معرفی و طراحی سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک

(به زبان ساده)

مؤلفین:

مهندس حنیف فروزانی

مهندس حسین فروزانی

فهرست مطالب

فصل اول مقدمه و معرفی سیستم های خورشیدی و تعاریف اولیه‌ی آن‌ها ۱۳

۱-۱ انرژی و منابع انرژی ۱۴

۱-۲ خورشید و انرژی خورشیدی ۱۵

۱-۳ عرض جغرافیایی و طول جغرافیایی ۱۹

۱-۴ تابش و شدت تابش خورشید ۲۲

۱-۵ نیروگاه خورشیدی فتوولتاییک ۲۶

۱-۶ مزیت نیروگاه‌های خورشیدی فوتوولتاییک ۲۸

۱-۷ انواع سیستم‌های فتوولتاییک ۳۰

۱-۷-۱ سیستم های جدا از شبکه PV ۳۰

۱-۷-۲ سیستم های متصل به شبکه PV ۳۱

۱-۷-۲-۱ دسته‌بندی نیروگاه‌های متصل به شبکه ۳۶

۱-۷-۲-۲ مراجع مربوطه برای هماهنگی جهت ساخت نیروگاه‌های خورشیدی متصل به شبکه در ایران ۴۶

۱-۸ فضای مورد نیاز برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی: ۴۶

فصل دوم سیستم های خورشیدی فوتوولتاییک و معرفی اجزای آن‌ها ۴۸

۲-۱ اجزای سیستم های فوتوولتاییک ۴۹

۲-۲ اجزای سیستم فوتوولتاییک براساس انواع سیستم ها ۵۲

۲-۲-۱ سیستم‌های جدا ازشبکه ۵۲

۲-۲-۲ سیستم های متصل به شبکه ۵۶

۲-۲-۳ سیستم های PV هیبریدی ۶۳

۲-۲-۳-۱ سیستم های هیبریدی نوع A ۶۵

۲-۲-۳-۲ سیستم های هیبریدی نوع B ۶۶

فصل سوم اجزا و تجهیزات مورد استفاده در سیستم های خورشیدی فوتوولتاییک ۶۹

۳-۱ پنل‌های خورشیدی ۷۰

۳-۲ پنل‌های خورشیدی نسل اول ۷۰

۳-۲-۱ پنل‌های خورشیدی مونوکریستال ۷۰
۳-۲-۲ پنل‌های خورشیدی پلی‌کریستال ۷۹
۳-۳ پنل‌های خورشیدی نسل دوم ۸۶
۳-۴ پنل‌های خورشیدی نسل سوم ۹۵
۳-۴-۱ سلول‌های خورشیدی بیوهیبریدی PV ۹۵
۳-۴-۲ سلول‌های خورشیدی کادمیوم تلوراید PV (CdTe) ۹۶
۳-۴-۳ سلول‌های خورشیدی متمرکز PV ۹۷
۳-۵ مقایسه سه نسل از پنل‌های خورشیدی PV ۱۰۱
۳-۶ اجزای پنل‌های خورشیدی PV و لایه‌های محافظتی ۱۰۵
۳-۶-۱ لایه‌ی زیرین: ۱۰۷
۳-۶-۲ لایه‌ی میانی: ۱۰۸
۳-۶-۲-۱ ویژگی‌های لایه میانی EVA : ۱۰۹
۳-۶-۳ لایه‌ی بالا (زیرلایه‌ی پوششی زیرین): ۱۰۹
۳-۶-۳-۱ ویژگی‌های لایه‌ی بالا: ۱۱۱
۳-۶-۳-۲ معایب لایه بالا: ۱۱۲
۳-۷ وزن پنل‌های خورشیدی سنتی ۱۱۴
۳-۸ بدست‌آوردن فضای تقریبی نیروگاه ازمجموع وزن پنل‌ها ۱۱۹
۳-۹ معیارهای اندازه‌گیری شیب‌های ساختمان ۱۳۰
۳-۹-۱ روش تبدیل زاویه به گام و تبدیل گام به زاویه برای شیب ساختمان ۱۳۰
۳-۹-۲ ابزارهای اندازه‌گیری برای محاسبه‌ی شیب ساختمان ۱۳۱
۳-۱۰ زیرلایه‌ی پوششی بالا (لایه‌ی اضافه شده به لایه‌ی بالا) ۱۳۶
۳-۱۱ خروجی پنل‌های خورشیدی PV و جعبه‌ی اتصال ۱۳۹
۳-۱۲ برچسب پنل‌های خورشیدی PV ۱۴۳
۳-۱۳ مبدل‌های DC به AC موسوم به اینورتر ۱۴۴
۳-۱۳-۱ دسته‌بندی اینورترها بسته به نوع شکل موج خروجی ۱۴۴
۳-۱۳-۲ دسته‌بندی اینورترها بسته به نوع اتصال به شبکه ۱۴۷
۳-۱۳-۳ اینورترهای متصل به شبکه‌ی مرکزی ۱۵۰

