

## کاربرد الگوریتم کاوش باکتری دینامیکی تطبیقی برای پخش بار اقتصادی با در نظر گرفتن تأثیر نقطه شیر و توان بادی احسان افزalan<sup>۱</sup> و محمود جورابیان<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی برق قدرت

Ehsan.afzalan@gmail.com

۲- استاد، دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه شهید چمران - اهواز - ایران

mjoorabian@scu.ac.ir

**چکیده:** این مطالعه به ارائه الگوریتم کاوش باکتری دینامیکی تطبیقی (DABFA) برای حل مسأله پخش بار اقتصادی (ED) با در نظر گرفتن تأثیر نقطه شیر و تلفات توان می‌پردازد. به علاوه توان باد نیز در فرمول‌سازی مسأله در نظر گرفته شده است. منابع انرژی تجدید پذیر و به خصوص انرژی بادی، اخیراً به علت ملاحظات محیطی و اقتصادی گوناگون جلب توجه زیادی نموده‌اند. الگوریتم (BFA) اولیه، روش بهینه‌سازی تکاملی اخیراً پیشرفت یافته‌ای است که با الگوگیری از رفتار کاوشی باکتری *Escherichia coli* به دست آمده است. روش BFA ابتدایی به طرز موفقیت آمیزی برای حل مسائل بهینه‌سازی کوچک اجرا شده است، با این وصف، این روش مشخصه همگرایی ضعیفی برای مسائل مقید بزرگتر نشان می‌دهد. برای حل مشکل پیچیدگی و بعد زیاد فضای جستجوی مسأله، اصلاحاتی لازم برای بهبود عملکرد الگوریتم معرفی شده‌اند. گام پایه‌ای به گونه‌ای تنظیم شده که رفتار دینامیکی غیر خطی داشته باشد تا بین جستجوی عمومی و محلی تعادل برقرار شود. معیار توقف روش BFA ابتدایی نیز اصلاح شده تا به صورت تطبیقی وابسته به پیشرفت حل مسأله باشد، به جای این که توقف مسأله وابسته به ماکزیمم تعیین شده تعداد تکرارها باشد. الگوریتم پیشنهادی با استفاده از تعدادی سیستم تست صحه‌گذاری شده است. نتایج به دست آمده با نتایج سایر الگوریتم‌های اعمال شده برای حل مسأله با در نظر گرفتن اثر نقطه شیر و تلفات توان همراه با توان بادی مقایسه شده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم کاوش باکتری دینامیکی تطبیقی (DABFA)، مسأله پخش بار اقتصادی (ED).

### ۱- مقدمه

تحقیقاتی وسیعی بوده است. هدف مسأله، کمینه‌سازی تابع هزینه سوخت واحدهای تولیدی به روش تخصیص بار کل مابین این واحدهاست. تابع هزینه کمینه‌سازی شده دارای تعدادی قیود است که شامل تعادل بار، حدود بالا و پایین واحدهای تولیدی و نرخ شیب‌هاست [۱]. در روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک، مسأله توسط یک تابع هدف مسطح مشتق‌پذیر مربعی یا تکه‌تکه مربعی تخمین زده می‌شود. با وجود این به علت اثرات نقطه شیر، مشخصه‌های بالاتر و ناپوستگی هستند که به یک تابع هزینه سوخت غیر محدب

بهینه‌سازی پخش بار اقتصادی دهه‌ها به عنوان یک مسأله بهره‌برداری اقتصادی سیستم قدرت موضوع مطالعات

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۱/۰۹/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۱/۱۲/۲۳

نام نویسنده مسئول : محمود جورابیان

نشانی نویسنده مسئول : ایران - اهواز - دانشگاه شهید چمران -

دانشکده فنی و مهندسی

کاربرد الگوریتم کاوش باکتری دینامیکی تطبیقی برای پخش بار بهینه با در نظر گرفتن تأثیر نقطه شیر و توان بادی

