



طراحی یک سیستم فتوولتائیک مقاوم با کنترل‌کننده فازی برای تولید برق پایدار در شرایط بحران و تأمین انرژی تجهیزات برقی در ایستگاه‌های آتش‌نشانی و خدمات ایمنی شهرداری اراک

مسعود بیات زاده^۱، حمید کربلایی حسینی^۲، فرزاد مقدمی فر^۳، امیر حسینی حلت آبادی^۴

۱- کارشناسی ارشد مهندسی برق، کارمند سازمان آتش‌نشانی و خدمات ایمنی شهرداری اراک، ایران

۲- کارشناسی ارشد مدیریت دولتی، معاون برنامه ریزی و پشتیبانی سازمان آتش‌نشانی و خدمات ایمنی شهرداری اراک، ایران

۳- کارشناس مهندسی برق، کارمند سازمان آتش‌نشانی و خدمات ایمنی شهرداری اراک، ایران

۴- کارشناس مهندسی مکانیک، کارمند سازمان آتش‌نشانی و خدمات ایمنی شهرداری اراک، ایران

Masoud.bayatzaheh66@gmail.com

چکیده

در سال‌های اخیر، سیستم‌های فتوولتائیک به‌عنوان منبعی مطمئن، پاک و در دسترس برای تولید انرژی الکتریکی موردتوجه قرار گرفته‌اند. یکی از چالش‌های اساسی در ایستگاه‌های آتش‌نشانی، به‌ویژه در زمان وقوع بحران‌هایی نظیر زلزله، سیل یا آتش‌سوزی گسترده، قطعی شبکه برق سراسری و نیاز فوری به تأمین انرژی برای تجهیزات ارتباطی بی‌سیم، سیستم‌های روشنایی اضطراری، شارژ باتری و ابزارهای امدادی است. در این مقاله، یک سیستم فتوولتائیک مجهز به کنترل‌کننده منطق فازی و مبدل بوست طراحی و شبیه‌سازی شده است که قادر است در شرایط محیطی متغیر (تابش و دما) و همچنین در هنگام بروز خطا در شبکه، ولتاژ و فرکانس خروجی را به‌صورت پایدار حفظ نماید. هدف اصلی، تأمین برق اضطراری موردنیاز ایستگاه‌های آتش‌نشانی به‌گونه‌ای است که تجهیزات حیاتی ارتباطی و امدادی بدون وابستگی به شبکه سراسری، به‌طور مستمر و قابل‌اطمینان تغذیه شوند. نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزار متلب نشان می‌دهد که کنترل‌کننده فازی طراحی‌شده، به‌خوبی قادر به جبران اثرات ناشی از تغییرات ناگهانی تابش، افزایش دما و وقوع خطای اتصال کوتاه است و عملکرد مطلوبی در تأمین توان پایدار برای بارهای حساس ایستگاه‌های آتش‌نشانی ارائه می‌دهد.

کلمات کلیدی: سیستم‌های فتوولتائیک، کنترل‌کننده منطق فازی، مبدل بوست



۱- مقدمه

استفاده وسیع از سوخت‌های فسیلی همچون نفت، ذغال‌سنگ و گاز، اثرات گلخانه‌ای و آلودگی محیط زیست را به دنبال دارد. در همین حال، یک تضاد بزرگی بین منابع سوخت فسیلی و تقاضای انرژی در جهان وجود دارد. کمبود انرژی و آلودگی محیط زیست موانع عمده‌ای برای توسعه انسان شده‌اند [۱].

انرژی خورشید یکی از منابع تامین انرژی رایگان، پاک و عاری از اثرات مخرب زیست محیطی است که از دیر باز به روش‌های گوناگون مورد استفاده بشر قرار گرفته است. هر چند هزینه استفاده از انرژی خورشیدی بسیار بالاست، ولی امروزه در سیاست گذاری‌ها فقط هزینه سیستم‌های خورشیدی در نظر گرفته نمی‌شود، بلکه فواید حاصل از بکارگیری آنها، مانند کاهش آلودگی محیط زیست نیز مدنظر قرار می‌گیرد [۲].

یکی از اصلی‌ترین راه‌های استفاده از انرژی خورشید، استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک* یا به طور مختصر PV است. به پدیده‌ای که در اثر تابش نور بدون استفاده از مکانیزم‌های محرک، الکتریسیته تولید می‌کند پدیده فتوولتائیک و به هر سیستمی که از این پدیده‌ها استفاده کند سیستم فتوولتائیک گویند [۳].

۱-۱- فتوولتائیک

فتوولتائیک، یکی از انواع سامانه‌های تولید برق از انرژی خورشیدی می‌باشد. در این روش با بکارگیری سلول‌های خورشیدی، تولید مستقیم الکتریسیته از تابش خورشید امکان‌پذیر می‌شود. سلول‌های خورشیدی از نوع نیمه رسانا می‌باشند که از سیلیسیوم یعنی دومین عنصر فراوان پوسته زمین ساخته می‌شوند. وقتی نور خورشید به یک سلول فتوولتائیک می‌تابد، بین دو الکترود منفی و مثبت اختلاف پتانسیل بروز کرده و این امر موجب جاری شدن جریان بین آنها می‌گردد. می‌توان فتوولتائیک را در دسته فناوری‌های انرژی‌های تجدید پذیر قرار داد [۴].

۲-۱- اجزای سیستم‌های فتوولتائیک (برق خورشیدی) و نحوه اتصال آن به شبکه [۵]

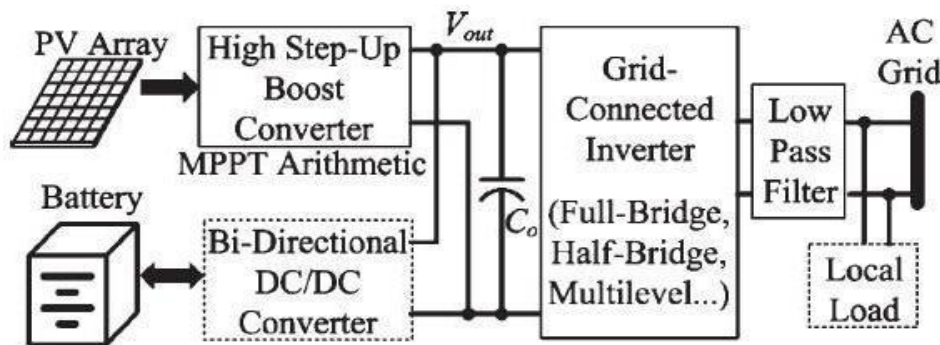
۱- سلول‌های فتوولتائیک (مولد برق خورشیدی): این سلول‌ها مربع‌های نازک، دیسک‌ها یا فیلم‌هایی از جنس نیمه هادی هستند که ولتاژ و جریان کافی را در زمان قرار گرفتن در معرض تابش نور خورشید، تولید می‌کنند.

۲- کنترل کننده شارژ: تجهیزاتی هستند که ولتاژ باتری‌ها را تنظیم و کنترل می‌کنند و از آسیب‌های احتمالی وارد بر باتری‌ها جلوگیری می‌کنند.

۳- ذخیره کننده باتری خورشیدی: وسیله ایست که انرژی الکتریکی تولیدی DC را در خود ذخیره می‌کند. بخاطر وجود تغییر در میزان شدت تابش پرتوهای خورشیدی در طول روز و در فصول مختلف، یک باطری به منظور ذخیره کردن انرژی الکتریکی تولیدی توسط آرایه‌های فتوولتائیک و به عنوان یک عامل واسطه بین آرایه‌های خورشیدی و مصرف کننده انرژی الکتریکی برای بهره‌وری بیشتر مورد نیاز می‌باشد.

* - Photovoltaic

۴- مبدل (اینورتر): وسیله ایست که جریان DC را به جریان AC برای مصرف، تبدیل می کند.



شکل ۱: سیستم PV اتصال به شبکه.

