

## مدل سازی و تجزیه و تحلیل اثر سایه جزئی بر عملکرد آرایه های خورشیدی

سعید زمانی<sup>1</sup> و علیرضا صالحی<sup>2</sup>

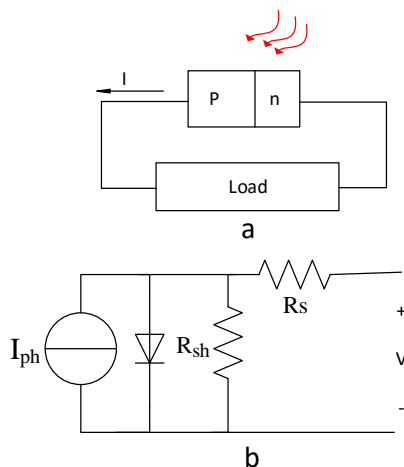
<sup>1</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ، zamani\_saeed22@yahoo.com ،  
<sup>2</sup> استاد، دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ، salehi@kntu.ac.ir

چکیده - در این مقاله، ابتدا یک سلول خورشیدی در محیط سیمولینک برنامه متلب مدل سازی شده و از کنار هم قرار دادن 36 سلول به صورت سری و موازی، ماژول خورشیدی و با اتصال 6 ماژول خورشیدی به یکدیگر، یک آرایه خورشیدی طراحی شده است. مدل ارائه شده بر اساس روابط ریاضی حاکم بر مدار معادل سلول خورشیدی بوده که رفتار سلول را تحت شرایط فیزیکی و محیطی متفاوت پیش بینی می کند. در ادامه پس از انجام مدل سازی به تحلیل پارامترهای موثر بر عملکرد ماژول فتوولتائیک تحت سایه جزئی پرداخته شده است. با توجه به نتایج حاصل از شبیه سازی، کاهش توان مشاهده شده در اثر سایه جزئی برای آرایه دارای ساختار سری کمتر از 30 درصد و برای آرایه با ساختار موازی در حدود 2 درصد است. بنابراین آرایه فتوولتائیک با ساختار موازی در سایه وضعیت به مراتب بهتری از خود نشان می دهد.

کلید واژه- آرایه خورشیدی، مدل سازی، سایه جزئی، پیکربندی سری و موازی

باشند، احتمال دارد بخشی از سلول ها به دلایل مختلف از جمله: افتادن سایه درخت، آشیانه سازی پرندگان یا وجود ساختمان های بلند در همسایگی آن تحت سایه واقع شوند [2].

هرچند ممکن است تعداد اندکی از سلول ها، تحت سایه جریان کمتری تولید کنند، اما این سلول ها باید به اندازه سلول های کاملاً روشن حامل جریان باشند. همچنین در شرایط بحرانی ممکن است سلول های تحت سایه در بایاس معکوس قرار گرفته و مصرف کننده توان باشند که در این حالت احتمال ایجاد نقاط داغ و آسیب دیدن سلول بسیار زیاد است [3].



شکل (1): a- پیوند p-n تحت تابش نور، b- مدار معادل یک سلول خورشیدی

در این مقاله ابتدا به مدل سازی سلول، ماژول و آرایه خورشیدی پرداخته شده و در ادامه ضمن تحلیل پارامترهای موثر بر عملکرد ماژول های فتوولتائیک تحت سایه جزئی، اثر سایه بر

