



# نیروگاه خورشیدی

تاثیر آن بر سیستم قدرت

مؤلفین: کوروش آپرناک

امیر منصوری

سرشناسه : آپرناک-کوروش ۱۳۷۰

عنوان و نام پدیدآور : نیروگاه خورشیدی و تاثیر آن بر سیستم قدرت

مشخصات نشر : تهران : سهادانش ۱۳۹۴

مشخصات ظاهری : ۲۱۶ص

شابک : ۳-۱۴۶-۱۸۱-۶۰۰-۹۷۸

وضعیت فهرست نویسی : فیبا

شناسه افزوده: منصوری، امیر، ۱۳۷۰

رده بندی کنگره: ۹ن۹/آ۲/۱۰۵۶ TK1

رده بندی دیویی: ۶۲۱/۴۷/۵

شماره کتابشناسی ملی : ۳۹۱۳۴۸۶

مرکز پخش : میدان انقلاب - اول کارگر جنوبی - کوچه رشتچی - روبه روی دانشگاه علمی کاربردی - پلاک ۹

تلفن و فکس : ۳-۶۶۵۶۹۸۸۱

همراه : ۰۹۱۲۱۲۶۱۴۱۹



سهادانش

عنوان کتاب.....نیروگاه خورشیدی تاثیر آن بر قدرت سیستم

مؤلفین.....کوروش آپرناک - امیرمنصوری

ناشر.....سها دانش

سال چاپ.....۱۳۹۴

نوبت چاپ.....اول

تیراژ.....۲۰۰

قیمت.....۱۵۰۰۰۰ریال

فروشگاه شماره ۱ : خیابان انقلاب - نیش خیابان ۱۲ فروردین - پلاک ۱۴۴۴ - کتابفروشی الیاس تلفن : ۰۸۴-۶۶۴۰۵۰۸۴

ISBN : 978-600-181-146-3

شابک: ۳-۱۴۶-۱۸۱-۶۰۰-۹۷۸

www.sohadanesh.ir

فروشگاه اینترنتی:

## سخن ناشر :

### بسمه تعالی

توسعه به دانش و علم آموزی در تعالیم بزرگان جایگاه ویژه ای دارد .

" رسول اکرم (ص) : طلب دانش بر هر مسلمانی فرض است . به راستی خدا جویندگان دانش را دوست دارد . "

یکی از مهمترین ابزار علم آموزی در تمامی اعصار کتاب بوده است . در حال حاضر با توجه به کمبود کتب کاربردی در زمینه علوم مهندسی و نظر به مشکلات اساتید محترم و دانشجویان در مسیر کسب اطلاعات تخصصی ، انتشارات سها دانش برآن شد تا با تکیه بر دو دهه فعالیت در زمینه فوق و استفاده از اساتید برتر دانشگاه و صنعت اقدام به چاپ کتاب هایی در قالب " کلید مهندسی " نماید . این مجموعه کتاب را می توان به عنوان پلی بین دانشگاه و صنعت معرفی کرد .

یکی از بارزترین مشخصات کتب کلید مهندسی بیان مفاهیم اصلی و به دور از پرداختن به جزئیات و چاپ کتاب در قطع کوچک به منظور حمل آسان آن است که این دو ویژگی کمک می کند تا مهندسين عزیز بتوانند به سادگی و در محیط کار از نقشه های و مطالب کاربردی آن بهره کامل را ببرند . از خوانندگان محترم خواهشمندیم پیشنهادهای و انتقادات خود را در جهت بهبود مسیر تولید به ایمیل [sohadanesh\\_pub@yahoo.com](mailto:sohadanesh_pub@yahoo.com) ارسال نمایند

### با احترام

مدیریت انتشارات سها دانش

ناصر قرایی

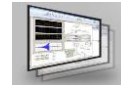


## نیروگاه خورشیدی تاثیر آن بر سیستم

### پیشگفتار:

یکی از منابع مفید و تامین کننده انرژی در اکثر نقاط دنیا انرژی خورشیدی است، به خصوص برای کشورهایی که منابع زیرزمینی آنها چشمگیر نمی باشد. ویژگیها و دلایلی که سبب استفاده روز افزون از این انرژی در سطح دنیا شده است را در چند مورد کلی به صورت زیر می توان خلاصه کرد:

۱. تکنولوژی ساده و قابل حصول
  ۲. طول عمر مناسب سلولهای فتوولتائیک در بهره گیری از آنها برای تولید انرژی
  ۳. کاهش آلودگی محیط زیست به سبب بهره گیری از این انرژی
  ۴. صرفه جویی در هزینه های شبکه های توزیع و انتقال و نیاز کمتر به وجود شبکه سراسری برق
  ۵. امکان تولید انرژی شبکه های کوچک و ناحیه ای با انرژی خورشیدی
  ۶. کاهش چشمگیر نیاز به سوخت های فسیلی و امکان ذخیره سازی آن برای نسل های بعد
  ۷. یکی از مزایای مهم و کاربردی نیروگاههای خورشیدی در ایران با توجه به وضعیت کشور در خصوص کمبود منابع آبی، عدم احتیاج زیاد این نیروگاهها به منابع آبی می باشد به خصوص در دودکش های خورشیدی که نیازی به آب ندارند. بنابراین با بهره برداری مناسب از نیروگاههای خورشیدی در مناطق خشک می توان فعالیت نیروگاههای حرارتی سنتی را که به آب فراوان نیاز دارند کاهش داد.
- نیروگاههای خورشیدی دارای انواع گوناگونی هستند و سیستمهای فتوولتائیک یکی از مهمترین نوع این نیروگاههاست . سیستمهای فتوولتائیک یکی از پر مصرفترین کاربرد انرژی های نوین میباشند که تاکنون سیستمهای متفاوت آن با ظرفیتهای گوناگون در سراسر جهان نصب و راه اندازی شده اند.



### مقدمه:

کشور ما پتانسیل بسیار زیادی برای استفاده از انرژی خورشیدی دارد به گونه ای که ایران با داشتن حدود ۳۰۰ روز آفتابی و میزان تابش ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال جزو بهترین کشورهای دنیا در زمینه پتانسیل انرژی خورشیدی در جهان می باشد. با توجه به موقعیت جغرافیای ایران و پراکندگی روستاها در کشور، استفاده از انرژی خورشیدی یکی از مهمترین عواملی است که باید مورد توجه قرار گیرد. استفاده از انرژی خورشیدی یکی از بهترین راه های برق رسانی و تولید انرژی در مقایسه با دیگر مدل های انتقال انرژی به روستاها و نقاط دور افتاده در کشور از نظر هزینه، حمل نقل، نگهداری و عوامل مشابه می باشد.

با توجه به استانداردهای بین المللی اگر میانگین انرژی تابشی خورشید در روز بالاتر از ۳٫۵ کیلووات ساعت بر مترمربع باشد استفاده از مدلهای انرژی خورشیدی نظیر کلکتورهای خورشیدی یا سیستم های فتوولتائیک بسیار اقتصادی و مقرون به صرفه است.

ظرفیتهای جهانی نشان می دهد حدود ۳۰ گیگاوات از ظرفیت فتوولتائیک جدید در سراسر جهان در سال ۲۰۱۱ عملیاتی شده است و با افزایش ۷۴ درصدی در کل دنیا به میزان ۷۰ گیگاوات رسیده است. نصب و راه اندازی واقعی در طول سال ۲۰۱۱ نزدیک به ۲۵ گیگاوات بوده است چراکه بعضی از ظرفیتهای متصل شده به شبکه در سال ۲۰۱۰ نصب شده بوده اند. کشورهای پیشرو در بیشترین ظرفیت نصب شده تا انتهای سال ۲۰۱۱ آلمان، ایتالیا، ژاپن، اسپانیا و آمریکا بوده اند. با مطالعات انجام شده توسط DLR آلمان، در مساحتی بیش از ۲۰۰۰ کیلومتر مربع، امکان نصب بیش از ۶۰۰۰۰ MW نیروگاه حرارتی خورشیدی وجود دارد.



## نیروگاه خورشیدی تاثیر آن بر سیستم

در بسیاری از قسمتهای ایران انرژی تابشی خورشید بسیار بالاتر از این میانگین بین المللی می باشد و در برخی از نقاط این میزان حتی بالاتر از ۷ تا ۸ کیلو وات ساعت بر مترمربع اندازه گیری شده است ولی بطور متوسط انرژی تابشی خورشید بر سطح سرزمین ایران حدود ۴,۵ کیلو وات ساعت بر مترمربع است.