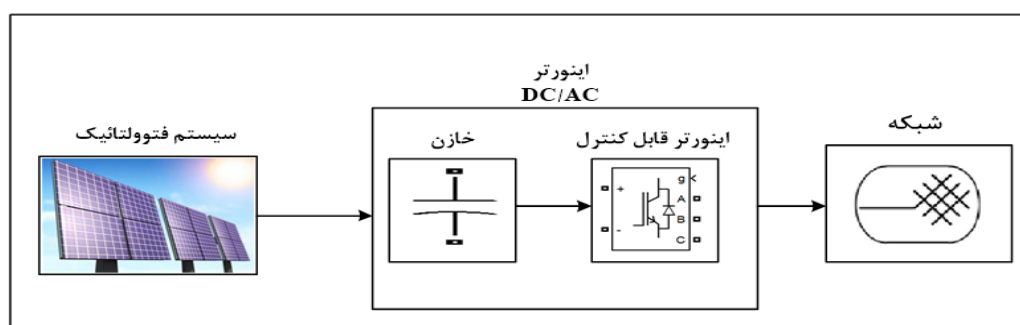
شکل ۱ سیستم PV و اتصال به شبکه تک فاز را نشان می‌دهد، ولتاژ خروجی آرایه های PV با ساختار اتصال سری- موازی نسبتاً کم است. بنابراین به مبدل های DC-DC افزایشده با بهره و راندمان بالا نیاز است تا ولتاژ پایین آرایه های PV را به ولتاژ بالایی تبدیل کند.

باتری و مبدل DC-DC دو طرفه نقش منبع Back up را هنگامی که ولتاژ تولیدی از آرایه PV ضعیف می‌شود، بازی می‌کند. در طول مرحله دشارژ باتری، مبدل دو طرفه باید کارایی و راندمان بالایی، به علت استفاده از باتری‌های ۴۸ ولت استاندارد، داشته باشد.

۲- فرمول بندی و مدل سازی مساله

به منظور بهره برداری از انرژی الکتریکی تولیدی توسط سیستم فتوولتائیک این شبکه به یک شبکه ی الکتریکی متصل شده است و سیستم فتوولتائیک موظف است قسمتی از بار الکتریکی موجود در شبکه را تأمین کند. پیکربندی سیستم مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود سیستم دارای بخش هایی نظیر پنل فتوولتائیک، اینورتر DC/AC و شبکه ی الکتریکی می باشد که در ادامه در مورد آن ها توضیح داده می شود. در انتهای این مقاله نتایج حاصل از شبیه سازی شامل کنترل ولتاژ و فرکانس در شبکه در شرایط رخداد خطای اتصال کوتاه، عدم قطعیت تابشی و تغییرات دما بررسی شده است.



شکل ۲: پیکربندی سیستم مورد مطالعه



۲-۱- اینورتر DC/AC

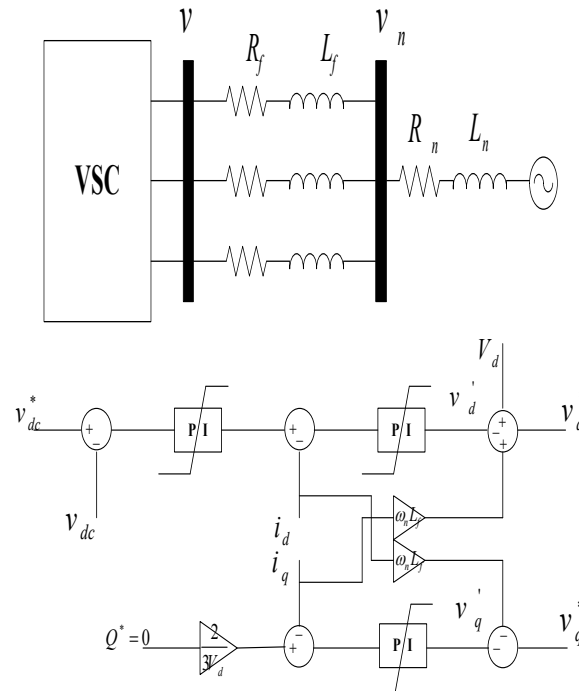
به منظور تبدیل ولتاژ خروجی سیستم فتوولتائیک به ولتاژ AC با فرکانس و سطح ولتاژ مورد نظر از اینورتر DC/AC استفاده می‌شود که اجزای آن در شکل 3 نشان داده شده است. در این اینورتر ولتاژ DC خروجی سیستم فتوولتائیک به ولتاژ سه فاز با فرکانس و سطح ولتاژ شبکه تبدیل می‌شود. به منظور مدلسازی این مراحل از یک VSC شامل مبدل بوست جهت تقویت ولتاژ لینک DC و یک اینورتر که توسط یک خازن به هم متصل شده اند استفاده می‌شود. بر روی VSC یک Field oriented control به منظور کنترل اثر متقابل دو یکسوساز و اینورتر نصب شده است همچنین برای هر کنترلر از PI استاندارد به منظور بهبود پاسخ دینامیکی سیستم استفاده می‌شود.

۲-۱-۱- مبدل منبع ولتاژ (VSC)

VSC از دو پل IGBT تشکیل شده است. این دو پل به صورت back-to-back قرار گرفته اند. و از یک خازن بعنوان لینک DC استفاده شده است. هر پل شامل شش سوئیچ است. در این مدلسازی دینامیک سوئیچها در شبیه سازی نظر گرفته شده است و هر یک از پل ها دارای Field oriented control است و زاویه آتش سوئیچ ها توسط PWM تعیین می‌شود.

۲-۱-۲- طراحی کنترل کننده

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود کنترلر الکتریکی، یک کنترلر NSC (کانورتر سمت شبکه) می‌باشد که در سمت شبکه نصب می‌شود. این کنترلر در مختصات پارک (dq) طراحی شده است. برتری طراحی کنترلر در مختصات dq نسبت به بقیه طراحی ها مانند (angle & phase) طراحی نسبتا ساده و کنترل مستقل پارامترهای سیستم است. ولتاژ لینک DC و کنترل توان راکتیو تزریقی به شبکه یا کنترل ولتاژ باس PCC بسته به طرح کنترلی توسط کانورتر سمت شبکه انجام می‌شود. سبک کنترلی این قسمت شبیه STATCOM عمل می‌کند. در مواقعی که سیستم فتوولتائیک خاموش است این قسمت می‌تواند از شبکه حمایت کند به عبارت دیگر هنگامی که تشعشع خورشیدی وجود ندارد و سیستم فتوولتائیک توان اکتیو تولید نمی‌کند. کانورتر سمت شبکه همانند STATCOM می‌تواند به شبکه توان راکتیو تزریق کند و این مزیت این روش محسوب می‌شود [۶] و [۷].



شکل ۳: کانورتر سمت شبکه (NSC)

در این مدلسازی معادلات مدل شده سمت شبکه به صورت زیر ارائه می شوند:

$$v_d = -(R_f i_d + L_f \frac{di_d}{dt}) + \omega_n L_f i_q + v_{nd} \quad (1)$$

$$v_q = -(R_f i_q + L_f \frac{di_q}{dt}) - \omega_n L_f i_d + v_{nq} \quad (2)$$

جایی که L_n , L_f , R_n , R_f مقاومت فیلتر، مقاومت شبکه، اندوکتانس فیلتر و اندوکتانس شبکه است. همچنین i_{dq} , v_{ndq} , v_{dq} مولفه‌های d و q ولتاژ باس PCC، ولتاژ خروجی VSC و جریان انتقالی به شبکه می باشند. ω_m سرعت زاویه ای شبکه است که توسط PLL محاسبه می شود. حلقه ی داخلی (حلقه کنترل جریان) بر مبنای معادلات زیر طراحی شده اند [۸].

$$v_d^* = -v_d' + \omega_n L_f i_q + v_{nd} \quad (3)$$

$$v_q^* = -v_q' - \omega_n L_f i_d \quad (4)$$

در شکل ۳ روش کنترلی کانورتر سمت شبکه (NSC) قابل مشاهده است. این کنترلر بر مبنای مولفه های d-q جریان استاتور طراحی شده است. که شامل دو حلقه کنترلی است. این کنترلر از دو حلقه ی تو در تو (Cascade) تشکیل شده است. بایستی حلقه ی داخلی سریعتر باشد تا بتواند تغییرات حلقه ی خارجی را دنبال کند. حلقه ی داخلی مولفه های جریان i_d , i_q را کنترل می کند و حلقه ی خارجی ولتاژ لینک dc را کنترل می نماید. در این scheme کنترلی، توان راکتیو و ولتاژ لینک DC به طور مستقل کنترل می شوند. با توجه به اینکه ضریب توان واحد فرض شده است $Q=0$ در نظر گرفته می شود.

