



## شناسایی پارامتر برای مدل‌های سلول خورشیدی با استفاده از الگوریتم (HBB-BC)

امیر هادیان<sup>۱</sup>، محمد طلوع عسکری<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی مهندسی - واحد علوم تحقیقات سمنان  
 ۲- عضو هیئت علمی، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سمنان، سمنان، ایران  
 \* سمنان، ایران، m.askari@semnan.ac.ir

### چکیده

اخیراً مدل دقیق مشخصات ولتاژ بر اساس جریان (I-V) سلولهای خورشیدی تمرکز اصلی محققان مختلف را به خود جذب کرده است. شکل اساسی در مدل‌سازی دقیق، کمبود اطلاعات در مورد مقادیر دقیق پارامترهای مدل، به عنوان مثال جریان نوری، جریان دیود اشباع، مقاومت‌های سری، مقاومت موازی و فاکتور ایده‌آل دیود. به منظور ایجاد یک توافق خوب بین داده‌های تجربی و نتایج مدل. شناسایی پارامتر به کمک یک تکنیک بهینه‌سازی مورد نیاز است. به دلیل غیر خطی بودن منحنی (I-V) در سلول‌های خورشیدی، یک تکنیک بهینه‌سازی مورد نیاز است. در این مقاله بر اساس متدهای شناسایی پارامتر به منظور شناسایی پارامترهای ناشناخته مدل‌های تک دیودی و دو دیودی سلول‌های خورشیدی به کار گرفته شده است. مفهوم ساده، پیاده‌سازی آسان و عملکرد بالا دلایل اصلی شهرت HBB\_BC در حل مسائل پیچیده، بهینه‌سازی است. برای این هدف، از الگوریتم HBB\_BC به منظور تعیین پارامترهای ناشناخته مدل‌ها به کار گرفته می‌شود. میزان تاثیر HBB\_BC بوسیله مطالعات تفضیلی بین تکنیک‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی برتری الگوریتم HBB\_BC را نسبت به سایر الگوریتم‌های مطالعه شده در مدل‌های سلولهای خورشیدی آشکار می‌کند.

### اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل  
 دریافت: ۳ بهمن ۱۳۹۷  
 پذیرش: ۲۵ اسفند ۱۳۹۷  
 ارائه در سایت: ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۸

### کلیدواژگان

مدل تک دیودی سلول خورشیدی  
 مدل دو دیودی سلول خورشیدی،  
 الگوریتم HBB-BC

## Parameter identification for solar cell models using HBB-BC algorithm

Amir Hadian<sup>1</sup>, Mohamad Toloe Askari<sup>2\*</sup>

1- Department of Electrical and Electronic Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran  
 \* P.O.B. 3518767497, Semnan, Iran, m.askari@semnaniau.ac.ir

### Article Information

Original Research Paper  
 Received 23 January 2019  
 Accepted 16 March 2019  
 Available Online 15 May 2019

### Keywords

Single diode mode  
 double diode mode  
 HBB-BC Algorithm

### ABSTRACT

Recently accurate model based on the current voltage (IV) solar cells, the main focus is to attract researchers. The basic form of the model accurately, the lack of information on the exact values of model parameters, for example the optical diode saturation current, series resistance, parallel resistance and diode ideal factor. In order to create a good agreement between experimental data and results. Using a technique optimizing parameter identification is required. Due to the non-linearity of the curve (IV) in solar cells, an optimization technique is required. In this paper, based on parameter identification methods to identify unknown parameters of a single diode modules and two diode solar cells is used. The concept is simple, easy implementation and high performance of the main reasons HBB\_BC reputation in solving complex problems, optimization. For this purpose, HBB\_BC algorithm to determine the unknown parameters of the

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Amir Hadian, Mohamad Toloe Askari, Parameter identification for solar cell models using HBB-BC algorithm, Journal of Mechanical Engineering and Vibration, Vol. 10, No. 1, pp. 51-58, 2019 (In Persian)

model to be used. HBB\_BC detailed studies of the effects by means of different techniques will be examined. HBB\_BC algorithm simulation results better than other algorithms in models of solar cells revealed