۳-۱۳-۴ اینورترهای متصل به شبکه‌ی رشته‌ای ۱۵۱
۳-۱۳-۵ میکرو اینورترهای متصل به شبکه ۱۵۲
۳-۱۴ نقطه‌ی ماکزیمم توان و ردیابی آن ۱۵۵
۳-۱۴-۱ منحنی I-V سلول‌های خورشیدیِ PV ۱۵۶
۳-۱۵ جایگاه MPPT در سیستم خورشیدی PV متصل به شبکه ۱۵۹
۳-۱۶ کنترل شارژ ۱۶۷
۳-۱۷ انواع قطع کننده و کلیدهای سیستم های فتوولتاییک ۱۶۹
۳-۱۸ باطری در سیستم‌های خورشیدی PV ۱۷۱
فصل چهارم نکات مهم در طراحی نیروگاه‌های خورشیدی PV ۱۷۲
۴-۱ طراحی نیروگاه خورشیدی جدا از شبکه (منفصل از شبکه) ۱۷۳
۴-۱-۱ محاسبه ضریب اطمینان بیشتر و تلفات کمتر اجزای سیستم PV و اضافه کردن هریک از آن‌ها به مسئله در زمان طراحی سیستم ۱۷۴
۴-۱-۱-۱ محاسبات ظرفیت کل باتری‌ها در سیستم‌های جدا ازشبکه ۱۷۵
۴-۱-۱-۲ محاسبات تلفات سیستم در زمان شارژ باتری ۱۷۵
۴-۱-۱-۳ محاسبه تلفات مصرف‌کننده‌ها ۱۷۶
۴-۱-۱-۴ نکات لازم برای کنترل‌شارژ و اینورتر و محاسبه‌ی ضریب اطمینان ۱۸۶
۴-۱-۱-۵ بازده‌ی کنترل‌شارژ ۱۹۴
۴-۱-۱-۶ بازده‌ی اینورترها ۱۹۵
۴-۱-۱-۷ دیگر تلفات اجزای سیستم ۱۹۵
۴-۲ ساعات اوج خورشیدی PSH و محاسبه‌ی آن ۱۹۵
۴-۲-۱ رابطه PSH و زاویه تابش بر عملکرد پنل‌های خورشیدی PV ۲۰۱
۴-۳ اثر دما بر پنل‌ها و سیستم‌های PV و محاسبه‌ی‌آن ۲۱۱
۴-۳-۱ ضریب کاهش توان بر اثر دما: ۲۱۶
۴-۴ اثر آلودگی و گرد و خاک بر پنل‌های خورشیدی PV ۲۱۷
۴-۵ خطای سازنده‌ی پنل‌های خورشیدی PV ۲۱۷
۴-۶ نحوه‌ی اتصال آرایه‌ها و پنل‌های خورشیدی PV (اتصالات سری و موازی) و محاسبه‌ی حداقل تعداد پنل برای آرایه‌ها ۲۱۸

۴-۶-۱ حداقل فاصله‌ی بین آرایه‌های خورشیدی PV ۲۲۵
۴-۷ بهینه‌سازی مصرف و تولید: ۲۲۷
۴-۸ هوشمند سازی سیستم خورشیدی و اجزای آن ۲۳۰
۴-۹ طراحی نیروگاه خورشیدی متصل به شبکه و هیبریدی PV ۲۴۴
۴-۹-۱ روند طراحی سیستم‌های خورشیدی متصل به شبکه و هیبریدی ۲۴۶
مراجع ۲۴۸
کتاب‌های مرجع ۲۴۸
سایت‌های مورد استفاده ۲۴۸

پیشگفتار

در دنیای امروز نیاز به انرژی به صورت چشمگیری در حال افزایش است. این در حالی است که بعضی از منابع انرژی محدود است. منابع انرژی به دو صورت تجدید پذیر تجدید ناپذیر است. باتوجه به افزایش آهنگ مصرف انرژی در جهان، منابع انرژی محدود به شدت رو به کاهش است و دیر یا زود منابع انرژی تجدیدناپذیر به پایان خواهد رسید. بنابراین برای تامین انرژی به منابع جدید نیاز است.