این کنترلر از سه PI استاندارد استفاده می‌کند که ضرایب PI حلقه داخلی از روابط زیر بدست می‌آید :

$$T_i = \frac{L}{R} \quad (5)$$

$$K_p = \frac{L}{2T_{si}} \quad (6)$$

جایی که R مقاومت بین شبکه و VSC است و L اندوکتانس بین شبکه و VSC می‌باشد. T_{si} ثابت زمانی است که برابر با $10^{-4} \times \frac{L}{R}$ است. لینک DC توسط معادله ی غیر خطی (۷-۴) به صورت دینامیکی مدل می‌شود.

$$\frac{dV_{DC}^2}{dt} = \frac{2}{C} P_t - \frac{2}{C} P_{loss} - \frac{2}{C} \left(P_n + \left(\frac{2LP_n}{3V_{nd}^2} \right) \frac{dP_n}{dt} \right) + \frac{2}{C} \left(\left(\frac{2LQ_n}{3V_{nd}^2} \right) \frac{dQ_n}{dt} \right) \quad (7)$$

جایی که P_t ، P_n و P_{loss} توان اکتیو خروجی سیستم فتوولتائیک ، توان اکتیو تحویلی به شبکه و توان اتلافی است. همچنین Q_n توان راکتیو تحویلی به شبکه و C ظرفیت خازنی لینک DC است. معادله ی ۷ غیر خطی و به بسیاری از پارامترها وابسته است. اما از آنجایی که برای طراحی کنترلر نیاز به خطی شدن وساده سازی است به خطی و ساده سازی معادله ۷، مطابق معادله ی ۸ پرداخته می‌شود.

$$\frac{dV_{dc}}{dt} = \frac{1}{CV_{DC}} P_t - \frac{1}{CV_{DC}} P_n \quad (8)$$

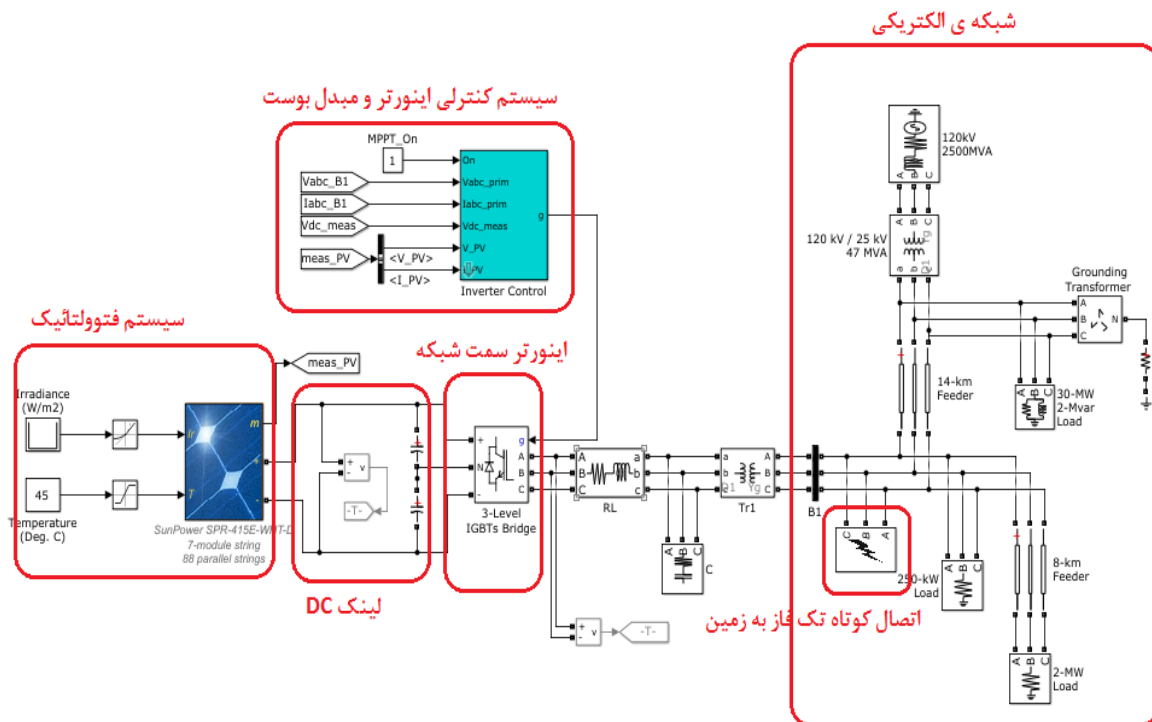
همانطور که در معادله ی ۸ مشخص است اگر توان خروجی سیستم فتوولتائیک و توان تحویلی به شبکه با هم مساوی باشند آنگاه ولتاژ لینک DC ثابت باقی خواهد ماند. برای تنظیم ضرایب PI مربوط به کنترلر لینک DC از روابط زیر استفاده شده است.

$$K_{pDC} = \frac{C}{4T_{si}} \quad (9)$$

$$T_{iDC} = 8T_{si} \quad (10)$$

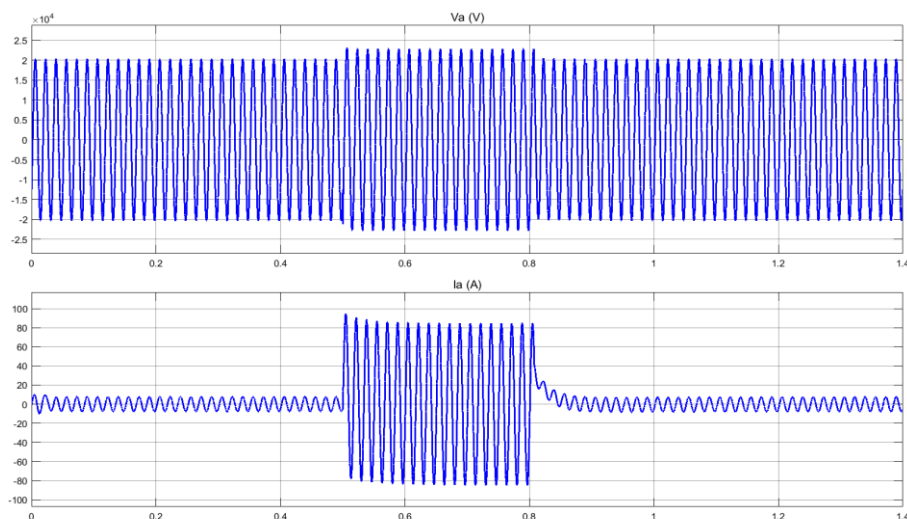
۳- نتایج حاصل از شبیه سازی

در این بخش به منظور بررسی عملکرد سیستم فتوولتائیک در شرایط اتصال کوتاه تک فاز به زمین ابتدا به شبیه سازی سیستم مورد مطالعه مطابق شکل ۴ در فضای سیمولینک متلب پرداخته می‌شود.

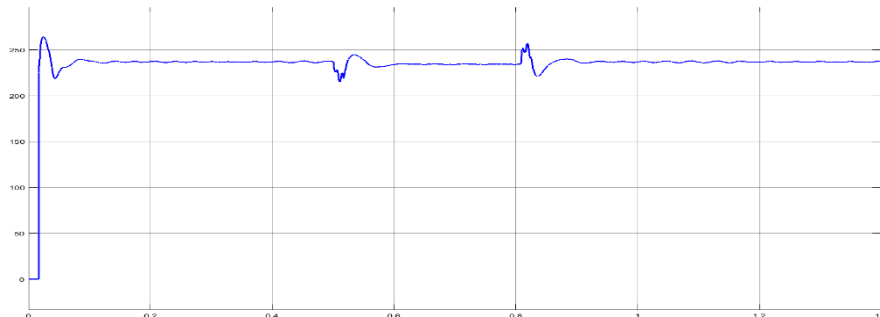


شکل ۴: شماتیک سیستم شبیه سازی شده در فضای سیمولینک نرم‌افزار متلب.