## ۱- مقدمه

باتوجه به افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی و همچنین از بین رفتن و به اتمام رسیدن احتمالی آنها، آلودگی هوا، پدیده‌ی گرم شدن جهانی و قوانین زیست محیطی مختلف، منابع انرژی تجدیدپذیر توجه بسیاری از ملت‌ها را در تولید انرژی برق به خود جلب کرده است. در حال حاضر انرژی خورشیدی به منظور مقابله با نیاز روزافزون به نیروی برق در گستره‌ی جهانی به کار گرفته شده است. سلول خورشیدی که سلول فتوولتائیک نیز نامیده می‌شود (PV) یکی از مشهورترین و امیدبخش‌ترین منبع انرژی در جهان است. نه تنها به این دلیل که جهان نیاز به منابع انرژی بیشتری دارد بلکه به دلیل مزایای زیاد این منبع انرژی نظیر بدون آلودگی بودن آن، بی‌سروصدا بودن، نگهداری کم و نصب آسان و راحت. به منظور فهم بهتر از مشخصات، ارزیابی عملکرد بهینه‌سازی یک سیستم سلول خورشیدی، یک مدل ریاضی دقیق ابزار مهمی برای محققان محسوب می‌شود. مدل‌های مختلفی برای نشان دادن رفتار سیستم در شرایط عملکردی مختلف به کار گرفته شده است. این مدل‌ها شامل مدل‌هایی با فرضیات ساده تا مدل‌هایی به همراه متغیرهای فیزیکی مختلف می‌باشند. در عمل دو مدل مدار معادل اصلی برای به تصویر کشیدن رفتار سیستم سلول خورشیدی وجود دارد [۱].

مدل‌های تک دیودی و دو دیودی. مدل‌های سلول خورشیدی شامل گروهی از پارامترها می‌شوند مانند جریان نوری، جریان دیود اشباع، مقاومت‌های سری، مقاومت موازی و فاکتور ایده‌آل دیود تعیین این پارامترها بسیار حائز اهمیت است زیرا پارامترهای عملکرد سلول خورشیدی مانند: ولتاژ مدار باز، جریان اتصال کوتاه، ماکزیمم توان، فاکتور ایده‌آل دیود و بازده که در تحلیل اتلافات عملکردی بسیار مفید هستند از منحنی (I-V) و اطلاعات فراهم شده بوسیله‌ی پارامترهای مدل ناشی می‌شوند [۲]. بنابراین مشکل اصلی شناسایی مقادیر بهینه پارامترهایی است که بوسیله آنها مدل بهترین تناسب را با داده‌های تجربی بیابد. تکنیک‌های مختلفی به منظور تشخیص مقادیر بهینه مورد استفاده قرار گرفته است. در برخی مراجع متدهای بهینه‌سازی متداول سنتی به کار گرفته شده است. در این متدها که به منظور کاربردی بودن نیاز به پیوستگی و مشتق پذیری دارند شامل محاسبات سنگین میشوند معمولاً در طبیعت عمومیت دارند و به جای راه‌حل‌های

عمومی به راه‌حل‌های محلی و موضعی همگرا می‌شوند [۳]. غیر خطی بودن منحنی (I-V) تکنیک‌های بهینه‌سازی سنتی را در حل موثر مسائل شناسایی پارامترها ناتوان می‌سازد. برای حل این مشکل از الگوریتم‌های بهینه‌سازی ابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم شبیه‌سازی بازپخت به منظور شناسایی پارامتر به کار گرفته شده است. اگر چه این الگوریتم‌ها نتایج بهتری را نسبت به الگوریتم‌های سنتی دارند، ولی شامل محدودیت‌هایی هستند [۴].

نتایج بدست آمده با نتایج بدست آمده از الگوریتم ژنتیک (GA)، بهینه‌سازی ازدحام ذرات (CPSO)، شبیه‌سازی آنیلینگ (SA) و تحقیقات الگویی (PS) مقایسه می‌شود. و در ادامه به مدل سلول خورشیدی و الگوریتم HBB-BC می‌پردازیم.