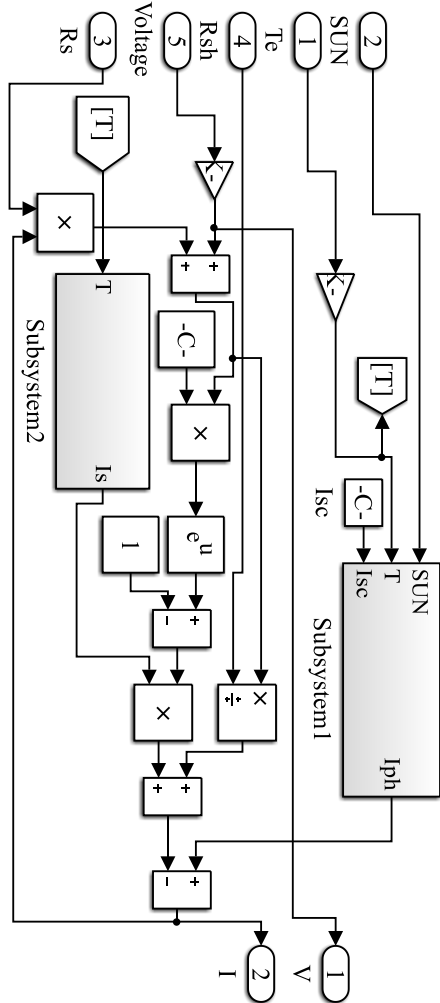
### 1- مقدمه

به دلیل وضعیت بحرانی سوخت های فسیلی مانند نفت و گاز، استفاده از منابع انرژی نو به طور پیوسته رو به افزایش است. بنابراین منابع انرژی تجدیدپذیر اهمیت ویژه ای در تامین کل انرژی مصرفی جهان یافته اند، به طوری که تقاضا برای انرژی خورشیدی بین 20٪ تا 40٪ نسبت به بیست سال گذشته افزایش یافته است [1]. بازار سلول های فتوولتائیک در تمام جهان به گونه ای گسترش یافته است که امروزه چیزی فراتر از 4800GW از انرژی مصرفی مورد نیاز از این طریق تامین می شود.

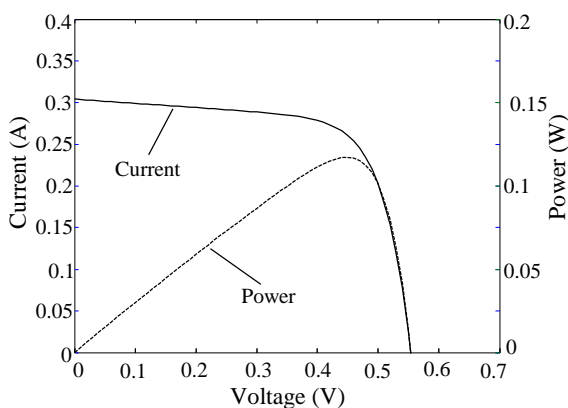
عملکرد سلول فتوولتائیک بر اساس یک پیوند p-n، در شکل (1-a) مشاهده می شود. هنگامی که نور خورشید بر روی سلول می تابد، فوتون های با انرژی کافی به وسیله نیمه هادی جذب شده و زوج های الکترون - حفره تولید می شوند. سپس الکترون های تولید شده توسط تابش در ناحیه p به سمت لایه n و حفره های تولید شده در ناحیه n به سمت لایه p حرکت کرده و در نهایت توسط اتصالات بیرونی جمع آوری شده و جریان را ایجاد خواهند کرد.

به منظور تامین توان مورد نیاز، ماژول ها و آرایه های خورشیدی طراحی شده و با آرایش متفاوت در سیستم های خورشیدی به کار گرفته می شوند. نکته مهم در طراحی و پیاده سازی این صفحات، مطابقت پارامترهای خروجی سلول ها و قرار گرفتن تمامی آنها در شرایط محیطی یکسان است. به این صورت که اگر صفحات خورشیدی در سطح وسیعی پیاده سازی شده

مطابق شکل (2) پیاده سازی و شبیه سازی شده است. نتایج حاصل از شبیه سازی در شکل (3) نمایش داده شده است.



شکل(2): مدل پیاده سازی شده سلول خورشیدی در محیط سیمولینک متلب



شکل(3): منحنی I-V و P-V سلول متناظر با مدل شکل(2)

## 2-2- مدل مازول فتوولتائیک

یک مازول فتوولتائیک از اتصال دهها سلول خورشیدی به صورت سری و موازی تشکیل می‌شود. مازول طراحی شده در این

عملکرد آرایه طراحی شده با پیکربندی سری و موازی مورد بررسی قرار گرفته است.

## 2- مدل سازی

### 1-2- مدل سلول خورشیدی

مدار معادل یک سلول خورشیدی در شکل (1- b) نمایش داده شده است. این مدار شامل یک منبع جریان، یک دیود، یک مقاومت سری و یک مقاومت موازی می‌باشد [4]. رابطه جریان - ولتاژ مدار معادل شکل (1- b)، از معادله (1) قابل محاسبه است [5 و 6].

$$I = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{q(V+R_s I)}{NKT}} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (1)$$

که در آن  $I_{ph}$  جریان فوتونی،  $I_0$  جریان اشباع معکوس،  $q$  بار الکترون،  $R_s$  مقاومت سری،  $N$  ضریب ایده آلی،  $K$  ثابت بولتزمن،  $T$  دمای پیوند و  $R_{sh}$  مقاومت موازی است. به منظور شبیه سازی سلول خورشیدی مورد نظر، ابتدا با استفاده از مقادیر بهینه ارائه شده در جدول (1)، بازه تغییرات پارامترهای سلول خورشیدی مونوکریستال سیلیکونی مشخص شده و شبیه سازی انجام گرفته است. مقادیر استخراج شده مربوط به سلول خورشیدی سیلیکونی با قطر 57mm ساخت RTC France است.

