

طراحی سیستم‌های

انرژی خورشیدی

، ولفان

حمیدرضا گشتی

(دانشیار گروه مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد)

منیژه ساه

(مدرس سازمان آموزش فنی و حرفه‌ای، دانشکده فنی و حرفه‌ای انقلاب، بنورد و دانشگاه علمی و کاربردی)

محمد نامداریان

(مدرس دانشکده فنی و حرفه‌ای پسران بنورد و بنروان)

احسان خضری

(مدرس و پژوهشگر دانشگاه)



انتشارات علوم‌پویا

عنوان و نام پدیدآور	طراحی سیستم‌های انرژی خورشیدی، مولفان حمیدرضا گشایشی ... [و دیگران].
مشخصات نشر	تهران: علوم پویا: امیدانقلاب، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	۱۶۰ ص: مصور
شابک	978-922-99735-7-8
وضعیت فهرست‌نویسی	فیا
یادداشت	مولفان حمیدرضا گشایشی، منیژه شاهی، محمد نامداریان، احسان خضری.
موضوع	برق--سیستم‌های فتوولتایی
موضوع	Photovoltaic power systems
موضوع	تولید برق از انرژی خورشیدی
موضوع	Photovoltaic power generation
موضوع	وارونگرهای الکتریکی
موضوع	Electric inverters
شناسه افزودن	گشایشی، حمیدرضا، ۱۳۴۰-
رده‌بندی کسره	TK1۰۸۷/ط۴ ۱۳۹۷
رده‌بندی دیوین	۶۲۱/۳۱۲۴۴
شماره کتابشناسی ملی	۵۴۹۲۷۵۲

✉ nashr.olompuya@gmail.com

انتشارات علوم پویا - انجمن ناشران دانشگاهی

نام کتاب	طراحی سیستم‌های انرژی خورشیدی
مولفان	حمیدرضا گشایشی، منیژه شاهی، محمد نامداریان، احسان خضری
ناشر	علوم پویا
ناشر همکار	امیدانقلاب
حروفچینی	انتشارات علوم پویا
حروف‌نگار و صفحه‌آرا	سولماز مرادزاد
نوبت چاپ	اول ۱۳۹۸-۱۳۹۷
تیراژ	۱۱۰۰
قیمت	۳۲۰۰۰۰ ریال
چاپ و صحافی	عطا-چاووش
لیتوگرافی	فرانقش
ناظر فنی چاپ	مهدی طورانیان
شابک	۹۷۸-۶۲۲-۹۹۷۳۵-۷-۸

مراکز فروش:

دفتر انتشارات و پخش کتاب علوم پویا: میدان انقلاب، خیابان اردیبهشت (منیری جاوید)، نبش کوچه نوروز، پلاک ۵۱، واحد ۱
 تلفن: ۶۶۹۶۰۷۷۳ و ۶۶۴۱۹۵۶۷ تلفکس: ۶۶۹۶۰۷۷۲
 پخش کتاب دانشگاهیان: خیابان انقلاب، خیابان اردیبهشت (منیری جاوید)، نبش خیابان وحید نظری- پلاک ۱۴۲
 تلفن: ۶۶۴۰۰۲۲۰-۶۶۴۰۰۱۴۴
 علم گستر سپاهان: ۹-۲۲۱۹۹۷۸-۳۱۱

با توجه به قانون حمایت حقوق مؤلفان، مصنفان و هنرمندان، مصوب سال ۱۳۴۸، کلیه حقوق و حق چاپ متن، طرح روی جلد و عنوان کتاب برای انتشارات امیدانقلاب محفوظ است. هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را، بدون اجازه ناشر، نشر یا پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

