

## عملکرد مدل دو دیودی فتوولتائیک (PV) تحت شرایط محیطی مختلف

### 12-F-REN-1520

احسان رسولی<sup>۱</sup>، الناز پوربافرانی<sup>۱</sup>، محمد اسماعیل نظری<sup>۱</sup>، مرتضی محمدی اردهالی<sup>۱</sup>، غلامحسین ریاحی دهکردی<sup>۱</sup>

۱- دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب

ایران

واژه های کلیدی: مدل سازی دو دیودی PV، ماژول PV، Air Mass، شرایط محیطی

#### چکیده

#### ۱- مقدمه

سیستم قدرت فتوولتائیک PV بعلاوه شرایط خاص آن از جمله میزان آلودگی بسیار کم و طبیعت پایدار آن بعلاوه عمر پایدار خورشید، انتظار می رود به عنوان مهمترین منبع انرژی تجدیدپذیر مطرح شود. بهر حال بعلاوه هزینه های زیاد سرمایه گذاری در بخش ماژول های PV، استفاده بهینه از انرژی خورشیدی در دسترس، امری ضروری می باشد. که نیازمند صرف هزینه و شبیه سازی های دقیق و مطمئن از سیستم طراحی شده قبل از نصب می شود. مهمترین بخش تاثیر گذار بر دقت شبیه سازی، مدل ماژول PV است. شبیه سازی ماژول PV شامل بدست آوردن منحنی مشخصه های (I-V) و (P-V) است که هدف از این کار برای تطبیق منحنی مشخصه های مدل شبیه سازی با منحنی مشخصه های ماژول واقعی تحت شرایط محیطی مختلف می باشد. معمول ترین روش استفاده از مدار معادل الکتریکی است. که اصولاً بر مبنای مدل دیودی است. ساده ترین مدل، مدل تک دیودی است. این مدل شامل یک منبع جریان مستقل، موازی با یک دیود می باشد [۱-۴]. این مدل برای کامل کردن منحنی مشخصه (I-V) تنها به

با توجه به اهمیت سیستم های فتوولتائیک PV در میان سایر منابع انرژی تجدید پذیر لزوم مدل سازی و شبیه سازی این سیستم ها قبل از نصب به جهت هزینه بالا، امری ضروری می باشد. لذا دست یافتن به مدلی که بتواند نتایج شایسته و صحیح از سیستم مورد مطالعه حاصل کند اجتناب ناپذیر می باشد. هدف از انجام این مطالعه بررسی عملکرد مدل دو دیودی ماژول PV، تحت شرایط محیطی مختلف می باشد. در ابتدا مدل سازی مدل دو دیودی ماژول PV شرح داده شده است. شرایط بررسی شده در این مطالعه شامل بررسی اثر گرد و غبار، تغییرات Air Mass، اثر دما و سرعت باد می باشند. نتایج نشان می دهد که عملکرد این مدل تحت شرایط گرد و غبار تحت تاثیر قرار گرفته و میزان توان استحصالی از آن به علت کاهش میزان تابش رسیده به سطح ماژول کاهش پیدا می کند. افزایش Air Mass نیز باعث کاهش توان استحصالی شده است. تغییرات دما، هنگامی که دمای سطح ماژول بالا می رود باعث کاهش توان استحصالی از آن می شود. تغییرات سرعت باد، تغییر زیادی در میزان توان استحصالی در ماژول PV ایجاد نکرد.

[۱۹] برخی ضرایب جهت در نظر گیری پارامترها لحاظ شده است. هدف از این مطالعه بررسی عملکرد مدل دو دیودی ماژول PV تحت این شرایط می باشد. زیرا با توجه به دقت نتایج حاصله از مدل دو دیودی ماژول PV، بررسی این پارامترها جهت این مدل با توجه به اهمیت شبیه سازی و حصول نتایج واقعی از مدل، می تواند سودمند باشد. شبیه سازی در محیط MATLAB/SIMULINK انجام شده است. در بخش دوم این مطالعه به معرفی علائم و اختصارات استفاده شده پرداخته شده است. در بخش سوم روند مدل سازی مدل دو دیودی ماژول PV و چگونگی استخراج پارامترهای آن در بخش چهارم انجام شده است. در بخش پنجم به تشریح روند شبیه سازی، در بخش ششم نتایج شبیه سازی و در بخش هفتم نیز نتیجه گیری آورده شده است.

## ۲- فهرست علائم و اختصارات

جریان تولید شده از تابش نور (A)	$I_{pv}$
جریان اشباع معکوس دیود ۱ (A)	$I_{o1}$
جریان اشباع معکوس دیود ۲ (این جریان برای جبران تلفات پیوند <sup>۲</sup> در ناحیه تخلیه در نظر گرفته شده است) (A)	$I_{o2}$
جریان خروجی سلول (A)	$I$
جریان دیود ۱ (A)	$I_{D1}$
جریان دیود ۲ (A)	$I_{D2}$
جریان اتصال کوتاه (A)	$I_{sc}$
جریان تولید شده از تابش نور در شرایط استاندارد (A) (موجود در کاتالوگ سازنده)	$I_{pv-STC}$
جریان نقطه توان ماکزیمم (A)، (موجود در کاتالوگ سازنده)	$I_{mp}$
جریان اتصال کوتاه نامی (A) (موجود در کاتالوگ سازنده)	$I_{scn}$
ولتاژ خروجی سلول (V)	$V$
ولتاژ حرارتی مربوط به دیود ۱ (V)	$V_{T1}$
ولتاژ حرارتی مربوط به دیود ۲ (V)	$V_{T2}$
ولتاژ مدار باز (V)	$V_{oc}$
ولتاژ مدار باز نقطه توان ماکزیمم (V) (موجود در کاتالوگ سازنده)	$V_{oc-STC}$
ولتاژ مدار باز نقطه توان ماکزیمم (V)	$V_{mp}$