یکی از منابع مهم و استراتژیک انرژی جهان سوخت های فسیلی بخصوص"نفت و گاز طبیعی" است. شاید بتوان گفت نفت و گاز ارزشمندترین منابع تجدیدناپذیر انرژی در جهان است. متاسفانه بیش از ۷۰ درصد نفت برای تامین انرژی و حمل و نقل مصرف می گردد و سهم ناچیزی از آن برای ساخت مواد با ارزشی همچون فرآورده های پتروشیمی، انواع داروها ، تجهیزات پزشکی، لوازم آرایش و ..... مورد استفاده قرار می گیرد. آیا بهتر نیست به جای خودروهایی با سوخت فسیلی از خودروهای برقی یا هیبریدی استفاده کرد؟ آیا بهتر نیست از منابع انرژی تجدیدپذیر بعنوان سوخت استفاده شود؟ آیا بهتر نیست مصرف منابع انرژی تجدید ناپذیر و محدود را به گونه ای مدیریت کرد تا برای نسل‌های بعدی باقی بماند؟ خودروها و صنایع مصرف کننده سوخت فسیلی نه تنها باعث به پایان رسیدن آن می شود بلکه سهم بسزایی در آلودگی محیط زیست ، تولید گازهای گلخانه ای و حتی ایجاد آلودگی صوتی دارد. چرا در نیروگاهها برای تولید برق هنوز از مشتقات نفتی، گاز و زغال سنگ استفاده می‌شود؟ آیا بهتر نیست انرژی مورد نیاز توربین‌های برقی را از آب، امواج دریا یا باد تامین کنیم؟ آیا بهتر نیست از منابعی استفاده کرد که به محیط زیست و طبیعت آسیب کمتری وارد شود ؟ با توجه به پیشرفت تکنولوژی آیا وقت آن نرسیده که منابع انرژی بصورت بهینه استفاده گردد ؟ آیا بهتر نیست از منابعی استفاده شود که باعث آب شدن یخچال‌های طبیعی و گرم شدن زمین نگردد؟ آیا باید همچنان به استفاده از منابع انرژی تجدیدناپذیر ادامه دهیم در حالی که می‌دانیم در جهان منابع انرژی تجدیدپذیر وجود دارد که می توان از آنها بهره جست ؟ آیا دیگر وقت آن نرسیده که دنیا به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر، نامحدود و پاک روی آورد؟ پاسخ این سوالات را می‌توان در رویکرد تکنولوژی کشورهای پیشرفته‌ی صنعتی در حوزه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر جستجو کرد. بعضی از کشورها درحوزه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر فعالیت چشمگیری دارند، تاجایی که پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۲۲ حداقل بیش از

۵۰ درصد انرژی این کشورها از منابع تجدیدپذیر تامین می شود . این موضوع می‌تواند زنگ خطری برای کشورهای نفت‌خیز باشد که اقتصاد وابسته به فروش نفت دارند.

در ایران بعلت برخورداری از منابع نفتی وگازی فرآوان نسبت به سایر کشورهای جهان تمایل کمتری به تحقیق، توسعه در زمینه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد . این در حالی است که کشورمان دارای پتانسیل بالایی در حوزه منابع تجدیدپذیر متعدد از جمله انرژی خورشید است . میزان تابش خورشید در ایران در مقایسه با اکثر کشورهای اروپایی بیشتر است. اما تولید نیروگاه‌های خورشیدی در مقایسه با کشورهای پیشرفته‌ی اروپایی بسیار کم تر است. در فرآیند تولید انرژی نمی توان از هر روشی بهره جست بی آنکه استانداردهای زیست محیطی لحاظ گردد. علاوه بر رعایت استانداردها و انتخاب نیروگاهها با راندمان مناسب؛ توجه به منابع تجدیدپذیر پاک از اهمیت ویژه ای برخوردار است . انرژیی که بصورت پاک تولید می گردد تنها بخشی از اهداف پاکیزه گی محیط زیست را برآورده می کند . در این راستا، صنایع مصرف‌کننده‌ی سبز و پاک که آلودگی کمتری به محیط زیست وارد می‌کند نیز باید در نظر گرفته شود. صنایع و تجهیزات مصرف‌کننده باید منطبق بر استانداردهای محیط زیست (سبز) باشد. در ایران نه تنها از منابع پاک تجدیدپذیر کمتر استفاده می‌شود بلکه همچنان از تولید مصرف‌کننده‌های پاک (نظیر خودروهای برقی) بصورت انبوه خودداری می‌شود. این در حالی است که شرایط اقلیمی و جغرافیایی کشورمان موقعیت مناسبی برای استفاده از انرژی پاک خورشید در بیشترین نقاط ایران فراهم کرده است.

