

بسمه تعالی

# واحدهای فتوولتائیک و اتصال آن به شبکه توزیع نیروی برق

مولفان:

**مصطفی عطازندی**

(مدرس موسسه آموزش عالی وحدت تربت جام)

**عطیه اکرمی**

(مدرس موسسه آموزش عالی وحدت تربت جام)

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



موسسه آموزش عالی وحدت تربت جام  
(فهردهی - غیرانتفاعی)

انتشارات ارسطو  
(چاپ و نشر ایران)

۱۳۹۸

سرشناسه: عطا زندی، مصطفی، ۱۳۶۹-  
عنوان و نام پدیدآور: واحدهای فتوولتائیک و اتصال آن به شبکه توزیع نیروی برق / مولفان  
مصطفی عطاءزندی، عطیه اکرمی.  
مشخصات نشر: مشهد: ارسطو، ۱۳۹۸.  
مشخصات ظاهری: ۱۹۰ ص.: مصور، جدول.  
شابک: ۲۹۰۰۰۰ ریال: ۵-۳۲۱-۴۳۲-۶۰۰-۹۷۸  
وضعیت فهرست نویسی: فیپا  
یادداشت: کتابنامه: ص. ۱۸۶ - ۱۹۰.  
موضوع: برق -- ایران -- خراسان رضوی -- سیستم‌های فتوولتایی -- طرح و ساختمان  
موضوع: Photovoltaic power systems -- Design and construction -- Iran --  
(Khorasan Razavi Province)  
موضوع: تولید برق از انرژی خورشیدی -- ایران -- خراسان رضوی  
موضوع: Photovoltaic power generation -- Iran -- Khorasan Razavi (Province)  
موضوع: برق -- سیستم‌های فتوولتایی -- طرح و ساختمان  
موضوع: Photovoltaic power systems -- Design and construction  
موضوع: نیروگاه‌های خورشیدی -- ایران -- خراسان رضوی  
موضوع: Solar power plants -- Iran -- Khorasan Razavi (Province)  
موضوع: برق نیرو -- ایران -- خراسان رضوی -- توزیع  
موضوع: (Electric power distribution -- Iran -- Khorasan Razavi Province)  
شناسه افزوده: اکرمی، عطیه، ۱۳۷۱-  
رده بندی دیویی: ۶۲۱/۳۱۲۴۴  
شماره کتابشناسی ملی: ۵۶۷۴۸۲۹

وزارت علم، تحقیقات و فناوری



مؤسسه آموزش عالی وحدت تربت جام  
(فهرستی- غیر کتابی)

مؤسسه آموزش عالی وحدت تربت جام، کیلومتر یک جاده تربت جام-مشهد

نام کتاب: واحدهای فتوولتائیک و اتصال آن به شبکه توزیع نیروی برق  
مولفان: مصطفی عطاءزندی - عطیه اکرمی  
ناشر: ارسطو (با همکاری سامانه اطلاع رسانی چاپ و نشر ایران)  
صفحه آرایشی، تنظیم و طرح جلد: پروانه مهاجر  
تیراژ: ۱۰۰۰ جلد  
نوبت چاپ: اول - ۱۳۹۸  
چاپ: مدیران  
قیمت: ۲۹۰۰۰ تومان  
شابک: ۵-۳۲۱-۴۳۲-۶۰۰-۹۷۸  
تلفن های مرکز پخش: ۳۵۰۹۶۱۴۵ - ۳۵۰۹۶۱۴۶ - ۰۵۱  
[www.chaponashr.ir](http://www.chaponashr.ir)  
حق چاپ محفوظ است

## تقدیم به خانواده‌ی عزیزمان

با تقدیر و تشکر ویژه از جناب آقای دکتر صفری بابت تمامی زحماتی که برای  
تدوین این اثر کشیدند



# فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
۹	پیشگفتار
<b>فصل اول: پیشگفتار</b>	
۱۱	مقدمه
۱۲	اهداف مطالعاتی این کتاب
۱۳	ساختار گزارش پروژه
<b>فصل دوم: بررسی وضعیت استفاده و ارزیابی پتانسیل انرژی خورشیدی</b>	
۱۵	مقدمه
۱۵	وضعیت فعلی بهره‌برداری از انرژی‌های نو در جهان
۱۷	هزینه‌ی بهره‌برداری از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر
۲۴	ارزیابی پتانسیل انرژی خورشید در ایران
۲۵	ارزیابی پتانسیل انرژی خورشید در استان خراسان
۲۷	تعارف خرید تضمینی برق از نیروگاه‌های خورشیدی
۲۷	جمع بندی و نتیجه گیری
<b>فصل سوم: اصول اساسی ارزیابی منبع خورشید</b>	
۳۰	مقدمه
۳۰	مشخصات جغرافیایی شهرستان‌های استان خراسان رضوی
۳۱	بررسی پتانسیل خورشیدی شهرستان‌های استان خراسان رضوی
۳۴	مرتب سازی اطلاعات براساس ماه های شمسی
۳۹	جمع بندی و نتیجه گیری
<b>فصل چهارم: مفاهیم اساسی و تکنولوژی مورد استفاده در سیستم‌های فتوولتائیک</b>	
۴۰	مقدمه
۴۱	سیستم فتوولتائیک
۴۳	اصول طراحی سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه
۴۴	طراحی آرایه فتوولتائیک
۴۶	تعیین ظرفیت اینورتر
۴۸	ضریب عملکرد سیستم فتوولتائیک
۵۵	جمع بندی و نتیجه گیری
<b>فصل پنجم: تحلیل اقتصادی نصب و بهره‌برداری از نیروگاه‌های خورشیدی ۵ کیلوواتی در سطح شرکت توزیع استان خراسان رضوی</b>	
۵۶	مقدمه
۵۷	هزینه‌ها، درآمدها، تسهیلات و مفروضات طرح نیروگاه خورشیدی ۵ کیلوواتی

۵۷	..... هزینه‌های سرمایه‌گذاری
۵۷	..... هزینه‌های جاری (سالانه)
۵۷	..... فرضیات اولیه برای انجام ارزیابی اقتصادی
۵۹	..... ارزیابی اقتصادی نصب نیروگاه خورشیدی ۵ کیلوواتی در استان خراسان رضوی
۶۰	..... بررسی اقتصادی نیروگاه‌های خورشیدی نصب شده در استان خراسان رضوی
۶۶	..... جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهادهای

### فصل ششم: بهره‌برداری و اتصال سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه

۶۸	..... مقدمه
۷۲	..... الزامات و مشخصات عمومی اتصال به شبکه واحدهای تولید پراکنده
۷۲	..... محدوده‌ی نوسانات مجاز ولتاژ
۷۴	..... اعوجاج هارمونیک ولتاژ
۷۵	..... نامتعادلی ولتاژ
۷۶	..... فلیکر
۷۹	..... محدوده مجاز فرکانس
۷۹	..... اعوجاج هارمونیک جریان
۸۲	..... تزریق جریان DC
۸۳	..... محدودی تغییرات مجاز ضریب توان
۸۴	..... سنکرون سازی با شبکه
۸۶	..... زمین کردن
۸۸	..... اینورترهای دارای ترانس ایزوله
۸۹	..... اینورترها بدون ترانس ایزوله
۹۰	..... قطع ولتاژ غیرعادی
۹۲	..... قطع فرکانس غیرعادی
۹۵	..... حفاظت جزیره‌ای شدن و اتصال مجدد
۹۷	..... حفاظت شارش معکوس توان
۹۸	..... جلوگیری از تداخلات الکترومغناطیسی
۹۹	..... ایزولاسیون و کلیدزنی
۹۹	..... حفاظت اتصال کوتاه
۱۰۰	..... حفاظت در اضافه ولتاژهای موج ضربه و صاعقه
۱۰۱	..... توانایی‌های کنترل توان واحدهای فتوولتائیک
۱۰۱	..... کنترل توان اکتیو در واحدهای فتوولتائیک
۱۰۲	..... کنترل توان راکتیو در واحدهای فتوولتائیک
۱۰۳	..... استانداردهای تأیید اینورترهای سیستم‌های فتوولتائیک
۱۰۳	..... الزامات اتصال به شبکه برای واحدهای فتوولتائیک با ظرفیت مختلف