مقدمه مولفان

به نظر می‌رسد از میان انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی و بادی جایگاه وسیع‌تری را در میان کشورها حتی کشورهایی که جزء آلوده‌کننده‌های بزرگ صنعتی محسوب می‌شوند، خواهند داشت. به علاوه با افزایش حجم سرمایه‌گذاری‌ها انرژی خورشیدی می‌تواند یکی از انرژی‌های آینده باشد که اقتصادی‌تر از سوخت‌های فسیلی است، هرچند قرار است این انرژی با ورود به صنایع رون حمل و نقل باب رقابتی جدید را باز کند. در ضمن با استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی علاوه بر صرفه‌جویی در میزان منابع محدود انرژی که بعضاً مشکلات بسیاری در استخراج آن‌ها وجود دارد، زیست محیطی و لطافت اقتصادی ناشی از منابع انرژی فسیلی نیز به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت. با این حال قسمت نگران‌کننده این تحولات آن است که علی‌رغم افزایش سرمایه‌گذاری‌ها و ارتباط با کاربرد انرژی خورشیدی، سهم استفاده از این انرژی در ایران بسیار پایین است و برعکس ریزان و سیاست‌گذاران از پتانسیل‌های علمی و فنی موجود در این زمینه به ویژه در بخش خصوصی استفاده نمی‌کنند. در چنین شرایطی شاید توجه به برخی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاهی چون تولید ژنراتور خورشیدی پرتابل در کشور می‌تواند ضرورت بیشتری پیدا کند. در حال حاضر ۱۸ درصد از کل انرژی تولید در جهان از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر تامین می‌شود و بسیاری از کشورها به سیاست‌گذاری‌های آتی خود، افزایش کاربرد این انرژی‌ها را مد نظر قرار داده‌اند. افزایش سرمایه‌گذاری‌های کشورهای جهان از ۵۵ میلیارد دلار در سال ۲۰۰۶ به ۷۱ میلیارد دلار در سال ۲۰۰۷ و از انرژی‌های تجدیدپذیر و سهم ۳۰ درصدی برق خورشیدی در این سرمایه‌گذاری‌ها، نشانگر توجه برافزون کشورهای جهان به پتانسیل این منابع انرژی پاک و به ویژه انرژی خورشیدی در این میان است. نشانه رشد این توسعه، افزایش ۳۰ درصدی تولید برق و آب‌گرم از خورشید در فاصله سال‌های ۲۰۰۲ الی ۲۰۰۶ طبق آخرین آمار ارائه شده است. سیستم‌های برق خورشیدی متصل به شبکه با رشد سالانه ۵۰ درصدی طی سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ در این میان بیشترین رشد را داشته‌اند که معادل استفاده ۱/۵ میلیون خانه در سال از این سیستم است. براساس این آمار تا انتهای سال ۲۰۰۷ حدود ۷/۸ گیگا وات برق جهان از این طریق تامین شده که کشور آلمان به تنهایی نیمی از این سهم را داشته یا کلکتورهای حرارتی خورشیدی که هم اکنون در ۵۰ میلیون ساختمان در سراسر جهان نصب شده‌اند و کشور چین در این میان بیشترین سهم را دارد. این سرمایه‌گذاری‌ها و پیشرفت‌ها به ویژه در آلمان که تابشی به مراتب کمتر از میزان تابش خورشید در کشور ما دارد، لزوم توجه به این

