

طراحی و نصب سیستم‌های فتوولتائیک

جلد اول

انجمن انرژی خورشیدی آلمان

فریده الهوردی

(استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد اندیمشک)

فرامرز سامانی

نیاز دانش

عنوان و نام پدیدآور	: طراحی و نصب سیستمهای فتوولتائیک / جامعه انرژی خورشیدی آلمان ؛ مترجمین فریده الهوردی، فرامرز سامانی.
مشخصات نشر	: تهران: نیاز دانش، ۱۴۰۰ -
مشخصات ظاهری	: ج. : مصور
شابک	: ۱-۰۶-۷۷۹-۶۲۲-۹۷۸-۱ ج. ۱
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: Photovoltaische Anlagen.
یادداشت	: کتاب حاضر از متن انگلیسی اثر با عنوان « Planning and installing photovoltaic systems : a guide for installers, architects and engineers, 2nd ed, 2008» به فارسی برگردانده شده است.
موضوع	: سیستمهای فتوولتایی یکپارچه ساختمان -- نصب
موضوع	: Building-integrated photovoltaic systems -- Installation
شناسه افزوده	: الهوردی، فریده، ۱۳۶۱- مترجم
شناسه افزوده	: سامانی، فرامرز، ۱۳۴۹- مترجم
شناسه افزوده	: جامعه انرژی خورشیدی آلمان Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie
رده بندی کنگره	: TK۱۰۸۷
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۱۲۴۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۸۶۵۸۷۱۵
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیپا



نام کتاب	: طراحی و نصب سیستمهای فتوولتائیک (جلد اول)
مؤلفین	: انجمن انرژی خورشیدی آلمان
مترجمین	: فریده الهوردی - فرامرز سامانی
مدیر اجرایی - ناظر بر چاپ	: حمیدرضا محمد شیرازی - محمد شمس
ناشر	: نیاز دانش
صفحه آرا	: واحد تولید انتشارات نیاز دانش
نوبت چاپ	: اول - ۱۴۰۰
شمارگان	: ۵۰ نسخه
قیمت	: ۹۰۰۰۰۰ ریال

شابک جلد اول : ۹۷۸-۶۲۲-۷۷۹-۰۶-۱
 دوره : ۸-۰۷-۹۷۸-۶۲۲-۷۷۹-۰۷-۸
 ISBN:978-622-7790-06-1
 ISBN:978-622-7790-07-8

هرگونه چاپ و تکثیر (اعم از زیراکس، بازنویسی، ضبط کامپیوتری و تهیهی CD) از محتویات این اثر بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است، متخلفان به موجب بند ۵ از ماده ۲ قانون حمایت از مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.

کلیه حقوق این اثر برای ناشر محفوظ است.

آدرس انتشارات: تهران، میدان انقلاب، خیابان ۱۲ فروردین، تقاطع وحید نظری، پلاک ۲۵۵، طبقه ۱، واحد ۲

۰۲۱-۶۶۴۷۸۱۰۶-۶۶۴۷۸۱۰۸-۰۹۱۲۷۰۷۳۹۳۵

www.Niaze-Danesh.com

مشاوره جهت نشر: ۰۹۱۲ - ۲۱۰۶۷۰۹

پیشگفتار

فتولتائیک (پی-وی) یا همان فناوری استحصال مستقیم برق از نور خورشید، از پرشتاب‌ترین بخش‌ها در صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر است. جایگاه این فناوری تا به حال در بسیاری از کشورها تثبیت گردیده است و به نظر می‌رسد که یکی از فناوری‌های کلیدی در قرن بیست و یکم باشد. نگرانی‌ها در مورد انتشار گازهای گلخانه‌ای، امنیت انرژی و افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی، محرک‌های اصلی توسعه بازار فتولتائیک هستند.