۱۰۴	..... مانیتورینگ سیستم‌های فتوولتائیک
۱۰۴	..... مستندسازی سامانه های فتوولتائیک متصل به شبکه
۱۰۵	..... آزمون‌های تأیید الزامات فنی و کیفی سامانه‌های فتوولتائیک متصل به شبکه
۱۰۵	..... جمع بندی و نتیجه گیری

### فصل هفتم: بررسی تأثیر واحدهای فتوولتائیک

۱۰۶	..... بر شبکه‌های توزیع قدرت
۱۰۶	..... مقدمه
۱۰۶	..... بررسی تأثیر واحدهای فتوولتائیک بر پروفایل ولتاژ فیدرهای شبکه‌های توزیع
۱۰۷	..... اضافه ولتاژ
۱۰۹	..... فلیکر ولتاژ
۱۰۹	..... نامتعادلی ولتاژ
۱۱۰	..... تأثیر واحدهای فتوولتائیک بر عناصر حفاظتی و شرایط اتصال کوتاه شبکه‌های توزیع
۱۱۰	..... افزایش ظرفیت اتصال کوتاه شبکه در حضور واحدهای فتوولتائیک
۱۱۱	..... راهکارهای پیشگیری از افزایش ظرفیت اتصال کوتاه
۱۱۱	..... تأثیر بر منحنی فیوزها
۱۱۲	..... خستگی فیوز
۱۱۲	..... ایجاد نقاط کور در عملکرد عناصر حفاظتی
۱۱۳	..... ظرفیت تجهیزات و اضافه بار
۱۱۳	..... اضافه بار ترانس
۱۱۴	..... اضافه بار کابل و فیدر
۱۱۴	..... جمع بندی و نتیجه گیری

### فصل هشتم: تأثیر واحدهای فتوولتائیک بر شاخص‌های کیفیت توان فیدرهای شبکه‌های توزیع

۱۱۵	..... مقدمه
۱۱۶	..... انجام اندازه‌گیری‌های لازم کیفیت توان سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه خواف
۱۱۷	..... تحلیل و بررسی اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری‌های عملی از سامانه فتوولتائیک
۱۱۸	..... تحلیل تغییرات بلندمدت ولتاژ
۱۲۰	..... تحلیل هارمونیک‌های ولتاژ
۱۲۹	..... شاخص‌های کیفیت جریان
۱۲۹	..... مقدار مؤثر جریان
۱۳۰	..... هارمونیک‌های جریان
۱۳۹	..... تزریق جریان مستقیم
۱۳۹	..... ضریب توان میانگین نیروگاه فتوولتائیک
۱۴۰	..... فرکانس شبکه
۱۴۱	..... جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

## فصل نهم: تأثیر واحدهای فتوولتائیک بر ۱۴۳ تلفات شبکه‌های توزیع

۱۴۳	.....	مقدمه
۱۴۷	.....	فرمولاسیون تلفات
۱۴۸	.....	انواع مختلف واحدهای تولید پراکنده
۱۴۸	.....	اندازه‌یابی بهینه‌ی واحدهای تولید پراکنده
۱۵۰	.....	روش تحلیلی محاسبه‌ی اندازه، مکان و ضریب توان بهینه یک واحد تولید پراکنده در شبکه توزیع
۱۵۱	.....	نتایج عددی و شبیه‌سازی
۱۵۲	.....	انتخاب ظرفیت بهینه‌ی واحد تولید پراکنده (اندازه‌یابی)
۱۵۳	.....	انتخاب مکان بهینه‌ی واحد تولید پراکنده (مکان‌یابی)
۱۵۵	.....	الگوریتم بهینه‌سازی جایابی چند واحد تولید پراکنده
۱۵۵	.....	الگوریتم بهینه‌سازی جایابی چند واحد تولید پراکنده مبتنی بر روش تحلیلی
۱۵۷	.....	الگوریتم بهینه‌سازی جایابی چند واحد تولید پراکنده مبتنی بر ضریب حساسیت تلفات
۱۵۸	.....	نتایج عددی و شبیه‌سازی
۱۶۰	.....	جمع بندی و نتیجه گیری