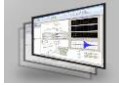
آمارهای علمی در این باره حاکی از آن است که اگر مساحتی معادل  $100 \times 100$  کیلومترمربع زمین را به ساخت نیروگاه خورشیدی اختصاص دهیم، برق تولیدی آن معادل کل تولید برق کشور در سال ۱۳۸۹ خواهد بود.

کتابهای متعددی در زمینه انرژی های تجدیدپذیر از جمله انرژی خورشید وجود دارد که عمده این کتاب ها تنها به معرفی این انرژی و کاربرد آن بسنده کرده اند و در آنها کمتر به مسائل فنی و عملیاتی پرداخته شده است.

کتاب پیشرو عمدتاً به جنبه های مختلف فنی انرژی خورشیدی و تاثیر آن بر شبکه قدرت پرداخته است که با توجه به پتانسیل بالای کشور در این زمینه و رویکرد جدی وزارت نیرو برای استفاده از پتانسیل عظیم انرژی خورشیدی و همچنین احساس کمبود این نوع مطالعه در زمینه انرژی خورشیدی بر آن شدیم تا این کتاب را به رشته تحریر درآوریم.



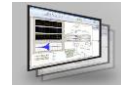
پیشگفتار:	۴
مقدمه:	۵
فصل اول	۱۲
مروری بر مطالب	۱۲
۱-۱ مقدمه	۱۲
۲-۱ مصارف و کاربردهای سیستم فتوولتائیک	۱۴
۳-۱ نیروگاههای خورشیدی به عنوان منبع انرژی تجدیدپذیر	۱۵
۴-۱ هدف	۲۲
۵-۱ رویکرد	۲۳
۶-۱ مرور و نمایی از هر فصل	۲۴
فصل دوم	۲۶
ویژگی نیروگاههای خورشیدی	۲۶
۱-۲ مقدمه	۲۶
۲-۲ تابش خورشیدی	۲۷
۳-۲ ویژگی سلول های خورشیدی	۳۱
۱-۳-۲ تاثیر دمای سلول ها و تابش	۳۷
۴-۲ اینورتر	۳۸
۵-۲ کنترل کننده	۴۱
۱-۵-۲ کنترل کننده ردیابی نقطه بیشینه توان	۴۱



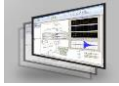
## نیروگاه خورشیدی تاثیر آن بر سیستم

۴۱	.....۱-۵-۲-۱ تطبیق بار در پانل خورشیدی
۴۲	.....۲-۱-۵-۲ روش فیدبک ولتاژ
۴۵	.....۳-۱-۵-۲ روش فیدبک توان
۴۵	.....۱-۳-۱-۵-۲ روش آشفستگی و مشاهده (P&O)
۵۱	.....۲-۳-۱-۵-۲ روش کنداکتانس افزایشی
۵۴	.....۲-۵-۲ حفاظت جزیره‌ای
۵۹	.....۶-۲ شبکه
۶۰	.....فصل سوم
۶۰	.....مدل مناسب نیروگاه های خورشیدی برای آنالیز حالت ماندگار
۶۱	.....۱-۳ مقدمه
۶۱	.....۲-۳ روش انجام کار
۶۱	.....۳-۳ انجام آزمایش
۶۶	.....۴-۳ نتایج آزمایش
۷۶	.....۵-۳ شرح مدل
۷۶	.....۱-۵-۳ شرح و توضیحات عمومی
۷۸	.....۲-۵-۳ فلوچارت
۸۰	.....۳-۵-۳ مشخصات آرایه فتوولتائیک
۸۲	.....۴-۵-۳ اثر تغییرات در تابش
۸۶	.....۵-۵-۳ اثر تغییرات در ولتاژ AC شبکه
۸۸	.....۶-۵-۳ ردیابی نقطه بیشینه توان
۸۹	.....۷-۵-۳ اعتبار سنجی مدل
۹۲	.....۶-۳ نتیجه گیری
۹۳	.....فصل چهارم