انرژی به ویژه در بخش سیاست‌گذاری‌های ملی را نشان می‌دهد. این افزایش سرمایه‌گذاری‌ها در جهان در حالی است که علی‌رغم آرمان‌های ایده‌آل در نظر گرفته در این خصوص، سهم استفاده از چنین انرژی در کشور نزدیک به صفر است و برنامه‌ریزان و سیاستگذاران از پتانسیل‌های علمی و فنی موجود در این زمینه به ویژه در بخش خصوصی استفاده نمی‌کنند. در حال حاضر مهم‌ترین مانع توسعه فناوری خورشیدی، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه نسبتاً بالای آن است که جایگزین کردن این فناوری به طور کامل با سیستم‌های کنونی تولید برق در آینده نزدیک را توجیه ناپذیر می‌سازد، اما با توجه به روند کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و بحران‌های تامین این منابع در بسیاری از کشورهای جهان به همراه روند رو به رشد سرمایه‌گذاری‌های تحقیقاتی در این زمینه و حرکت به سمت استفاده از فناوری‌هایی چون نانو در ساخت صفحات خورشیدی مولد برق که به منظور افزایش بازده و اقتصادی‌تر کردن کاربرد این سیستم‌ها انجام می‌پذیرد، می‌توان انتظار داشت که جایگزین کردن فناوری خورشیدی در برطرف کردن بسیاری از نیازهای روزمره موفق باشد. اکنون بیشتر برق تولید کشور از نیروگاه‌های گازی و بخاری استفاده می‌شود که با احتساب بازده متوسط ۳۶ درصدی این نیروگاه و تلفات موجود در شبکه انتقال و توزیع برق، حدود ۹۰ درصد انرژی تولیدی به مصرف‌کننده از بین می‌رود. ضمن این‌که اثرات زیست محیطی بالای این نیروگاه‌ها به همراه محدودیت این منابع، معضله‌ای را پدید می‌آورد. با استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی می‌توان ضمن صرفه‌جویی در میزان منابع مورد انرژی که بعضاً مشکلات بسیاری در استخراج آنها وجود دارد تأثیری مستقیم در کاهش اثرات زیست محیطی و لطمات اقتصادی ناشی از آن گذاشت. به‌عنوان مثال تولید تنها یک کیلووات ساعت در روز برق خورشیدی می‌تواند سالانه از تولید ۰/۲ تن دی اکسید کربن که توسط نیروگاه‌ها در سوزش پدید می‌آید، جلوگیری کند که این میزان معادل صرفه‌جویی سالانه ۰/۵ بشکه نفت خام است که از این نظر اقتصادی ارزشمند است. صفحات فتوولتائیک یا همان صفحات خورشیدی که اجزای اصلی ژنراتورها و خورشیدی هستند بسته به نوع فناوری آنها به دسته‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند که هر یک مزایای متفاوتی دارند. بیشترین بازده تولید شده از این صفحات مربوط به سیلیکونی تک کریستال است که حدود ۱۵ درصد بازده دارند. تحقیقات بسیاری در این خصوص به منظور افزایش راندمان صفحات خورشیدی در جهان در حال انجام است، به‌عنوان مثال دانشمندان توانسته‌اند با استفاده از فناوری نانو، صفحات خورشیدی با بازده ۲۰ درصد نیز تولید کنند. استفاده از منبع رایگان انرژی خورشیدی و نبرداشتن هزینه بابت استفاده از آن همراه حفظ محیط زیست، از جمله مزایای اصلی این انرژی است. نقشی که این منبع پاک و مولدهای تولید برق خورشیدی در مدیریت مصرف انرژی الکتریکی و اصلاح الگوی مصرف آن در ساختمان دارند، انکارناپذیر است. می‌توان گفت در زمانی که کشورهای پیشرفته با اعمال سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی خود را پایین آورده‌اند ایران در کمتر از دو دهه مصرف فرآورده‌های نفتی خود را حدوداً سه برابر کرده بود.