جدول(1): مقادیر بهینه پارامترهای سلول خورشیدی مونوکریستال سیلیکونی انتخاب شده برای شبیه سازی [7-10].

پارامترها	[7]	[8]	[9]	[10]
$I_{sc}$ (A)	0.7608	----	0.76	0.7604
$V_{oc}$ (V)	0.5828	----	0.57	0.5737
$I_{ph}$ (A)	0.7608	0.7609	0.77	0.7611
$I_0$ ( $\mu$ A)	0.3223	0.4039	0.20	0.2422
$N$	1.484	1.504	1.4	1.4561
$R_s$ ( $\Omega$ )	0.0364	0.0364	1.037	0.0373
$R_{sh}$ ( $\Omega$ )	53.8	49.5	32	42

بر اساس معادله (1)، مدل سلول خورشیدی به ازای مقادیر اولیه ارائه شده در جدول (1) در محیط سیمولینک برنامه متلب

فوتونی تولید شده توسط سلول‌های تحت سایه را  $FI_{ph}$  می‌گیریم که در آن  $F$  نسبت جریان فوتونی تولید شده توسط سلول‌های تحت سایه به جریان سلول‌های کاملاً روشن است.  $F = 0$  معادل تاریکی کامل و  $F = 1$  نشان دهنده روشنایی کامل است. با در نظر گرفتن آرایه با پیکربندی سری، هنگامی که سلولی در صفحه سری در سایه قرار می‌گیرد، جریان خروجی آن به صورت رابطه (2) خواهد بود.

$$I = I_{m1} = I_{m2} = FI_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{q(V_s + R_{ss}I_s)}{NKT}} - 1 \right) \quad (2)$$

که در آن  $V_s$  و  $I_s$  به ترتیب جریان و ولتاژ سلول تحت سایه،  $FI_{ph}$  جریان فوتونی سلول تحت سایه،  $I_0$  جریان اشباع معکوس،  $q$  بار الکترون،  $R_{shs}$  و  $R_{ss}$  به ترتیب مقاومت‌های سری و موازی سلول تحت سایه،  $N$  ضریب ایده آلی،  $K$  ثابت بولتزمن،  $T$  دمای پیوند است. همچنین جریان سلول‌های روشن با رابطه (3) بیان می‌شود.

$$I_i = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{q(V_i + R_{si}I_s)}{NKT}} - 1 \right) - \frac{V_i + R_{si}I_s}{R_{shi}} \quad (3)$$

که در آن  $V_i$  و  $I_i$  به ترتیب جریان و ولتاژ سلول کاملاً روشن،  $I_s$  جریان سلول تحت سایه،  $R_{shi}$  و  $R_{si}$  به ترتیب مقاومت‌های سری و موازی سلول کاملاً روشن است. با اتصال سلول‌های روشن و تحت سایه به یکدیگر، جریان کل برابر جریان سلول‌های تحت سایه خواهد شد. بنابراین جریان کل به صورت رابطه (4) بیان می‌شود.

$$I = I_{m1} = I_{m2} = FI_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{q(V_s + R_{ss}I_s)}{NKT}} - 1 \right) \quad (4)$$

که در آن  $I_{m1}$  و  $I_{m2}$  به ترتیب جریان ماژول‌های اول و دوم است. در صورتیکه  $F$  از یک به سمت صفر میل کند،  $e^{\frac{q(V_s + R_{ss}I_s)}{NKT}}$  به سمت صفر میل کرده و می‌توان معادله (4) را به صورت معادله (5) ساده کرد.

