



مؤسسه فرهنگی هنری  
دیبگران تهران

**به نام خدا**



مؤسسه فرهنگی هنری  
دیبگران تهران

# معرفی و طراحی سیستم های خورشیدی فوتوولتائیک (به زبان ساده)

مؤلفان:

مهندس حنیف فروزانی

مهندس حسین فروزانی



هرگونه چاپ و تکثیر از محتویات این کتاب بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است. متخلفان به موجب قانون حمایت حقوق مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.

## ◀ عنوان کتاب: معرفی و طراحی سیستم های خورشیدی فوتوولتاییک (به زبان ساده)

◀ مولفان: مهندس حنیف فروزانی

مهندس حسین فروزانی

◀ ناشر: موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران

◀ صفحه آرا و ویراستار علمی: مهندس مریم رستگارمن

◀ طراح جلد: مهندس مریم رستگارمن

◀ نوبت چاپ: اول

◀ تاریخ نشر: ۱۳۹۸

◀ چاپ و صحافی: درج عقیق

◀ تیراژ: ۱۰۰ جلد

◀ قیمت: ۶۹۰۰۰۰ ریال

◀ شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۲۱۸-۲۳۷-۳

نشانی واحد فروش: تهران، میدان انقلاب،

خ کارگر جنوبی، روبروی پاساژ مهستان،

پلاک ۱۲۵۱

تلفن: ۰۲۰۸۵۱۱۱-۶۶۴۱۰۰۴۶

فروشگاههای اینترنتی دیباگران تهران :

[WWW.MFTBOOK.IR](http://WWW.MFTBOOK.IR)

[www.dibbook.ir](http://www.dibbook.ir)

[www.dibagarantehran.com](http://www.dibagarantehran.com)

نشانی تلگرام: @mftbook      نشانی اینستاگرام دیبا [dibagaran\\_publishing](http://dibagaran_publishing)

هر کتاب دیباگران، یک فرصت جدید شغلی.

هرگوشی همراه، یک فروشگاه کتاب دیباگران تهران.

از طریق سایتها و اپ دیباگران، در هر جای ایران به کتابهای ما دسترسی دارید.

## فهرست مطالب

فصل اول مقدمه و معرفی سیستم های خورشیدی و تعاریف اولیه آنها.....	۱۳
۱-۱ انرژی و منابع انرژی.....	۱۴
۱-۲ خورشید و انرژی خورشیدی.....	۱۵
1-3 عرض جغرافیایی و طول جغرافیایی.....	۱۹
۱-۴ تابش و شدت تابش خورشید.....	۲۲
۱-۵ نیروگاه خورشیدی فوتولتاییک.....	۲۶
۱-۶ مزیت نیروگاه های خورشیدی فوتولتاییک.....	۲۸
۱-۷ انواع سیستم های فوتولتاییک.....	۳۰
۱-۷-۱ سیستم های جدا از شبکه PV.....	۳۰
۱-۷-۲ سیستم های متصل به شبکه PV.....	۳۱
۱-۸ فضای تقریبی مورد نیاز جهت احداث نیروگاه های خورشیدی.....	۴۶
فصل دوم سیستم های خورشیدی فوتولتاییک و معرفی اجزای آنها.....	۴۸
2-1 اجزای سیستم های فوتولتاییک.....	۴۹
۲-۲ اجزای سیستم فوتولتاییک براساس انواع سیستم ها.....	۵۲
۲-۲-۱ سیستم های جدا از شبکه.....	۵۲
۲-۲-۲ سیستم های متصل به شبکه.....	۵۶
۲-۲-۳ سیستم های PV هیبریدی.....	۶۳
فصل سوم اجزا و تجهیزات مورد استفاده در سیستم های خورشیدی فوتولتاییک.....	۶۹
۳-۱ پنل های خورشیدی.....	۷۰