روش الگوریتم کاوش باکتری (BFA) تکنیک بهینه‌سازی اخیراً معرفی شده‌ای است که از رفتار کاوشی باکتری *Escherichia coli* الگو گرفته است [۱۴]. روش BFA به طرز موفقیت‌آمیزی برای حل مسایل بهینه‌سازی مختلف، از جمله بهینه‌سازی و کنترل توزیع شده [۱۴]، پخش بار بهینه [۱۵، ۱۶]، طراحی پایدارسازهای بهینه سیستم قدرت [۱۷] و تخمین هارمونیک [۱۸] اعمال شده است. مشخصاً یک روش BFA ترکیبی اخیراً برای حل مسأله ED اعمال شده و به نتایج خوبی منجر شده است [۱۹]. با وجود این، نتایج شبیه‌سازی نشان دادند که روش BFA دچار ویژگی‌های همگرایی ضعیف بوده، به زمان طولانی نیاز دارد. این رفتار ضعیف در محیط‌های دینامیکی و فضا‌های جستجوی با ابعاد بالا مرتبط با مسائل پیچیده بدتر نیز می‌شود [۲۰، ۲۱].

در این مقاله الگوریتم کاوش باکتری تطبیقی دینامیکی (DABFA) ارائه شده و برای حل مسأله ED با در نظر گرفتن اثرات نقطه شیر و تلفات توان اعمال شده است. مسأله ED به گونه‌ای فرمول‌بندی شده که در معادله تعادل توان خود توان بادی را نیز در نظر بگیرد. در شبیه‌سازی‌ها نفوذ انرژی بادی به اندازه ۱۰٪ کل تقاضای بار در نظر گرفته شده است. چهار حالت سیستم‌های تست برای صحنه‌سنجی عملکرد روش DABFA پیشنهادی و مقایسه آن با تکنیک‌های معروف دیگر بهینه‌سازی استفاده شده‌اند. نتایج بیانگر دقت، سرعت و توانایی بالای الگوریتم پیشنهادی در یافتن پاسخ‌های بهینه نسبت به سایر روش‌های مقایسه شده است. در ادامه این مقاله به این صورت ترتیب‌بندی شده است: بخش ۲ فرمول‌بندی مسأله ED را ارائه می‌کند، در بخش ۳ الگوریتم DABFA توضیح داده شده است، نتایج شبیه‌سازی در بخش ۴ نشان داده شده و نتیجه‌گیری‌ها در بخش ۵ آمده‌اند.

## ۲- فرمول‌بندی مسأله پخش بار

مسأله ED برای تعیین بارگیری بهینه تمامی واحدهای در مدار به منظور کمینه‌سازی تابع هزینه مشروط به قیود سیستم طراحی شده است [۱].

و غیر مسطح منجر می‌شود، اثرات نقطه شیر با استفاده از دو رویکرد مختلف ارائه شده‌اند [۲]: در اولین رویکرد این اثرات به صورت قیود نامساوی که آنها را به صورت نقاط عملکرد ممنوعه نشان می‌دهند، فرمول بندی شده‌اند [۳، ۴]. رویکرد دوم که در این مقاله استفاده می‌شود، حاوی یک جمله سینوسی یکسو شده در تابع هدف اولیه است تا این اثرات را مدل کند [۵].

به علت افزایش شدید نگرانی‌های محیطی و اقتصادی، انرژی بادی به عنوان یک انرژی تجدید پذیر مطمئن جلب توجه زیادی نموده است [۶]. در نظر گرفتن انرژی بادی در شبکه‌های قدرت چالش‌های زیادی را در استراتژی‌های بهره‌برداری و برنامه‌ریزی ایجاد می‌کند. این حقیقت که توان بادی نه به سادگی قابل پیش‌بینی است و نه قابلیت توزیع دارد، علت اصلی نگرانی‌های امنیتی و قابلیت اطمینان در سیستم‌های قدرت دارای انرژی بادی است. انرژی بادی اخیراً موضوع تحقیقاتی در حال تکاملی بوده است [۷]. بسته به مشخصه‌های بادی محلی و پروفایل بار، سهم توان بادی تولید شده می‌تواند ۱۰ تا ۴۰٪ از تقاضای بار باشد. برخی مطالعات سهم توان بادی را تا سال ۲۰۳۰ حدود ۲۰ تا ۳۰٪ پیش‌بینی کرده‌اند [۶-۷].