۹۳	پاسخ دینامیکی درمقابل تغییرات سریع تابش خورشید .....
۹۳	۱-۴ مقدمه .....
۹۴	۲-۴ طرح مسئله .....
۹۴	۳-۴ سیستم آزمایش ۱۰ باسه .....
۹۶	۴-۴ ترکیب نیروگاه خورشیدی با سیستم مورد آزمایش .....
۹۹	۵-۴ ساده سازی مدل اجزای نیروگاه خورشیدی متصل به شبکه .....
۱۰۰	۴-۵-۱ توزیع یکنواخت تابش نور خورشید .....
۱۰۱	۴-۵-۲ توزیع غیر یکنواخت تابش نور خورشید .....
۱۰۲	۴-۶ نمونه مطالعاتی .....
۱۰۴	۴-۶-۱ نتایج شبیه سازی .....
۱۰۷	۴-۶-۲ تحلیل و بررسی .....
۱۰۸	۴-۶-۳ تریپ نیروگاه خورشیدی .....
۱۱۰	۴-۷ نتیجه گیری .....
۱۱۱	فصل پنجم .....
۱۱۱	کاهش نوسانات ولتاژ ناشی از نیروگاه های خورشیدی .....
۱۱۱	۱-۵ مقدمه .....
۱۱۲	۲-۵ کنترل ضریب قدرت ثابت .....
۱۱۳	۳-۵ کنترل خودکار ولتاژ توسط اینورتر سیستم فتوولتائیک .....
۱۱۴	۴-۵ کنترل ولتاژ به روش جبران سازه های استاتیک توان راکتیو (SVC) .....
۱۱۹	۵-۵ نمونه مطالعاتی .....
۱۲۰	۵-۵-۱ نتایج شبه سازی .....
۱۲۱	۵-۵-۱-۱ شبیه سازی نتایج ناشی از ضریب قدرت ثابت .....
۱۲۹	۵-۵-۱-۲ شبیه سازی نتایج ناشی از کنترل ولتاژ توسط مولد فتوولتائیک .....



## نیروگاه خورشیدی تاثیر آن بر سیستم

۱۳۳	استاتیک توان راکتیو.....
۱۳۷	۶-۵ نتیجه گیری.....
۱۳۹	فصل ششم.....
۱۳۹	تاثیر نیروگاههای خورشیدی بر پایداری گذرا.....
۱۳۹	۱-۶ مقدمه.....
۱۳۹	۲-۶ پایداری گذرا.....
۱۴۰	۳-۶ پاسخ مولد فتوولتائیک به اختلالات.....
۱۴۱	۱-۳-۶ مکانیزم ایجاد بی ثباتی.....
۱۴۴	۴-۶ نمونه مطالعاتی.....
۱۴۲	۱-۴-۶ آماده سازی سیستم آزمایشی.....
۱۴۴	۱-۱-۴-۶ پخش بار در حالت ماندگار.....
۱۴۶	۲-۱-۴-۶ مدل دینامیکی.....
۱۴۶	۲-۴-۶ نتایج شبیه سازی.....
۱۴۷	۱-۲-۴-۶ سطح نفوذ نیروگاه خورشیدی.....
۱۵۵	۲-۲-۴-۶ امیدانس خطا.....
۱۶۲	۳-۲-۴-۶ پارامترهای حفاظتی.....
۱۶۶	۴-۲-۴-۶ زمان برطرف شدن خطا.....
۱۷۳	۳-۴-۶ آنالیز نتایج شبیه سازی.....
۱۷۵	۵-۶ نتیجه گیری.....
۱۷۷	فصل هفتم.....
۱۷۷	پاسخ فرکانسی نیروگاههای خورشیدی.....



۱۷۷	.....	۱-۷ مقدمه
۱۷۸	.....	۲-۷ کنترل فرکانس
۱۸۰	.....	۳-۷ بارگذاری مولد فتوولتائیک
۱۸۲	.....	۴-۷ روش
۱۸۶	.....	۵-۷ اجرای کنترل الکترونیک مدار پاسخ فرکانسی
۱۸۶	.....	۱-۵-۷ بلوک دیاگرام کنترل $P_{pv}^{freq}$
۱۸۷	.....	۱-۱-۵-۷ بلوک دیاگرام S&H
۱۸۹	.....	۲-۱-۵-۷ منحنی فرکانس - توان
۱۹۱	.....	۲-۵-۷ بلوک دیاگرام کنترل $I_{pv}^{freq}$
۱۹۳	.....	۳-۵-۷ اجرای رله تایمردار
۱۹۴	.....	۶-۷ نتایج شبیه سازی
۱۹۷	.....	۷-۷ نمونه مطالعاتی
۲۰۰	.....	۸-۷ نتیجه گیری
۲۰۱	.....	پیوست
۲۱۶	.....	منابع و مراجع