ۶-۱۲: فضای داخلی جعبه اتصال نیروگاه‌های مدرن. علاوه بر اجزای معمول مانند سوئیچ اصلی DC، فیوزهای استرینگ‌ها و محافظ ولتاژ بیش از اندازه، همچنین دارای ابزار الکترونیکی برای نظارت از راه دور استرینگ‌ها است..... ۲۵۶

www.ketab.ir

شکل ۶-۱۳: دسته‌بندی رابط خورشیدی شرکت MULTICONTACT. مدل MC-4 دارای یک قفل مکانیکی برای جلوگیری از قطع شدن تصادفی است. ۲۵۸

شکل ۶-۱۴: تبدیل‌های ۲ به ۱ (۲ نری-۱مادگی) و ۱ به ۲ (۱نری-۲مادگی) رابط‌های خورشیدی ۲۵۹

شکل ۶-۱۵: عملکرد بار اهمی در ماژول خورشیدی، که در زمان وقوع تابش خورشیدی نصف مقدار STC یعنی W / M^2 ۵۰۰، نقطه‌ی عملکردی (OP 2) با نقطه‌ی بیشینه توان MPP_2 فاصله دارد. ۲۶۲

شکل ۶-۱۶: به خاطر کاربرد مبدل DC / DC، ولتاژ در مولد برق خورشیدی می‌تواند به طور مستقل از ولتاژ بار انتخاب گردد. به عنوان مثال، می‌توان آن را ثابت نگه داشت. ۲۶۲

شکل ۶-۱۷: مدل ساده مبدل باک. در خروجی، نتیجه به دلیل مدولاسیون عرض پالس در میانگین زمان، کاهش ولتاژ V_2 نسبت به V_1 است. ۲۶۳

شکل ۶-۱۸: اساس MPPT که توان خروجی را به کمک اندازه‌گیری جریان و ولتاژ با تغییر همزمان عامل دوره‌ی کار، بیشینه می‌کند. ۲۶۴

شکل ۶-۱۹: اتصالات اجزای یک سامانه فتوولتائیک متصل به شبکه برق عمومی. ۲۶۵

شکل ۶-۲۰: طرح شماتیک قرارگیری اینورتر سنترال (الف) اینورتر استرینگ (ب) اینورتر ماژول یا میکرواینورتر (ج) در نیروگاه خورشیدی. ۲۶۷

شکل ۶-۲۱: چیدمان کلی اینورتر بدون ترانسفورماتور. اینورتر علاوه بر تزریق به شبکه، باید تعدادی از وظایف دیگر مانند ردیابی MPP، اندازه‌گیری جریان باقی‌مانده و نظارت بر شبکه را نیز انجام دهد. ۲۶۹

شکل ۶-۲۲: چیدمان کلی اینورتر با ترانسفورماتور اصلی. سیگنال ولتاژ دریافت شده از پل PWM توسط ترانسفورماتور به ولتاژ اصلی شبکه تبدیل می‌شود. ۲۷۱

شکل ۶-۲۳: ترتیب قرارگیری اینورتر چند رشته‌ای برای اتصال مولدهای استرینگ‌های مختلف. سه ورودی جداگانه با MPPT کنترل شده، سپس به یک مسیر ولتاژ مستقیم مشترک تزریق می‌شوند. ۲۷۳

شکل ۶-۲۴: مفهوم MASTER-SLAVE که با تابش کل کم بر روی نیروگاه خورشیدی، یک اینورتر به MASTER تغییر یافته و کار می‌کند. اگر انرژی خورشیدی افزایش یابد، اینورترهای SLAVE پی در پی، بخش‌های دیگری از کار را بر عهده می‌گیرند. ۲۷۳

www.ketab.ir

شکل ۶-۲۵: چیدمان سامانه فتوولتائیک مستقل از شبکه. باتری شارژ شده از طریق یک کنترل-کننده‌ی شارژ و قبل آن توسط ماژول‌های خورشیدی، برق را برای مصرف‌کننده فراهم می‌کند. اینورتر مخصوص سامانه مستقل از شبکه برای مصرف‌کنندگان AC (به عنوان مثال یخچال) قرار داده می-شود. ۲۷۶

شکل ۶-۲۶: ساختار اصلی باتری اسید سرب. هنگام تخلیه (الف)، لایه‌ای از سولفات سرب ($PBSO_4$) در هر دو الکترود تشکیل می‌شود که در هنگام شارژ (ب) مجدداً تجزیه می‌گردد. ۲۷۸

شکل ۶-۲۷: طول عمر انواع باتری‌های سرب-اسید بر مبنای تعداد چرخه‌ی تخلیه و شارژ. هرچه باتری عمیق‌تر تخلیه شود، تعداد چرخه‌های شارژ و دشارژ کمتری تا زمانی که به پایان عمر خود برسد، می‌تواند انجام دهد. ۲۷۹