سه پارامتر جریان اتصال کوتاه ( $I_{sc}$ )، ولتاژ مدار باز ( $V_{oc}$ ) و ضریب ایده آلی<sup>۱</sup> دیود نیاز داشت. بهبود عملکرد این مدل با در نظر گرفتن یک مقاومت سری  $R_s$  در مدار انجام شد [۵-۱۰]. که در مراجع مختلف به مدل  $R_s$ ، شناخته شده است. بعلاوه سادگی و کارایی محاسباتی که دارد، مدل  $R_s$  یک مدل پر کاربرد در شبیه سازی سیستم PV می باشد. علیرغم این مزیت ها، نقص های مهمی نیز، در این مدل وجود دارد. که این نقص ها، خصوصا هنگامی که ماژول PV در معرض تغییرات دما قرار میگیرد، خود را نشان میدهد. در دمای بالا به میزان زیادی دقت خود را از دست میدهد. مدل توسعه یافته  $R_s$  مدل  $R_p$  نامیده می شود. که شامل یک مقاومت شنت اضافی است که در مراجع [۱۱-۱۵] معرفی شده است. اگرچه برخی از نقص ها بهبود پیدا کرده اند اما مقدار محاسبات بعلاوه افزایش پارامترها به شش عدد، بیشتر شده است. بعلاوه اینکه دقت این مدل در روشنایی کم نیز دقت خود را از دست می دهد، که این اثر بخصوص در مجاورت ولتاژ مدار باز  $V_{oc}$  بیشتر محسوس است. امروزه با افزایش قدرت محاسباتی پردازنده ها مدل های PV با دقت بیشتر ولی پیچیده تر ارائه و پیشنهاد شده اند. که از جمله آنها مدل مهم دو دیودی است. که در ابتدا توسط [۱۶] معرفی و ارائه شد. با اضافه شدن یک دیود به مدار، تعداد عناصر مدار، از ۵ به ۷ (در مدل  $R_p$ ) عدد افزایش پیدا کرد. حال مسئله اصلی برآورد، مقادیر پارامترهای مدل، به گونه ای است که شبیه سازی در یک زمان معقول انجام شود. که راه حل کار، یافتن یک روش محاسباتی سریع و کارآمد برای محاسبه مقادیر این پارامترها می باشد. با توجه به اهمیت این موضوع، در [۱۷] یک مدل سازی عملی و کاربردی و روش شبیه سازی برای تعیین منحنی مشخصه های ( $I-V$ ) و ( $P-V$ ) در یک سیستم بزرگ PV ارائه می نماید. از این مدل می توان برای مطالعه اثرات تغییرات دما و آفتاب و باد و گرد و غبار در مشخصه های PV استفاده کرد. در [۱۸] بررسی این پارامترهای برای مدل  $R_p$  انجام شده است. در

**بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق**

**۳-۱- مدل سازی با استفاده از مدل دو دیودی**

با توجه به شکل (۱) جریان خروجی مدل دو دیودی توسط رابطه‌ی (۱) بدست می‌آید:

$$I = I_{pv} - I_{o1} \left[ e^{\left( \frac{V+IR_s}{\alpha_1 V_{T1}} \right)} - 1 \right] - I_{o2} \left[ e^{\left( \frac{V+IR_s}{\alpha_2 V_{T2}} \right)} - 1 \right] - \left( \frac{V+IR_s}{R_p} \right) \quad (1)$$

به طور معمول سه نقطه:  $(I_{sc}, 0)$ ،  $(V_{mp}, I_{mp})$  و  $(V_{oc}, 0)$  در شرایط تست استاندارد در کاتالوگ ارائه شده از سوی کارخانه سازنده موجود هستند. تخمین دقیق این نقاط یکی از مهمترین اهداف هر روش شبیه سازی و مدل سازی می باشد.

**۳-۲- استخراج پارامترهای مدل**

در این قسمت به استخراج اجزا مختلف مدل پرداخته می‌شود.

**۳-۲-۱- تعیین جریان  $I_{pv}$**

معادله توصیف کننده جریان PV بر حسب دما و تابش توسط رابطه (۲) نوشته می شود:

$$I_{pv} = (I_{pv-STC} + K_i \Delta T) \frac{G}{G_{STC}} \quad (2)$$

**۳-۲-۲- جریان اشباع و ضرایب کیفیت دیوده‌ها**

برای مدل تک دیودی، معادله توصیف کننده جریان اشباع معکوس که تغییرات دما را نیز در نظر بگیرد بصورت رابطه (۳) ارائه شده است:

$$I_o = \frac{(I_{pv-STC} + K_i \Delta T)}{e^{\left[ \frac{(V_{oc-STC} + K_v \Delta T)}{\alpha V_T} \right]} - 1} \quad (3)$$

برای مدل دو دیودی، پژوهشگران زیادی مقادیر  $I_{o1}$  و  $I_{o2}$  را با روش تکرار محاسبه کرده اند. که در اثر استفاده از روش تکرار، زمان محاسبات افزایش زیادی می یابد. خصوصا اگر مقادیر اولیه جهت روش تکرار مقادیر مناسبی نباشند.

ولتاژ مدار باز نامی ( $V$ )  $V_{ocn}$

نقطه توان ماکزیمم  $M_{pp}$

دمای شرایط استاندارد: ۲۵ درجه سانتیگراد  $T_{STC}$

ضریب کیفیت دیود ۱  $\alpha_1$

ضریب کیفیت دیود ۲  $\alpha_2$

ضریب جریان اتصال کوتاه ( $A/o_c$ )  $K_i$

(موجود در کاتالوگ سازنده)

$\Delta T = (T - T_{STC})$  بر حسب کلونین  $\Delta T$

ضریب ولتاژ مدار باز ( $V/o_c$ )  $K_v$

(موجود در کاتالوگ سازنده)

تابش سطح سلول ( $W/m^2$ )  $G$

تابش در شرایط تست استاندارد (موجود در کاتالوگ سازنده)  $G_{STC}$

$1000 (W/m^2)$

ثابت واسط  $\rho$

بار الکتتریکی الکترون:  $1.60217646 \times 10^{-19} C$   $q$

ثابت بولتزمن:  $1.3806503 \times 10^{-23} \frac{J}{K}$   $K$

دمای کاری ماژول بر حسب کلونین  $T$

تعداد سلول های سری شده  $N_s$

مقاومت سری مدل ( $\Omega$ )  $R_p$

مقاومت موازی مدل ( $\Omega$ )  $R_s$

توان ماکزیمم محاسبه شده ( $W$ )  $P_{mp,c}$

توان ماکزیمم آزمایشگاهی ( $W$ )  $P_{mp,E}$

(موجود در کاتالوگ سازنده)

