



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

رشته و گرایش : مهندسی برق - کنترل

عنوان پروژه : مطالعه و بررسی کاربرد و کنترل سیستم های فتوولتائیک

نگارنده : علیرضا براکی

استاد راهنما : دکتر مرتضی اسلامیان

تابستان ۹۵

چکیده

سلول خورشیدی یک مبدل مستقیم انرژی نوری خورشید به انرژی الکتریکی است. استفاده از انرژی

فتوولتائیک در جهان، با نرخ قابل توجهی رو به افزایش است. مطالعه چشم اندازهای صنعت فتوولتائیک بر

تداوم و تسریع نرخ توسعه این صنعت دلالت دارد.

در ابتدا قصد داریم سیستم های فتوولتائیک را مورد بررسی قرار دهیم و انواع و اجزای آن را بشناسیم،

سپس عملکرد یک سلول فتوولتائیک را بررسی می کنیم که چگونه عمل می کند و کاربردهای آن را ذکر

می کنیم. قسمت اعظم انرژی فتوولتائیک به صورت سیستم های متصل به شبکه مورد استفاده قرار

می گیرد. سیستم های متصل به شبکه فتوولتائیک در کنار سایر منابع تولید پراکنده به منزله نیروگاه های

کوچک، انرژی الکتریکی را به شبکه نیرو تزریق می کنند. کنترل اتصال مبدل های فتوولتائیک به شبکه

سراسری، کنترل شارژ و کنترل پایداری ولتاژ سیستم های فتوولتائیک را مورد مطالعه و بررسی قرار

می دهیم.

واژه های کلیدی : سیستم فتوولتائیک، عملکرد و کاربرد، کنترل اتصال مبدل ها، کنترل شارژ، کنترل

پایداری ولتاژ

فهرست مطالب

صفحه

مقدمه	۱
فصل اول : سیستم های فتوولتائیک و بررسی انواع و اجزای آن	۲
۱-۱- سیستم های فتوولتائیک	۳
۱-۲- اجزای سیستم های فتوولتائیک	۴
۱-۲-۱- آرایه فتوولتائیک	۸
۱-۲-۲- سیستم های دنبال کننده تابش خورشید	۶
۱-۲-۳- اینورتر یا مبدل های الکترونیک قدرت DC/AC	۷
۱-۲-۴- ذخیره ساز	۹
۱-۲-۵- دنبال کننده حداکثر توان	۹
۱-۲-۶- سایر تجهیزات	۱۱
فصل دوم : عملکرد یک سلول فتوولتائیک و کاربردهای سیستم های فتوولتائیک	۱۲
۱-۲-۱- عملکرد سلول های فتوولتائیک	۱۳
۱-۲-۱-۱- عملکرد یک سلول	۱۴
۱-۲-۲- نحوه ساخت سلول های خورشیدی	۱۶
۱-۲-۳- طبقه بندی تیپ سیستم های فتوولتائیک از لحاظ کاربری	۱۷
۱-۳-۱- سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه	۱۷
۱-۳-۲- سیستم های مستقل از شبکه سراسری برق	۲۰

۲۲	۴-۲- اهم مصارف و کاربردهای سیستم های فتوولتائیک
۲۳	۵-۲- مزایای تکنولوژی فتوولتائیک
۲۴	۶-۲- معایب تکنولوژی فتوولتائیک
فصل سوم : استراتژی کنترل اتصال مبدل های فتوولتائیک به شبکه	
۲۵	سراسری
۲۶	۱-۳- ضریب توان
۲۶	۲-۳- کیفیت توان
۲۷	۱-۲-۳- محدوده مجاز فرکانس
۲۷	۲-۲-۳- اغتشاشات ولتاژ
۲۸	۳-۲-۳- هارمونیک ها
۲۹	۴-۲-۳- هارمونیک های میانی
۲۹	۵-۲-۳- فلیکر ولتاژ
۳۰	۶-۲-۳- عدم تعادل ولتاژ
۳۱	۳-۳- ایمنی و حفاظت
۳۱	۱-۳-۳- جریان DC
۳۲	۲-۳-۳- پرهیز از کارکرد جزیره ای
۳۳	۳-۳-۳- اغتشاشات فرکانس
۳۳	۴-۳-۳- اتصال مجدد سیستم فتوولتائیک به شبکه بعد از رفع خطای شبکه
۳۴	۵-۳-۳- حفاظت در مقابل موج ضربه
۳۴	۶-۳-۳- سیستم زمین
۳۴	۴-۳- پایش عملکرد سیستم فتوولتائیک و تبادل اطلاعات