شکل ۶-۲۸: چیدمان اصلی الکترودهای مختلف باتری‌ها: باتری‌های بلوکی (BLOCK BATTERIES) و صفحه تقویت‌شده (REINFORCED PLATE BATTERIES) با استفاده از روکش محافظ نفوذپذیر از الکترولیت، ماده فعال را در جای خود نگه می‌دارند. ۲۸۱

شکل ۶-۲۹: وابستگی ظرفیت یک باتری صفحه تقویت‌شده (مدل BLOCK SOLAR POWER 200 از شرکت سازنده‌ی HOPPECKE) به مقدار جریان تخلیه. ۲۸۲

شکل ۶-۳۰: پیشرفت ولتاژ باتری ۱۲ ولت هنگام شارژ و دشارژ. حد مجاز پایین، ولتاژ پایان دشارژ است در حالی که حد مجاز بالا، ولتاژ پایان شارژ است. ۲۸۳

شکل ۶-۳۱: قاعده‌ی کاری یک سلول نیکل-کادمیوم. ۲۸۵

شکل ۶-۳۲: شماتیک یک باتری NI-MH. ۲۸۸

شکل ۶-۳۳: شماتیک یک باتری LI-ION. ۲۹۰

شکل ۶-۳۴: شماتیک یک باتری وانادیوم-ریداکس. ۲۹۲

شکل ۶-۳۵: قاعده‌ی کار یک باتری NAS. ۲۹۴

شکل ۶-۳۶: ساختار یک باتری سدیم-گوگرد. ۲۹۵

شکل ۶-۳۷: خانه‌ی اقتصادی خودپایدار با سلول خورشیدی و ذخیره‌ی هیدروژن در دانشگاه KEBANGSAAN مالزی. ۲۹۶

شکل ۶-۳۸: اصول کنترل‌کننده‌ی شارژ سری. سوئیچ S_1 هنگام رسیدن به ولتاژ پایان شارژ، جریان شارژ را قطع می‌کند. سوئیچ S_2 برای محافظت در برابر دشارژ عمیق باتری عمل می‌کند. ۲۹۸

www.ketab.ir

شکل ۶-۳۹: اصول کنترل‌کننده‌ی شارژ موازی. اگر جریان شارژ قطع شود، ترانزیستور S_1 مولد خورشیدی را اتصال کوتاه می‌کند. ۲۹۹

شکل ۶-۴۰: اصول کنترل‌کننده‌ی شارژ با کنترل‌کننده‌ی MPP. ۳۰۰

شکل ۶-۴۱: دو نوع کنترل‌کننده‌ی شارژ خورشیدی شرکت STECA. مدل PR 0505 از طریق دو LED وضعیت شارژ باتری را نشان می‌دهد، در حالی که مدل PR 3030 دارای یک نمایشگر گرافیکی است که یک نظارت هوشمند شارژ را نشان می‌دهد. ۳۰۱

www.ketab.ir

پیشگفتار

بدون شک، انرژی بزرگ‌ترین چالش و نیاز بشر از دیرباز تاکنون بوده است. انرژی نیاز اولیه و اصلی توسعه در تمامی جوامع می‌باشد. اما نکته‌ای که انسان طی سالیان اخیر از آن غافل گردید، نحوه‌ی تولید و بهره‌برداری از منابع انرژی می‌باشد. پرواضح است که در زندگی حال حاضر، سوخت‌های فسیلی به عنوان منابع رایگانی که در اختیار انسان قرار داشته، مشکلات متعددی برای سلامت انسان و محیط‌زیست به وجود آورده است.

غفلت بشر از نحوه‌ی تأمین انرژی موردنیاز خود طی سالیان گذشته منجر به رویارویی با مشکلات عدیده‌ای شده است که در حال حاضر در تلاش مقابله با آن و تأمین نیاز خود به انرژی از طریق منابع پاک است. انرژی خورشیدی از جمله‌ی این راه‌حل‌های پاک برای تأمین انرژی موردنیاز انسان برای پیشرفت و توسعه و کاهش آثار مخرب زیست‌محیطی است. از پیدایش اولین سلول خورشیدی در سال ۱۸۳۹ تاکنون، دانشمندان همواره تلاش نموده‌اند تا راندمان بهره‌برداری از تابش خورشید را به طرق مختلف بهبود بخشیده و افزایش دهند. امروزه انرژی خورشید به عنوان عظیم‌ترین منبع انرژی پاک شناخته شده و تمامی کشورهای پیشرفته‌ی جهان در حال تلاش برای بهره‌برداری حداکثری از این منبع بی‌پایان و پاک هستند تا با مشکلات محیط‌زیستی بوجود آمده در پی استفاده از سوخت‌های فسیلی طی سالیان اخیر، مقابله‌ی جدی نمایند.