توان ماکزیمم آزمایشگاهی ( $W$ )  $P_{max,E}$

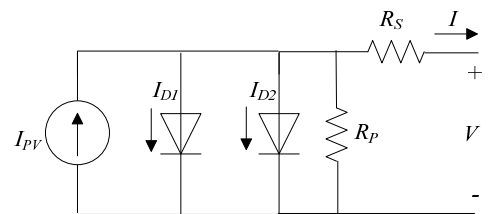
(موجود در کاتالوگ سازنده)

زاویه انحراف بر حسب درجه  $\theta$

سرعت باد ( $m/s$ )  $W_v$

**۳- مدل سازی ماژول PV و استخراج پارامترها [۱۷]**

شکل مداری مدل دو دیودی استفاده شده در این مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است، رابطه ی ریاضی بیانگر عملکرد این مدل نیز توسط رابطه (۱) بیان می شود.



شکل (۱): مدل دو دیودی سلول خورشیدی

## بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

است که برای تطبیق  $P_{mp,c}$  توان ماکزیمم محاسبه شده و  $P_{mp,E}$  توان ماکزیمم آزمایشگاهی (موجود در کاتالوگ سازنده) مقدار  $R_s$  بصورت ممتد افزایش یافته و همزمان نیز مقدار  $R_p$  نیز محاسبه شده و در محاسبات قرار می‌گیرد. شروع پروسه تکرار، با انتخاب مقادیر اولیه مناسب (بویژه مقادیر کم، برای اطمینان از نتیجه مطلوب) برای  $R_s$  و  $R_p$  آغاز می‌شود. از این رو ( $R_s=0$ ) در نظر گرفته می‌شود و  $R_p$  از طریق معادله (۷) محاسبه می‌شود:

$$R_{p0} = \left( \frac{V_{mp}}{I_{scn} - I_{mp}} \right) - \left( \frac{V_{ocn} - V_{mp}}{I_{mp}} \right) \quad (۷)$$

که ترم اول معادله (۷) بیان‌کننده، شیب تکه خط بین جریان اتصال کوتاه و نقطه ( $M_{pp}$ ) است. در حالی که ترم دوم معادله بیانگر شیب تکه خط بین ولتاژ مدار باز و نقطه ( $M_{pp}$ ) است. برای ماژول PV نمونه، اختلاف بین مقادیر نامی  $V_{ocn}$  و  $V_{mp}$  زیاد نیست در نتیجه ترم دوم معادله (۷) همیشه دارای یک مقدار ناچیز خواهد بود. بعلاوه ترم اول معادله نیز دارای یک مقدار ناچیز در مقایسه با مقدار واقعی  $R_p$  خواهد بود. با این شرایط معادله (۷) همیشه یک مقدار بسیار کم از  $R_p$  را نتیجه می‌دهد که یک حدس اولیه خوب برای پروسه تکرار است. برای هر تکرار، مقدار  $R_p$  همزمان توسط معادله (۶) حساب می‌شود. با در دسترس بودن همه هفت پارامتر، جریان خروجی سلول توسط روش‌های عددی شناخته شده قابل حصول است. در این مقاله از روش تکرار نیوتن-رافسون استاندارد استفاده شده است. این روش دارای مزیت‌هایی از جمله اینکه خیلی سریع است و دیگر اینکه همگرایی درجه دوم برای مقادیر اولیه نزدیک ریشه است بطوریکه با کمترین تکرار بهترین جواب حاصل می‌شود [۲۰].

با استفاده از معادلات (۲) و (۴) تمام چهار پارامتر مورد نیاز این مدل با آسانی استخراج می‌شوند که عبارتند از:  $I_0, I_{pv}, R_p, R_s$  که از پارامترها، تنها  $R_p$  و  $R_s$  نیاز به تعیین از طریق روش تکرار دارند.  $I_0$  و  $I_{pv}$  بصورت تحلیلی بدست می‌آیند. متغیر  $\rho$  می‌تواند هر عددی بزرگتر از ۲٫۲ انتخاب شود. با این ساده سازی ها، به نحو شایسته ای سرعت محاسبات بهتر شده است.

در [۱۷] یک معادله ریاضی جدید برای هر دو جریان اشباع، بدست آمده است که از رابطه ی (۴) بدست می‌آیند:

$$I_{o1} = I_{o2} = I_0 = \frac{(I_{pv-STC} + K_i \Delta T)}{e^{\left[ \frac{(V_{oc-STC} + K_v \Delta T)}{(\alpha_1 + \alpha_2) / \rho} \right] V_T} - 1} \quad (۴)$$

تساوی باعث ساده شدن محاسبات می‌شود، از طرف دیگر با توجه به اینکه جواب بصورت تحلیلی بدست می‌آید دیگر نیاز به روش‌های تکرار برای حل معادله نمی‌باشد. بر طبق تئوری انتشار شاکلی<sup>۱</sup> ضریب انتشار جریان ( $\alpha_1$ ) باید یک باشد [۲۰]. اما مقدار ( $\alpha_2$ ) متغیر است. بر طبق تحقیقات گسترده انجام شده، این نتیجه حاصل شده است که اگر  $\alpha_2 \geq 1.2$  باشد، بهترین تطابق بین مدل پیشنهادی و منحنی عملی ( $I-V$ ) حاصل می‌شود. از آنجایی که  $\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\rho} = 1$  و ( $\alpha_1 = 1$ ) و ( $\alpha_2 \geq 1.2$ ) بنابراین مقدار متغیر ( $\rho$ ) بدین صورت محاسبه می‌شود:  $\rho \geq 2.2$  با این حساب، هرگونه ابهام در انتخاب مقادیر ( $\alpha_1$ ) و ( $\alpha_2$ ) برطرف می‌شود. معادله (۱) را می‌توان بر حسب ( $\rho$ ) بصورت زیر ساده کرد:

$$I = I_{pv} - I_0 \left[ e^{\left( \frac{V+IR_s}{V_T} \right)} + e^{\left( \frac{V+IR_s}{(\rho-1)V_T} \right)} - 2 \right] - \left( \frac{V+IR_s}{R_p} \right) \quad (۵)$$