روش‌های بهینه‌سازی قطعی گوناگونی برای حل مسأله کلاسیک استفاده شده‌اند، از جمله روش تکراری لامدا<sup>\*</sup> (LIM)، جستجوی گرادیان، برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی مربعی، برنامه‌ریزی دینامیکی و روش‌های بر پایه نیوتون [۸]. با اینکه این روش‌های سنتی بر پایه حسابان عملکرد مناسبی برای حل مسأله ED کلاسیک از خود نشان می‌دهند، ولی در حل مسائل ED با در نظر گرفتن اثرات نقطه‌ای شیر موفقیت قابل قبولی به دست نمی‌آورند [۹]. اخیراً روش‌های مکاشفه‌ای غیر کلاسیک برای حل این مسأله پیشنهاد شده‌اند. آنها شامل برنامه‌ریزی تکاملی [۱۰]، الگوریتم ژنتیک [۱۱]، جستجوی Tabu [۱۲] و بهینه‌سازی جستجوی ذرات<sup>۵</sup> (PSO) [۱۳] هستند. این روش‌های غیر وابسته به مشتق، عملکرد خوبی در حل مسأله‌ی ED صرف‌نظر از شکل غیر خطی و غیر مسطح مشخصه‌های ورودی-خروجی واحد تولیدی حرارتی از خود نشان می‌دهند [۹].

## ۲-۱- تابع هدف

که در آن  $P_L$  کل تلفات توان حقیقی سیستم و  $P_D$

تقاضای بار کل سیستم است.

- حدود ظرفیت خط تولید

$$P_{gi}^{\min} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{\max} \quad (5)$$

که در آن  $P_{gi}^{\max}$  بیشینه‌ی توان تولیدی واحد  $i$  است.

- تلفات سیستم شبکه

تلفات خط انتقال به صورت تابعی از توان حقیقی و

ماتریس ضرایب  $B$  بیان می‌شوند [۲۵].

$$P_L = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p_{gi} B_{ij} p_{gj} + \sum_{i=1}^{N_g} B_{i0} p_{gi} + B_{00} \quad (6)$$

که در آن پارامترهای  $B_{ij}$  ضرایب اتلاف نامیده می‌شوند.

عبارت (۶) که به عنوان فرمول تلفات Korm شناخته

می‌شود [۲۳] را می‌توان به صورت برداری زیر بیان کرد

[۲۴].

$$P_L = P_g^T B P_g + B_0^T p_g + B_{00} \quad (7)$$

که در آن  $B$  ماتریس متقارن ضرایب اتلاف،  $B_0$  بردار

ستونی ضرایب اتلاف و  $B_{00}$  ثابت اسکالر ضریب اتلاف

است.

## ۲-۳- نفوذ توان بادی

تبادل توان با در نظر گرفتن توان باد: رابطه‌ی (۴) به

گونه‌ای اصلاح می‌شود که توان تولید شده توسط منابع بادی

از  $P_W$  تقاضای کل بار کم شود.

$$\sum_{i=1}^{N_g} p_{gi} - (P_D - P_W) - P_L = 0 \quad (8)$$

در دسترس بودن توان بادی: توان باد  $P_W$  در رابطه (۸)

توسط مقدار توان در دسترس از پارک بادی  $P_{av}$  محدود

می‌شود.

$$P_L + P_D - \sum_{i=1}^{N_g} P_{gi} \leq P_{av} \quad (9)$$

هزینه سوخت هر واحد تولیدی معمولاً به صورت

تقریبی به صورت یک تابع مربعی مرتبه دوم تقریب زده می‌شود [۲۲].

$$F_i(p_{gi}) = a_i + b_i p_{gi} + c_i p_{gi}^2 \quad (1)$$

که در آن  $F_i(P_{gi})$  تابع هزینه سوخت واحد  $i$   $P_{gi}$  توان

تولیدی واحد  $i$ ،  $a_i$ ،  $b_i$  و  $c_i$  ضرایب هزینه سوخت واحد  $i$

هستند.

برای به دست آوردن یک مدل دقیق تابع هزینه، اثرات

نقطه شیر به صورت زیر در تابع سوخت مدل می‌شوند

[۲۳].

$$F_i(p_{gi}) = a_i + b_i p_{gi} + c_i p_{gi}^2 + |e_i \cdot \sin(f_i (p_{gi}^{\min} - p_{gi}))| \quad (2)$$

که در آن  $e_i$  و  $f_i$  ضرایب ثابت هزینه سوخت واحد  $i$  با

در نظر گرفتن اثرات نقطه شیر بوده و  $P_{gi}^{\min}$  مینیمم توان

تولیدی واحد  $i$  است.