درست است که مصرف انرژی باعث بالا رفتن رفاه و استاندارد زندگی می‌شود، اما باید دقت نمود که آیا می‌توان همواره این رشد مصرف را حفظ نمود؟ با این روند و با توجه به افت فشار چاه‌های نفت و مشکلات حفاری و استخراج و سرمایه‌گذاری، آیا می‌توان امیدوار بود که بعد از دو دهه می‌توانیم نیازهای خود را مرتفع نماییم و آیا تولید ما پاسخگوی نیازهایمان خواهد بود؟ و اگر هم باشد مازادی برای نفت و بدست آوردن ارز خواهیم داشت؟ ایران در مجموع کشوری است بسیار آفتابی و از نظر مقدار و دریافت انرژی خورشیدی در شمار بهترین کشورها محسوب می‌شود. انرژی فراوان و لایزال خورشید، بدون نیاز به شبکه‌های انتقال و توزیع عظیم و پرخرج، در سراسر کشور گسترده شده است. معماری سنتی ایران نشان‌دهنده توجه خاص ایرانیان در استفاده از تابش و موثر از انرژی خورشید در زمان‌های قدیم می‌باشد. متأسفانه در حال حاضر و با وجود علم و تکنولوژی جدید در کشور، استفاده از انرژی خورشید بسیار ناچیز است. از طرفی می‌توان به درازای اعلام کرد که سطح کنونی علمی و صنعتی کشورمان برای ایجاد و گسترش تکنیک خورشیدی به حد کافی آمادگی دارد و ایران یک کشور کشاورزی است و حدود ۵۴ درصد از جمعیت در روستاها زندگی می‌کنند. تامین انرژی مصرفی در روستاها، برای ازدیاد تولیدات کشاورزی و بالا بردن سطح زندگی، و ایجاد صنایع محلی نه تنها ضروری بلکه یک امر حیاتی است و در این خصوص انرژی‌ها را می‌توان از آن جمله انرژی خورشیدی می‌تواند نقش اساسی را ایفا کند. کتاب حاضر در هشت فصل بازمایی شده است. در فصل اول کلیاتی درباره مفاهیم پایه‌ای طراحی سیستم‌های تولید برق خورشیدی ارائه شده است. در فصل دوم انرژی خورشیدی و سیستم‌های فتوولتاییک، در فصل سوم طراحی سیستم‌های فتوولتاییک با توجه به مشخصات کاربری و اقلیم به همراه مثال‌ها آورده شده است، در فصل چهارم رانندگی تپ نه تنها سیستم‌های فتوولتاییک، در فصل پنجم راهنمای بهره‌برداری سیستم‌های فتوولتاییک مستقل از شبکه، در فصل ششم راهنمای بهره‌برداری و اتصال سیستم‌های فتوولتاییک، در فصل هفتم مشخصات فنی تجهیزات مورد نیاز برای طراحی و اجرای سیستم‌های فتوولتاییک متصل به شبکه، در فصل هشتم استانداردهای فتوولتاییک و در بخش پیوست بررسی اقتصادی سیستم‌های فتوولتاییک و مقایسه هزینه‌ی انرژی تولید شده با دیگر روش‌های متداول بیان شده است.

با توجه به نبود مرجع مرتبط با استاندارد طراحی سیستم‌های انرژی خورشیدی به صورت کتاب ترغیب و تشویق مدیران محترم در سطح استان و همدلی و همکاری همکاران و مدرسان مرتبط با این مهارت را موظف به تألیف اثری جامع و کامل نمود تا:

۱. همکاران و علاقه‌مندان را از رجوع به منابع مختلف و تقبل هزینه خرید بی‌نیاز کند.
۲. کلیه مراحل مربوط به طراحی، نصب، راه اندازی و انتخاب تجهیزات مربوط به سیستم‌های انرژی خورشیدی به زبانی ساده بیان شود.

و در نهایت ۲۳۹ سوال به صورت چهارگزینه‌ای همراه با پاسخ با توجه به استانداردهای سازمان آموزش فنی و حرفه‌ای ارائه شود.

در پایان ضمن تشکر و قدردانی از زحمات کلیه عزیزانی که پیش از این با تالیف آثار مشابه هدایتگر ما در تالیف بوده‌اند، خواهشمندم با ارسال نظرات خود به ناشر محترم، در رفع نواقص و تصحیح مطالب مولفان را راهنمایی نمایید.