۳-۲-۳- تعیین مقادیر  $R_p$  و  $R_s$ 

اگر معادله (۵) را برای بدست آوردن  $R_p$ ، در نقطه ( $M_{pp}$ ) (نقطه توان ماکزیمم) را مرتب و بازنویسی کنیم:

$$R_p = \frac{V_{mp} + I_{mp} R_s}{\left\{ I_{pv} - I_0 \left[ e^{\left( \frac{V+IR_s}{V_T} \right)} + e^{\left( \frac{V_{mp} + I_{mp} R_s}{(\rho-1)V_T} \right)} - 2 \right] - \frac{P_{max,E}}{V_{mp}} \right\}} \quad (۶)$$

همانطور که مشاهده می‌شود معادله (۶) یک معادله جبری می‌باشد. برای هر مقدار مشخصی از  $R_s$ ، مقدار  $R_p$  به سادگی قابل حصول است. با توجه به ضریب‌های این عبارت جبری، یک روش تکرار خطی و ساده را می‌توان اتخاذ کرد. دو پارامتر باقی مانده از معادله (۵) یعنی  $R_s$  و  $R_p$  از طریق روش تطبیقی بدست می‌آیند [۱۷]. اگرچه این روش، در مدل تک دیودی استفاده شده است، ولی قابل استفاده برای مدل دو دیودی نمی‌باشد. ایده این روش این

1-Shockleys diffusion Theory

ماژول را تحت تاثیر قرار خواهد داد به گونه ای که بادهای با سرعت متفاوت در تابش های مختلف جهت مقایسه و بررسی این موضوع نشان داده شده و نمودار آنها ترسیم شده است.

جدول (۲): پارامترهای محاسبه شده ماژول PV

پارامترها	ماژول های PV مورد مطالعه	
	BP solar MSX-60	Kyocera KG200GT
$I_{sc}(A)$	۳,۷۹۱۵۶۰	۸,۱۸۳۹۵۳
$V_{oc}(V)$	۲۱,۰۰۰۰۰	۳۲,۸۰۰۰۰
$I_{mp}(A)$	۳,۵۰۰۰۰	۷,۵۸۱۱۸۶
$V_{mp}(V)$	۱۷,۱۰۰۰۰	۲۶,۴۰۰۰۰
$I_{01}=I_{02} (A)$	$۴,۷۰۳۹۸۰ \times 10^{-10}$	$۴,۲۱۸ \times 10^{-10}$
$I_{pv}(A)$	۳,۸۰۰۰۰	۸,۲۰۰۰۰
$R_p$	۱۶۴,۵۸۵۸۲۸	۱۶۹,۴۳۰۶۸۱
$R_s$	۰,۳۴۰۰۰۰	۰,۳۲۰۰۰۰

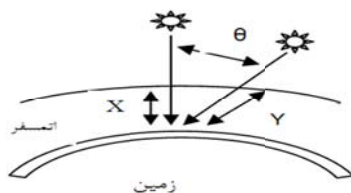
#### ۵-۱- بررسی میزان تابش و آلودگی بر عملکرد

##### سلول PV

شاخص AM بیان کننده سهم اتمسفری است که نور باید قبل از رسیدن به سطح زمین از آن عبور نماید. این شاخص بر اساس نسبت فاصله خورشید از سطح زمین به فاصله عمودی آن تعریف می شود.

$$AM = \frac{Y}{X} = \frac{1}{\cos \theta} \quad (۸)$$

با افزایش ضریب شدت تابش رسیده به سطح سلول خورشیدی کاهش خواهد یافت که این عامل متاثر از عوامل و



شکل (۲): موقعیت خورشید و پارامترهای موثر در محاسبه AM

#### ۴- استخراج پارامترهای مورد نیاز مدل‌های

##### مورد مطالعه جهت انجام شبیه سازی

پارامترهای ارائه شده توسط کارخانه سازنده برای دو مدل سلول PV در جدول (۱) داده شده است. در مرحله اول شبیه سازی پارامترهای مورد نیاز جهت مدل استخراج می شوند. در جدول (۲)، پارامترهای مورد نیاز برای مدل دو دیودی پیشنهادی نشان داده شده اند. این پارامترها در شرایط تست استاندارد و توسط نرم افزار MATLAB محاسبه شده اند که جهت مدل سازی و کاربرد در شبیه سازی مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

#### ۵- تشریح روند شبیه سازی

پارامترهای محیطی از جمله تابش خورشید، گرد و غبار، دمای

جدول (۱): پارامترهای ارائه شده توسط کارخانه سازنده

پارامترها	ماژول های PV مورد مطالعه	
	BP solar MSX-60	Kyocera KG200GT
$I_{sc}(A)$	۳,۸	۸,۲
$V_{oc}(V)$	۲۱,۱	۳۲,۹
$I_{mp}(A)$	۳,۵	۷,۶۱
$V_{mp}(V)$	۱۷,۱	۲۶,۳
$K_V (mV/^\circ C)$	-۸۰	-۱۲۳
$K_I (mA/^\circ C)$	۳,۲	۳,۱۸
$N_s$	۳۶	۵۴

ماژول و باد به نحو موثری عملکرد سلول را تحت تاثیر قرار می دهند. به گونه ای که همانطور که نشان داده شد جریان تولید شده توسط سلول PV متناسب با تابش خورشید می باشد. که این عملکرد به ازای سطح تابش های مختلف نشان داده شده است. میزان این تابش در اثر نشستن گرد و غبار بر روی سطح شیشه ای این سلول ها به نحو موثری باعث کاهش عملکرد آنها خواهد شد. جریان اشباع معکوس نیز به عنوان تابعی از دما توسط رابطه (۶) نشان داده است. که در مجموع باعث کاهش راندمان این ماژول ها خواهد شد. سرعت باد نیز بطور مشابه عملکرد

## بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

برای

محیط های آلوده :

$$G = 1.1 \times G_0 \times 0.56^{(AM^{0.715})} \quad (10)$$

و برای محیط های پاک:

$$G = 1.1 \times G_0 \times 0.76^{(AM^{0.618})} \quad (11)$$

قابل حصول است.