$$I = FI_{ph} + I_0 - \frac{V_s + R_{ss}I}{R_{shs}} \quad (5)$$

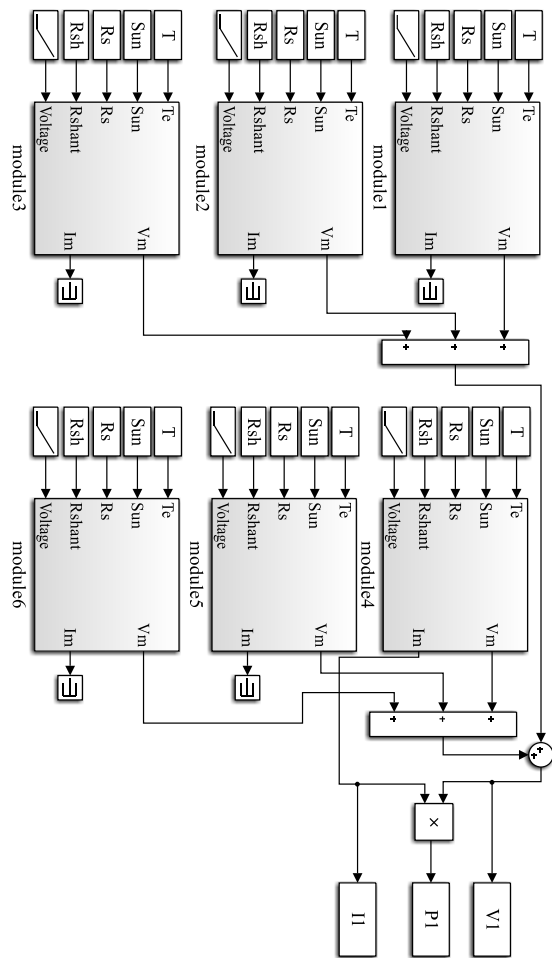
در این حالت ولتاژ سلول تحت سایه با رابطه (6) و اتلاف انرژی آن به صورت رابطه (7) محاسبه می‌شود.

$$V_s = (FI_{ph} - I)R_{shs} - IR_{ss} \quad (6)$$

مقاله شامل 36 سلول خورشیدی است که این سلول‌ها در سه گروه موازی که در هر گروه 12 سلول به صورت سری تعبیه شده است، قرار دارند.

### 3-2- مدل آرایه فتوولتائیک

یک آرایه فتوولتائیک از اتصال چند ماژول فتوولتائیک به وجود می‌آید که امکان دستیابی به توان بالاتر را برای مصرف کننده فراهم می‌سازد. آرایه طراحی شده در این مقاله شامل 6 ماژول خورشیدی است که به صورت سری با یکدیگر قرار گرفته‌اند. آرایه طراحی شده مطابق شکل (4) پیاده سازی شده است.

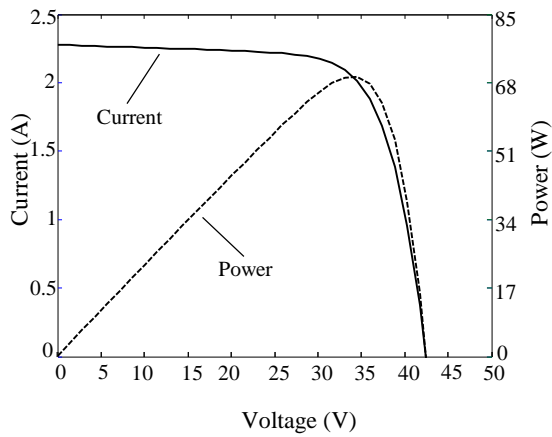


شکل (4): مدل پیاده سازی شده آرایه خورشیدی در محیط سیمولینک متلب

### 3- تحلیل پارامترهای موثر بر عملکرد ماژول‌های فتوولتائیک تحت سایه جزئی

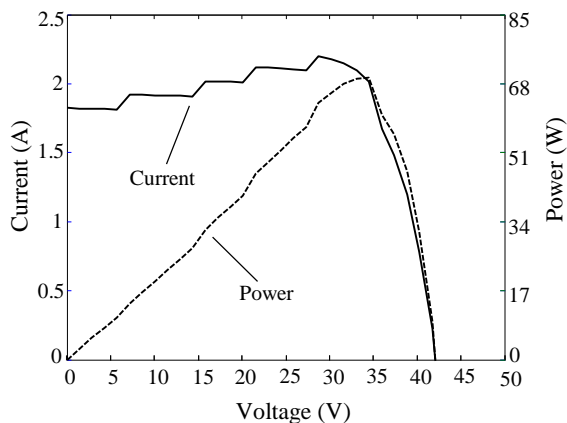
در این قسمت برای سادگی تحلیل، دو ماژول از آرایه طراحی شده در شکل (4) را در نظر گرفته و در دو پیکربندی سری و موازی، با فرض اینکه ماژول 1 در روشنایی کامل و ماژول 2 در معرض سایه قرار دارد به تحلیل شرایط موجود پرداخته شده است. جریان