## ۲- روابط ریاضی

### ۲-۱-۲- مدل‌های سلول خورشیدی

مدل‌های زیادی به منظور توصیف ویژگی‌های سلول خورشیدی (I-V) آمده است. اما تنها دو مدل بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مدل‌ها ساده‌اند به راحتی حل می‌شوند، و برای کاربردهای مهندسی برق مناسب‌اند. در قسمت‌های زیر این دو مدل به طور مختصر توضیح داده خواهند شد.

#### ۲-۱-۱-۲- مدل دو دیودی

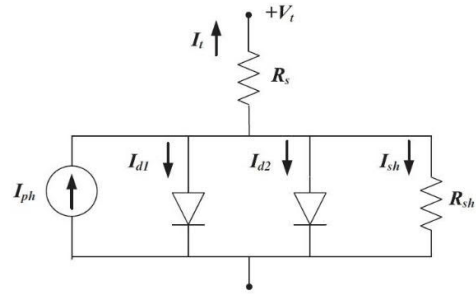
در شرایط روشنایی، یک سلول خورشیدی ایده‌آل به صورت یک منبع جریان نورانی موازی با دیود یکسو کننده مدل شده است. این مدل از یک منبع جریان، مقاومت سری و موازی و همچنین دیود تشکیل شده است. در شکل ۱ مدل دو دیودی سلول خورشیدی نشان داده شده است. با توجه به شکل جریان نهایی به صورت زیر بدست می‌آید [۵].

(۱)

$$I_t = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_{sh}$$

است. مدار معادل این مدل در شکل (2) آمده است. نمایش این مدل را می‌توان با روابط زیر نشان داد [9]:

$$I_t = I_{ph} - I_{sd} \left[ \exp \left( \frac{q(V_t - R_s I_t)}{nkT} \right) - 1 \right] - \frac{V_t - R_s I_t}{R_{sh}} \quad (3)$$



شکل ۱ مدل سلول فتوولتائیک با دو دیود

به طوریکه  $I_{ph}$  جریان نوری است،  $I_{d1}$  جریان دیود اول را نشان می‌دهد،  $I_{d2}$  جریان دیود دوم و  $I_{sh}$  جریان مقاومت موازی را نشان می‌دهد. با استفاده از معادله دیود Schovkley با ارتباط دادن جریان دیود با ولتاژ آن و جایگزین نمودن جریان مقاومت موازی، معادله (۱) به معادله (۲) ساده‌سازی می‌شود [6]:

(۲)

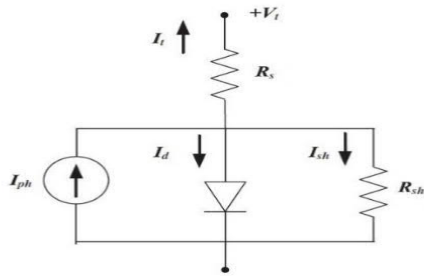
$$I_t = I_{ph} - I_{sd1} \left[ \exp \left( \frac{q(V_t + R_s I_t)}{n_1 kT} \right) - 1 \right] - I_{sd2} \left[ \exp \left( \frac{q(V_t + R_s I_t)}{n_2 kT} \right) - 1 \right] - \frac{V_t + R_s I_t}{R_{sh}} \quad V_t$$

در رابطه (۲)  $I_{sd1}$  و  $I_{sd2}$  جریان‌های اشباع دیودها می‌باشند.  $V_t$  ولتاژ ترمینال،  $R_s$  مقاومت سری و  $R_{sh}$  مقاومت موازی می‌باشد.  $Q$  شارژ الکتریکی،  $k$  ثابت بولتزمن،  $n_1$  و  $n_2$  فاکتور ایده‌آل پیوند دیودها و  $T$  (ک) دمای دیود را نشان می‌دهد [7]. مدل باید توانایی نشان دادن سلول خورشیدی را مانند عملکرد واقعی آن داشته باشد از این رو، مانع اصلی در مدلسازی دقیق استخراج مقادیر بهینه‌ی پارامترهای ناشناخته است. برای چنین مدلی  $\gamma$  پارامتر ناشناخته وجود دارد که باید شناسایی شود. ماند:  $R_s, R_{sh}, I_{ph}, I_{sd1}, I_{sd2}, n_1$  و  $n_2$  این هدف با کمک تکنیک‌های توانایی بهینه‌سازی و یک سری از داده‌های تجربی که از سیستم واقعی بدست می‌آیند می‌تواند انجام شود [8].

