



شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد  
Mashad Electric Energy Distribution Co.

## سیستم‌های فتوولتائیک راهکاری نویدبخش برای ارتقای شبکه‌های توزیع برق

گروه مؤلفین:

حسین امیرخزاعی، مهران قاسم پور، امیرخزاعی

پیرستار:

محمد زینبی

---

صاحب‌الریاز:

شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد

زمستان ۱۳۹۲

---

|                     |   |                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سروشنامه            | : | ابوترابی زارچی، حسین، ۱۳۵۷                                                                                                                                                                                     |
| عنوان و نام پدیدآور | : | سیستم‌های فتوولتائیک راهکاری نویدبخش برای ارتقای شبکه‌های توزیع برق / گردآوری و تدوین حسین ابوترابی زارچی، مهران قاسم‌پور، امیر خزاغی؛ ویراستار محمدعلی نورانی؛ صاحب امتیاز شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد. |
| مشخصات نشر          | : | مشهد: تعالی گستر، ۱۳۹۲.                                                                                                                                                                                        |
| مشخصات ظاهری        | : | ۲۲۴ ص.: مصور، رنگی، جدول، نمودار.                                                                                                                                                                              |
| شابک                | : | ۹۷۸-۶۰۰-۹۶۱۷۱-۲-۴                                                                                                                                                                                              |
| وضعیت فهرست نویسی   | : | فیبیا                                                                                                                                                                                                          |
| اشت                 | : | واژه‌نامه.                                                                                                                                                                                                     |
| یادداشت             | : | کتابنامه.                                                                                                                                                                                                      |
| موضوع               | : | برق - سیستم‌های فتوولتائی                                                                                                                                                                                      |
| موضوع               | : | برق نیرو - توزیع                                                                                                                                                                                               |
| شناخته شده          | : | انرژی خورشیدی                                                                                                                                                                                                  |
| شناخته شده          | : | قاسم‌پور، مهران، ۱۳۴۸ -                                                                                                                                                                                        |
| شناخته شده          | : | خزاغی، امیر، ۱۳۶۶ -                                                                                                                                                                                            |
| شناخته شده          | : | نورانی، محمدعلی، ۱۳۳۹ - ویراستار                                                                                                                                                                               |
| شناخته شده          | : | شرکت توزیع نیروی برق مشهد                                                                                                                                                                                      |
| رده بندی کنگره      | : | ۱۳۹۲ ص ۹ الف ۲ / TK۱۰۸۷                                                                                                                                                                                        |
| رده بندی دیویی      | : | ۶۲۱/۳۱۲۴۴                                                                                                                                                                                                      |
| شماره کتابشناسی ملی | : | ۳۳۹۶۶۳                                                                                                                                                                                                         |

## سیستم‌های فتوولتائیک راهکاری نویدبخش برای ارتقای شبکه‌های توزیع برق

- صاحب امتیاز: شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد
- گروه مؤلفین: حسین ابوترابی زارچی، مهران قاسم‌پور، امیر خزاغی
- ناشر: تعالی گستر
- نوبت چاپ: اول - زمستان ۱۳۹۲
- ویراستار و مدیر اجرایی: محمدعلی نورانی
- تیراژ: ۲۰۰۰ نسخه
- چاپ: چاپ زمرد مشهد
- طراح جلد، صفحه آرا و ناظر فنی چاپ: محمدجواد نورانی
- قیمت: ۱۵۰۰۰ ریال
- شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۶۱۷۱-۲-۴

کلیه حقوق قانونی برای صاحب امتیاز محفوظ می باشد (نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است)