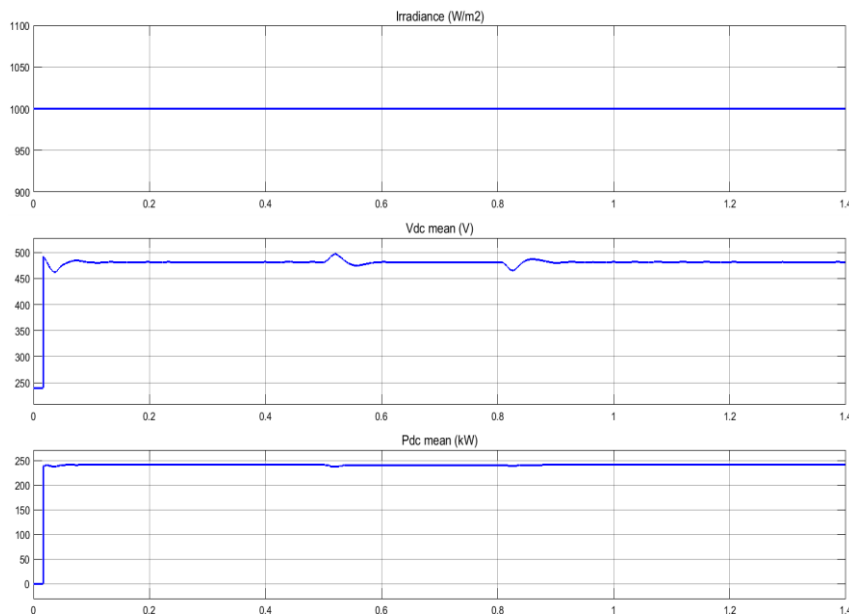
اجزای مختلف شبیه سازی در شکل ۴ مشاهده می‌شود. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد به منظور بررسی حالت اتصال کوتاه تک فاز به زمین در این شبیه‌سازی یک اتصال کوتاه تک فاز به زمین در باس B1 در ثانیه ۰/۵ رخ می‌دهد و در ثانیه ۰/۸ برطرف می‌شود در این شرایط نمودار خروجی ولتاژ، جریان و توان اینورتر همچنین ولتاژ و توان لینک DC به ترتیب در شکل‌های ۵ تا ۷ نشان داده شده است.



شکل ۵: نمودار خروجی ولتاژ و جریان اینورتر در شرایط رخ داد خطا.



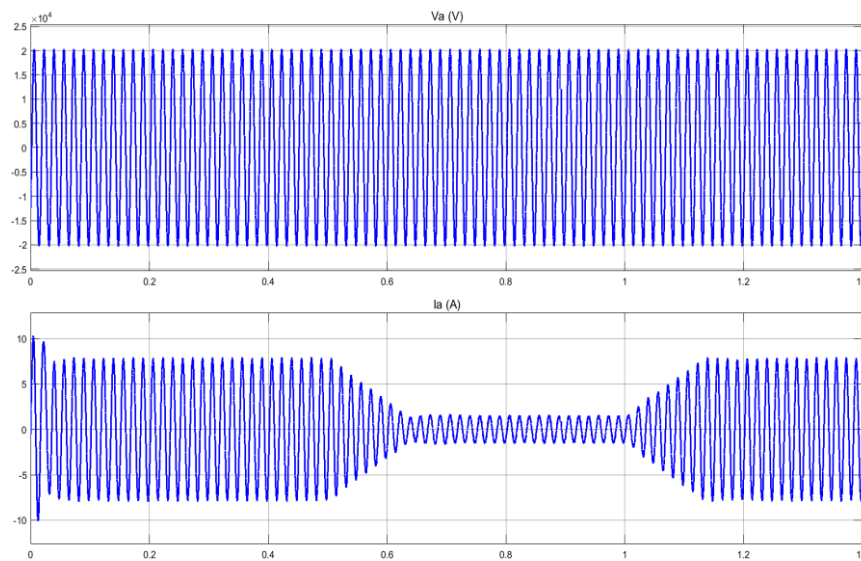
شکل ۶: نمودار توان خروجی اینورتر در شرایط رخ داد خطا.



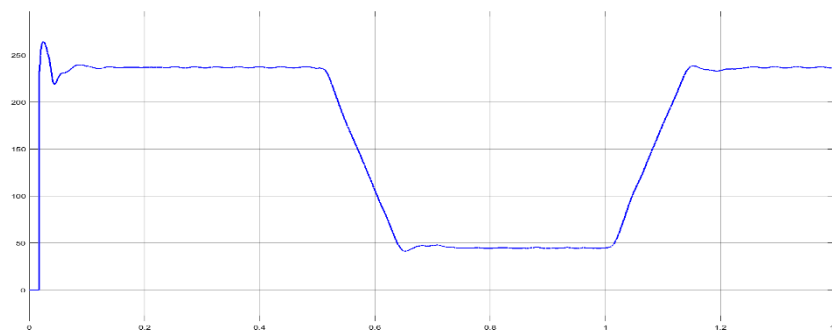
شکل ۷: نمودار ولتاژ و توان لینک DC در شرایط رخ داد خطا.

همانطور شکل‌های ۵ تا ۷ مشاهده می‌گردد سیستم کنترلر اینورتر سمت شبکه توانایی نسبتاً خوبی در کنترل ولتاژ AC و لینک DC در دوران پس از خطا دارد که این موضوع حاکی از توانمندی سیستم اینورتر در کنترل ولتاژ و توان AC و سیستم کنترل مبدل بوست در کنترل ولتاژ لینک DC می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود اینورتر از یک کنترل کننده ی NSC در سمت شبکه استفاده می‌کند که وظیفه ی کنترل ولتاژ و کنترل فرکانس را عهده دار می‌باشد همچنین این کنترل کننده دارای یک حلقه داخلی می‌باشد که ولتاژ لینک DC را به خوبی بر روی مقدار ثابت نگه می‌دارد و تا حد امکان از اعوجاجات بر روی لینک DC جلوگیری می‌کند که این عمل سبب می‌شود اعوجاج و نوسانات بر روی ولتاژ AC خروجی اینورتر در شرایط خطا و دوران پس از خطا به حداقل برسد

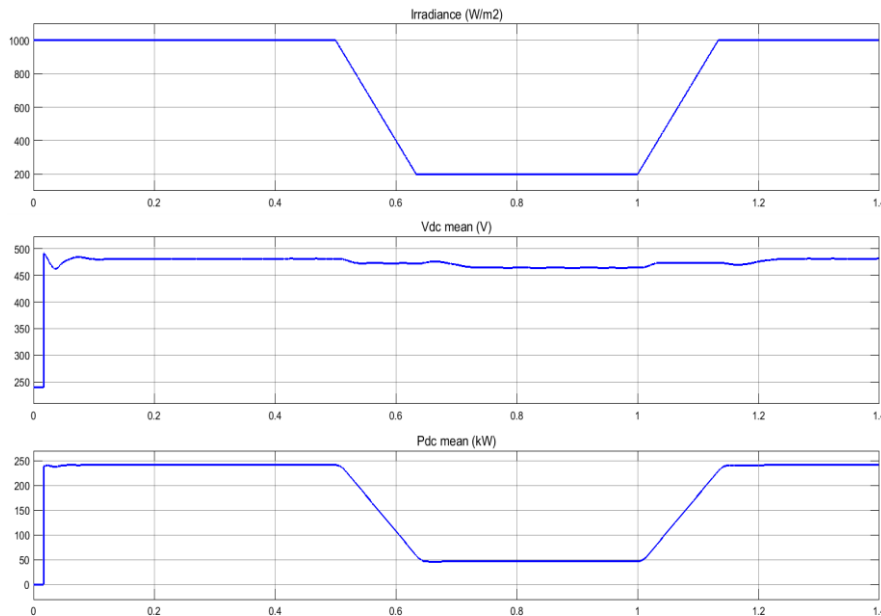
در مورد مطالعاتی بعد به منظور بررسی سیستم کنترلی مبدل بوست و اینورتر متصل به شبکه تشعشع خورشیدی ورودی به سیستم فتوولتائیک در ثانیه‌ی ۰/۵ تا ۱/۰ از ۱۰۰۰ وات بر متر مربع به ۲۰۰ وات بر متر مربع تغییر می‌کند در این حالت نتایج حاصل از شبیه سازی مشابه قبل در شکل های ۸ تا ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۸: نمودار ولتاژ و جریان خروجی اینورتر در شرایط تغییر تشعشع خورشیدی.



شکل ۹: نمودار توان خروجی اینورتر در شرایط تغییر تشعشع خورشیدی.



شکل ۱۰: نمودار ولتاژ و توان لینک DC در شرایط تغییر تشعشع خورشیدی.

در این حالت نیز سیستم کنترلی اینورتر و مبدل بوست توانایی لازم در کنترل ولتاژ و توان سمت شبکه و لینک DC را دارند. همانطور که مشاهده می‌گردد در تمامی این حالات سیستم کنترلی مبدل بوست و اینورتر سمت شبکه توانایی لازم در کنترل ولتاژ، فرکانس و دریافت ماکزیمم توان از سامانه فتوولتائیک را دارند.