بطور کلی دو روش اصلی تولید برق از انرژی خورشید وجود دارد: ۱- نیروگاه حرارتی الکتریکی خورشیدی ۲- نیروگاه فوتوولتاییک خورشیدی. در سیستم فتوولتاییک، برق توسط پنل‌های خورشیدی وسایر تجهیزات و اجزاء تولید می شود. در این کتاب طراحی و نحوه جانشانی اجزاء سیستم خورشیدی فوتوولتاییک به شکل اصولی و صحیح برای ساخت نیروگاه خورشیدی فوتوولتاییک آموزش داده شده است. توان تولیدی این نیروگاه‌ها می‌تواند صرفا برای مصرف خانگی استفاده شود(جدا ازشبکه) و یا به شبکه برق فروخته شود(متصل به شبکه). در این کتاب انواع نیروگاه‌های خورشیدی فوتوولتاییک معرفی و روش‌های طراحی نیروگاه‌های خورشیدی فوتوولتاییک تبیین گردیده است. فصل اول کتاب به معرفی سیستم‌های خورشیدی، اصطلاحات و مفاهیم اولیه در حوزه‌ی انرژی‌های خورشیدی خصوصا انرژی فوتوولتاییک اختصاص داده شده و همچنین مزیت

نیروگاه‌های خورشیدی نسبت به سایر نیروگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل دوم کتاب انواع سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک و نحوه‌ی طراحی آن‌ها بیان شده و فصل سوم به تبیین اجزا و تجهیزات سیستم‌های فتوولتاییک، پنل‌های فوتوولتاییک و انواع آن‌ها اختصاص داده شده است. فصل چهارم به آموزش طراحی نیروگاه خورشیدی پرداخته است، ارائه روش‌های صحیح طراحی نیروگاه‌های فتوولتاییک، طریقه‌ی نصب صحیح پنل‌های خورشیدی با در نظر گرفتن وضعیت منطقه و همچنین طراحی سیستم‌های جدا ازشبکه، متصل به شبکه ، سیستم های هوشمند خورشیدی و روش احداث آن‌ها با در نظر گرفتن استانداردهای مربوطه ؛ عناوین مهمی است که دراین فصل مورد بررسی قرار گرفته است.

در نگارش کتاب سعی شده تا مطالب به بیان ساده شرح داده شود و تاجای ممکن از به کاربردن مفاهیم سخت یا واژگان پیچیده پرهیز شده است، بعنوان نکات تکمیلی، نسل های جدید پنل خورشیدی و اجزاء نیروگاه‌های خورشیدی در حوزه‌ی سیستم‌های فوتوولتاییک معرفی شده است که می تواند مورد استفاده پژوهشگران و محققان در این زمینه واقع گردد. لازم به یادآوری است که مطالب کادرهای خاکستری عموما نکات با اهمیت است و یا به مواردی از تکنولوژی‌های جدید در رابطه با سیستم‌های فوتوولتاییک اشاره دارد. اکثر تصاویر انتخاب شده در این کتاب رنگی است که ممکن است در فرآیند چاپ از وضوح تصاویر کاسته شده باشد. در صورت نیاز به تصاویر با کیفیت و وضوح مطلوب تر, می‌توانید به بخش آموزش سایت آرتوان به نشانی www.INeee.ir مراجعه کنید. تلاش شده است تا محتوای کتاب بی نقص و عاری از هر گونه خطای نگارشی ارائه گردد. از خوانندگان گرامی تقاضا می شود در صورت مشاهده ایراد چاپی در کتاب یا طرح هر گونه پیشنهاد، سوال و یا انتقاد، مراتب را از طریق پست الکترونیک Info@ineee.ir ارسال نمایند.

مراجع

کتاب‌های مرجع

Augustin McEvoy and Tom Markvart, Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications, second Edition, Academic Press, ۲۰۱۱

Muhammad Rashid, Power Electronics Handbook, fourth edition, Butterworth Heinemann, ۲۰۱۷

S.R. Wenham, Applied Photovoltaics, Routledge, ۲۰۱۲

R.A. Messenger, J. Ventre, Photovoltaic Systems Engineering, CRC Press, ۲۰۰۳

S. Roberts, N. Guariento, Building Integrated Photovoltaics: A Handbook, Walter de Gruyter, ۲۰۰۹

Soteris A. Kalogirou, Solar Energy Engineering: Processes and Systems, second edition, Academic Press, ۲۰۱۳

Augustin McEvoy L. Castaner Tom Markvart, Solar Cells: Materials, Manufacture and Operation, Academic Press, ۲۰۱۲

Stephen Fonash, Solar Cell Device Physics, second edition, Academic Press, ۲۰۱۰

سایت‌های مورد استفاده

www.sma.com
www.nerc.com
www.nrcan.gc.ca/energy/retscreen
www.solargis.com
www.ti.com
www.sunpower.com
www.tesla.com
www.new.abb.com
www.solaredge.com/us
www.yinglisolar.com/en/