نمودار شکل (5) نتایج حاصل از شبیه سازی به ازای تابش ثابت را نشان می دهد. در این شبیه سازی موقعیت خورشید ثابت و در حالت بیشینه تابش  $1000 \text{ W/m}^2$  در نظر گرفته شده است. همانطور که مشاهده می شود بیشینه جریان، ولتاژ و توان خروجی آرایه به ترتیب برابر  $2.3 \text{ A}$ ،  $42.5 \text{ V}$  و  $70 \text{ W}$  است.



شکل (5): منحنی I-V و P-V آرایه خورشیدی با پیکربندی سری به ازای تابش ثابت  $1000 \text{ W/m}^2$ .

نمودار شکل (6) نتایج حاصل از شبیه سازی به ازای تغییر تابش با زمان را نشان می دهد. در این شبیه سازی موقعیت صفحات خورشیدی ثابت و خورشید متحرک فرض شده است. با حرکت خورشید در بازه زمانی مشخص، تابش از مقدار  $800 \text{ W/m}^2$  تا  $1000 \text{ W/m}^2$  افزایش یافته، سپس تا مقدار  $700 \text{ W/m}^2$  با کاهش همراه است. بر اساس شکل (6)، بیشینه توان خروجی با افزایش تابش افزایش یافته است. افزایش توان ناشی از افزایش تابش به دلیل افزایش نرخ تولید حاملها در اثر جذب فوتونهای بیشتر به وسیله نیمه هادی است که منجر به افزایش جریان اتصال کوتاه سلول می شود.



شکل (6): منحنی I-V و P-V آرایه خورشیدی با پیکربندی سری به ازای تابش متغیر با زمان.

نتایج حاصل از شبیه سازی آرایه فتوولتائیک که یکی از 36

$$P_{DS} = I \times V_s = I [(F I_{ph} - I) R_{shs} - I R_{ss}] \quad (7)$$

ولتاژ خروجی ماژول برابر مجموع ولتاژ سلولها و جریان آن برابر  $I$  خواهد بود. بنابراین ولتاژ خروجی کل به صورت رابطه (8) بیان می شود.

$$V = V_{m1} + V_{m2} = V_{m1} + (V_i + V_s) = V_{m1} + \left[ \sum_{j=0}^a V_{ij} + \sum_{k=0}^b V_{sk} \right] \quad (8)$$

که در آن  $a$  تعداد سلولهای روشن،  $b$  تعداد سلولهای تحت سایه و  $a + b = 36$  است. در مورد ماژولهای موازی به طور مشابه داریم:

$$I = I_{m1} + I_{m2} = I_{m1} + \left[ F I_{ph} + I_0 - \frac{V_s + I_{m2} R_{ss}}{R_{shs}} \right] \quad (9)$$

با مرتب سازی رابطه (9)، ولتاژ سلول تحت سایه به صورت رابطه (10) بدست می آید.

$$V_s = (F I_{ph} - I_{m1} - I) R_{shs} - I_{m2} R_{ss} \quad (10)$$

با توجه به رابطه (10)، اتلاف انرژی در سلولهای تحت سایه به صورت رابطه (11) محاسبه می شود.

$$P_{DS} = I_{m2} \times V_s = I_{m2} [(F I_{ph} + I_{m1} - I) R_{shs} - I_{m2} R_{ss}] \quad (11)$$

همچنین ولتاژ خروجی کل به صورت رابطه (12) بیان می شود.

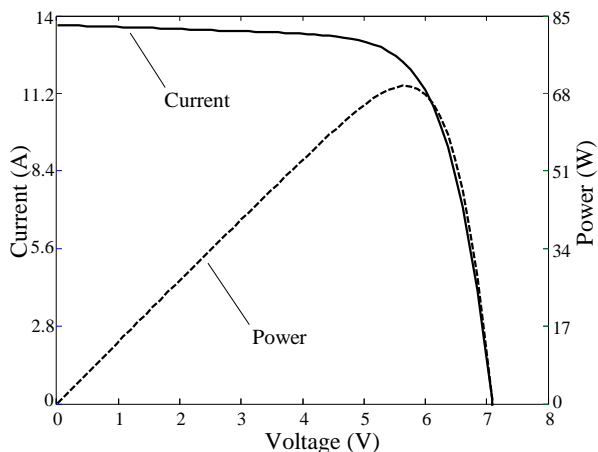
$$V = V_{m1} = V_{m2} = \left[ \sum_{j=0}^a V_{ij} + \sum_{k=0}^b V_{sk} \right] \quad (12)$$