۴- تغییرات دما و تشعشع

برای بدست آوردن عدم قطعیت تشعشع و تغییرات به مدلسازی دقیق یک سلول خورشیدی و بررسی و تحلیل آن در منطقه‌ی جغرافیای استان مرکزی پرداخته خواهد شد اطلاعات جغرافیایی و آب و هوایی این منطقه در جدول ۱ بیان شده است اطلاعات این منطقه از سایت هواشناسی استان مرکزی گرفته شده است [۹].

جدول ۱: اطلاعات جغرافیایی و آب و هوایی شهر اراک

نام استان	نام شهرستان	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	فشار هوا (کیلوپاسکال)	ضریب صافی هوا	ساعت مطالعه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	ثابت خورشیدی (W/m^2)
مرکزی	اراک	۳۵/۷۲	۵۱/۳۸	۱۰۱	۰/۹۴	۱۲	۱۷۰۰	۱۳۶۷

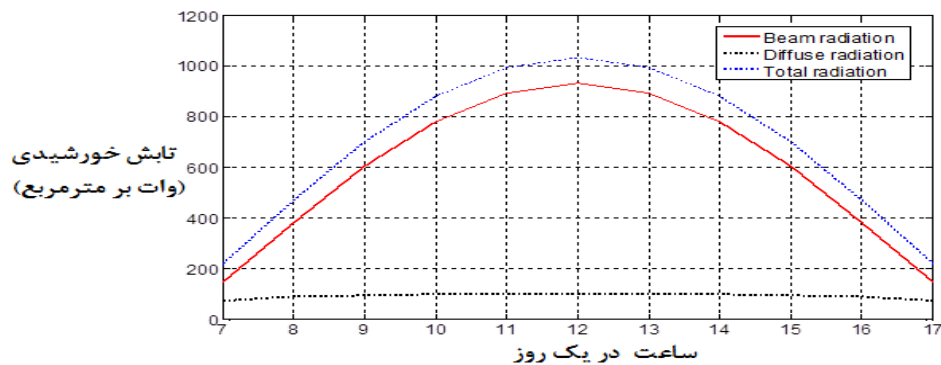
۴-۱- محاسبه اطلاعات تابش (شدت و زاویه تابش)

در این بخش با توجه به اطلاعات آب و هوایی و جغرافیایی شهرستان به محاسبه اطلاعات تابش شامل شدت و زاویه تابش برای ۱۰۰مین روز سال ساعت ۱۲ ظهر پرداخته می‌شود. در جدول ۲ نتایج این محاسبات به طور دقیق گزارش شده است نتایج حاصل از شبیه سازی روش پیشنهادی به صورت کدنویسی شده در نرم افزار متلب با نتایج شبیه سازی توسط نرم افزار

Solar Engineering Fundamentals که در شکل ۱۱ نشان داده شده است به طور کامل همخوانی دارد و مورد تأیید است [۹].

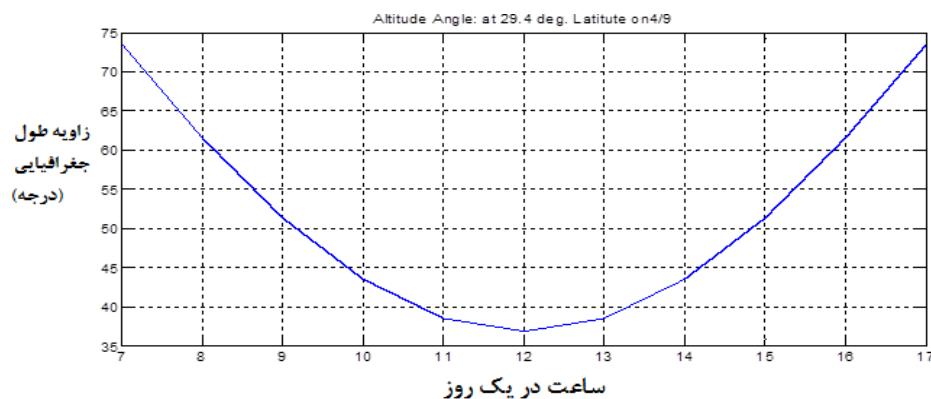
جدول ۲: اطلاعات تابش در شهرستان اراک

Altitude Angle (Deg)	Azimuth Anglen(Deg)	Optical Air Mass	Beam Radiation (W/m ²)	Diffuse Radiation (W/m ²)	Total Radiation (W/m ²)
36.82	180	1.0743	931.35	101.188	1032.54



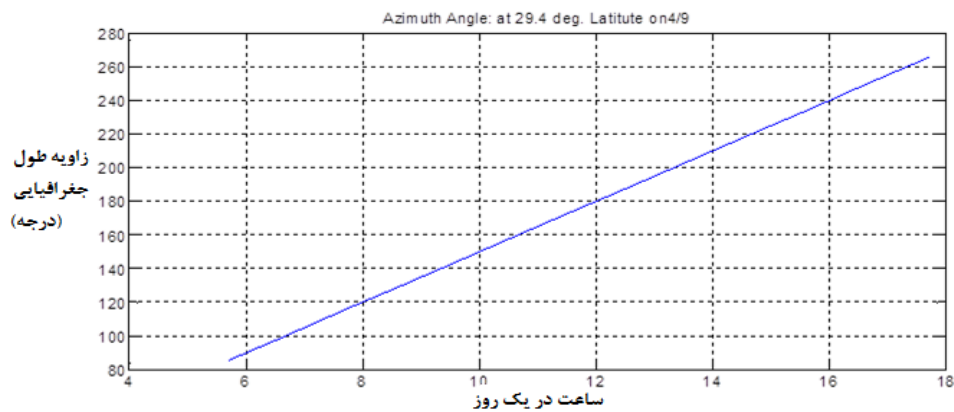
شکل ۱۱: میزان تابش در تمامی ساعات برای ۱۰۰امین روز سال در شهرستان اراک.

همچنین در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ به ترتب زاوایای ارتفاع و آزیموت* برای تمامی ساعات روز ۱۰۰ام نشان داده شده است:



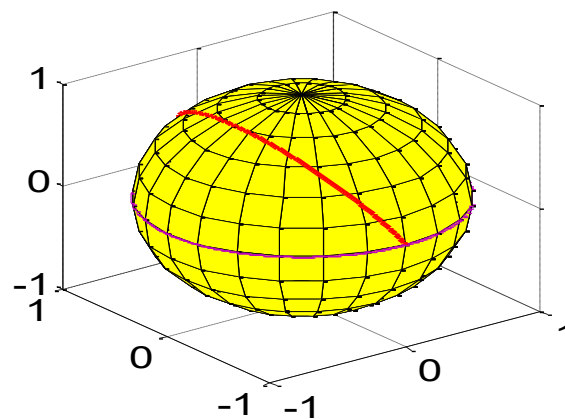
شکل ۱۲: زاوایای ارتفاع در تمامی ساعات برای ۱۰۰امین روز سال در شهرستان اراک.

* - Azimuth

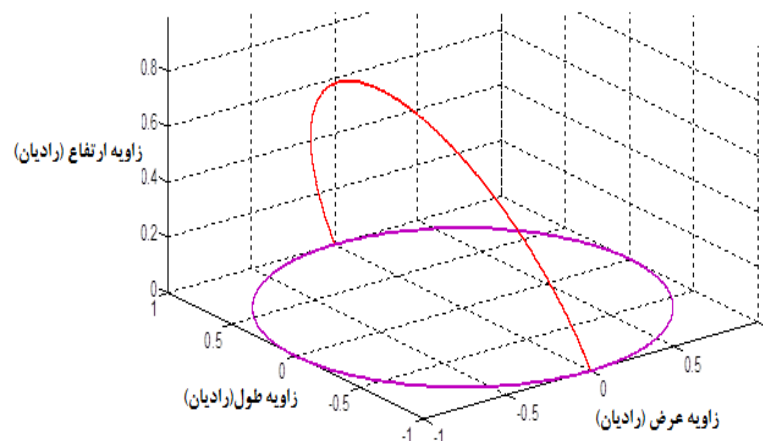


شکل ۱۳: زوایای آزمون در تمامی ساعات برای ۱۰۰ امین روز سال در شهرستان اراک.