### ۲-۱-۲- مدل تک دیودی

مدل تک دیودی، متداول‌ترین مدل سلول خورشیدی می‌باشد. در این مدل تنها یک دیود در مدل مداری سلول خورشیدی مورد استفاده قرار گرفته است. در سال‌های اخیر، این مدل به طور وسیعی به منظور توصیف ویژگی‌های  $(I-V)$  سلول خورشیدی و متناسب نمودن آن با داده‌های تجربی مورد استفاده قرار گرفته

(۴)



شکل ۲ مدل تک دیودی سلول خورشیدی

همانطور که نشان داده شده است در مدل تک دیودی ۵ پارامتر نیاز است که شناسایی شود:

$I_{sd}, n, R_s, R_{sh}, I_{ph}$

### ۲-۲- فرآیند بهینه‌سازی

هنگامی که یک الگوریتم بهینه‌سازی استفاده می‌شود تا مساله‌ی شناسایی پارامترهای سلول خورشیدی حل شود. مسائل زیر باید مورد توجه قرار گیرد: (۱) چگونه مساله معنی شود (۲) چگونه محدوده‌ی تحقیق تعیین شود (۳) چگونه تابع مجهول ساخته شود [۱۰]. در این مقاله هر راه‌حل بوسیله‌ی یک بردار معنی شده است:

هنگامه دیود دوتایی را در نظر می‌گیریم:  $X$  به طوریکه

$$X = [R_s, R_{sh}, I_{ph}, I_{sd1}, I_{sd2}, n_1, n_2]$$

$$X = [R_s, R_{sh}, I_{ph}, I_{sd}, n]$$

حدود بالایی و پایینی پارامترها، در جدول (۱) نشان داده شده است. تعریف نمودن تابع مجهول مرحله‌ی آخر است.

جدول ۱ محدوده پارامترهای مجهول سلول خورشیدی

Parameter	Lower	Upper
$R_s(\Omega)$	0	0.5
$R_{sh}(\Omega)$	0	100
$I_{ph}(A)$	0	1
$I_{sd}(\mu A)$	0	1
n	1	2

### ۳- الگوریتم HBB-BC

در الگوریتم پیشنهادی HBBBC با استفاده از ظرفیت‌های الگوریتم PSO، در نقاط بهینه محلی به دام نمی‌افتد. در الگوریتم HBBBC همانند الگوریتم PSO برای یافتن مرکز از نقاط بهینه محلی و نقاط بهینه کلی برای تولید نقاط جدید استفاده می‌شود [۱۵].

(۷)

$$X_i^{(k)} = \frac{\sum_{j=1}^N \frac{X_i^{(k,j)}}{f_j}}{\sum_{j=1}^N \frac{1}{f_j}}$$

که در آن  $X_i^{(k)}$ ، آمین جزء از مرکز ثقل در تکرار  $k$ ام می‌باشد،  $X_i^{(k,j)}$  نیز جزء  $i$ ام از  $j$ امین ذره تولید شده در تکرار  $k$ ام می‌باشد.  $f_j$  مقدار تابع هدف نقطه  $j$  و  $\Pi$  تعداد نقاط یا ذرات و  $C$  تعداد متغیرهای کنترلی می‌باشند.

(۸)

$$X_i^{(k+1,j)} = \alpha_2 X_i^{(k)} + (1 + \alpha_2) (\alpha_3 X_i^{gbest(k)} + (1 - \alpha_3) X_i^{pbest(k,j)}) + \frac{r_j \alpha_1 (X_{imax} - X_{imin})}{K + 1}$$

$$f(V_t, I_t, x) = I_t - I_{ph} + I_{sd1} \left[ \exp\left(\frac{q(V_t + R_s I_t)}{n_1 kT}\right) - 1 \right] + I_{sd2} \left[ \exp\left(\frac{q(V_t + R_s I_t)}{n_2 kT}\right) - 1 \right] + \frac{V_t + R_s I_t}{R_{sh}} \quad (۵)$$