ویرایش حاضر کتاب **طراحی و نصب سیستم‌های فتولتائیک**، ترجمه‌ایست به‌روز و اقتباسی از کتابی که توسط انجمن انرژی خورشیدی آلمان (DGS) منتشر گردیده است. آلمان دارای بیشترین تعداد سیستم‌های PV متصل به شبکه در جهان است. کتاب شامل شرح تولیدات جدید و به ویژه تازه-ترین تحولات در فناوری ماژول و همچنین تشریح پیشرفت‌ها در زمینه فناوری‌های نصب ماژول و فتولتائی‌های ادغام شده در ساختمان (BIPV) می‌باشد. فصل‌های مربوط به مساحی محل، طراحی و نصب سیستم نیز به روز رسانی شده‌اند و فصلی جدید درخصوص بازاریابی PV افزوده شده است. هرچند تأکید کتاب حاضر بر سیستم‌های متصل به شبکه است - بخشی که دارای سریع‌ترین آهنگ رشد در صنعت بوده و متناسب‌ترین نوع برای کشورهای صنعتی است که دارای شبکه‌های توزیع برق پیشرفته‌اند - لیکن فصلی درخصوص سیستم‌های نامتصل به شبکه نیز گنجانده شده است.

این کتاب برای مخاطبین در سراسر جهان تهیه شده است. در بیشتر موارد از قوانین و مقررات آلمان پیروی شده است که عمدتاً مشابه با مقررات جاری در سایر کشورهای اتحادیه اروپاست، هرچند گاه تفاوت‌هایی نیز وجود دارد. به همین دلیل خوانندگان گرامی می‌باید به قوانین و مقررات ملی ساختمان و برق مراجعه نموده و آنها را رعایت نمایند. همچنین چیدمان تجهیزات اندازه‌گیری و فروش برق خورشیدی به شبکه توزیع از یک کشور به کشور دیگر متفاوت است و از اینرو لازم است نصابان محترم با چیدمان‌های توصیه شده توسط مقررات ملی، آشنایی داشته باشند.

فرانک جکسون

موسسه انرژی‌های سبز - برلین

پیشگفتار مترجم

اهمیت روز افزون بهره‌برداری از منابع انرژی تجدید پذیر و بویژه فراگیر شدن فناوری تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به الکتریسیته، ما را بر آن داشت تا ترجمه کتاب *طراحی و نصب سیستم‌های فتوولتائیک* که توسط انجمن انرژی خورشیدی آلمان (DGS) منتشر شده است را جهت استفاده اساتید، دانشجویان و مهندسين فعال در این حوزه ارائه نماییم.

کتاب طراحی و نصب سیستم‌های فتوولتائیک در دو جلد ترجمه و تدوین شده است. در جلد نخست سیستم‌های فتوولتائیک و کاربردهای آن معرفی می‌شوند و برخی مبانی نظری لازم برای درک طرز کار دو نوع سیستم متصل و نامتصل به شبکه ارائه می‌شوند. همچنین مطالعات مورد نیاز و ایده‌های اصلی جهت طراحی سیستم‌های فتوولتائیک (بویژه سیستم‌های متصل به شبکه) و روش محاسبات تجهیزات الکتریکی تشریح می‌شوند.

در جلد دوم به مطالب کاربردی‌تر عمدتاً در حوزه نصب و راه‌اندازی سیستم‌های فتوولتائیک پرداخته شده است و موضوعات ادغام پانل‌های خورشیدی در نمای ساختمان‌ها، مسایل اقتصادی در این صنعت و بازاریابی و فروش را پوشش می‌دهد. از اینرو جلد دوم می‌تواند مورد استفاده معماران، نصابان و فعالان اقتصادی در این حوزه قرار گیرد. همچنین ساختار و خصوصیات سیستم‌های نامتصل به شبکه نیز تشریح می‌شوند و مبانی طراحی این سیستم‌ها ارائه می‌شوند.

بر خود لازم می‌دانیم از همکاری ارزشمند جناب آقای مهندس امیر خداداد بیات و تلاش‌های صمیمانه سرکار خانم معصومه الهوردی در تهیه این کتاب قدردانی نماییم.