## فصل دهم: تعیین حداکثر ظرفیت فتوولتائیک قابل استفاده در شبکه‌های توزیع برق

۱۶۱	.....	مقدمه
۱۶۲	.....	دستورالعمل توانیر تعیین حداکثر ضریب نفوذ واحدهای فتوولتائیک در شبکه‌های توزیع برق
۱۶۲	.....	روش تحلیلی تعیین حداکثر ظرفیت قابل نصب واحدهای فتوولتائیک در شبکه‌های توزیع برق
۱۶۶	.....	اطلاعات فیدر توزیع نمونه مورد بررسی
۱۶۷	.....	سناریوی اول (A)
۱۷۲	.....	سناریوی دوم (B)
۱۷۵	.....	سناریوی سوم (C)
۱۷۵	.....	سناریوی C <sub>۱</sub>
۱۷۶	.....	سناریوی C <sub>۲</sub>
۱۸۰	.....	جمع بندی و نتیجه گیری
۱۸۱	.....	مراجع

## پیشگفتار

افزایش حضور سامانه های فتوولتائیک در شبکه توزیع، فرصت‌ها و چالش‌های جدیدی را برای بهره‌برداران شبکه‌های توزیع فراهم کرده است. در این راستا، در صورت آشنایی بهره‌برداران شبکه‌های توزیع با پاسخ سیستم توزیع در حضور سامانه های فتوولتائیک و روش‌های تحلیل و طراحی این سیستم‌ها، این حضور می‌تواند سبب فرصت‌هایی برای کاهش تلفات و هزینه و همچنین افزایش قابلیت انعطاف و اطمینان سیستم شود. از طرف دیگر، عدم آمادگی بهره‌برداران شبکه‌های توزیع در مواجهه با حضور سامانه های فتوولتائیک، می‌تواند سبب مشکلات فنی از جمله پایداری شبکه، کیفیت توان (افزایش ولتاژ، نامتعادلی ولتاژ، هارمونیک‌ها و ...)، افزایش تلفات و مدیریت شبکه بشود.

در این پروژه، در فصل‌های دوم تا چهارم، بررسی وضعیت استفاده و ارزیابی پتانسیل انرژی خورشیدی، اصول اساسی ارزیابی منبع خورشید و مفاهیم اساسی و تکنولوژی مورد استفاده در سیستم‌های فتوولتائیک ارائه خواهد شد. در فصل پنجم تحلیل اقتصادی نصب و بهره‌برداری از نیروگاه‌های خورشیدی ۵ کیلوواتی در سطح شرکت توزیع استان خراسان رضوی بیان می‌شود. فصل ششم به بیان راهنمایی‌های بهره‌برداری و اتصال سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه و مروری بر مهم‌ترین استانداردهای اتصال به شبکه‌ی این سیستم‌ها می‌پردازد. در فصل هفتم، تأثیر واحدهای فتوولتائیک بر پروفایل ولتاژ و هماهنگی عناصر حفاظتی شبکه‌های توزیع قدرت بررسی شده است و در فصل هشتم تأثیر واحدهای فتوولتائیک بر شاخص‌های کیفیت توان فیدرهای شبکه‌های توزیع بررسی شده است. در این فصل، همچنین تحلیل و بررسی دقیقی از اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری‌های عملی سامانه فتوولتائیک ۱۰۰kW خواب به منظور شبیه‌سازی همین نیروگاه برای استقرار در تربت جام انجام پذیرفته است.

فصل نهم به بررسی تأثیر مکان، اندازه و ضریب توان واحدهای فتوولتائیک بر تلفات شبکه‌های توزیع می‌پردازد. و یک روش تحلیلی برای محاسبه‌ی اندازه، مکان و ضریب توان بهینه یک واحد تولید پراکنده در شبکه توزیع ارائه می‌کند. همچنین در این فصل به بیان ضریب حساسیت تلفات پرداخته شده است و بر مبنای آن الگوریتم جایابی بهینه‌ی چند واحد تولید پراکنده بسط داده شده است. درنهایت در فصل دهم روش‌های تحلیلی برای تعیین حداکثر ظرفیت فتوولتائیک قابل‌استفاده در شبکه‌های توزیع برق ارائه می‌شود. به‌طوری‌که پروفایل ولتاژ و تلفات فیدر در محدوده‌ی مجاز باشد و حدود گرمایی خطوط رعایت شود.