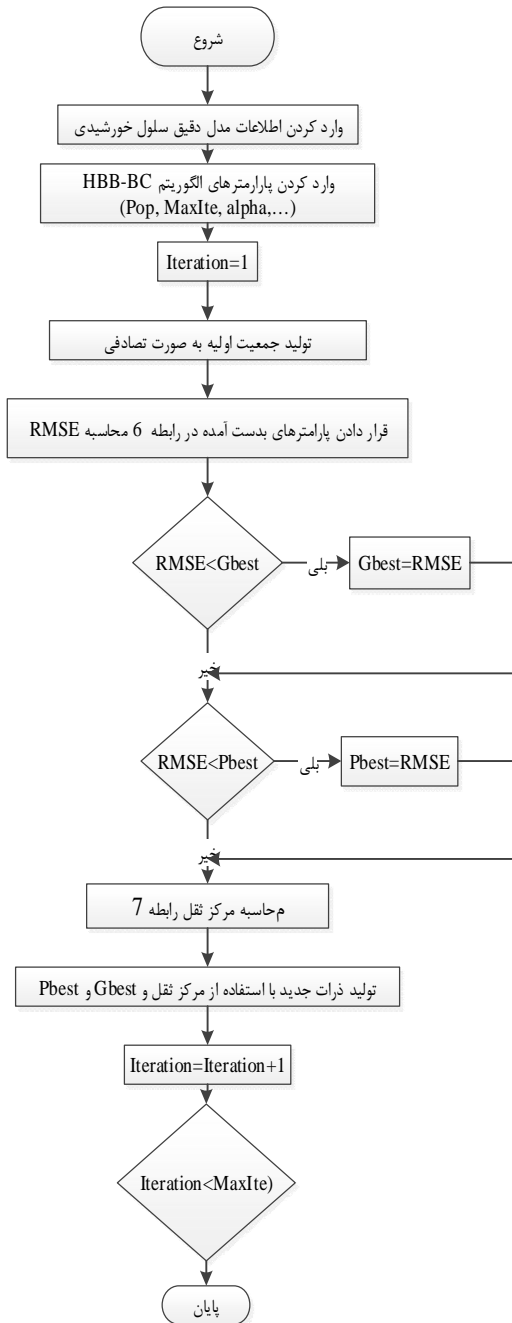
$$f(V_t, I_t, x) = I_t - I_{ph} + I_{sd} \left[ \exp\left(\frac{q(V_t + R_s I_t)}{nkT}\right) - 1 \right] + \frac{V_t + R_s I_t}{R_{sh}}$$

مقدار  $f$  برای هر جفت از داده‌های تجربی محاسبه می‌شود. از (RMSE) به عنوان معیاری برای کیفیت سنجش بین نتایج مدل و داده‌های تجربی استفاده می‌شود. (RMSE) بوسیله‌ی معادله‌ی زیر توصیف می‌شود [۱۱-۱۲].

(۶)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i(V_t, I_t, x))^2}$$

بطوریکه  $N$  تعداد داده‌های تجربی است. در طول فرآیند بهینه‌سازی تابع مجهول نسبت به محدوده‌ی پارامترها کمینه خواهد شد. پارامترهای مدل (که بر اساس مدل انتخابی ۵ یا ۷ عدد می‌باشند) بوسیله‌ی الگوریتم بهینه‌سازی به طور موفقیت‌آمیزی تطبیق داده شده‌اند، تا به یک معیار نهایی دست یابیم. واضح است که هر چه تابع مجهول کوچکتر باشد راه‌حل بهتری حاصل می‌شود. لازم به ذکر است که هنگامی که داده‌های تجربی استفاده می‌شوند، هیچ اطلاعاتی در خصوص مقادیر دقیق پارامترها وجود ندارد. بنابراین هر نوع کاهش در مقادیر تابع مجهول چشمگیر است [۱۳] چون باعث بهبود دراطلاعات مربوط به مقادیر واقعی پارامترها می‌شود.