فصل چهارم : کنترل شارژ و کنترل پایداری ولتاژ سیستم های فتوولتائیک

۳-۴-۱- نکات اندازه گیری و پایش متغیرها ۳۶

۳-۴-۵- داده های سامانه فتوولتائیک ۳۷

۳-۴-۶- ارائه استراتژی جهت کنترل اتصال مبدل های فتوولتائیک به شبکه سراسری ۳۸

۳-۴-۶-۱- اصول عملکرد ۴۰

۳-۴-۶-۲- استراتژی کنترل ۴۲

فصل چهارم : کنترل شارژ و کنترل پایداری ولتاژ سیستم های فتوولتائیک

۴-۴-۱- باتری و ذخیره انرژی ۴۸

۴-۴-۲- شارژ کنترل ۵۰

۴-۴-۳- تعیین ظرفیت باتری ۵۱

۴-۳-۱- انتخاب کنترل کننده شارژ ۵۳

۴-۴-۴- پارامترهای باتری و کنترل کننده شارژ ۵۴

۴-۴-۵- کنترل ولتاژ ۵۵

۴-۵-۱- توپولوژی اینورتر متصل به شبکه برای تنظیم ولتاژ ۵۷

۴-۴-۶- تطبیق دادن آرایه با محدوده ولتاژ مبدل ۵۸

۴-۴-۶-۱- کمترین ولتاژ ۵۹

۴-۴-۶-۲- بیشترین ولتاژ ۶۰

۴-۷- محدوده ولتاژ کاری سیستم های فتوولتائیک ۶۱

منابع و مراجع ۶۳

مقدمه

با توجه به تقاضای رو به رشد مصرف کنندگان در سطح جهانی، نیاز به تولید برق افزایش یافته است. در

برق با استفاده از سوخت های فسیلی را افزایش داده است. به همین دلیل رویکرد به استفاده از سایر منابع

انرژی برای تولید برق، از جمله تولید برق خورشیدی با استفاده از سیستم های فتوولتائیک افزایش یافته

سیستم های فتوولتائیک به علت مزایای زیادی که دارند کاربرد فراوان دارند. اولین نوع آنها در اقمار

مصنوعی آزمایش کارایی خود را به نحو احسن انجام دادند. عمر طولانی (حدود ۲۰ سال)، قابلیت نصب و راه

اندازی در شرایط جغرافیایی ویژه مانند مناطق صعب العبور و کوهستانی، قابلیت استفاده در سیستم های

متحرک، نگهداری آسان، عدم وابستگی به شبکه در نقاط دور دست و قابلیت استفاده به صورت متصل به

شبکه همه مزایایی هستند که آینده درخشانی را برای استفاده از سیستم های فتوولتائیک ترسیم می کنند.

میزان تولید برق از طریق سیستم های فتوولتائیک در جهان در هر پنج سال دو برابر می شود. پیشرفت های

صنعتی و تکامل فناوری های مورد استفاده در تولید سلول های فتوولتائیک، بهره وری بالاتر و استفاده

وسیع تر از این سیستم ها را در پی دارد. به طوری که در طول دو دهه گذشته، هزینه ساخت و نصب یک

سیستم فتوولتائیک در حدود ۲۰ درصد کاهش یافته و توان تولیدی هر واحد نصب شده دو برابر شده است.

فصل اول

سیستم های فتوولتائیک و بررسی انواع و

اجزای آن

۱-۱- سیستم های فتوولتائیک

تبدیل مستقیم انرژی خورشید به الکتریسیته معمولاً به وسیله سلول های فتوولتائیک صورت می گیرد که از

اثر فتوولتائیک استفاده می کنند. اثر فتوولتائیک بر اساس اثر متقابل فوتون هایی با انرژی برابر یا بیش از

انرژی باند ممنوعه مواد فتوولتائیک است. ماژول های فتوولتائیک انرژی خورشیدی را بدون آلودگی و

سر و صدا و نوسانات به الکتریسیته تبدیل می کنند. انرژی خورشید چگالی انرژی کمی دارد و بنابراین،

ماژول های فتوولتائیک باید سطح زیادی داشته باشند تا بتوانند انرژی کمی تولید کنند. سیستم های

فتوولتائیک در شبکه های قدرت به هم پیوسته از مبدل استفاده می کنند تا جریان dc تولید شده به وسیله

آرایه های فتوولتائیک به جریان ac مناسب با ولتاژ و فرکانس مورد نیاز در شبکه برق تبدیل شود. انرژی

الکتریکی خورشیدی منبع اصلی انرژی برای سفینه های فضایی از زمان شروع برنامه های فضایی است.