### ۵-۲- بررسی اثر باد

یک رابطه تجربی که دمای کاری ماژول (T) را به عنوان تابعی از دمای نامی (T<sub>STC</sub>) تابش خورشید (G) و سرعت باد بیان می کند در رابطه (۱۲) بیان شده است:

$$\frac{T_{STC} - T}{G} = 0.0712(W_p)^2 - 2.411(W_p) + 32.96 \quad (12)$$

که این رابطه برای سرعت باد های  $W_p \leq 18 \text{ m/s}$  دارای اعتبار است. لذا شبیه سازی سلول PV با در نظر گیری پارامترهای محیطی بسیار لازم و ضروری می باشد [۱۸].

### ۵-۳- بررسی اثر دما

همانطور که در روند مدل سازی نشان داده شد دما به نحو موثری، جریان حاصل از نو و جریان اشباع معکوس را متاثر می کند.

### ۶- شبیه سازی

در این قسمت شبیه سازی در مورد دو ماژول PV، (KG200GT) و (MSX-60) انجام شده است. و برای شرایط محیطی مختلف نتایج نشان داده شده است.

### ۶-۱- بررسی شبیه سازی تابش های متفاوت و

#### اثر گرد و غبار

در این بخش میزان تابش بر اساس فرمول (۹) و فرمول های (۱۰) و (۱۱) بدست آمده اند و در جدول (۴) نشان داده شده اند. این میزان تابش به مدل دو دیودی اعمال و تغییرات جریان و ولتاژ خروجی جهت مدل (KG200GT) در شکل (۳) و توان و ولتاژ خروجی جهت مدل (MSX-60) در شکل (۴) با استفاده از نرم

متغیرهای پیچیده جوی است که بصورت ساده و خطی نمی باشند. برای مثال، تقریباً تمام تابش های پر انرژی (بین AM<sub>0</sub> و AM<sub>1</sub>) در بالای اتمسفر حذف می شوند (از طریق انعکاس) در حالی که میزان تابش در AM<sub>2</sub> به میزان دو برابر کمتر از تابش در AM<sub>1</sub> نیست. علاوه بر این عوامل تضعیف کننده دیگری نیز موجب اثر کاهشی بیشتر عوامل جوی می شوند که از آن جمله می توان به بخار آب، گرد و غبار، دود و مه فتوشیمیایی و تاثیر وارون گری دما اشاره کرد. و بسته به میزان آلودگی این کاهش تا ۷۰ درصد نیز قابل حصول است. یک مدل تقریبی که شدت تابش را بر حسب (AM) بیان می کند در رابطه (۹) آورده شده است [۲۲].

$$G = 1.1 \times G_0 \times 0.7^{(AM^{0.678})} \quad (9)$$

که در این رابطه  $G_0 = 1.353 \text{ kW/m}^2$  شدت تابش خارجی خورشید در سطح اتمسفر است و ضریب ۱٫۱ ناشی از این فرض است که جز منتشر شده ۱۰ درصد جز تابش مستقیم است [۲۳]. این فرمول براساس تغییر پذیری میزان آلودگی به راحتی در یک محدوده و با متوسط گیری در AM های مختلف میزان متوسط آلودگی را حساب کرده است. که در جدول (۳) آورده شده است.

جدول (۳): تغییرات میزان تابش به ازای AM های مختلف

در شرایط مختلف [۲۲]

$\theta(^{\circ})$	AM	$G(\frac{W}{m^2})$	$G(\frac{W}{m^2})$
		براساس محدوده ای از آلودگی	فرمول ۱۲
	0	1367	1353
0	1	840 -1130=990±15%	1040
23	1.09	800 -1110=960±16%	1020
30	1.15	780 -1100=940±17%	1010
45	1.41	710 -1060=880±20%	950
48.2	1.5	680 -1050=870±21%	930
60	2	560 -970=770±17%	840
70	2.9	430 -880=650±34%	710
75	3.8	330 -800=560±41%	620
80	5.6	200 -660=430±53%	470
85	10	85 -480=280±70%	270
90	36		20

با استفاده از تخمین حداقل مربعات مناسب از معادله (۹) و با استفاده از درون یابی از داده ای حاصله از جو معادلات

## بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول(۵): حالت های بررسی شده تابش و سرعت باد های مختلف

میزان تابش	G	۱۰۰۰	۸۰۰	۶۰۰
سرعت باد	$W_v$	۱۸	۱۸	۱۸
		۱۳	۱۳	۱۳
		۱۰	۱۰	۱۰

## ۷- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

سیستم قدرت فتوولتائیک به عنوان یکی از مهمترین منابع انرژی تجدیدپذیر می باشد. مدل سازی و شبیه سازی سلول خورشیدی قبل از نصب به جهت هزینه بسیار زیاد آن امری ضروری می باشد. با توجه به اینکه اطلاعات کافی در کاتالوگ سلول خورشیدی همیشه در دسترس نیست، با انتخاب یک مدل مناسب همراه با مدل محاسباتی در خور می توان به یک سیستم شبیه ساز کامل خورشیدی دست یافت. (مدل دو دیودی که دقت بالاتری نسبت به تک دیودی دارد). از آنجا که صحت و درستی و دقت مدل دو دیودی در کارهای قبلی انجام شده است 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 می باشد زیرا بازده عملکرد سلول خورشیدی را تحت تاثیر قرار می دهند. در این مطالعه، همانطور که در بخش اثر آلودگی ها مشخص شد میزان آلودگی به نحو موثری بازده و میزان انرژی استحصالی از سلول خورشیدی را کاهش می دهد. همچنین افزایش دما نیز باعث کاهش توان استحصالی از سلول خورشیدی می شود. اما در بررسی اثر باد مشخص شد که عامل باد به میزان کمی بازده سلول خورشیدی را متاثر خواهد کرد ولی باید در نظر داشت این اثر در ابعاد بزرگ که سلول ها بصورت آرایه مورد استفاده قرار می گیرند می تواند با توجه به بازده پایین این سلول ها تاثیر گذار باشد. با توجه به اینکه یکی از مشکلات اصلی سلول خورشیدی این است که بر طبق نیاز تولید نمی کند و هزینه اولیه بالایی دارد، برای رفع این مشکل می توان آن را با نیروگاه های فسیلی حرارتی یا با ذخیره کننده های انرژی ترکیب کرد. لذا جهت ادامه کار می توان از این مدل در ترکیب با سایر منابع انرژی استفاده کرد.