در ادامه مسیر حرکت خورشید برای ۱۰۰ امین روز سال در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ نشان داده شده است:



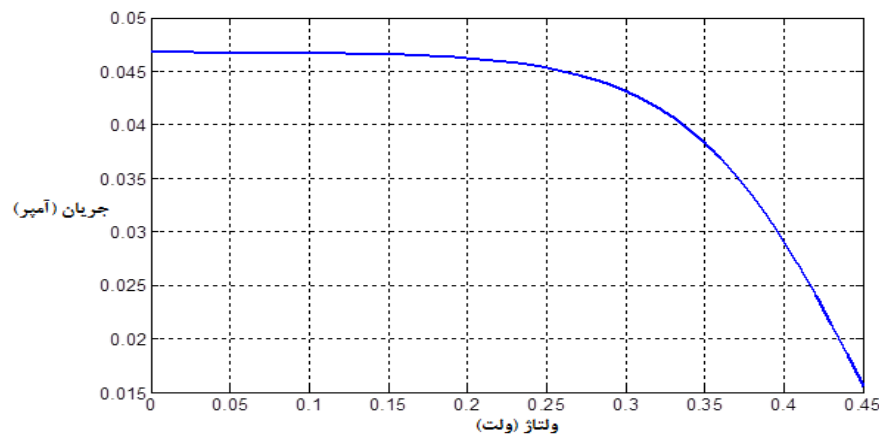
شکل ۱۴: مسیر حرکت خورشیدی در تمامی ساعات برای ۱۰۰ امین روز سال در شهرستان اراک.



شکل ۱۵: مسیر حرکت خورشیدی در تمامی ساعات برای ۱۰۰ امین روز سال در شهرستان اراک.

۲-۴- محاسبات سلول خورشیدی

پس از محاسبات تابش و زاویای خورشیدی با استفاده از اطلاعات جغرافیایی، اقلیمی و شرایط آب و هوایی برای شهرستان اراک، با توجه به جداول ۱ و ۲ میزان تابش دریافتی خورشیدی برای این شهرستان در صدمین روز سال ساعت ۱۲ ظهر برابر $1032/54$ وات بر متر مربع بدست می‌آید. این در حالی است که میزان تابش خارج از جو برای شهرستان در چنین روزی برابر 1367 وات بر متر مربع می‌باشد. در ادامه با توجه به مقدار تابش در دسترس $1032/54$ وات بر مترمربع به محاسبات توان، ولتاژ و جریان خروجی سلول فتوولتائیک با مدل دو دیودی انجام می‌شود. در این راستا ابتدا به تست و صحت گذاری بر روی شبیه‌سازی مدل دودی سلول فتوولتائیک با استفاده از مرجع [۱۰] پرداخته می‌شود. در شکل ۱۶ مدل شبیه‌سازی شده این سلول توسط کدهای برنامه نویسی شده در نرم افزار متلب نشان داده شده است.



شکل ۱۶: نمودار جریان - ولتاژ سلول شبیه‌سازی شده در روش پیشنهادی مطابق مرجع [۱۰].

با فرض ثابت بودن تشعشع $1032/54$ وات بر متر مربع به مطالعه اثر تغییرات دما بر روی سلول خورشیدی پرداخته می‌شود پس از آن با فرض ثابت بودن دما به مطالعه تغییرات تشعشع در سلول مورد نظر پرداخته خواهد شد. اطلاعات این سلول از مرجع [۱۱] گرفته شده است که در جدول ۳ بیان شده است همچنین می‌توان نتایج حاصل از شبیه‌سازی در نرم افزار متلب را با نتایج مرجع [۱۱] صحت گذاری نمود.

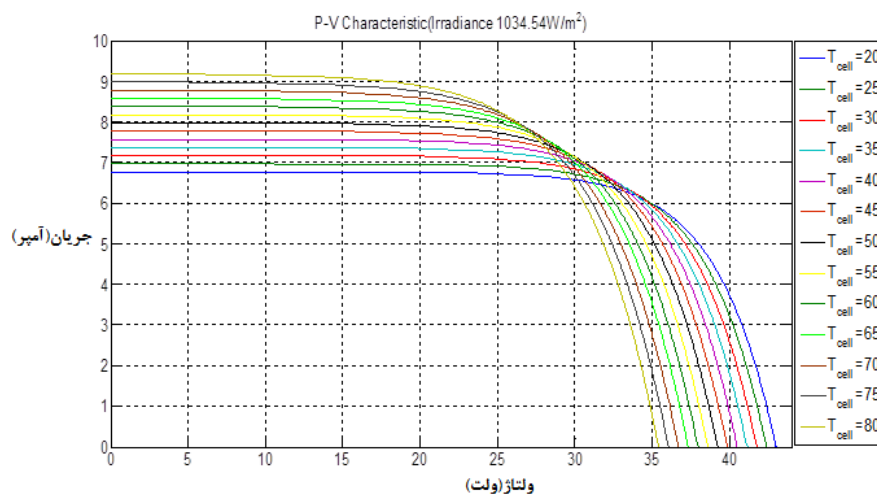
جدول ۳: اطلاعات سلول خورشیدی مورد مطالعه

پارامترها	مقادیر
I_{sc} (A)	8.71
V_{oc} (V)	43.2
Boltzmann constant	1.38×10^{-23}
Electron charge	1.60×10^{-19}
diode quality	2.0
current temperature cvoefficient	0.05

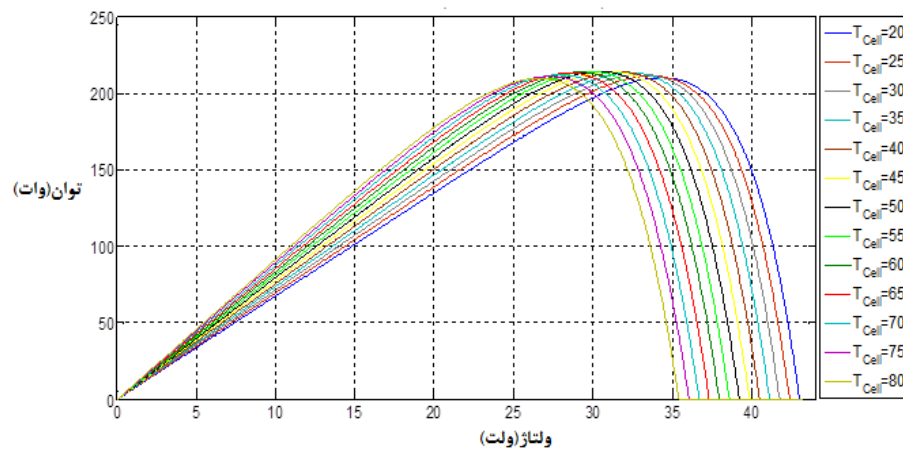
voltage temperature coefficient	-0.34
$I_{PV}(A)$	3.80
$R_p(Ohm)$	164.58
$R_s(Ohm)$	0.34

۱-۲-۴- مطالعه تغییرات دما بر روی سلول خورشیدی

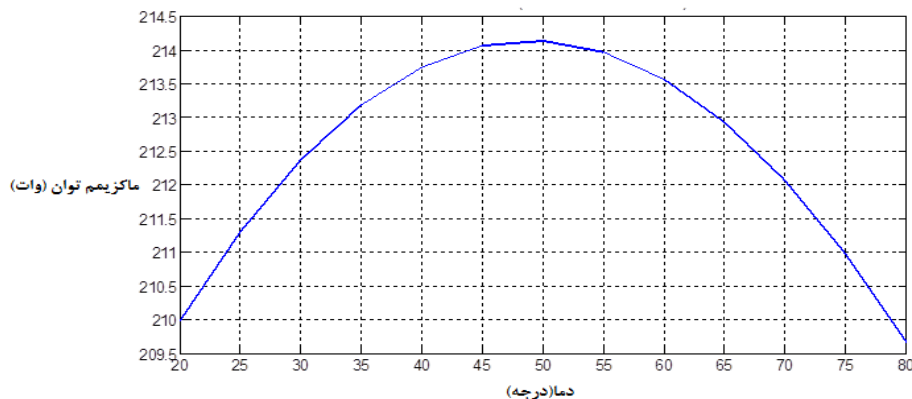
در شکل‌های ۱۷ تا ۱۸ به ترتیب نمودار تغییرات جریان و توان خروجی سلول خورشیدی مورد نظر در اثر تغییرات دما از ۲۰ درجه تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد در تابش $1034.54/54$ وات بر متر مربع با استفاده از کدنویسی در نرم افزار متلب شبیه‌سازی شده است. همانطور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود با افزایش دما ماکزیمم توان خروجی سلول خورشیدی تا دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و پس از آن ماکزیمم توان خروجی سلول کاهش می‌یابد که این موضوع در شکل ۱۹ نیز نشان داده شده است. این در حالی است که با توجه به شکل ۲۰ راندمان سلول با افزایش دما همواره کاهش می‌یابد چرا که همانطور که در شکل ۱۷ مشاهده می‌شود با افزایش دما تا ۵۰ درجه علی‌رغم افزایش دما V_{mp} و I_{mp} به مراتب کاهش می‌یابد این کاهش راندمان در دماهای بالای ۵۰ درجه به دلیل کاهش ماکزیمم توان خروجی کاهش بیشتری می‌یابد این نتایج با دقت بسیار بالایی به نتایج حاصل از شبیه‌سازی مرجع [۱۱] بسیار نزدیک است که این موضوع حاکی از دقت بسیار بالای روش پیشنهادی در مدلسازی سلول فتوولتائیک است.