که در آن  $a$  تعداد سلولهای روشن،  $b$  تعداد سلولهای تحت سایه و  $a + b = 36$  است. با توجه به نتایج حاصل از تحلیل انجام شده، طبق روابط (7) و (11) اتلاف انرژی به وسیله سلولهای تحت سایه در ساختارهای سری بیش از حالت موازی است.

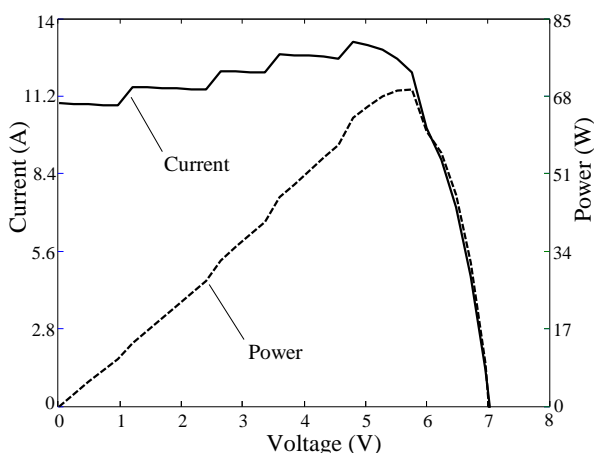
#### 4- اثر سایه جزئی بر عملکرد آرایه خورشیدی

##### 4-1- آرایه با پیکربندی سری

آرایه طراحی شده با پیکربندی سری شامل شش ماژول خورشیدی است که به صورت سری با یکدیگر قرار گرفته اند. هر کدام از ماژولها دارای 36 سلول است که در این طراحی برای بررسی اثر سایه جزئی بر عملکرد سلولها برای هر کدام ضریب موثر سایه به صورت  $F_x$  در نظر گرفته شده و  $x$  بین 1 تا 36 است. بنابراین با توجه به انعطاف پذیری طراحی انجام شده، امکان بررسی حالات مختلف سایه بر سلولها و اثر آن بر عملکرد ماژول و آرایه خورشیدی فراهم شده است.



شکل (۸): منحنی I-V و P-V آرایه خورشیدی با پیکربندی موازی به ازای تابش ثابت  $1000 \text{ W/m}^2$ .

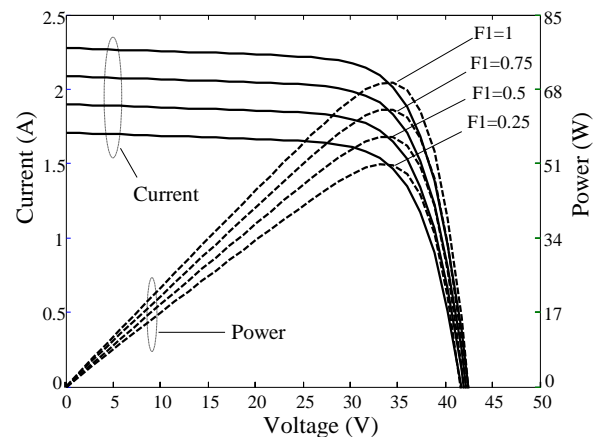


شکل (۹): منحنی I-V و P-V آرایه خورشیدی با پیکربندی موازی به ازای تابش متغیر با زمان.

نمودار شکل (۱۰) نتایج حاصل از شبیه سازی را برای آرایه خورشیدی به عنوان تابعی از نرخ سایه ( $F_x$ )، در حالی که یکی از سلول اولین ماژول آن در معرض سایه قرار گرفته است نشان می دهد. در این شبیه سازی میزان تابش ثابت و برابر با  $1000 \text{ W/m}^2$  و  $F_1$  از ۰.۲۵ تا ۱ متغیر است. براساس شکل (۱۰)، بیشینه توان خروجی برابر  $70 \text{ W}$  به ازای  $F_1 = 1$  و کمینه آن برابر  $68.6 \text{ W}$  در  $F_1 = 0.25$  بدست می آید. با توجه به مقادیر بدست آمده، میزان افت توان خروجی به ازای تغییر نرخ سایه از ۱ تا ۰.۲۵ برابر  $1.4 \text{ W}$  است که نشان دهنده ۲ درصد کاهش توان است.