تابع هزینه کل مورد کمینه‌سازی می‌تواند به صورت

بردار زیر نوشته شود [۲۴]:

$$F_T = a + b^T p_g + p_g^T c p_g + \sum_{i=1}^{N_g} |e_i \cdot \sin(f_i (p_{gi}^{\min} - p_{gi}))| \quad (3)$$

که در آن  $F_T$  تابع هزینه کل،  $P_g$  بردار ستونی توان

خروجی واحد تولیدی،  $a$  مجموع بردار ضریب ثابت،  $b$

بردار ستونی ضریب خطی،  $c$  ماتریس قطری ضریب مربعی

و  $N_g$  تعداد واحدهای تولیدی است.

## ۲-۲- قیود

تابع هزینه نشان داده شده با رابطه (۳) دارای تعدادی

قید شامل موارد زیر است:

- تعادل بار

$$\sum_{i=1}^{N_g} p_{gi} - P_D - P_L = 0 \quad (4)$$

کاربرد الگوریتم کاوش باکتری دینامیکی تطبیقی برای پخش بار بهینه با در نظر گرفتن تأثیر نقطه شیر و توان بادی

همان جهت طی می‌شود. عمل شنا کردن تا زمانی که هزینه کمتری به دست آید و به تعداد بیشینه گام از قبل معین شده  $N_s$  برسیم تکرار می‌شود.

تابع هزینه هر باکتری در جمعیت متأثر است از نوع ایجاد ازدحام اجرا شده توسط ارتباط سلول به سلول آزاد شده توسط باکتری‌ها. برای شکل دادن به الگوهای ازدحامی عملیات هجوم آوردن به صورت زیر بیان می‌شود:

$$J_{cc}(\theta, P(j, k, l)) = \sum_{i=1}^s j_{cc}^i(\theta, \theta^i(j, k, l)) = \sum_{i=1}^s [-d_{attract} \exp(-\omega_{attract} \sum_{m=1}^p (\theta_m - \theta_m^i)^2)] + \sum_{i=1}^s [h_{repellant} \exp(-\omega_{repellant} \sum_{m=1}^p (\theta_m - \theta_m^i)^2)] \quad i=1, \dots, s \quad (11)$$

که در آن  $d_{attract}$  و  $w_{attract}$  و  $h_{repellant}$  ضرایب نمایانگر مشخصه‌های سیگنال‌های جذبی و دفعی آزاد شده توسط سلول بوده  $\theta_m^i$  مؤلفه  $m$  ام باکتری  $i$  ام است.  $P(j, k, l)$  مکان هر عضو جمعیت  $S$  باکتری بوده، به این صورت تعریف می‌شود:

$$P(j, k, l) = \{\theta^i(j, k, l) \mid i = 1, 2, \dots, s\} \quad (12)$$

که  $S$  اندازه جمعیت باکتری‌هاست. تابع (۱۱) که نمایانگر تأثیر ارتباط سلول به سلول است، با تابع هزینه جمع می‌شود:

$$J(i, j, k, l) + J_{cc}(\theta, P) \quad (13)$$

فرایند تولید مثل پس از طی ماکزیمم تعداد گام‌های chemotactic،  $N_c$ ، اجرا می‌شود، جمعیت به دو نیمه می‌شود به گونه‌ای که نیمه کمتر سالم می‌میرد و هر باکتری در آن نیمه دیگر سالم‌تر به دو باکتری تقسیم می‌شود که همان مکان را اختیار می‌کنند.

$$S_r = \frac{S}{2} \quad (14)$$

پس از طی  $N_{re}$  گام تولید مثل فرایند حذف / پراکندگی به تعداد  $N_{ed}$  بار اجرا می‌شود. در این عملیات، هر باکتری می‌تواند برای کاوش قسمت‌های دیگر فضای جستجو حرکت کند. احتمال این که هر باکتری اتفاق حذف /

### ۳- روش الگوریتم کاوش باکتری دینامیکی

#### تطبیقی پیشنهادی

روش DABFA پیشنهادی بر اساس روش BFA اولیه بنا شده است. در قسمت زیر روش BFA اصلی توضیح داده شده است.