۳-۲ پنل‌های خورشیدی نسل اول.....	۷۰
۳-۲-۱ پنل‌های خورشیدی مونوکریستال.....	۷۰
۳-۲-۲ پنل‌های خورشیدی پلی کریستال.....	۷۹
۳-۳ پنل‌های خورشیدی نسل دوم.....	۸۶
۳-۴ پنل‌های خورشیدی نسل سوم.....	۹۵
۳-۴-۱ سلول‌های خورشیدی بیوهیبریدی PV.....	۹۵
3-4-2 سلول‌های خورشیدی کادمیوم تلوراید (CdTe) PV.....	۹۶
۳-۴-۳ سلول‌های خورشیدی متمرکز PV.....	۹۷
3-5 مقایسه سه نسل از پنل‌های خورشیدی PV.....	۱۰۱
۳-۶ اجزای پنل‌های خورشیدی PV و لایه‌های محافظتی.....	۱۰۵
3-6-1 لایه‌ی زیرین:.....	۱۰۷
3-6-2 لایه‌ی میانی:.....	۱۰۸
3-6-3 لایه‌ی بالا (زیرلایه‌ی پوششی زیرین):.....	۱۰۹
3-6-4 وزن پنل‌های خورشیدی سنتی.....	۱۱۴
۳-۶-۵ بدست‌آوردن فضای تقریبی نیروگاه از مجموع وزن پنل‌ها.....	۱۱۹
۳-۶-۱ معیارهای اندازه‌گیری شیب‌های ساختمان.....	۱۳۰
۳-۶-۲ زیرلایه‌ی پوششی فوقانی (لایه‌ی اضافه شده به لایه‌ی بالا).....	۱۳۶
۳-۷ خروجی پنل‌های خورشیدی PV و جعبه‌ی اتصال.....	۱۳۹
۳-۸ برچسب پنل‌های خورشیدی PV.....	۱۴۳
۳-۹ مبدل‌های DC به AC موسوم به اینورتر.....	۱۴۴
۳-۹-۱ دسته‌بندی اینورترها بسته به نوع شکل موج خروجی.....	۱۴۴
۳-۹-۲ دسته‌بندی اینورترها بسته به نوع اتصال به شبکه.....	۱۴۷
۳-۹-۳ اینورترهای متصل به شبکه‌ی مرکزی.....	۱۵۰
۳-۹-۴ اینورترهای متصل به شبکه‌ی رشته‌ای.....	۱۵۱
۳-۹-۵ میکرو اینورترهای متصل به شبکه.....	۱۵۲
۳-۱۰ نقطه‌ی ماکزیمم توان و ردیابی آن.....	۱۵۵

۱۵۶.....	3-10-1 منحنی I-V سلول‌های خورشیدی PV.....
۱۵۹.....	۳-۱۱ جایگاه MPPT در سیستم خورشیدی PV متصل به شبکه.....
۱۶۷.....	۳-۱۲ کنترل شارژ.....
۱۶۸.....	۳-۱۳ انواع قطع کننده و کلیدهای سیستم های فوتوولتائیک.....
۱۷۱.....	3-14 باطری در سیستم‌های خورشیدی PV.....
۱۷۲.....	<b>فصل چهارم نکات مهم در طراحی نیروگاه‌های خورشیدی PV.....</b>
۱۷۳.....	۴-۱ طراحی نیروگاه خورشیدی جدا از شبکه (منفصل از شبکه).....
۱۷۴.....	۴-۱-۱ محاسبه ضریب اطمینان بیشتر و تلفات کمتر اجزای سیستم PV و اضافه کردن هر یک از آن‌ها به مسئله در زمان طراحی سیستم.....
۱۹۵.....	۴-۲ ساعات اوج خورشیدی PSH و محاسبه‌ی آن.....
۲۰۰.....	4-2-1 رابطه PSH و زاویه تابش بر عملکرد پنل‌های خورشیدی PV.....
۲۱۱.....	۴-۳ اثر دما بر پنل‌ها و سیستم‌های PV و محاسبه‌ی آن.....
۲۱۶.....	۴-۳-۱ ضریب کاهش توان بر اثر دما:.....
۲۱۷.....	۴-۴ اثر آلودگی و گرد و خاک بر پنل‌های خورشیدی PV.....
۲۱۷.....	۴-۵ خطای سازنده‌ی پنل‌های خورشیدی PV.....
۲۱۸.....	۴-۶ نحوه‌ی اتصال آرایه‌ها و پنل‌های خورشیدی PV (اتصالات سری و موازی) و محاسبه‌ی حداقل تعداد پنل برای آرایه‌ها.....
۲۲۵.....	۴-۶-۱ حداقل فاصله‌ی بین آرایه‌های خورشیدی PV.....
۲۲۷.....	۴-۷ بهینه‌سازی مصرف و تولید:.....
۲۳۰.....	۴-۸ هوشمند سازی سیستم خورشیدی و اجزای آن.....
۲۴۴.....	۴-۹ طراحی نیروگاه خورشیدی متصل به شبکه و هیبریدی PV.....
۲۴۶.....	۴-۹-۱ روند طراحی سیستم‌های خورشیدی متصل به شبکه و هیبریدی.....
۲۴۸.....	<b>مراجع.....</b>