همچنین، حدوداً از سه دهه پیش از آن برای تأمین انرژی در مصارف شهری و کشاورزی استفاده می شود.

در یک دهه گذشته، از انرژی خورشیدی برای تأمین انرژی خانه ها و ساختمان های شهری به طور گسترده

استفاده شده که نتیجه پیشرفت در تکنولوژی خورشیدی به همراه تغییرات در ساختار صنعت الکترونیک

است.

اگرچه انواع مختلف سیستم های فتوولتائیک وجود دارد، اما همه آن ها متشکل از سه جزء اصلی هستند :

ماژول که انرژی خورشید را به الکتریسیته تبدیل می کند، مبدل که الکتریسیته را به جریان متناوب تبدیل

می کند تا از آن بتوان در مصارف مختلف خانگی استفاده کرد، و احتمالاً باتری که انرژی الکتریسیته ی

اضافی تولید شده در سیستم را ذخیره می کند. دیگر اجزای جانبی سیستم عبارتند از: سیم ها، سوئیچ برای

قطع جریان، سازه های پشتیبانی و غیره.



شکل (۱-۱): نمونه ای از سیستم فتوولتائیک

۱-۲-۱- اجزای سیستم فتوولتائیک

تجهیزات مورد نیاز برای تولید برق از انرژی خورشیدی عبارتند از :

• آرایه فتوولتائیک

• سیستم های دنبال کننده تابش خورشید

• اینورتر یا مبدل الکترونیک قدرت DC/AC

• ذخیره ساز

• دنبال کننده حداکثر توان

• سایر تجهیزات

۱-۲-۱- آرایه فتوولتائیک

آرایه فتوولتائیک با اجتماع پنل های فتوولتائیک تشکیل می شود که پنل ها با ماژول های فتوولتائیک

ساخته می شوند، ماژول های فتوولتائیک نیز متشکل از سلول های فتوولتائیک است که انرژی خورشید را به

برق تبدیل می کنند.

چهار نوع اصلی سلول های فتوولتائیک عبارتند از: تک کریستال، پلی کریستال، سلول های آمورف و

سلول های نانو فتوولتائیک که جدیدترین سلول خورشیدی معرفی شده می باشند. در ادامه هر نوع از سلول

را به اختصار توضیح می دهیم و به مزایا و معایب آن اشاره می کنیم.

• سلول تک کریستال : این نوع از سلول ها از تک کریستال خالص تشکیل شده اند. در این سلول ها،

سیلیکون از یک شبکه بلوری پیوسته بدون ناخالصی تشکیل شده است. از مزایای این گونه

سلول ها بازده بالای آن را می توان نام برد که در حدود ۱۵٪ است. از معایب آن می توان به

پیچیدگی ساخت این سیلیکون اشاره کرد که این سختی منجر به افزایش قیمت آن می شود. طبق

تحقیقات صورت گرفته و اخبار منتشر شده، در حال حاضر آرایه هایی با بازده حدوداً ۱۸٪ هم تولید

و روانه بازار شده اند.

• سلول پلی کریستال : این گونه سلول ها از به هم پیوستن چندین تک کریستال سیلیکون تشکیل

شده اند. فرآیند ساخت بدین گونه است که پلی کریستال سیلیکون مذاب به صورت شمش

قالب گیری می شود و بعد از آن، به صورت قرص های نازک بریده شده و برای سلول های

خورشیدی آماده می شود. این گونه از سلول ها نسبت به حالت قبلی، فرآیند ساخت راحت تری

دارند و در نتیجه قیمت آن ها پایین تر است. در عین حال بازده این دسته از سلول های خورشیدی

کمتر از حالت قبل بوده و چیزی در حدود ۱۲٪ تخمین زده می شود. در حال حاضر آرایه هایی با بازده حدوداً ۱۸٪ هم تولید و روانه بازار شده اند.