فریده الهوردی – فرامرز سامانی

فهرست

عنوان	صفحه
فصل اول: مبانی فتوولتائیک	۱
۱-۱ سیستم‌های فتوولتائیک و کاربردهای آن	۱
۱-۱-۱ بررسی اجمالی	۱
۲-۱-۱ سیستم‌های مستقل از شبکه	۲
۳-۱-۱ سیستم‌های متصل به شبکه	۸
۲-۱ تابش خورشیدی	۱۲
۱-۲-۱ خورشید به عنوان منبع انرژی	۱۲
۲-۲-۱ توزیع تابش خورشید	۱۴
۳-۲-۱ تابش مستقیم و پراکنده	۱۵
۴-۲-۱ تعریف زاویه	۱۶
۵-۲-۱ ارتفاع خورشیدی و طیف خورشیدی	۱۶
۶-۲-۱ بازتابش زمین	۱۹
۷-۲-۱ تابش خورشیدی چگونه اندازه‌گیری می‌شود	۲۰
۸-۲-۱ آرایه‌های PV متحرک (دنبال کننده)	۲۲
۳-۱ اثر فتوولتائیک و نحوه کار سلول‌های خورشیدی	۲۸
۱-۳-۱ سلول خورشیدی چگونه کار می‌کند	۲۸
۲-۳-۱ طراحی و عملکرد سلول خورشیدی سیلیکونی بلوری	۳۰
۴-۱ انواع سلول‌های خورشیدی	۳۲
۱-۴-۱ سیلیکون بلوری	۳۲
۲-۴-۱ سلول‌های سیلیکونی تک بلوری	۳۵
۳-۴-۱ سلول‌های سیلیکونی چند بلوری	۳۶
۴-۴-۱ سلول‌های سیلیکونی نواری شکل	۳۸
۵-۴-۱ پوشش ضد بازتاب بر روی سلول‌های سیلیکون بلوری	۴۲
۶-۴-۱ تماس‌های جلو	۴۵
۷-۴-۱ تماس‌های پشت	۴۸
۸-۴-۱ سلول‌هایی با عملکرد بالا	۴۹
۹-۴-۱ تکنولوژی سلول لایه نازک	۵۷
۱۰-۴-۱ سلول‌های سیلیکن بی‌شکل	۵۹
۵-۱ خواص الکتریکی سلول‌های خورشیدی	۶۱
۱-۵-۱ نمودارهای مدار معادل سلول‌های خورشیدی	۶۱
۲-۵-۱ پارامترهای سلول و منحنی‌های مشخصه‌ی جریان-ولتاژ سلول خورشیدی	۶۵
۳-۵-۱ حساسیت طیفی	۷۱
۴-۵-۱ بازدهی سلول‌های خورشیدی و ماژول‌های فتوولتائیک	۷۲

فصل دوم: ماژول‌های PV و سایر اجزای سیستم‌های متصل به شبکه	۷۵
۱-۲ ماژول‌های PV	۷۵
۱-۱-۲ رشته سلول	۷۵
۲-۱-۲ بسته‌بندی سلول	۷۸
۳-۱-۲ انواع ماژول‌ها	۸۶
۴-۱-۲ گزینه‌های طراحی برای ماژول‌های فتولتائیک	۹۰
۵-۱-۲ کابل خروجی و جعبه ترمینال ماژول‌ها	۱۰۴
۶-۱-۲ نمادهای سیم	۱۰۵
۷-۱-۲ منحنی‌های ویژگی I-V برای ماژول‌ها	۱۰۵
۸-۱-۲ وابستگی پرتوافکنی و ویژگی‌های دمایی	۱۰۸
۹-۱-۲ نقاط گرم، دیودهای بایپس و سایه‌افکنی	۱۱۲
۱۰-۱-۲ ویژگی‌های الکتریکی ماژول‌های دارای فیلم نازک	۱۱۷
۱۱-۱-۲ تصدیق کیفیت ماژول‌ها	۱۲۵
۱۲-۱-۲ اتصال درونی ماژول‌های PV	۱۲۸
۲-۲ جعبه‌های اتصال / ترکیب‌گر وصف PV دیودها و فیوزهای رشته‌ای	۱۲۹
۳-۲ مبدل‌های شبکه‌ای - متصل شده	۱۳۲
۱-۳-۲ نماد سیم‌کشی و روش عملیات	۱۳۳
۲-۳-۲ مبدل‌های شبکه‌ای - کنترل شده	۱۳۴
۳-۳-۲ مبدل‌های خود - هدایت شده	۱۳۶
۴-۳-۲ ویژگی‌ها، منحنی‌های مشخصه و ویژگی‌های اینورترهای متصل به شبکه	۱۴۱
۵-۳-۲ انواع اینورترهای متصل شده به شبکه و اندازه‌های ساختاری آنها در طبقات انرژی متفاوت	۱۵۲
۶-۳-۲ پیشرفت‌های موجود در فناوری اینورتر متصل شده به شبکه	۱۵۲
۴-۲ کابل‌کشی، سیم‌کشی و سیستم‌های اتصال	۱۶۰
۱-۴-۲ کابل‌های ماژول و رشته	۱۶۰
۲-۴-۲ سیستم‌های اتصال	۱۶۱
۳-۴-۲ کابل اصلی DC	۱۶۳
۴-۴-۲ کابل اتصال AC	۱۶۴
۵-۲ سوئیچ مستقیم بار جریانی (سوئیچ اصلی DC)	۱۶۵
۶-۲ قطع‌کننده سوئیچی AC	۱۶۵
۱-۶-۲ کلید مینیاتوری (MCB-ها)	۱۶۵
۲-۶-۲ کلیدهای نشتی ارت	۱۶۶
فصل سوم: بررسی مکان و تحلیل سایبان	۱۶۷
۱-۳ بازدید میدانی و ارزیابی سایت	۱۶۷
۲-۳ مشورت با خریدار:	۱۶۹
۳-۳ انواع سایه دار	۱۷۰
۱-۳-۳ سایه اندازی موقت	۱۷۱
۲-۳-۳ سایه ی ناشی از محل	۱۷۲