شکل ۳ فلوجارت اجرای بهینه‌سازی توسط الگوریتم HBB-BC

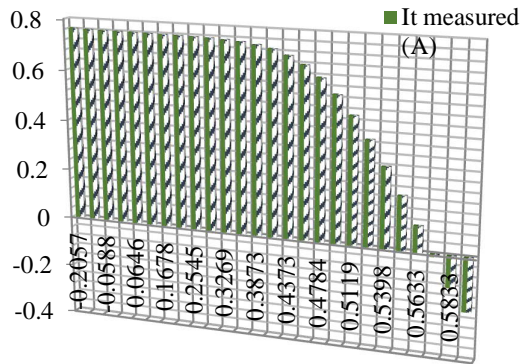
در جداول ۲ و ۳ پارامترهای بهینه برای الگوریتم‌های مختلف مقایسه شده است.

در رابطه فوق  $A_i^{pbest(k,j)}$  بهترین مکان ذره  $k$ ام تا تکرار  $k$ ام می‌باشد و  $A_i^{gbest(k)}$  بهترین مکان کلی تا تکرار  $k$ ام می‌باشد. ضرایب  $\alpha_2$  و  $\alpha_3$  پارامترهای قابل تنظیم می‌باشند که تاثیر نقاط بهینه محلی و کلی را کنترل می‌کنند.

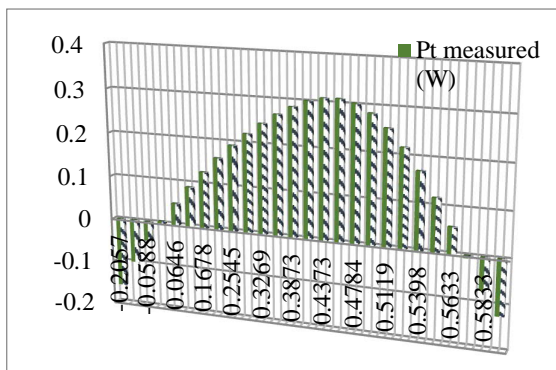
در شکل ۳ فلوجارت چگونگی طراحی بهینه سلول خورشیدی توسط الگوریتم HBB-BC نشان داده شده است.

#### ۴- بحث و نتیجه گیری

به منظور مطالعه‌ی تاثیر الگوریتم‌های HBB-BC در تعریف پارامترهای سلول خورشیدی، یک سلول خورشیدی سلیکونی به قطر ۵۷ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. داده‌های تجربی از سیستمی تحت شرایط تابش  $1000 \frac{W}{m^2}$  در دمای 33C دریافت شده است.



شکل ۴ مقایسه جریان ترمینال بدست آمده از آزمایش عملی و شبیه سازی در مدل دو دیودی



شکل ۵ مقایسه توان خروجی بدست آمده از آزمایش عملی و شبیه سازی در مدل دو دیودی

همانطور که مشاهده می‌شود الگوریتم HBB-BC از سایر الگوریتم‌ها بهتر عمل می‌نماید بدلیل آنکه مقادیر RMSE کوچکتری را نسبت به SA و PS ایجاد می‌کند. با توجه به شکل (۴) و (۵) مشخص می‌شود، الگوریتم HBBBC دارای بهترین جواب است مقدار تابع هدف (RMSE) الگوریتم‌های مختلف، با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همانطور که در این شکل مشخص است، بدترین پاسخ مربوط به الگوریتم GA می‌باشد و پاسخ بدست آمده توسط الگوریتم HBBBC نسبت به بقیه پاسخ‌ها دارای مقدار RMSE کمتری می‌باشد.

جدول ۲ مقایسه نتایج الگوریتم‌های مختلف در مدل دو دیودی سلول خورشیدی

	R sh	I ph	I sd1
HS	46.82696	0.76176	0.12545
GGHS	62.7899	0.76056	0.37014
IGHS	56.8368	0.76079	0.9731
SA	43.1034	0.7623	0.4767
PS	81.3008	0.7602	0.9889
GA	87.3984	0.7628	0.6377
CPSO	89.3253	0.7602	0.33167
PSO	81.17952	0.761731	0.96344
MAPSO	55.7839	0.7608	0.55838
AFSA	34.38041	0.752814	0.651394
ABC	69.7899	0.7606	0.10727
HBBBC	56.1965	0.7608	0.63683