## فصل اول

### پیشگفتار

#### مقدمه

امروزه نیاز به سیستم‌های فتوولتائیک به‌خوبی در بسیاری از کشورها مطرح شده، به‌طوری می‌توان آن را یکی از استراتژیک‌ترین فناوری‌های قرن ۲۱ دانست. علت اصلی این امر در دسترس و رایگان بودن، تجدیدپذیر بودن و توزیع طبیعی آن است که سبب جلوگیری از صرف هزینه برای انتقال انرژی و تولید برق در محل خواهد شد. در این راستا و با توجه به اهمیت کمک به توسعه و گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، تاکنون مجوز احداث و بهره‌برداری از حدود ۳۰۰ نیروگاه خورشیدی در شرکت توزیع نیروی برق استان خراسان رضوی داده شده است. افزایش حضور سامانه‌های فتوولتائیک در شبکه توزیع، فرصت‌ها و چالش‌های جدیدی را برای بهره‌برداران شبکه‌های توزیع فراهم کرده است. در این راستا، در صورت آشنایی بهره‌برداران شبکه‌های توزیع با پاسخ سیستم توزیع در حضور سامانه‌های فتوولتائیک و روش‌های تحلیل و طراحی این سیستم‌ها، این حضور می‌تواند سبب فرصت‌هایی برای کاهش تلفات و هزینه و همچنین افزایش قابلیت انعطاف و اطمینان سیستم شود. از طرف دیگر، عدم آمادگی بهره‌برداران شبکه‌های توزیع در مواجهه با حضور سامانه‌های فتوولتائیک، می‌تواند سبب مشکلات فنی از جمله پایداری شبکه، کیفیت توان (افزایش ولتاژ، نامتعادلی ولتاژ، هارمونیک‌ها و ...)، افزایش تلفات و مدیریت شبکه بشود. در این پروژه، عملکرد شبکه توزیع تحت ضریب نفوذ بالای سامانه‌های فتوولتائیک مطالعه و بررسی می‌شود و معیارهای مناسبی برای ارزیابی و تحلیل شبکه بر مبنای شاخص‌های کیفیت توان، هماهنگی عناصر حفاظتی، بارگذاری متوسط فیدر و تلفات توان فیدرها ارائه خواهند شد. همچنین تغییرات این معیارها با توجه به افزایش سطح نفوذ

سامانه‌های فتوولتائیک تحت شرایط مختلف ارزیابی و حداکثر ظرفیت قابل نصب تعیین می‌شود. درنهایت دستورالعمل‌های لازم برای بهره‌گیری حداکثری از سامانه‌های فتوولتائیک در شبکه توزیع استان خراسان رضوی، شهرستان تربت جام و جلوگیری از ایجاد مشکلات احتمالی ارائه خواهند شد.

## اهداف مطالعاتی این کتاب

باتوجه به مطالب بیان‌شده، اهداف اصلی این کتاب به‌صورت زیر تعیین می‌شوند:

- بررسی وضعیت فعلی بهره‌برداری از انرژی‌های نو در جهان
- بررسی وضعیت استفاده و ارزیابی پتانسیل انرژی خورشیدی در جهان، ایران و استان خراسان رضوی
- بررسی اصول اساسی ارزیابی منبع خورشید و بررسی پتانسیل خورشیدی شهرستان‌های استان خراسان رضوی، شهرستان تربت جام
- بیان مفاهیم اساسی و تکنولوژی مورد استفاده در سیستم‌های فتوولتائیک
- بررسی تأثیر تغییر در تابش خورشید و تغییر دمای محیط بر روی توان خروجی سامانه فتوولتائیک
- ارائه اصول اساسی طراحی سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه
- معرفی ضریب عملکرد سیستم‌های فتوولتائیک و تعیین ضریب عملکرد چند سیستم فتوولتائیک نمونه در استان خراسان رضوی
- تحلیل اقتصادی نصب و بهره‌برداری از نیروگاه‌های خورشیدی ۵ کیلوواتی در سطح شرکت توزیع استان خراسان رضوی، شهرستان تربت جام
- ارائه راهنمای بهره‌برداری و اتصال سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه
- ارائه الزامات و مشخصات عمومی اتصال به شبکه واحدهای تولید پراکنده
- استفاده از راهنمایی‌های موجود و بررسی استانداردهای اتصال سامانه‌های فتوولتائیک با ضریب نفوذ بالا به شبکه توزیع از جمله IEEE۱۵۴۷، IEEE۵۱۹ و IEC۶۱۷۲۷