• سلول های بی نظم (آمورف): در حالت کلی تفاوت عمده این دسته از سلول های خورشیدی نسبت به دو دسته قبلی این است که در این سلول ها به جای استفاده از ساختار کریستالی، از سلول های بی نظم اتم های سیلیکون که در لایه های یک دست نازک قرار می گیرد، استفاده شده است. این نوع از سلول ها را می توان هم بر روی بستر خشک و هم انعطاف پذیر نصب نمود که یکی از مزایای منحصر به فرد آن هاست. از معایب این دسته از سلول ها باید به بازده پایین آنها اشاره کرد که در حدود ۶٪ تخمین زده می شود. امروزه از این سلول ها پنل های مختلف از نظر شکل و ظرفیت ساخته شده است. در حال حاضر آرایه هایی با بازده حدوداً ۹٪ هم تولید و روانه بازار شده اند.

علاوه بر انواع مطرح شده، امروزه مواد دیگری مانند کادمیم تلورید (cadmium telluride)

و copper indium gallium selenide برای تولید سلول های خورشیدی استفاده می شود. ایده اصلی

استفاده از این مواد، تولید انرژی سریعتر و ارزان تر نسبت به سلول های سیلیکونی است. البته بازده پایین تر نسبت به انواع دیگر، از مشکلات این دسته از سلول ها می باشد. همچنین مشکلات طول عمر مفید و پایداری این دسته از سلول ها همچنان پا برجاست.

دسته دیگر سلول های خورشیدی، سلول های با فناوری نانو هستند. انتظار می رود نسل سوم سلول های خورشیدی (سلول های نانو) در سال های آینده به بازار عرضه شود و قیمت بالای سلول های خورشیدی نسل اول و دوم را به شدت کاهش دهد.

سلول های خورشیدی اغلب از سیلیکون، مس، کادمیم سولفید و آرسنید گالیم تولید می شوند که سیلیکون به دلیل خواص نوری از موقعیت بهتری در بین این مواد برخوردار است. در جدول (۱-۱) بازده ماژول های خورشیدی ساخته شده از مواد مختلف نشان داده شده است.

جدول (۱-۱): بازده ماژول های مختلف فتوولتائیک

بازده (%)	ماژول
۱۲/۵-۱۵	تک کریستال سیلیکون
۱۱-۱۴	پلی کریستال سیلیکون
۱۰-۱۳	مس ایندیم گالیم سلنید (CIGS)
۹-۱۲	کادمیم تلورید (CdTe)
۵-۷	سیلیکون آمورف

۱-۲-۲- سیستم های دنبال کننده تابش خورشید

آرایه های فتوولتائیک به حالت ثابت و یا ردیاب متحرک که بنابر فصل با زاویه تابش خورشید خود را تطبیق

می دهند، نصب می شوند. البته در برخی موارد آرایه ها به حالت ثابت فصلی نصب می شوند. در نصب

آرایه های فتوولتائیک مهم ترین نکته، زاویه نصب آنها می باشد. زاویه تابش خورشید به صفحات خورشیدی تأثیر بسیار زیادی در تولید انرژی الکتریکی دارد. ساده ترین حالت نصب آرایه ها به صورت ثابت است. البته

به دلیل تغییر زاویه خورشید در طول روز و همچنین جابجایی آن در فصول مختلف سال، میزان تابش خورشید به صفحات ثابت در طول روز و سال کاهش می یابد.

برای بهبود بخشیدن این ضعف می توان از روش نصب ثابت فصلی استفاده نمود. در این حالت زاویه نصب

آرایه های فتوولتائیک برای هر فصل متفاوت بوده و در هر فصل زاویه نصب باید تغییر یابد. حالت دیگر

استفاده از ردیاب متحرک می باشد. ردیاب ها دارای دو نوع هستند، ردیاب هایی که بر روی یک محور و یا

بر روی دو محور دوران می کنند و همواره پنل های (آرایه های) فتوولتائیک را در جهت تابش خورشید نگه

می دارند، بنابراین موجب افزایش بازده خروجی پنل ها (آرایه ها) می شوند. در جدول زیر بازده جذب انرژی

برای حالت های نصب مختلف ارائه شده است.