۲۴۸ ..... کتاب‌های مرجع

۲۴۸ ..... سایت‌های مورد استفاده

## خط مشی کیفیت انتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران در عرصه کتاب‌هایی است که بتواند خواسته‌هایی به روز جامعه فرهنگی و علمی کشور را تا حد امکان پوشش دهد.

حمد و سپاس ایزد منان را که با الطاف بیکران خود این توفیق را به ما ارزانی داشت تا بتوانیم در راه ارتقای دانش عمومی و فرهنگی این مرز و بوم در زمینه چاپ و نشر کتب علمی دانشگاهی، علوم پایه و به ویژه علوم کامپیوتر و انفورماتیک گام‌هایی هرچند کوچک برداشته و در انجام رسالتی که بر عهده داریم، مؤثر واقع شویم.

گسترده‌گی علوم و توسعه روزافزون آن، شرایطی را به وجود آورده که هر روز شاهد تحولات اساسی چشمگیری در سطح جهان هستیم. این گسترش و توسعه نیاز به منابع مختلف از جمله کتاب را به عنوان قدیمی‌ترین و راحت‌ترین راه دستیابی به اطلاعات و اطلاع‌رسانی، بیش از پیش روشن می‌نماید.

در این راستا، واحد انتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران با همکاری جمعی از اساتید، مؤلفان، مترجمان، متخصصان، پژوهشگران، محققان و نیز پرسنل ورزیده و ماهر در زمینه امور نشر درصدد هستند تا با تلاش‌های مستمر خود برای رفع کمبودها و نیازهای موجود، منابعی پُر بار، معتبر و با کیفیت مناسب در اختیار علاقمندان قرار دهند.

کتابی که در دست دارید با همت "مهندسان حنیف فروزانی و حسین فروزانی" و تلاش جمعی از همکاران انتشارات میسر گشته که شایسته است از یکایک این گرامیان تشکر و قدردانی کنیم.

### کارشناسی و نظارت بر محتوا: زهره قزلباش

در خاتمه ضمن سپاسگزاری از شما دانش‌پژوه گرامی درخواست می‌نماید با مراجعه به آدرس [dibagaran.mft.info](mailto:dibagaran.mft.info) (ارتباط با مشتری) فرم نظرسنجی را برای کتابی که در دست دارید تکمیل و ارسال نموده، انتشارات دیباگران تهران را که جلب رضایت و وفاداری مشتریان را هدف خود می‌داند، یاری فرمایید.

امیدواریم همواره بهتر از گذشته خدمات و محصولات خود را تقدیم حضورتان نماییم.

مدیر انتشارات

مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران  
[bookmarket@mft.info](mailto:bookmarket@mft.info)

تقدیم به مادر عزیزمان...