فهرست

۱	فصل اول: کلیات و آشنایی با مفاهیم.....
۱-۱	۱-۱ مقدمه.....
۲	۲-۱ منابع انرژی‌های تجدیدپذیر.....
۳	۱-۲-۱ باد.....
۱۲	۲-۲-۱ انرژی زمین‌گرمایی.....
۱۵	۳-۲-۱ زیست توده یا بیومس (Biomass).....
۱۷	۴-۲-۱ انرژی خورشیدی.....
۱۷	۵-۲-۱ پیل های سوختی.....
۱۸	۳-۱ کاربردهای انرژی خورشیدی.....
۱۸	۱-۳-۱ استفاده از انرژی خورشیدی.....
۲۷	فصل دوم: انرژی خورشیدی و سیستم های فتوولتائیک.....
۲۷	۱-۲ مقدمه.....
۲۷	۲-۲ سیستم های فتوولتائیک.....
۲۸	۳-۲ طبقه بندی تیپ سیستم های فتوولتائیک از لحاظ آرایش.....
۲۸	۱-۳-۲ سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه.....
۳۱	۲-۳-۲ سیستم های مستقل از شبکه ی سراسری برق.....
۳۲	۴-۲ اجزای سیستم فتوولتائیک.....
۳۲	۱-۴-۲ آرایه فتوولتائیک.....
۳۴	۲-۴-۲ سیستم های دنبال کننده تابش خورشید.....
۳۵	۳-۴-۲ اینورتر یا مبدل الکترونیک قدرت AC/DC.....
۳۶	۴-۴-۲ ذخیره ساز.....
۳۷	۵-۴-۲ دنبال کننده حداکثر توان.....
۳۸	۶-۴-۲ سایر تجهیزات.....
۳۹	فصل سوم: طراحی سیستم های فتوولتائیک با توجه به مشخصات کاربری و اقلیم.....
۳۹	۱-۳ مقدمه.....
۳۹	۲-۳ اصول طراحی سیستم های فتوولتائیک.....
۴۱	۳-۳ روند کلی طراحی سیستم های فتوولتائیک.....
۴۳	۴-۳ طراحی سیستم فتوولتائیک برای یک منزل مسکونی.....
۴۳	۱-۴-۳ مراحل انتخاب ظرفیت و آرایش آرایه فتوولتائیک در حالت طراحی بر اساس میزان انرژی سالانه مورد نیاز.....

۲-۴-۳ محاسبه میزان انرژی روزانه مورد نیاز از آرایه های فتوولتائیک ۴۵

۳-۴-۳ محاسبه کمترین تعداد برای آرایه های فتوولتائیک ۴۶

۴-۴-۳ مراحل انتخاب ظرفیت و آرایش آرایه فتوولتائیک در حالت طراحی بر اساس میزان فضای موجود ۴۹

۵-۴-۳ مراحل انتخاب ظرفیت و ابعاد آرایه فتوولتائیک در حالت طراحی بر اساس میزان بودجه ۵۱

۶-۴-۳ مراحل انتخاب ظرفیت و ابعاد آرایه فتوولتائیک در حالت حضور ذخیره ساز ۵۲

۷-۴-۳ طراحی مبدل ۵۴

۸-۴-۳ طراحی سیم کشی ۵۵

۵-۳ طراحی سیستم فتوولتائیک برای یک واحد آموزشی ۵۶

۵-۳ طراحی بر اساس میزان انرژی سالانه مورد نیاز ۵۷

۲-۵-۳ طراحی بر اساس میزان فضای موجود ۵۷

۳-۵-۳ مراحل انتخاب ظرفیت و ابعاد آرایه فتوولتائیک در حالت حضور ذخیره ساز ۵۸

فصل چهارم: راهنمای نصب سیستم های فتوولتائیک ۶۱

۱-۴ مقدمه ۶۱

۲-۴ نصب آرایه های خورشیدی ۶۱

۳-۴ ملاحظات سیم کشی سیستم های فتوولتائیک ۶۵

۴-۴ زمین کردن ۶۸

۵-۴ قطع کننده و نمایشگرها ۷۰

۶-۴ نحوه اتصال اجزای سیستم فتوولتائیک ۷۰

فصل پنجم: راهنمای بهره برداری سیستم های فتوولتائیک مستقل از شبکه ۷۳

۱-۵ مقدمه ۷۳

۲-۵ تعیین ابعاد آرایه فتوولتائیک ۷۴

۳-۵ تعیین سیستم ذخیره ساز ۷۴

۴-۵ دسترسی پذیری ۷۵

۵-۵ ملاحظات سیستم های فتوولتائیک مستقل از شبکه با توجه به کاربری آنها ۷۶

۱-۵-۵ سیستم روشنایی فتوولتائیکی ۷۶

۲-۵-۵ سیستم فتوولتائیک برای نقاط دور افتاده ۷۶

۶-۵ پایش سیستم های فتوولتائیک ۷۷

فصل ششم: راهنمای بهره برداری و اتصال سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه ۷۹