- استفاده از تجربیات سایر شرکت‌ها در مواجهه با افزایش ضریب نفوذ سامانه‌های فتوولتائیک در شبکه توزیع
- تعیین معیارهایی برای تحلیل و ارزیابی سیستم‌های توزیع در حضور گسترده سامانه‌های فتوولتائیک با ظرفیت متفاوت
- بررسی تأثیر واحدهای فتوولتائیک بر پروفایل ولتاژ فیدرهای شبکه‌های توزیع
- بررسی تأثیر واحدهای فتوولتائیک بر عناصر حفاظتی و شرایط اتصال کوتاه شبکه‌های توزیع
- انجام اندازه‌گیری‌های لازم کیفیت توان سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه برق خواف
- تحلیل و بررسی اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری‌های عملی از سامانه فتوولتائیک ۱۰۰ KW خواف
- بررسی تأثیر واحدهای فتوولتائیک بر تلفات شبکه‌های توزیع
- ارائه روش تحلیلی برای محاسبه‌ی اندازه، مکان و ضریب توان بهینه یک واحد تولید پراکنده در شبکه توزیع
- شرح الگوریتم جایابی بهینه‌ی چند واحد تولید پراکنده مبتنی بر ضریب حساسیت تلفات
- تعیین حداکثر ظرفیت فتوولتائیک قابل استفاده در شبکه‌های توزیع برق بر مبنای زیرساخت‌های موجود و بدون استفاده از سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی

## ساختار گزارش پروژه

این کتاب علاوه بر فصل پیشگفتار شامل نه فصل دیگر به شرح زیر است:

در فصل‌های دوم تا چهارم، بررسی وضعیت استفاده و ارزیابی پتانسیل انرژی خورشیدی، اصول اساسی ارزیابی منبع خورشید و مفاهیم اساسی و تکنولوژی مورد استفاده در سیستم‌های فتوولتائیک ارائه خواهد شد. در فصل پنجم تحلیل اقتصادی نصب و بهره‌برداری از نیروگاه‌های خورشیدی ۵ کیلوواتی در سطح شرکت توزیع استان خراسان رضوی بیان می‌شود. فصل ششم به بیان راهنمایی‌های بهره‌برداری و اتصال

سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه و مروری بر مهم ترین استانداردهای اتصال به شبکه ی این سیستم ها می پردازد.

در فصل هفتم، تأثیر واحدهای فتوولتائیک بر پروفایل ولتاژ و هماهنگی عناصر حفاظتی شبکه‌های توزیع قدرت بررسی شده است و در فصل هشتم تأثیر واحدهای فتوولتائیک بر شاخص‌های کیفیت توان فیدرهای شبکه‌های توزیع بررسی شده است. در این فصل، همچنین تحلیل و بررسی دقیقی از اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری‌های عملی سامانه فتوولتائیک ۱۰۰ kW خواف انجام پذیرفته است.

فصل نهم به بررسی تأثیر مکان، اندازه و ضریب توان واحدهای فتوولتائیک بر تلفات شبکه‌های توزیع می پردازد. و یک روش تحلیلی برای محاسبه‌ی اندازه، مکان و ضریب توان بهینه یک واحد تولید پراکنده در شبکه توزیع ارائه می کند. همچنین در این فصل به بیان ضریب حساسیت تلفات پرداخته شده است و بر مبنای آن الگوریتم جایابی بهینه ی چند واحد تولید پراکنده بسط داده شده است. درنهایت در فصل دهم روش های تحلیلی برای تعیین حداکثر ظرفیت فتوولتائیک قابل استفاده در شبکه‌های توزیع برق ارائه می شود. به طوری که پروفایل ولتاژ فیدر در محدوده‌ی مجاز باشد و حدود گرمایی خطوط رعایت شود