## پیشگفتار

در دنیای امروز نیاز به انرژی به صورت چشمگیری در حال افزایش است؛ و منابع انرژی محدود در حال کاهش است؛ منابع انرژی می‌توانند محدود یا نامحدود باشند؛ منابع محدود را منابع تجدیدناپذیر می‌گویند. این منابع در آینده با توجه به افزایش مصرف انرژی جهان به پایان خواهند رسید در این صورت جهان برای تامین انرژی خود نیاز دارد از منابع انرژی جدیدتری استفاده کند؛ این منابع می‌توانند یا بازهم تجدیدناپذیر و یا تجدیدپذیر باشند. در هر صورت منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر به دلیل محدود بودن آن‌ها روزی به پایان خواهند رسید؛ در این شرایط آیا بهتر نیست از منابع دیگری که نامحدود می‌باشد استفاده کرد؟ بهتر نیست منابع انرژی محدود را برای نسل‌های بعدی باقی گذاشت؟ یکی از اصلی‌ترین مصرف انرژی جهان از "نفت" است. نفت یکی از ارزشمندترین منابع تجدیدناپذیر جهان می‌باشد که به جایی اینکه از آن برای مصارف مهم استفاده شود از آن به عنوان سوخت برای مصارف مختلف از جمله برای خودروها استفاده می‌شود؛ خودروهایی که غیر از ایجاد آلودگی هوا و تولید صداهای ناهنجار، نسبت به انرژی که مصرف می‌کنند، کم بازده هستند؛ بهتر نیست به جای مصرف خودروهایی با سوخت فسیلی از خودروهای برقی استفاده شود؟ چرا در جهان برای تولید برق همچنان از نفت به عنوان سوخت توربین‌ها استفاده می‌شود؟ بهتر نیست برای تولید برق از منابع دیگری به جای نفت استفاده کنیم؟ بهتر نیست برای تولید برق، انرژی موردنیاز توربین‌های برقی را از آب، امواج دریا یا باد تامین کنیم؟ بهتر نیست از منابعی استفاده کنیم که به محیط زیست و طبیعت آسیب نرسانند؟ آیا با توجه به پیشرفتی که بشر در علم و تکنولوژی کرده است راهی نیست که از منابع انرژی استفاده کنیم که مصرف آن برای انسان‌ها هیچگاه به پایان نمی‌رسد؟ آیا جهان نمی‌تواند برای مصرف انرژی از منابعی استفاده کند که باعث آب شدن یخچال‌های طبیعی و گرم شدن زمین نشود؟ آیا جهان برای مصرف انرژی همچنان از منابع انرژی تجدیدناپذیر و محدود استفاده کند در حالی که می‌دانیم در جهان منابع انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد و می‌توانیم از آن‌ها استفاده کنیم؟ چرا وقتی منابع انرژی نامحدود در جهان پیدا شده‌است برای مصرف انرژی همچنان از منابع محدود استفاده می‌شود؟ آیا دیگر وقت آن نرسیده است که دنیا به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر، نامحدود و بعضاً پاک روی بیاورد؟

جواب این سوالات را می‌توان از توسعه‌ی صنعت و پیشرفت تکنولوژی کشورهای جهان در حوزه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر پیدا کرد؛ بعضی از کشورهای پیشرفته‌ی جهان در حوزه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر بسیار فعال هستند تا جایی که در سال ۲۰۲۲ پیش‌بینی می‌شود بیش از ۵۰ درصد انرژی خود را از منابع انرژی‌ها تجدیدپذیر بدست‌آورند که این موضوع می‌تواند زنگ خطری برای کشورهای نفت‌خیز که درآمدشان وابسته به نفت است، باشد. کشور ایران در این سال‌ها متأسفانه نسبت به بقیه کشورهای دیگر جهان در حوزه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر پیشرفت کمتری داشته است و شاید یکی از دلایل آن به این خاطر است که ایران دارای منابع نفتی و گازی فراوانی می‌باشد، البته ایران دارای منابع تجدیدپذیر متعددی نیز می‌باشد. از جمله خورشید! تابش خورشید در ایران در مقایسه با اکثر کشورهای اروپایی بیشتر است اما در تولید توان نیروگاه‌های خورشیدی در مقایسه با کشورهای پیشرفته‌ی اروپایی بسیار کم تر است. در حوزه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر تنها تولید انرژی به هر شکلی قابل قبول نیست بلکه تولید انرژی‌های تجدیدپذیر پاک در اولویت بیشتری قرار دارد؛ همچنین در این حوزه مصرف‌کننده‌های سبز و پاک که آلودگی کمتری به محیط زیست وارد می‌کنند نیز در نظر گرفته می‌شوند، زمانی که انرژی بصورت پاک تولید شود می‌توان از مصرف‌کننده‌های سبز نیز استفاده کرد اما در ایران نه تنها از منابع پاک تجدیدپذیر کم استفاده می‌شود بلکه همچنان از تولید مصرف‌کننده‌های پاک نیز (مانند خودروهای برقی) خودداری می‌شود. خورشید یک انرژی پاک و تجدیدپذیر می‌باشد و خوشبختانه منابع خورشیدی در ایران بسیار زیاد است. از انرژی خورشید می‌توان برق تولید کرد. برق تولید شده به دو صورت ایجاد می‌گردد: ۱- انرژی حرارت الکتریکی خورشیدی ۲- انرژی فوتوولتاییک که توسط پنل‌های خورشیدی فوتوولتاییک تولید می‌شوند. این پنل‌ها به تنهایی قادر به تولید برق نمی‌باشند، بلکه با کمک تجهیزات دیگر برق خورشیدی فوتوولتاییک تولید می‌شود. مجموع این تجهیزات و پنل‌های خورشیدی فوتوولتاییک، سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک را تشکیل می‌دهند. سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک از اجزاهایی مختلفی تشکیل شده‌است که در این کتاب در مورد آن‌ها به طور کامل صحبت خواهیم کرد. این کتاب به شما آموزش می‌دهد که چطور اجزای یک سیستم خورشیدی فوتوولتاییک را در کنار یک دیگر قرار دهید و یک نیروگاه خورشیدی فوتوولتاییک طراحی و احداث کنید. توان تولیدی این نیروگاه‌ها می‌تواند صرفاً برای مصرف خانگی استفاده شوند و یا به شبکه برق فروخته شوند.