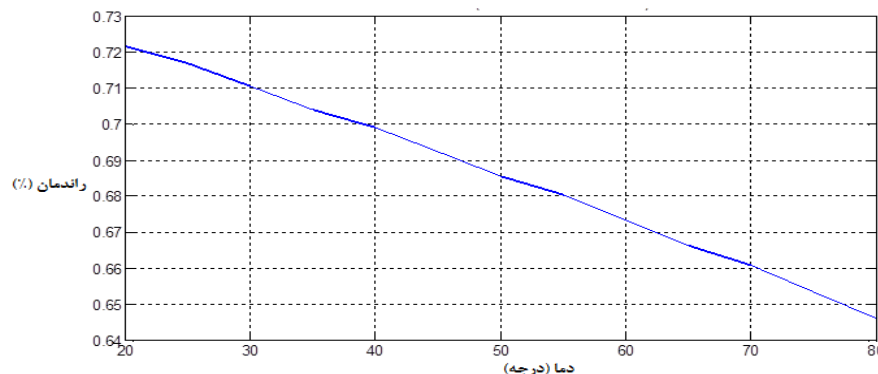
شکل ۱۷: مطالعه تغییرات دما بر روی نمودار جریان - ولتاژ سلول خورشیدی مورد مطالعه.



شکل ۱۸: مطالعه تغییرات دما بر روی نمودار توان - ولتاژ سلول خورشیدی مورد مطالعه.



شکل ۱۹: مطالعه تغییرات دما بر روی توان خروجی سلول خورشیدی مورد مطالعه.

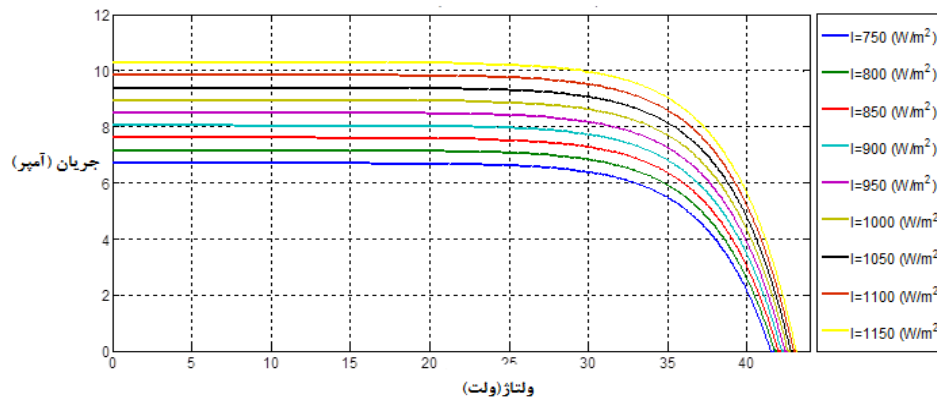


شکل ۲۰: مطالعه تغییرات دما بر روی راندمان خروجی سلول خورشیدی مورد مطالعه.

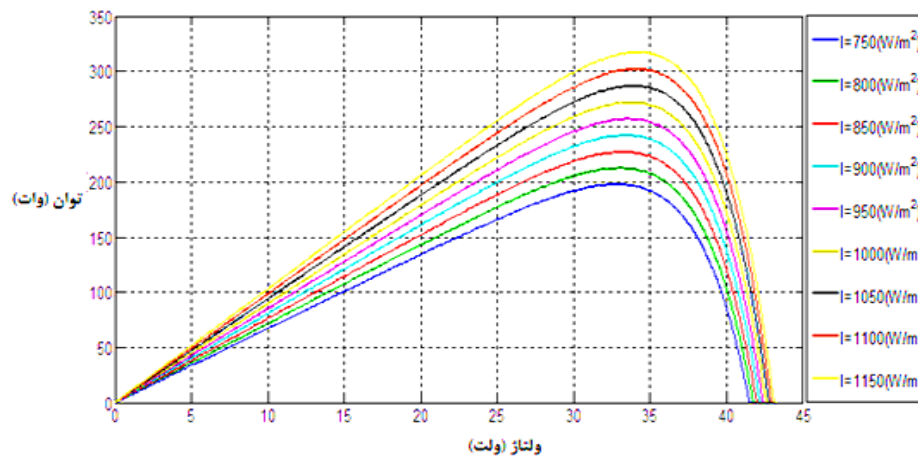
۲-۲-۴ - مطالعه تغییرات تشعشع بر روی سلول خورشیدی

در شکل‌های ۲۱ تا ۲۲ به ترتیب نمودار تغییرات جریان و توان خروجی سلول خورشیدی مورد نظر در اثر تغییرات تشعشع از $750 \text{ (W/m}^2\text{)}$ تا $1150 \text{ (W/m}^2\text{)}$ در دمای ثابت 30°C درجه سانتی‌گراد نشان داده شده است. همانطور که در این شکل‌ها

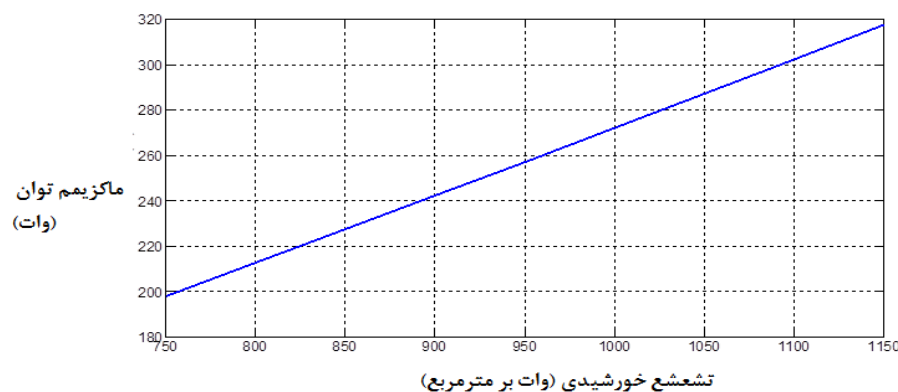
مشاهده می‌شود با افزایش تشعشع خورشیدی ماکزیمم توان خروجی سلول خورشیدی افزایش می‌یابد این موضوع در شکل ۲۳ نیز نشان داده شده است. این در حالی است که با توجه به شکل ۲۲ راندمان سلول نیز با افزایش تشعشع همواره افزایش می‌یابد.



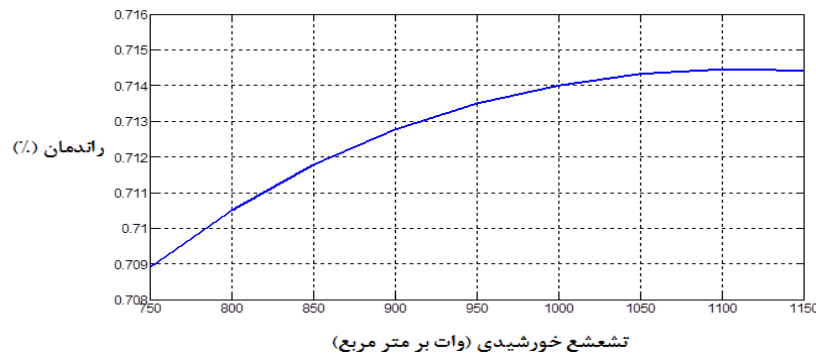
شکل ۲۱: مطالعه تغییرات تشعشع در دمای ۳۰ درجه بر روی نمودار جریان - ولتاژ سلول مورد مطالعه.