از مقایسه افت توان در دو حالت سری و موازی می توان دریافت، اتلاف انرژی ایجاد شده در اثر عملکرد سلول های تحت سایه در پیکربندی سری بسیار بیشتر از حالت موازی است. بنابراین آرایه های خورشیدی با ساختار موازی در سایه وضعیت به مراتب بهتری دارند. مشکلی که اغلب در پیکربندی های موازی ایجاد می شود جریان بالای خروجی است که رفع آن نیازمند

سلول اولین ماژول آن در معرض سایه قرار گرفته است، با تغییر نرخ سایه ( $F_x$ ) در شکل (۷) ارائه شده است. در این شبیه سازی میزان تابش ثابت و برابر با  $1000 \text{ W/m}^2$  و  $F_1$  از ۰.۲۵ تا ۱ متغیر است. بر اساس شکل (۷)، بیشینه توان خروجی برابر  $70 \text{ W}$  به ازای  $F_1 = 1$  و کمینه آن برابر  $51 \text{ W}$  در  $F_1 = 0.25$  بدست می آید. با توجه به مقادیر بدست آمده، میزان افت توان خروجی به ازای تغییر نرخ سایه از ۱ تا ۰.۲۵ برابر  $19 \text{ W}$  است که نشان دهنده ۲۷ درصد کاهش توان است.



شکل (۷): منحنی I-V و P-V آرایه خورشیدی با پیکربندی سری به ازای تغییر نرخ سایه در تابش  $1000 \text{ W/m}^2$ .

#### ۲-۴- آرایه با پیکربندی موازی

آرایه طراحی شده با پیکربندی موازی شامل شش ماژول خورشیدی است که به صورت موازی با یکدیگر قرار گرفته اند. ماژول های موجود در این آرایه مشابه ماژول های استفاده شده در پیکربندی سری است. نمودار شکل های (۸) و (۹) به ترتیب نتایج حاصل از شبیه سازی به ازای تابش ثابت و تابش متغیر با زمان را نشان می دهد. شرایط شبیه سازی مشابه حالت سری است. همانطور که از شکل (۸) مشاهده می شود، بیشینه جریان، ولتاژ و توان خروجی آرایه به ترتیب برابر با  $13.7 \text{ A}$ ،  $7 \text{ V}$  و  $70 \text{ W}$  است. همچنین بر اساس شکل (۹)، بیشینه توان خروجی با افزایش تابش افزایش می یابد، با این تفاوت که نرخ افزایش توان در این حالت بسیار بیشتر از حالت سری است.

بدست آمده از شبیه سازی، آرایه‌های فتوولتائیک دارای ساختار موازی در سایه وضعیت به مراتب بهتری از خود نشان می‌دهند که این حالت با نتایج بدست آمده از تحلیل ریاضی ارائه شده در بخش 3 مطابقت دارد؛ بنابراین ساختار موازی بهترین روش اتصال در مقابل سایه جزئی است.

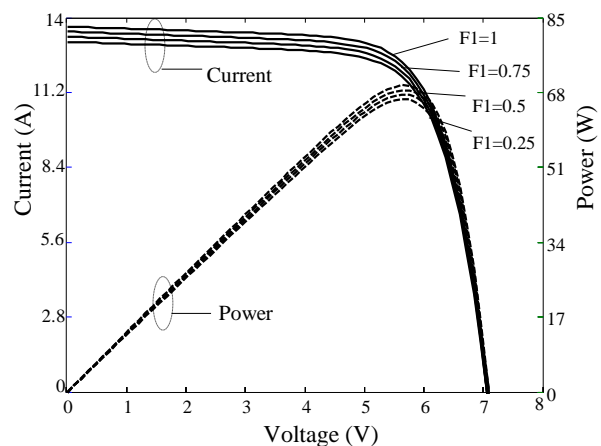
### سپاسگزاری

با سپاس فراوان از جناب آقای مهندس هادی شانه‌ای، که با راهنمایی‌های خود ما را در انجام این کار یاری نمودند.