| عنوان                                                              | شماره صفحه |
|--------------------------------------------------------------------|------------|
| پیش گفتار.....                                                     | ۸          |
| مرور تاریخی به شرکت توزیع نیروی برق مشهد.....                      | ۱۰         |
| فصل اول ..... زندگی با خورشید                                      |            |
| پایان پذیری سوخت های فسیلی.....                                    | ۱۵         |
| لزوم تنوع بخشی به سبد منابع انرژی کشور.....                        | ۱۷         |
| ارتقای امنیت تأمین انرژی و سطح قابل اطمینان.....                   | ۲۰         |
| توسعه تولید پراکنده برق.....                                       | ۲۱         |
| افزایش رشد اقتصادی و ایجاد شغل (شاغل سبز).....                     | ۲۲         |
| توسعه انرژی های تجدیدپذیر در تأمین انرژی منطقه روستایی.....        | ۲۳         |
| راهکاری برای تأمین انرژی و برق در شرایط بحرانی (بدون غیرعامل)..... | ۲۴         |
| ضرورت توسعه سیستم های فتوولتائیک در کشور.....                      | ۲۹         |
| فصل دوم : سیستم فتوولتائیک و اجزای آن                              |            |
| پنل های فتوولتائیک.....                                            | ۳۵         |
| پارامترهای اساسی پنل فتوولتائیک.....                               | ۳۷         |
| انواع سلول های خورشیدی.....                                        | ۳۹         |
| قیمت سلول های خورشیدی.....                                         | ۴۳         |
| اینورتر فتوولتائیک متصل به شبکه.....                               | ۴۴         |
| بازده اینورترهای فتوولتائیک.....                                   | ۵۳         |
| اینورتر فتوولتائیک جدا از شبکه.....                                | ۵۴         |
| باتری.....                                                         | ۵۵         |
| شارژ کنترلر.....                                                   | ۶۱         |

فصل سوم : طراحی سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه و جدا از شبکه

|    |       |                                                                     |
|----|-------|---------------------------------------------------------------------|
| ۷۰ | ..... | روش و تحلیل سایه اندازی                                             |
| ۷۲ | ..... | جرایم آلودگی سایه                                                   |
| ۷۶ | ..... | سیستم فتوولتائیک جدا از شبکه و اصول طراحی آن                        |
| ۷۸ | ..... | کاربردهای سیستم فتوولتائیک جدا از شبکه                              |
| ۸۳ | ..... | طراحی یک سیستم فتوولتائیک و شنایی جدا از شبکه ۱۱۰ وات برای فضای باز |
| ۸۵ | ..... | نمونه هایی از سیستم های فتوولتائیک جدا از شبکه در مقیاس صنعتی       |
| ۸۷ | ..... | سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه و اصول طراحی آن                       |
| ۹۷ | ..... | معرفی نرم افزارهای طراحی سیستم فتوولتائیک                           |

فصل چهارم : بررسی تأثیر متقابل سیستم های تولید کننده فتوولتائیک و شبکه توزیع برق

|     |       |                          |
|-----|-------|--------------------------|
| ۱۱۰ | ..... | مباحث ولتاژی             |
| ۱۲۳ | ..... | کیفیت توان               |
| ۱۲۸ | ..... | حفاظت و اتصال کوتاه      |
| ۱۳۳ | ..... | سیستم زمین و حفاظت صاعقه |
| ۱۴۰ | ..... | سازگاری الکترومغناطیسی   |

فصل پنجم : میکرواینورتر، راهکاری نوید بخش در توسعه فتوولتائیک شهری

|     |       |                                               |
|-----|-------|-----------------------------------------------|
| ۱۵۰ | ..... | مقدمه ای بر میکرواینورتر                      |
| ۱۵۹ | ..... | مزایای سیستم فتوولتائیک مبتنی بر میکرواینورتر |
| ۱۶۶ | ..... | بازار میکرواینورترها                          |

فصل ششم: نمونه های اجرا شده سیستم های فتوولتائیک

|     |                                                                                 |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۲۱ | ..... جایا حل سب سیستم فتوولتائیک                                               |
| ۱۷۶ | ..... معرفی نمونه سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه                                 |
| ۱۷۷ | ..... معرفی نمونه ای از سیستم یک کیلووات مبتنی بر اینورتر مرکزی                 |
| ۱۸۵ | ..... معرفی دو نمونه سیستم ولتائیک خانگی مبتنی بر میکرواینورتر اجرا شده در مشهد |
| ۱۹۰ | ..... معرفی چند نمونه سیستم ولتائیک جدا از شبکه                                 |
| ۱۹۰ | ..... استقرار سیستم فتوولتائیک جدا از شبکه و آبگرمکن خورشیدی در یک ساختمان      |
| ۱۹۹ | ..... اجرای بام سبز                                                             |
| ۲۰۱ | ..... استقرار سیستم هوشمند روشنایی ایستگاه ترانس با استفاده از برق خورشیدی      |

پیوست ها

|     |                                   |
|-----|-----------------------------------|
| ۲۰۷ | ..... واژه نامه                   |
| ۲۱۵ | ..... منابع                       |
| ۲۱۸ | ..... معرفی آثار منتشر شده تاکنون |

### پیش گفتار

آیا می‌خواهیم.....؟!