۱۷۳	..... ۳-۳-۳ سایه‌ی ناشی از ساختمان
۱۷۵	..... ۳-۳-۴ سایه‌ی دستگاه
۱۷۶	..... ۳-۳-۵ سایه‌ی مستقیم
۱۷۷	..... ۳-۴-۴ تحلیل سایه
۱۷۸	..... ۳-۴-۱ استفاده از طرح مکان و نمودار مسیر خورشید
۱۷۹	..... ۳-۴-۲ استفاده از نمودار مسیر خورشیدی بر روی استات
۱۸۱	..... ۳-۴-۵ ابزار تحلیل سایه توسط نرم افزار
۱۸۳	..... ۳-۶-۳ سایه‌دار، پیکره‌بندی آرایش PV و مفهوم دستگاه
۱۸۴	..... ۳-۶-۱ اتصال سری (مدل رشته‌ای)
۱۸۵	..... ۳-۶-۲ اتصال موازی
۱۸۷	..... ۳-۶-۳ مقایسه‌ی حالت‌های اتصال
۱۸۸	..... ۳-۷-۳ سایه‌اندازی در آرایه‌های فتوولتائیک با اتصال مستقل و اتصال روی استراکچر
۱۹۰	..... ۳-۷-۱ کاهش تلفات سایه‌اندازی متقابل ماژول‌های فتوولتائیک با اتصال استراکچری
۱۹۱	..... ۳-۸ فهرست موارد مورد بررسی برای ممیزی ساختمان
۱۹۲	..... فصل چهارم: طراحی و برآورد اندازه سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه
۱۹۲	..... ۴-۱ انتخاب ماژول و اندازه سیستم
۱۹۳	..... ۴-۲ مفاهیم سیستم
۱۹۴	..... ۴-۲-۱ مفهوم اینورتر مرکزی
۱۹۸	..... ۴-۲-۲ مفهوم اینورتر رشته‌ای و زیر آرایه
۲۰۲	..... ۴-۳ جایگاه نصب اینورتر
۲۰۳	..... ۴-۴ اندازه‌گیری اینورتر
۲۰۳	..... ۴-۴-۱ انتخاب تعداد و شدت تحمل بار اینورترها
۲۰۶	..... ۴-۴-۲ انتخاب ولتاژ
۲۱۰	..... ۴-۴-۳ تعیین تعداد رشته‌ها
۲۱۰	..... ۴-۴-۴ اندازه با استفاده از برنامه‌های شبیه‌سازی
۲۱۲	..... ۴-۵ انتخاب و اندازه کابل‌ها برای سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه
۲۱۲	..... ۴-۵-۱ مقادیر اسمی ولتاژ کابل
۲۱۳	..... ۴-۵-۲ ظرفیت حمل جریان کابل
۲۱۴	..... ۴-۵-۳ حداقل‌سازی تلفات کابل رافت ولتاژها
۲۱۵	..... ۴-۵-۴ اندازه ماژول و کابل‌کشی رشته
۲۲۰	..... ۴-۵-۵ تعیین اندازه کابل اصلی DC
۲۲۱	..... ۴-۵-۶ تعیین اندازه کابل اتصال AC
	..... ۴-۶ انتخاب و اندازه‌گیری جعبه‌اتصال / ترکیب‌گر آرایه‌ی فتوولتائیک و
۲۲۲	..... سوئیچ جداسازنده / منفصل‌کننده‌ی اصلی DC
۲۲۴	..... ۴-۷ حفاظت آذرخش (رعد و برق)، اضافه جریان و اتصال به زمین
۲۲۶	..... ۴-۷-۱ حفاظت در مقابل برخوردهای سیستم صاعقه
۲۲۸	..... ۴-۷-۲ اثرات غیرمستقیم آذرخش و حفاظت درونی آذرخش