#### ۳-۱- الگوریتم کاوش باکتری

روش BFA یک تکنیک بهینه سازی تکاملی است که از رفتار کاوشی باکتری E.coli الهام گرفته شده است. جنبه‌های بیولوژیک روش‌های کاوش باکتری و رفتار حرکتی آنها، علاوه بر مکانیزم‌های تصمیم‌گیری آنها را می‌توان در [۱۴] یافت. به عنوان روشی مکاشفه‌ای، روش BFA به منظور غلبه بر مشکلات بهینه‌سازی بدون گرادیان و سر و کار داشتن با توابع هدف پیچیده و مشتق ناپذیر طراحی شده است. جستجوی ابرفضا از طریق سه عملکرد اصلی اجرا می‌شود: chemotaxis، تولید مثل و فعالیت‌های حذف-پراکندگی [۱۴]. فرایند chemotaxis از طریق شنا کردن و غلت خوردن صورت می‌گیرد. باکتری طول عمر خود را با گذار از یکی از این موده‌های حرکتی به مود دیگر طی می‌کند. در روش BFA، غلت خوردن با یک طول واحد در جهتی تصادفی  $\phi(j)$ ، نمایانده می‌شود، که جهت حرکت پس از غلت خوردن را مشخص می‌کند. اندازه گام برداشته شده در جهت تصادفی با ثابت واحد طول حرکت  $C(i, j)$  نشان داده می‌شود. برای جمعیتی از باکتری‌ها، مکان  $i$  امین باکتری در  $j$  امین گام،  $k$  امین گام تولید مثل و  $l$  امین رخداد حذف / پراکندگی با  $\theta^i(j, k, l) \in k^p$  نشان داده می‌شود. در این مکان تابع هزینه با  $J(i, j, k, l)$  نشان داده می‌شود که به نام تابع مواد غذایی نیز شناخته می‌شود. پس از یک غلت خوردن، مکان  $i$  امین باکتری توسط رابطه زیر نشان داده می‌شود:

$$\theta^i(j+1, k, l) = \theta^i(j, k, l) + C(i, j)\phi(j) \quad (10)$$

و وقتی در  $\theta^i(j+1, k, l)$  هزینه  $J(i, j+1, k, l)$  بهتر (پایین‌تر) از  $J(i, j, k, l)$  باشد، گام دیگری به اندازه  $C(i, j)$  در

$N_c$ : تعداد گام‌های chemotactic  
 $N_s$ : طول شنا وقتی روی شیب (مماس) باشد  
 $N_{re}$ : عداد گام‌های تولید مثل  
 $N_{ed}$ : تعداد وقایع حذف / پراکندگی  
 $P_{ed}$ : احتمال این که هر باکتری حذف یا پراکنده شود.  
 $C(i, j)_{j=1}$ : واحد اولیه طول حرکت  
 $C(N_c)$ : واحد طول حرکت در پایان گام‌های chemotactic ( $j=N_c$ )

$\theta^i$ : مکان تصادفی اولیه هر باکتری  
گام ۲) حلقه حذف / پراکندگی،  $l = l + 1$   
گام ۳) حلقه تولید مثل،  $k = k + 1$   
گام ۴) حلقه chemotaxis،  $j = j + 1$ .  
به ازای  $i = 1, 2, \dots, S$  گام chemotactic را برای هر باکتری به صورت زیر اجرا کن:

- تابع هزینه  $J(i, j, k, l)$  را با استفاده از (۱۱) و (۱۳) برآورد کن.
- قرار بده  $J_{last} = J(i, j, k, l)$  طوری که هزینه کمتری بتواند به دست آید.
- غلت خوردن: یک بردار تصادفی  $\Delta(i)k^p$  تولید کن که  $\Delta_m(i)$  و  $p = 1, 2, \dots, m$  عددی تصادفی در بازه  $[+1, 1]$  است.
- مقدار  $\phi(i)$  را محاسبه کن.

$$\phi(i) = \frac{\Delta(i)}{\sqrt{\Delta^T(i) \Delta(i)}} \quad (16)$$

- با استفاده از رابطه (۱۰) حرکت کن.
- مقدار  $J(i, j+1, k, l)$  را محاسبه کن و مقدار  $J_{cc}(\theta, P(j+1, k, l))$  را با استفاده از (۱۱) محاسبه کن. سپس با استفاده از آن مقدار جدید  $J(i, j+1, k, l)$  را بیاب.
- شنا کردن: قرار بده  $m = 0$  (شمارنده برای طول شنا)

تا زمانی که  $m \leq N_s$  (تا مقدار بسیار طولانی مسیر طی نشود).