... می‌توان این سئوال چند سئوال شروع کرد تا اهمیت موضوع بیش از پیش روشن گردد:

- آیا ما به اطرافمان نعمت‌هایی که خداوند به ما ایرانیان عطا نموده، توجه کرده ایم؟!

- آیا شکر نعمت‌هایی که برای ما عطا فرموده را به جا می‌آوریم؟!

- آیا معنی عملی شکر نعمت را می‌دانیم؟!

- آیا می‌دانیم تاکنون چه بلایی بر سر معادن و سرزمین این سرزمین از قبیل نفت، معادن و زیست بوم‌های متنوع آورده ایم؟!

- آیا می‌دانیم «آفتاب» یک نعمت لایزال الهی برای سر و به ویژه سرزمین تاریخی و متمدن ایران زمین است؟!

- آیا قصد آن داریم که بر سر «آفتاب» همان بیاوریم که بر سر «نفت» آورده ایم و آنچنان که پس از صد سال

هنوز «نفت» باری از دوش ملت برداشته است، آیا می‌خواهیم «آفتاب» را هم بر خودمان حرام کنیم؟!

باید براین واقعیت تأکید و توجه نماییم که در آینده ای بسیار نزدیک «آفتاب» سهم بسیار قابل توجهی از

سبد انرژی کشورها را به خود اختصاص داده و به عنوان رکن رکینی در ساختار «هم‌مندی سیستم‌های تأمین

انرژی جامعه» ایفای نقش خواهد نمود. در آن صورت، بدیهی است کشورهایی که پیش از این آمادگی استفاده از

این سیستم‌ها را نداشته باشند «بازنده واقعی» میدان خواهند بود.

توجه به دقایق فوق وظیفه نخبگان ملت است، کسانی که در پیشگاه خدا و مردم، بی‌قصد دارند به واسطه

برخورداری از نعمت عظمای «عقل و قدرت حل مسأله»، راه حل‌های علمی و عملی ارائه دهند تا از قبل این

راهکارها، جامعه در مسیر هدایت و سعادت قرار گیرد.

البته بسیار موجب خرسندی است که قوه مقننه با وضع ماده ۶۹ قانون بودجه سال ۹۲ و انشاء... ادامه آن در سال‌های آینده، گام جدیدی برای توسعه تأمین برق واحدهای مسکونی و عمومی از طریق انرژی‌های نو، به ویژه انرژی خورشیدی برداشته است. وضع این ماده قانونی به عنوان یک سیگنال مثبت باید مدنظر دست اندرکاران و خبرگان بخش انرژی کشور قرار گیرد.

هم‌اکنون خوش‌حالم که عزیزان متخصصی در این وادی گام نهاده و با نگارش کتابی علمی و کاربردی در راستای استفاده صحیح از انرژی رایگان خورشید و یا رویکرد توسعه سیستم‌های فتوولتائیک شهری و خانگی، به یاری قادیان، خشتی بر بنای بالنده تمدن این مرز و بوم خواهند نهاد. شرکت توزیع برق مشهد در راستای تداوم انتشار کتاب علمی کاربردی و کاربردی مورد نیاز صنعت برق ایران، این بار با همکاری پژوهشکده هوا خورشید دانشگاه فردوسی مشهد، دست به انتشار این کتاب زده است.

لازم می‌دانم از همت گرانمایان این کتاب آقایان دکتر حسین ابوترابی زارچی، مهندس مهران قاسم پور و مهندس امیر خزاعی و تلاش‌های بی‌گناهی آقایان محمدعلی نورانی در جهت ویراستاری مطالب و هدایت امور چاپی آن و همچنین مساعدت‌های آقایان مهرداد رضامصدق، مهندس رضابخشی، مهندس حمیدرضا صادقی و مهندس مهرداد عظیمی برای کمک به گردآوری مطالب سپاس‌گزاری نمایم.

در پایان امیدوارم که انتشار این کتاب بتواند قدمی مثبت در راه ارتقای دانش علاقه‌مندان و صنعتگران عرصه تأمین انرژی کشور به ویژه سیستم‌های خانگی خورشیدی به حساب آید، که اگر چنین باشد کلاه گوشه دست اندرکاران این اثر به «آفتاب» خواهد رسید. (ان شاء...)

علی سعیدی

مدیرعامل