۲۳۱	۸-۴ پیش بینی بازده
۲۳۵	فصل پنجم: نرم افزار شبیه سازی، طراحی و اندازه گیری سیستم
۲۳۵	۱-۵ بکارگیری برنامه های شبیه سازی، طراحی و اندازه گیری
۲۳۷	۲-۵ بررسی نتایج شبیه سازی
۲۳۸	۳-۵ شبیه سازی سایه زنی
۲۳۹	۴-۵ نگرش و طبقه بندی بازار
۲۳۹	۵-۵ تشریح برنامه ها
۲۴۰	۱-۵-۵ برنامه های محاسباتی
۲۴۱	۲-۵-۵ برنامه های شبیه سازی گام زمانی
۲۵۳	۳-۵-۵ سیستم های شبیه سازی
۲۵۵	۴-۵-۵ برنامه های تکمیلی و منابع داده
۲۵۸	۵-۵-۵ برنامه های طراحی و نگهداری
۲۵۹	۶-۵-۵ برنامه های شبیه ساز بر پایه ی وب

فصل ۱

مبانی فتوولتائیک

۱- سیستم‌های فتوولتائیک و کاربردهای آن

۱-۱-۱ بررسی اجمالی

سیستم‌های فتوولتائیک را می‌توان به دو دسته مستقل از شبکه و متصل به شبکه دسته‌بندی کرد. در سیستم‌های مستقل، خروجی انرژی خورشیدی با میزان تقاضای بار تنظیم می‌گردد. از آنجا که در اغلب مواقع خروجی انرژی خورشیدی با تقاضای بار از نظر زمانی تقارن ندارد، عموماً سیستم‌های ذخیره‌ساز اضافی (باتری‌ها) مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگر سیستم‌های فتوولتائیک (PV) به وسیله یک منبع توان پشتیبانی شود، (برای مثال یک ژنراتور بادی یا دیزلی) مجموعه حاصل به عنوان یک سیستم فتوولتائیک ترکیبی شناخته می‌شود. در سیستم‌های متصل به شبکه، شبکه برق سراسری به عنوان یک مخزن انرژی رفتار می‌کند. در آلمان اغلب سیستم‌های PV به شبکه متصل شده‌اند. به دلیل تعرفه‌گذاری تضمینی توان دریافتی برای انرژی خورشیدی در آلمان، همه انرژی‌ای که تولید می‌شود به شبکه برق سراسری تزریق می‌گردد. پیش‌بینی‌ها برای ۴۰ سال آینده نشان می‌دهد که فتوولتائیک می‌تواند تا یک سوم برق آلمان را تأمین کند.

در حالیکه سیستم‌های PV متصل به شبکه بیشتری در اروپا و آمریکای شمالی در سال‌های پیش رو نصب می‌گردند، انتظار می‌رود که در بلند مدت تعداد فزاینده‌ای از سیستم‌های متصل نیز، به خصوص در کشورهای در حال توسعه به کار گرفته شود. منابع تغذیه کوچک خصوصی برای خانه‌ها که به عنوان سیستم‌های خورشیدی خانگی شناخته می‌شوند، می‌توانند توان مورد نیاز برای روشنایی، رادیو، تلوزیون یا یک یخچال و حتی پمپ را تأمین کنند. همچنین روستاها به شکل فزاینده‌ای برق مورد نیاز خود را از مدارات جریان متناوب تأمین می‌کنند که دارای توان‌های بالاتر از ۱۰ کیلووات می‌باشند.