جدول ۳ مقایسه نتایج الگوریتم‌های مختلف در مدل دو دیودی سلول خورشیدی

	I sd2	n1	n2	RMSE
HS	0.2547	1.49439	1.49989	1.26E-03
GGHS	0.13504	1.49638	1.92998	1.07E-03
IGHS	0.16791	1.92126	1.42814	9.86E-04
SA	0.01	1.5172	2	1.66E-02
PS	0.0001	1.6	1.192	1.52E-02
GA	0.36732	1.5594	1.8673	2.64E-03
CPSO	0.51377	1.9851	1.5326	1.50E-03
PSO	0.96344	1.602342	1.619637	0.002527
MAPSO	0.20372	1.8528	1.4457	9.88E-04
AFSA	0.45098	1.587185	1.698508	0.016502
ABC	0.51482	1.435	1.62	1.20E-03
HBBBC	0.23898	1.9986	1.46	9.82E-04

به منظور تایید کیفیت مناسب بودن این نتایج با داده‌های تجربی ، آنالیز استاتیکی بر اساس خطای مطلق نسبی (MAE) انجام شده است.

$$e = \frac{I_{\text{measured}} - I_{\text{calculated}}}{I_{\text{measured}}}$$

(۹)

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |e_i|$$

#### ۵- نتیجه گیری

این مقاله الگوریتم HBB-BC را بر شناسایی پارامترهای مدل ریاضی سلول خورشیدی فراهم می‌آورد. مدل تک دیودی ، مدل دو دیودی . هدف اصلی بدست آوردن مشخصات دقیق I-V یک سیستم واقعی مربوط به یک سلول خورشیدی سیلیکونی به قطر ۵۷mm با شناسایی پارامترهای ناشناخته‌ی آن است. نشان داده شده است که دقت مدل دو دیودی به مقدار کمی بیشتر از مدل تک دیوده است. نتایج با استفاده از الگوریتم HBB-BC به میزان زیادی امید بخش و بهتر بوده ، به ویژه هنگامی که با متدهای دیگر مقایسه می شوند. در نتیجه الگوریتم HBB-BC دارای راهکارهای توانایی می‌باشند و می‌تواند به طور موثری برای شناسایی پارامترهای مربوط به سلول خورشیدی استفاده شود.

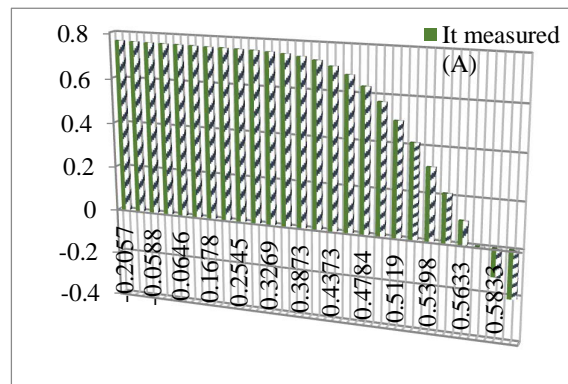
#### ۶- مراجع:

- [1] W. Kui, L. Yongdong, R. Jianye, S. Min, "Design And Implementation of a Solar Array Simulator", Electrical Machines and Systems, ICEMS, pp.2633 – 2636, 2008.
- [2] W. Gong, , Zhihua Cai, "Parameter extraction of solar cell models using repaired adaptive differential evolution", Solar Energy, Vol. 94, pp. 209-220, 2013.
- [3] F. Bonanno, G. Capizzi, C. Napoli, "A radial basis function neural network based approach for the electrical characteristics estimation of a photovoltaic module", Applied Energy, Vol. 97, pp. 956-961, 2012.
- [4] H. Saleem, S. Karmalkar, "An analytical method to extract the physical parameters of a solar cell from four points on the illuminated J-V curve", IEEE Electron Device Lett 2009.
- [5] K. Ishaque, Z. Salam, S. Mekhile, A. Shamsudin, "Parameter extraction of solar photovoltaic modules using penalty-based differential evolution", Applied Energy, Vol. 99, pp. 297-308, 2012.
- [6] Sanjaykumar J. Patel, Ashish K. Panchal, Vipul Kheraj, "Extraction of solar cell parameters from a single current-voltage characteristic using teaching learning based optimization algorithm", Applied Energy, Vol. 119, pp. 384-393, 2014.
- [7] A. Askarzadeh, A. Rezaezadeh, "Artificial bee swarm optimization algorithm for parameters identification