سیستم‌های خورشیدی فوتولتاییک اگر به شبکه متصل باشند سیستم‌های متصل به شبکه و اگر از شبکه جدا باشند سیستم‌های جدا از شبکه می‌گویند. در این کتاب در مورد انواع نیروگاه‌های خورشیدی فوتولتاییک و معرفی آن‌ها صحبت خواهیم کرد و روش‌های طراحی نیروگاه‌های خورشیدی فوتولتاییک را آموزش خواهیم داد. در فصل اول کتاب در مورد معرفی سیستم‌های خورشیدی، اصطلاحات و مفاهیم اولیه در حوزه‌ی انرژی‌های خورشیدی خصوصاً انرژی فوتولتاییک و همچنین در مورد مزیت‌های نیروگاه‌های خورشیدی بر دیگر نیروگاه‌ها صحبت خواهیم کرد؛ در فصل دوم در مورد انواع سیستم‌های خورشیدی فوتولتاییک و نحوه‌ی طراحی آن‌ها خواهیم گفت و در فصل سوم در مورد اجزا و تجهیزات سیستم‌های فوتولتاییک و همچنین در مورد پنل‌های فوتولتاییک و انواع آن‌ها به طور کامل صحبت خواهیم کرد و در نهایت در فصل چهارم نکات مهم و محاسبات لازم برای طراحی یک نیروگاه، ارائه روش‌های صحیح طراحی نیروگاه‌های فوتولتاییک، طریقه‌ی نصب صحیح پنل‌های خورشیدی با در نظر گرفتن وضعیت منطقه و در آخر در مورد طراحی سیستم‌های جدا از شبکه، متصل به شبکه و هوشمند خورشیدی و روش احداث آن‌ها با در نظر گرفتن استانداردهای مربوطه آموزش خواهیم داد. در این کتاب سعی شده است به زبان ساده برای تمام کسانی که در این حوزه علاقه‌مند هستند فعالیت کنند آموزش دهد و تاجای ممکن سعی شده است از به کار بردن مفاهیم سخت یا واژگان ناآشنا و کلمات پیچیده پرهیز شود، همچنین در این کتاب به معرفی انواع پنل‌های خورشیدی جدید و اجزای جدیدتر و نیز استفاده از آن‌ها در طراحی نیروگاه‌های خورشیدی فوتولتاییک پرداخته است که این موضوع می‌تواند برای کسانی که در این حوزه فعال می‌باشند و کسانی که علاقه‌مندند در این حوزه پژوهش کنند، مفید باشد؛ این کتاب برای پژوهشگران در حوزه‌ی سیستم‌های فوتولتاییک اطلاعات جدیدی در اختیار گذاشته است که شاید بتواند راهنمای خوبی برای آن‌ها باشد. توجه داشته باشید مطالبی که در کادرهای خاکستری قرار دارند عموماً یا بسیار مهم می‌باشند یا در مورد تکنولوژی‌های جدید در رابطه با سیستم‌های فوتولتاییک صحبت شده است. اکثر تصاویر انتخاب شده در این کتاب رنگی می‌باشند از طرفی ممکن است در چاپ وضوح تصاویر کم شوند؛ در صورتی که می‌خواهید تصاویر را به صورت رنگی با وضوح بالاتر مشاهده کنید می‌توانید به بخش آموزش سایت به نشانی [www.INeee.ir](http://www.INeee.ir) مراجعه کنید. در صورت هرگونه پیشنهاد، سوال و یا انتقادی می‌توانید از طریق ایمیل به نشانی [Info@ineee.ir](mailto:Info@ineee.ir) با ما در تماس باشید.