www.ketab.ir

هدف از نگارش این کتاب آن بوده است تا با انواع روش‌های بهره‌برداری از انرژی خورشیدی آشنا شده و هریک از ما تا جایی که در توانمان هست، این روش تأمین نیاز به انرژی را در پیش گرفته یا گسترش داده یا به همگان معرفی نماییم، تا بتوان گامی بزرگ در راستای کاهش مصرف سوخت فسیلی و آثار مخرب ناشی از آن برداشت. کشور عزیزمان ایران از تابش خورشیدی بسیار مناسبی برخوردار می‌باشد و با توجه جدی به آن می‌توان همانند سوخت‌های فسیلی، بهره‌برداری از انرژی خورشیدی را در ایران گسترش داد. کشورهای مجاور ایران همچون هندوستان، عربستان سعودی و ... با وجود دارا بودن منابع سوخت فسیلی عظیم، به مسئله‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه انرژی خورشیدی توجه ویژه داشته و از آن در عین حفظ محیط‌زیست به واسطه‌ی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، درآمدزایی داشته و در حال کاهش وابستگی خود به منابع تجدیدناپذیر و مخرب سوخت فسیلی هستند. با این اوصاف و شرایط جغرافیایی بسیار مناسب ایران، متأسفانه در امر انرژی‌های تجدیدپذیر به نسبت کشورهای همسایه عقب بوده و نیازمند تلاش بیشتر می‌باشیم.

کتاب پیش‌رو با نگاهی نو نگارش گردیده و سیر تکاملی بهره‌برداری از انرژی خورشیدی را از دیرباز تاکنون مرحله به مرحله از زمان استفاده‌های حرارتی از تابش خورشید تا زمان کشف مواد

فتوولتائیک طی نموده است. این دسته‌بندی و ترتیب باعث می‌گردد تا مطالعه‌کنندگان گرامی دیدی وسیع نسبت به روش‌های بهره‌برداری از انرژی خورشیدی بیابند. این کتاب با بهره‌برداری از منابع مختلف به روز و معتبر جهانی تألیف گردیده است و تلاش گردیده تا راهنمایی جامع را در اختیار مطالعه‌کنندگان گرامی قرار دهد. در این کتاب به جزئیات و نحوه‌ی بهره‌برداری از سلول‌های فتولتائیک با توجه به اهمیت آن‌ها به عنوان پرمصرف‌ترین روش بهره‌برداری از تابش خورشید، نگاهی ویژه داشته و سعی گردیده تا به اکثر فناوری‌ها و سامانه‌های روز دنیا تا لحظه‌ی نگارش کتاب پرداخته شود. در متن کتاب سعی گردیده اکثر اصطلاحات فنی مربوط به سایر رشته‌ها که مربوط به موضوع اصلی کتاب نیستند، شرح داده شوند اما در برخی موارد، با توجه به چهارچوب متن کتاب امکان شرح بیشتر نبوده و با توجه به قرار دادن کلیدواژه‌ی انگلیسی و فارسی اصطلاح موردنظر، از مطالعه‌کنندگان گرامی انتظار می‌رود تا برای درک بهتر مفهوم متن، خود نیز در منابع داده‌های اینترنتی تحقیق و جستجو نمایند.

امید است اثر پیش‌رو در گسترش دانش مهندسین گرامی در زمینه‌ی انرژی خورشیدی مؤثر واقع گردد و با همکاری عموم مردم، بهره‌برداری از انرژی‌های بی‌پایان پاک، به ویژه انرژی خورشیدی، در کشور عزیزمان ایران گسترش یابد. علاوه بر حفظ محیط‌زیست برای خود، می‌بایست منابع جهان را برای نسل‌های آینده نیز حفظ نمود. این را در نظر داشته باشید که اگر در طول سالیان متمادی، نیاکان ما تا حدی آینده‌نگر بودند و در بهره‌بردای از منابع محیط زیست، توجه و دقت بیشتری داشتند، همچنین صرفاً به توسعه به هر نحوی (توسعه‌ی ناپایدار به قیمت جان انسان‌ها و محیط-زیست) نمی‌پرداختند، امروزه نیز مشکلات کمتری برای نسل حاضر بوجود می‌آمد. بر این اساس، می‌بایست بکوشیم تا مشکلاتی که برای این نسل به جهت غفلت پیشینیان در توسعه پیش آمده، مجدداً با پدیده‌ای عظیم‌تر برای آیندگان تکرار نگردد.

www.ketab.ir