شکل ۲۲: مطالعه تغییرات تشعشع در دمای ۳۰ درجه بر روی نمودار توان - ولتاژ سلول مورد مطالعه.

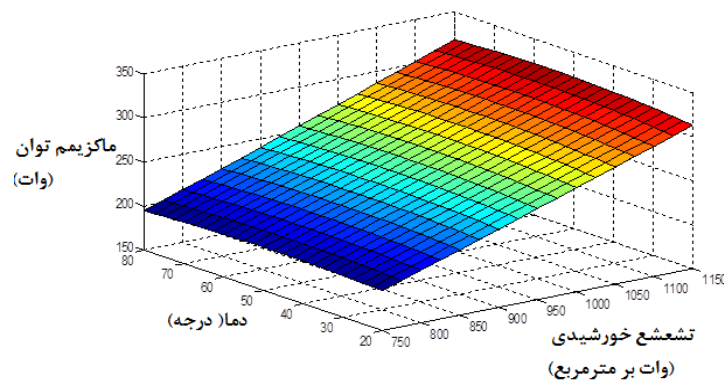


شکل ۲۳: مطالعه تغییرات تشعشع بر روی توان خروجی سلول خورشیدی مورد مطالعه.

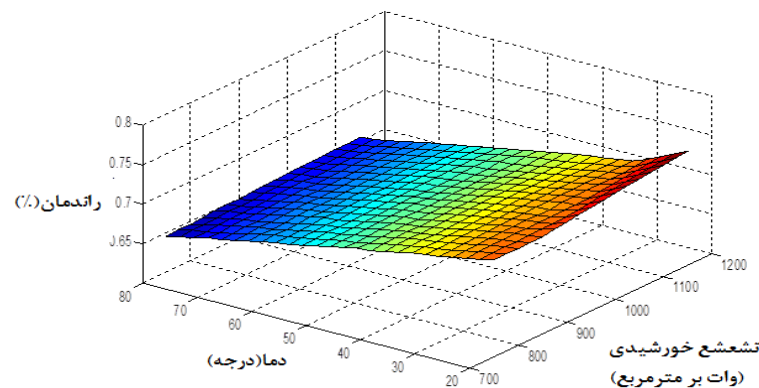


شکل ۲۴: مطالعه تغییرات تشعشع بر روی راندمان خروجی سلول خورشیدی مورد مطالعه.

در ادامه همانطور که در شکل ۲۵ و ۲۶ مشاهده می‌شود به بررسی همزمان تأثیر تغییر تشعشع خورشیدی و دما بر روی راندمان و ماکزیمم سلول فتوولتائیک مورد مطالعه پرداخته شده است. همانطور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود نمودارهای راندمان و ماکزیمم توان به صورت یک رویه‌ی سه بعدی می‌باشد که در محورهای X و Y به ترتیب تغییرات تابش خورشیدی و تغییرات دما قرار داده شده است. با توجه به این شکل‌ها با افزایش تشعشع خورشیدی ماکزیمم توان و راندمان افزایش می‌یابند اما با افزایش دما این مقادیر همواره کاهش می‌یابند.



شکل ۲۵: مطالعه همزمان تغییرات تشعشع و دما بر روی ماکزیمم توان خروجی سلول خورشیدی مورد مطالعه.



شکل ۲۶: مطالعه همزمان تغییرات تشعشع و دما بر روی راندمان خروجی سلول خورشیدی مورد مطالعه.



۵- نتیجه گیری

در این مقاله به مدلسازی و شبیه سازی سیستم فتوولتائیک و اتصال آن به شبکه‌ی الکتریکی با استفاده از اینورترهای متصل به شبکه به منظور تولید انرژی الکتریکی از انرژی خورشیدی با هدف تأمین بار موجود در یک شبکه‌ی الکتریکی در شرایط خطای اتصال کوتاه سه فاز، عدم قطعیت تشعشع و تغییرات دما پرداخته شد. در این مدلسازی از یک اینورتر DC/AC به منظور دستیابی به ولتاژ و فرکانس مطلوب استفاده گردید. این اینورتر از یک کنترل کننده‌ی NSC در سمت شبکه استفاده می‌کند که وظیفه‌ی کنترل ولتاژ و کنترل فرکانس را عهده دار می‌باشد همچنین این کنترل کننده دارای یک حلقه داخلی می‌باشد که ولتاژ لینک DC را به خوبی بر روی مقدار ثابت نگه می‌دارد و تا حد امکان از اعوجاجات بر روی لینک DC جلوگیری می‌کند که این عمل سبب می‌شود اعوجاج و نوسانات بر روی ولتاژ AC خروجی اینورتر به حداقل برسد. از جمله مزایای دیگر کنترل کننده‌ی NSC این است که تا حد امکان از اثر متقابل قسمت‌های الکتریکی بر روی هم ممانعت به عمل می‌آورد که این موضوع سبب می‌شود آسیب‌های ناشی از اغتشاشات قسمت‌های الکتریکی بر روی هم به حداقل برسد لذا شبیه سازی سلول خورشیدی با در نظرگیری پارامترهای محیطی (گرد و خاک، شدت تابش خورشید، اثر دما و سرعت باد) بسیار لازم و ضروری می‌باشد زیرا بازده عملکرد سیستم‌های خورشیدی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. در این مقاله، ضمن در نظرگیری موقعیت جغرافیایی به بررسی شرایط آب و هوایی نظیر فشار هوا، میزان رطوبت و ضریب گذردهی هوا نیز پرداخته شد. همچنین همانطور که مشاهده شد افزایش دما نیز باعث کاهش راندمان سلول خورشیدی می‌شود. اما در بررسی اثر تشعشع مشخص شد که عامل تشعشع به میزان زیادی بازده سلول خورشیدی را متأثر خواهد کرد و باید در نظر داشت این اثر در ابعاد بزرگ که سلول‌ها بصورت آرایه مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربرد عملی در آتش‌نشانی دارد با تأکید بر شرایط بحران (زلزله، سیل، آتش‌سوزی گسترده و قطعی شبکه)، نتیجه‌گیری مقاله تصریح می‌کند که سیستم طراحی شده می‌تواند به عنوان منبع تغذیه اضطراری مستقل و قابل اطمینان برای ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهرداری اراک مورد استفاده قرار گیرد و وابستگی به شبکه سراسری را در زمان وقوع حوادث



مراجع

1. A. Hepbasli, "A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 12, pp. 593-661, 2008.
2. C. Charcosset, "A review of membrane processes and renewable energies for desalination," *Desalination*, vol. 245, pp. 214-231, 2009.
3. T. T. Chow, "A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology," *Applied energy*, vol. 87, pp. 365-379, 2010.
4. F. Toyomura, T. Fujisaki, Y. Nagao, and S. Itoyama, "Solar cell module, solar cell array having the module, power generation apparatus using the array, and inspection method and construction method of the apparatus," ed: Google Patents, 2000.
5. A. Ghoshal, A. K. Rathore, and P. Xuwei, "Analysis, design, and implementation of closed loop control of electrolytic capacitor-less six-pulse DC link inverter," in *Industry Applications Society Annual Meeting, 2016 IEEE*, 2016, pp. 1-7.
6. E. Karatepe and T. Hiyama, "Artificial neural network-polar coordinated fuzzy controller based maximum power point tracking control under partially shaded conditions," *IET Renewable Power Generation*, vol. 3, pp. 239-253, 2009.
7. C. B. Salah and M. Ouali, "Comparison of fuzzy logic and neural network in maximum power point tracker for PV systems," *Electric Power Systems Research*, vol. 81, pp. 43-50, 2011.
8. C. Larbes, S. A. Cheikh, T. Obeidi, and A. Zerguerras, "Genetic algorithms optimized fuzzy logic control for the maximum power point tracking in photovoltaic system," *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 2093-2100, 2009.
9. A. Mermoud, "Pvsyst :Software for the study and simulation of photovoltaic systems," *ISE, University of Geneva*, www.pvsyst.com, 2012.
10. K. Ishaque, Z. Salam, and H. Taheri, "Simple, fast and accurate two-diode model for photovoltaic modules," *Solar energy materials and solar cells*, vol. 95, pp. 586-594, 2011.
11. J. Gow and C. Manning, "Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies," *IEE Proceedings-Electric Power Applications*, vol. 146, pp. 193-200, 1999.