### مراجع

- [1] J. Selvaraj and NA. Rahim, "Multilevel Inverter for Grid-Connected PV System Employing Digital PI Controller", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, No. 1, pp. 149-158, 2009.
- [2] H. Kawamura, k. Naka and et al, "Simulation of I-V characteristics of a PV module with shaded PV cells", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 75, No. 3, pp. 613-621, 2003.
- [3] DD. Nguyen and B. Lehman, "Modeling and simulation of solar PV arrays under changing illumination conditions", *Computers in Power Electronics, IEEE Workshops*, pp. 295-299, 2006.
- [4] HL. Tsai, CS. Tu and YJ. Su, "Development Of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK", *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, pp. 1-6, 2008.
- [5] S. Rustemli and F. Dincer, "Modeling of Photovoltaic Panel and Examining Effects of Temperature in Matlab/Simulink", *Electronics and Electrical Engineering*, vol. 109, no. 3, pp. 35-40, 2011.
- [6] P. Yadav, B. Tripathi and et al, "Effect of varying concentration and temperature on steady and dynamic parameters of low concentration photovoltaic energy system", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 61, pp. 101-110, 2014.
- [7] T. Easwarakhanthan, J. Bottin and et al, "Nonlinear minimization algorithm for determining the solar cell parameters with microcomputers", *International Journal of Solar Energy*, vol. 4, no. 1, pp. 1-12, 1986.
- [8] M. Chegaar, Z. Ouennoughi and A. Hoffmann, "A new method for evaluating illuminated solar cell parameters", *Solid-state electronics*, vol. 45, no. 2, pp. 293-296, 2001.
- [9] K. Ishibashi, Y. Kimura and M. Niwano, "An extensively valid and stable method for derivation of all parameters of a solar cell from a single current-voltage characteristic", *Journal of applied physics*, vol. 103, no. 9, 2008.
- [10] C. Zhang, J. Zhang and et al, "A simple and efficient solar cell parameter extraction method from a single current-voltage curve", *Journal of applied physics*, vol. 110, no. 6, 2011.
- [11] R. Ramabadran and B. Mathur, "Effect of shading on series and parallel connected solar PV modules", *Modern Applied Science*, vol. 3, no. 10, 2009.
- [12] M. Abdulazeez and I. Iskender, "Simulation and experimental study of shading effect on series and parallel connected photovoltaic PV modules", *7th International Conference on. IEEE*, 2011.

طراحی مناسب با ایجاد مصالحه بین اتصالات سری و موازی است.



شکل (10): منحنی I-V و P-V آرایه خورشیدی با پیکربندی موازی به ازای تغییر نرخ سایه در تابش  $1000 \text{ W/m}^2$ .

نتایج بدست آمده در این تحقیق را می‌توان با نتایج گزارش شده در مراجع [11] و [12] مقایسه کرد. در مرجع [11] اثر سایه جزئی بر عملکرد ماژول خورشیدی با آرایش سری و موازی با استفاده از ابزار شبیه ساز SPICE بررسی شده و در نهایت آرایش موازی به عنوان بهترین پیکربندی در شرایط مختلف سایه معرفی شده است. همچنین در مرجع [12]، ضمن مقایسه نتایج شبیه سازی و تجربی، برتری آرایش موازی نسبت به آرایش سری در شرایط سایه جزئی ذکر شده است. بنابراین می‌توان اظهار کرد که نتایج بدست آمده در این تحقیقات نسبت به نتایج ارائه شده در ادبیات از جمله مراجع فوق الذکر قابل قبول می‌باشد. البته قابل ذکر است که مدل ارائه شده در این گزارش نسبت به مدل ارائه شده در ادبیات فوق الذکر جامع‌تر و انعطاف پذیرتری در برابر پارامترهای محیطی (سایه، تابش و دما) دارد.

### 5- نتیجه‌گیری

مدل ارائه شده در این مقاله براساس معادلات حاکم بر سلول خورشیدی است که رفتار سلول را در شرایط متفاوت محیطی و فیزیکی پیش بینی می‌کند. در اینجا این مدل برای سلول خورشیدی مونوکریستال سیلیکونی بکار گرفته شد، با این حال می‌توان از آن برای هر سلول خورشیدی دیگری با تغییر شکاف باند انرژی نیمه هادی و در نظر گرفتن مقادیر اولیه متفاوت استفاده کرد. به علاوه، با استفاده از این مدل می‌توان اثر تغییرات سایر پارامترها، از جمله دما را بر عملکرد آرایه خورشیدی مورد بررسی قرار داد.

در این مقاله عملکرد آرایه‌های فتوولتائیک با پیکربندی سری و موازی تحت شرایط سایه جزئی بررسی شد. با توجه به نتایج