۱-۶ مقدمه ۷۹

۲-۶ محدودی و تناژ کاری سیستم های فتوولتائیک ۷۹

۳-۶ ضریب توان ۸۰

۴-۶ کیفیت توان ۸۱

۸۱	۶-۴-۱ محدوده مجاز فرکانس
۸۱	۶-۴-۲ اغتشاشات ولتاژ
۸۲	۶-۴-۳ هارمونیک‌ها
۸۳	۶-۴-۴ هارمونیک‌های میانی
۸۴	۶-۴-۵ فلیکر ولتاژ
۸۵	۶-۴-۶ عدم تعادل ولتاژ
۸۵	۶-۵-۵ ایمنی و حفاظت
۸۶	۶-۵-۱ جریان DC
۸۶	۶-۵-۲ پرهیز از کارکرد جزیره‌ای
۸۷	۶-۵-۳ اغتشاشات فرکانس
۸۷	۶-۵-۴ اتصال مجدد سیستم فتوولتاییک به شبکه بعد از رفع خطای شبکه و سنکرون شدن با آن
۸۸	۶-۵-۵ حفاظت در مقابل راج ضربه
۸۸	۶-۵-۶ سیستم زمین
۸۸	۶-۶ پایش عملکرد سیستم فتوولتاییک و اعلان اطلاعات
۸۸	۶-۶-۱ نکات اندازه‌گیری و پایش
۹۰	۶-۷ مستندسازی، آزمون‌های راه‌اندازی، بازرسی سامانه‌های فتوولتاییک متصل به شبکه
۹۰	۶-۷-۱ داده‌های سامانه فتوولتاییک
۹۰	۶-۷-۲ اطلاعات طراح سامانه فتوولتاییک
۹۰	۶-۷-۳ اطلاعات نصب‌کننده سامانه فتوولتاییک
۹۰	۶-۷-۴ نقشه‌کشی
۹۳	فصل هفتم: مشخصات فنی تجهیزات موردنیاز برای طراحی و اجرای سیستم‌های فتوولتاییک
۹۳	۷-۱ مقدمه
۹۳	۷-۲ ماژول فتوولتاییک
۹۵	۷-۳ دنبال‌کننده‌های خورشیدی
۹۶	۷-۴ مبدل
۹۷	۷-۵ باتری
۹۸	۷-۶ کنترل‌کننده شارژ
۹۹	۷-۷ مشخصات اقلیمی
۱۰۳	فصل هشتم: استانداردهای فتوولتاییک
۱۰۳	۸-۱ مقدمه
۱۰۳	۸-۲ استانداردهای بین‌المللی مورد استفاده برای سیستم‌های فتوولتاییک
۱۰۹	۸-۳ استانداردهای سازمان ملی استاندارد ایران برای سیستم‌های فتوولتاییک

پیوست: بررسی اقتصادی سیستم‌های فتوولتائیک و مقایسه هزینه‌ی انرژی تولیدشده با دیگر روش‌های متداول.....	۱۱۱
مقدمه.....	۱۱۱
الف-۱ پارامترهای هزینه سیستم‌های فتوولتائیک.....	۱۱۳
الف-۲ برآورد هزینه یک سیستم فتوولتائیک نمونه.....	۱۱۴
الف-۳ هزینه انرژی تولید شده با استفاده از سوخت‌های فسیلی.....	۱۱۴
الف-۴ تجربه سایر کشورها برای گسترش استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک.....	۱۱۷
سوالات تستی.....	۱۱۹
پاسخنامه.....	۱۴۱
منابع.....	۱۴۵