جدول (۱-۲): بازده پنل های (آرایه های) فتوولتائیک برای حالت های نصب مختلف

نوع نصب	ثابت	ثابت دوفصلی	ثابت چهار فصلی	ردیاب دو محوره
% نسبت به حالت بهینه	۷۱/۱%	۷۵/۲%	۷۵/۷%	۱۰۰%

در پنل ها با پایه ثابت، پنل ها روی پایه هایی با شیب ثابت نصب شده و رو به خورشید قرار داده می شوند.

برای مناطقی مانند ایران که در نیم کره شمالی هستند، پنل های فتوولتائیک باید به گونه ای نصب شوند

که سطح جذب نور به سمت جنوب باشد زیرا خورشید در طول سال در وجه جنوبی رؤیت می گردد. اما

برای اینکه میزان جذب سالانه انرژی توسط یک سیستم خورشیدی به حداکثر میزان خود برسد، بهتر است

که زاویه شیب ثابت، تقریباً برابر با عرض جغرافیایی منطقه نصب باشد.

نکته مهمی که در اینجا باید به آن اشاره نمود این است که حداقل زاویه نصب بایستی از ۱۰ درجه کمتر

نباشد. زیرا در زمان های بارانی بعد از بارش، اگر شیب ۱۰ درجه وجود داشته باشد گرد و غبار نشسته بر

صفحات خورشیدی شسته می شود و از آن خارج می شود. همچنین آب باران و یا برف زودتر از روی

صفحات خورشیدی خارج می شود.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

منابع و مراجع

- [۱] ستاره محمد، خاتمی سید وحید، کوهانی حسین "راهنمای طراحی سیستم های فتوولتائیک به منظور تامین انرژی الکتریکی به تفکیک اقلیم و کاربری" معاونت نظارت راهبردی، ۱۳۹۳ گروه برق آرنایگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
- [۲] صبری مهدی، صبری حسین، تلاوت وحید "ارائه استراتژی جهت کنترل اتصال مبدل های فتوولتائیک به شبکه سراسری" اولین همایش ملی کاربرد سیستم های هوشمند در مهندسی برق، کامپیوتر و فناوری اطلاعات، ۱۳۹۴ گروه برق آرنایگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
- [۳] نجبر دوجالی امید، یزدیان ورجانی علی، حقی فام محمودرضا "تئوری توان راکتیو لحظه ای بهبود یافته برای فیلترهای اکتیو قدرت" کنفرانس بین المللی برق آرنایگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
- [۴] نظریور داریوش، تیموری مرتضی، حسینی سید حسین "توپولوژی جدیدی از فیلتر اکتیو جهت اصلاح برق آرنایگاه پروژه برق دانشگاه زنجان"
- [۵] قادری موسی "طراحی سیستم های انرژی خورشیدی" برق آرنایگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
- [۶] "آشنایی با سیستم های برق خورشیدی (فتوولتائیک)" سازمان انرژی های نو ایران، ۸۸ گروه برق آرنایگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
- [۷] فریدونیان علیرضا، سماواتی الهام "تاثیر سامانه های فتوولتائیک در کیفیت توان شبکه برق هوشمند" فرایند صنعت هوشمند، ۹۲ گروه برق آرنایگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
- [۸] فرهنگی بابک، فرهنگی شاهرخ، صنایع پسند مجید "پیشنهاد تدوین استاندارد برای سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه" بیستمین کنفرانس بین المللی برق آرنایگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
- [۹] "ارزیابی کاربرد سیستم های فتوولتائیک" خبرنامه داخلی گروه صنعتی شایان برق سال اول/شماره ۳/مرداد ۱۳۹۱ گروه برق آرنایگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
- [۱۰] "معرفی سیستم های فتوولتائیک (خورشیدی) خانگی" شرکت فرگوساز اسلوب برق آرنایگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
- [۱۱] رسولی احمد، دهباشیان مهدی، احمدی حامد "تاثیر واحد های فتوولتائیک بر کنترل ولتاژ سیستم های قدرت" گروه برق آرنایگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
- [۱۲] دادگر مهدی "تامین برق روستایی با سیستم های فتوولتائیک مستقل از شبکه" گروه برق آرنایگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
- [۱۳] "انرژی خورشیدی" گروه برق آرنایگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