افزار MATLAB/SIMULINK ترسیم شده اند. همانطور که در شکل ها قابل مشاهده است با افزایش شاخص AM کاهش سطح تابش و در نتیجه کاهش سطح جریان اتصال کوتاه و توان خروجی از مدل را داریم.

جدول(۴): میزان تابش در شرایط مختلف جوی

به ازای مقادیر مختلف AM

متوسط آلودگی	فرمول ۱۴	فرمول ۱۳	فرمول ۱۲	AM	ردیف
۱۴۸۸	۱۴۸۸	۱۴۸۸	۱۴۸۸	۰	۱
۹۸۲	۱۱۳۱	۸۳۳	۱۰۴۱	۱	۲
۹۶۰	۱۱۱۴	۸۰۵	۱۰۲۰	۱,۰۹	۳
۹۴۵	۱۱۰۳	۷۸۷	۱۰۰۵	۱,۱۵	۴
۸۸۸	۱۰۶۰	۷۱۶	۹۴۸	۱,۴۱	۵
۸۷۰	۱۰۴۶	۶۹۴	۹۳۰	۱,۵	۶

که این اثر کاهشی با وجود آلودگی محیطی بیشتر شده و منجر به کاهش بیشتر در سطح جریان اتصال کوتاه و توان خروجی از مدل شده است.

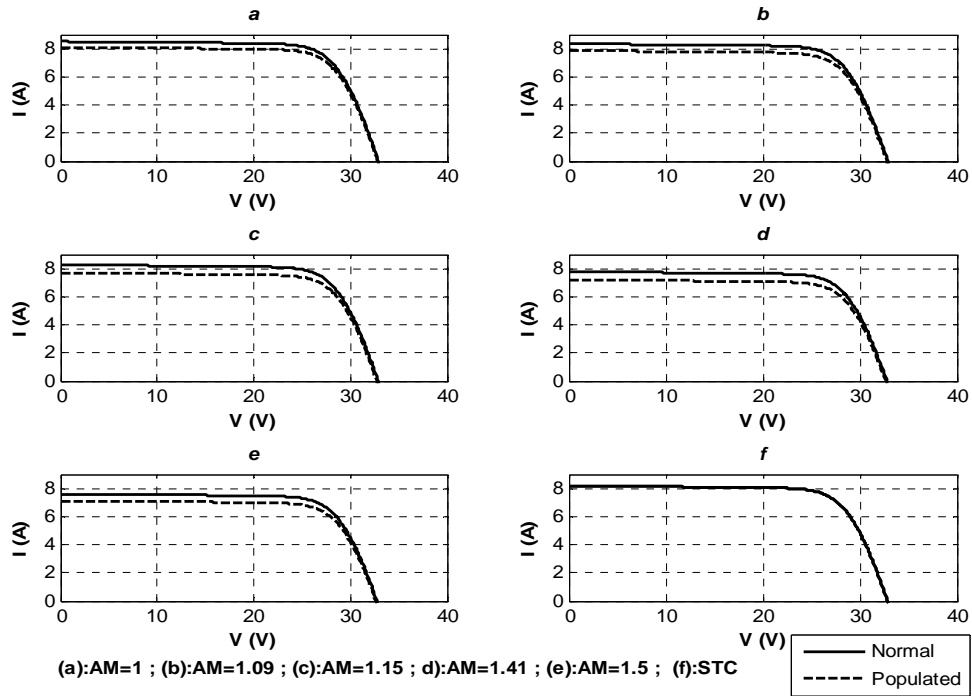
## ۶-۲- شبیه سازی اثر دما

در این قسمت اثر میزان تغییر دما بر عملکرد دو مدل بررسی خواهد شد. نتایج این شبیه سازی در شکل (۵) آورده شده اند. همانطور که مشاهده می شود با تغییر دما ولتاژ مدار باز کاهش یافته و جریان اتصال کوتاه به مقدار کمی افزایش می یابد و در مجموع توان نیز کاهش پیدا کرده است.