جدول ۴ مقایسه نتایج الگوریتم های مختلف در مدل تک دیودی

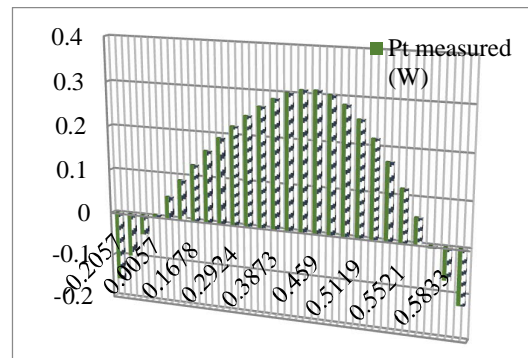
سلول خورشیدی

	lsd2	n1	n2	RMSE
HS	0.2547	1.49439	1.49989	1.26E-03
GGHS	0.13504	1.49638	1.92998	1.07E-03
IGHS	0.16791	1.92126	1.42814	9.86E-04
SA	0.01	1.5172	2	1.66E-02
PS	0.0001	1.6	1.192	1.52E-02
GA	0.36732	1.5594	1.8673	2.64E-03
CPSO	0.51377	1.9851	1.5326	1.50E-03
PSO	0.96344	1.602342	1.619637	0.002527
MAPSO	0.20372	1.8528	1.4457	9.88E-04
AFSA	0.45098	1.587185	1.698508	0.016502
ABC	0.51482	1.435	1.62	1.20E-03
HBBBC	0.23898	1.9986	1.46	9.82E-04



شکل ۶ مقایسه جریان ترمینال بدست آمده از آزمایش عملی و شبیه

سازی در مدل تک دیودی



شکل ۷ مقایسه توان خروجی بدست آمده از آزمایش عملی و شبیه

سازی در مدل تک دیودی

- of solar cell models", *Applied Energy*, Vol. 102, pp. 943-949, 2013.
- [8] A. Askarzadeh, A. Rezazadeh, "Extraction of maximum power point in solar cells using bird mating optimizer-based parameters identification approach", *Applied Energy*, Vol. 90, pp. 123-133, 2013.
- [9] Lian Lian Jiang, Douglas L. Maskell, Jagdish C. Patra, "Parameter estimation of solar cells and modules using an improved adaptive differential evolution algorithm", *Applied Energy*, Vol. 112, pp. 185-193, 2013.
- [10] M. Ye, X. Wang, Y. Xu, "Parameter extraction of solar cells using particle swarm optimization", *Journal of Applied Phys*, Vol. 105, pp. 46-58, 2009.
- [11] J. Sanjaykumar, K. Pancha, V. Kheraj, "Solar cell parameters extraction from a current-voltage characteristic using genetic algorithm", *Journal of Nano and Electron Phys*, Vol. 5, pp. 106-114, 2013.
- [12] K. Ishaque, Z. Salam, H. Taheri, A. Shamsudin, "A critical evaluation of EA computational methods for Photovoltaic cell parameter extraction based on two diode model", *Solar Energy* Vol. 85, pp. 1768-79, 2011.
- [13] R. Rao, P. Vivek, "An elitist teaching-learning-based optimization algorithm for solving complex constrained optimization problems", *Int Journal of Eng Computer*, Vol. 3, pp. 53-60, 2012.
- [14] M. Alhajri, K. El-Naggar, M.R. AlRashidi, A.K, "Optimal extraction of solar cell parameters using pattern search", *Renewable Energy*, Vol. 44, pp. 238-245, 2012.
- [15] M. Sedighzadeh, S. Ahmadi, M. Sarvi, "An Efficient Hybrid Big Bang-Big Crunch Algorithm for Multi-objective Distribution System Reconfiguration in Fuzzy Framework", *Electric power components and system*. Vol. 41, pp. 75-99, 2013.