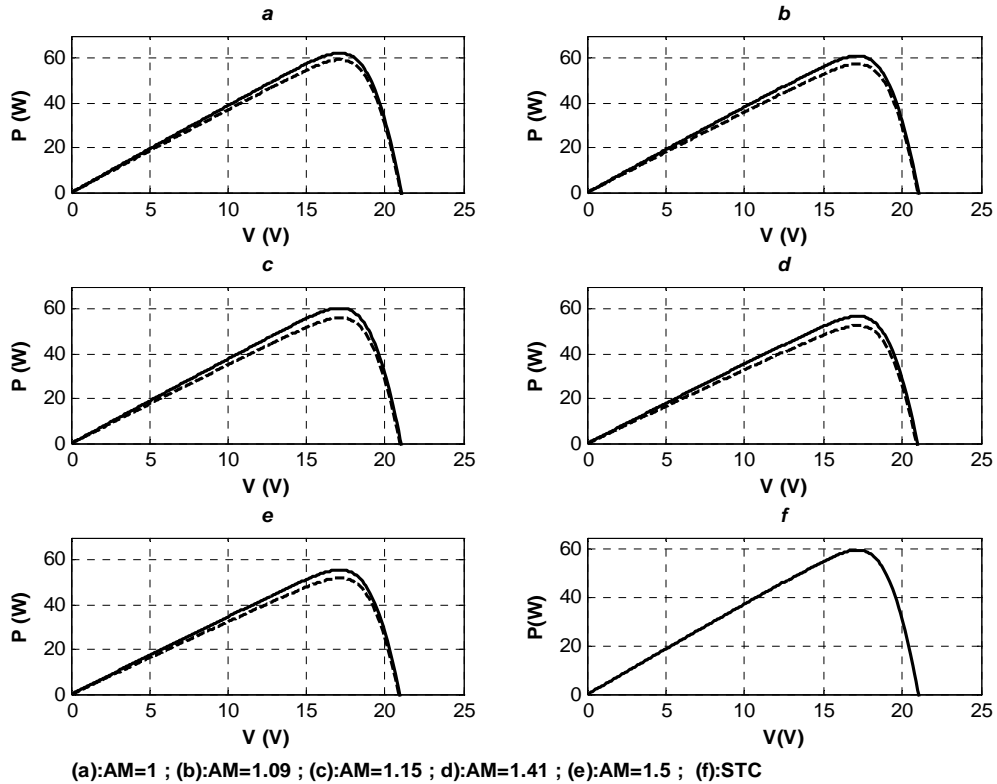
## ۶-۳- شبیه سازی اثر باد

در این قسمت، تابش های مختلف را در سرعت های متفاوت به مدل اعمال و اثر این عامل را به عنوان یکی از پارامترهای محیطی موثر، مورد بررسی قرار داده و نتایج در شکل های (۶) و (۷) آورده شده اند. همانطور که مشاهده می شود تغییرات سرعت باد اثر بسیار کمی در عملکرد دو مدل استفاده شده در این مقاله داشته است. ولی باید در نظر داشت این اثر در ابعاد بزرگ که سلول ها بصورت آرایه مورد استفاده قرار می گیرند می تواند با توجه به بازده پایین این سلول ها تاثیر گذار باشد.

بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق



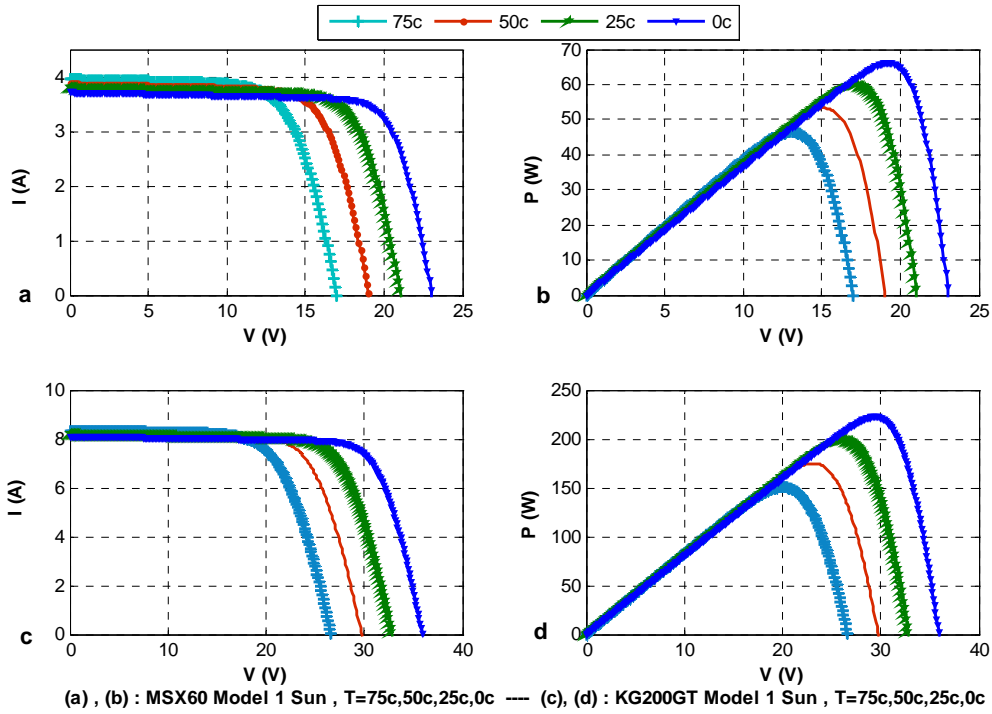
شکل(۳): تغییرات میزان جریان خروجی مدل (Kyocera KG200GT) در شرایط تغییرات AM و آلودگی های مختلف



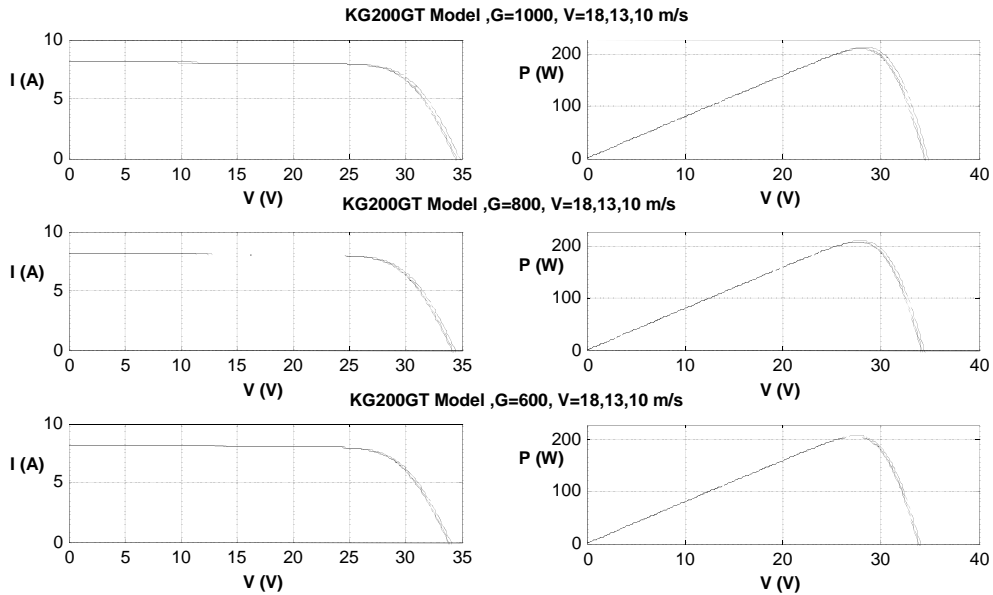
شکل(۴): تغییرات میزان توان خروجی مدل (BP solar MSX-60) در شرایط تغییرات AM و آلودگی های مختلف



بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

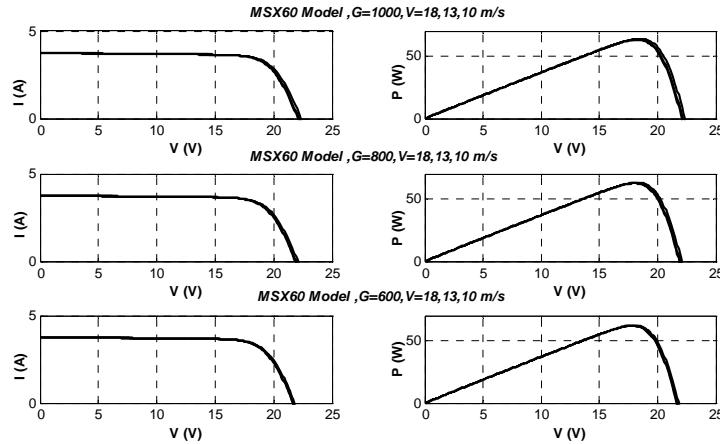


شکل (۵): تغییرات میزان توان خروجی و جریان مدل (BP solar MSX-60) و (Kyocera KG200GT) در دماهای مختلف



شکل (۶): تغییرات میزان توان خروجی و جریان مدل (Kyocera KG200GT) در بادهای با سرعت مختلف

بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل (V): تغییرات میزان توان خروجی و جریان مدل (BP solar MSX-60) در بادهای با سرعت مختلف

[12].S. Liu, R.A. Dougal, Dynamic multiphysics model for solar array, IEEE Trans. Energy Convers. 17 (2) (2002) 285–294

[13].S. Yadir, M. Benhmida, M. Sidki, E. Assaid, M. Khaidar, New method for extracting the model physical parameters of solar cell using explicit analytic solutions of current–voltage equation, in: Proc. Int. Conf. Microelectronics (ICM), 2009, pp. 390–393

[14].S. Aazou, E.M. Assaid, Modeling real photovoltaic solar cell using Maple, in: Proc. Int. Conf. Microelectronics (ICM), 2009, pp. 394–397.

[15].M.G. Villalva, J.R. Gazoli, E.R. Filho, Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays, IEEE Trans. Power Electron. 24 (5) (2009) 1198–1208.

[16].C. Sah, R.N. Noyce, W. Shockley, Carrier generation and recombination in p-n junctions and p-n junction characteristics, Proc. IRE 45 (9) (1957) 1228–1243.

[17].Ishaque, K., Salam, Z., et al., 2011a. Simple, fast and accurate two-diode model for photovoltaic modules. Solar Energy Materials and Solar Cells 95 (2), 586–594

[18].Nand Kisho et al, Modeling of PV Module with Consideration of Environmental Factors, 2010 IEEE Conf, PES.

[19].Atiqah Hamizah et al. Modeling and Simulation of Photovoltaic (PV) Array and Maximum Power Point Tracker (MPPT) for Grid-Connected PV System June 2011, Melaka, Malaysia-978-1-4577

[20].Quaschnig, V., Hanitsch, R., 1996. Numerical simulation of current–voltage characteristics of photovoltaic systems with shaded solar cells.Solar Energy 56 (6), 513–520.

[21].R.Chenni,M.Makhlouf,T.Kerbache,A.Bouزيد,A detailed modeling method for photovoltaic cells,Energy32(2007)1724–1730.

[22].www.wikipedia.com

[23].Solar Power Labs, Arizona State University

مراجع

[1]. M.C. Glass, Improved solar array power point model with SPICE realization, in: Proc. 31st Intersoc. Energy Convers. Eng. Conf. (IECEC), vol. 1, 1996, pp.286-291

[2].Y.T. Tan, D.S. Kirschen, N. Jenkins, A model of PV generation suitable for stability analysis, IEEE Trans. Energy Convers. 19 (4) (2004) 748–755

[3].A. Kajihara, A.T. Harakawa, Model of photovoltaic cell circuits under partial shading, in: Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol. (ICIT), 2005, pp. 866–870

[4].N.D. Benavides, P.L. Chapman, Modeling the effect of voltage ripple on the power output of photovoltaic modules, IEEE Trans. Ind. Electron. 55 (7).(2008).2638-2643.

[5].W. Xiao, W.G. Dunford, A. Capel, A novel modeling method for photovoltaic cells, in: Proc. IEEE 35th Annu. Power Electron. Spec. Conf. (PESC), vol. 3. (2004, pp. 1950–1956.)

[6].G. Walker, Evaluating MPPT converter topologies using a matlab PV model, J. Elect. Electron. Eng., Aust. 21 (1) (2001) 45–55

[7].F. González-Longatt, Model of Photovoltaic Module in MatlabTM, II CIBELEC, 2005

[8].N. Celik, N. Acikgoz, Modelling and experimental verification of the operating current of mono-crystalline photovoltaic modules using four- and fiveparameter models, Appl. Energy 84 (1) (2007) 1–15.

[9].Y.C. Kuo, T.-J. Liang, J.-F. Chen, Novel maximum-power-point tracking controller for photovoltaic energy conversion system, IEEE Trans. Ind. Electron.48(3) (2001).594-601.

[10]. Y. Yusof, S.H. Sayuti, M. Abdul Latif, M.Z.C. Wanik, Modeling and simulation of maximum power point tracker for photovoltaic system, in: Proc. Nat. Power Energy Conf. (PEC), 2004, pp. 88–93.

[11].C. Carrero, J. Amador, S. Arnaltes, A single procedure for helping PV designers to select silicon PV module and evaluate the loss resistances, Renew Energy 32 (15) (2007) 2579–2589