قرار بده:  $m = m + 1$

اگر  $J(i, j+1, k, l) \leq J_{last}$  باشد، آنگاه قرار بده

پراکندگی را تجربه کند، با نسبت از پیش تعیین شده  $P_{ed}$  تعیین می‌شود.

### ۳-۲- الگوریتم کاوش باکتری دینامیکی تطبیقی

در مورد روش BFA ابتدایی طول واحد گام، پارامتری ثابت است که می‌تواند در مورد مسائل بهینه سازی کوچک جستجوی مناسبی را تضمین نماید، اما در مورد مسایل پیچیده مقیاس بالا با ابعاد زیاد عملکرد ضعیفی از خود نشان می‌دهد. پارامتر طول حرکت عامل کلیدی در کنترل قابلیت جستجوی الگوریتم BFA است. از این دیدگاه توازن بین اکتشاف و بهره برداری جستجو می‌تواند با تنظیم واحد طول حرکت به دست آید. به خاطر داشته باشید که در سایر الگوریتم‌های تکاملی برای کنترل قابلیت جستجوی محلی و کلی الگوریتم چند تابع دینامیکی اجرا می‌شوند [۲۶-۲۷]. در این مقاله به جای تابع ثابت پله یک تابع دینامیکی غیر خطی کاهش یافته برای اجرای حرکت شنا پیشنهاد داده می‌شود. این تابع به صورت زیر بیان می‌شود:

$$C(i, j+1) = \left( \frac{C(i, j) - C(N_c)}{N_c + C(N_c)} \right) + (N_c - j) \quad (15)$$

که در آن  $j$  طول و  $N_c$  بیشینه تعداد گام‌های chemotactic بوده و  $C(N_c)$  پارامتری از قبل تعیین شده است.

معیار توقف اجرای الگوریتم BFA اصلی بیشینه گام‌های chemotactic، تعداد گام‌های تولید مثل و تعداد وقایع حذف / پراکندگی است. این معیار موجب افزایش نیازمندی محاسباتی الگوریتم در برخی موارد می‌شود. در این مقاله یک معیار توقف تطبیقی اعمال شده تا الگوریتم بیشینه تعداد تکرارها را بسته به پیشرفت تابع هزینه تنظیم نماید. عملیات chemotaxis هنگامی متوقف می‌شود که یا پیشرفتی در حل مسأله حاصل نشود یا هنگامی که به بیشینه تعداد گام‌های chemotactic برسیم.

تکنیک الگوریتم پیشنهادی به صورت زیر است:

گام ۱) مقداردهی اولیه پارامترهای زیر:

$P$ : بعد فضای جستجو

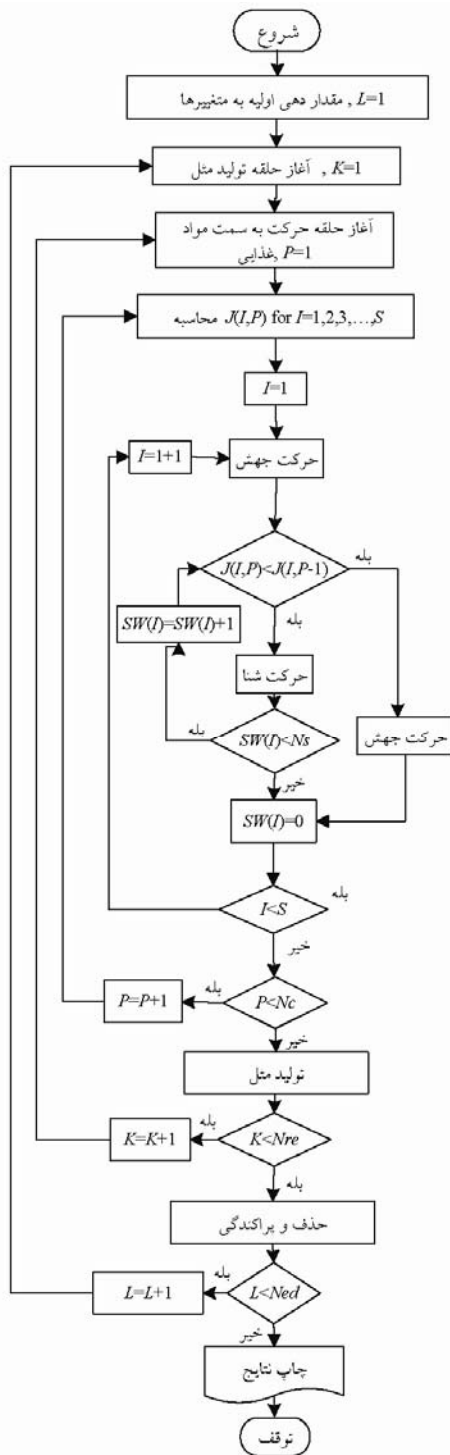
$S$ : تعداد باکتری‌ها در جمعیت

کاربرد الگوریتم کاوش باکتری دینامیکی تطبیقی برای پخش بار بهینه با در نظر گرفتن تأثیر نقطه شیر و توان بادی

اندازه جمعیت ثابت بماند.

گام ۹) اگر  $l \leq N_{ed}$  به گام ۲ برو ( $l = l + 1$ )، در غیر این صورت متوقف شو.

فلوچارت الگوریتم پیشنهادی در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل (۱): فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

$J_{last} = J(i, j + 1, k, l)$  سپس گامی دیگر را در همان جهت برداشته، مقدار  $J(i, j + 1, k, l)$  جدید را محاسبه کن.

• به سراغ باکتری بعدی برو ( $i \neq S$ )  
 $(i = i + 1)$

• با استفاده از (۱۵) واحد طول حرکت را به روز کن.

• بهترین (کمترین) هزینه به دست آمده را محاسبه کن ( $J_{best}(j)$ ).

• تفاوت در هزینه به دست آمده در گام chemotactic کنونی ( $Diff(j)$ ) را محاسبه کن:

$$Diff(j) = J_{best}(j) - J_{best}(j - 1)$$

• اگر  $j \geq N_c/n$  (مثلاً  $n=2$ ) و در صورتی که:

$$|Diff(j) - Diff(j - b)| \leq \epsilon, b = 1, 2, \dots, b_m, b_m \leq N_c/n$$

آنگاه  $j = N_c$  (یعنی عملیات chemotactic را پایان بده).

گام ۵) اگر  $j \leq N_c$  به گام چهارم برو ( $j = j + 1$ ).

گام ۶) تولید مثل.

برای  $k$  و  $l$  داده شده سلامتی هر باکتری  $i$  را به صورت زیر برآورد کن:

$$J_{health}^i = \sum_{j=1}^{N_c+1} J(i, j, k, l) \quad (17)$$

سلامتی باکتری  $i$  معیار این است که این باکتری در طول زندگی خود چقدر مواد غذایی به دست آورده است.

• باکتری‌ها را بر حسب سلامتی خود  $J_{health}^i$  به ترتیب صعودی مرتب کن.

• باکتری‌هایی که بالاترین مقادیر  $J_{health}^i$  را دارند، با محاسبه توسط رابطه (۱۴) می‌میرند و بقیه  $S_r$  باکتری با کمترین مقادیر تکه شده و همان جهت والدین خود را اختیار می‌کنند.

گام ۷) اگر  $k \leq N_{re}$  به گام ۳ برو ( $k = k + 1$ ).

گام ۸) حذف / پراکنده‌گی: با احتمال  $p_{ed}$  به صورت تصادفی هر باکتری  $i$  را حذف و پراکنده کن؛ به گونه‌ای که

سایر آنها در تابع هدف خود شامل اثر نقطه شیر هستند. توان بادی نیز در هر مطالعه موردی در نظر گرفته شده است. الگوریتم در نرم‌افزار MATLAB 7.8 و روی یک کامپیوتر شخصی Intel Core 2 Duo 1.66 GHz اجرا شده است. در هر تست به تعداد ۳۰ اجرای برنامه به صورت مستقل با مقادیر متفاوت و تصادفی حل اولیه برای هر اجرا انجام شده است. نتایج به دست آمده در هر مورد با نتایج روش‌های دیگر مقایسه شده‌اند. مقایسه انجام شده با رویکردهای مختلفی همانند روش‌های قطعی و مکاشفه‌ای اجرا شده است. در همگی موارد، الگوریتم DABFA پیشنهادی یا عملکرد بهتری از سایر روش‌ها دارد یا نتایج قابل مقایسه‌ای به دست می‌دهد. مسأله پخش بار اقتصادی در هر مورد برای هر سیستم یک بار بدون در نظر گرفتن توان بادی و سپس با در نظر گرفتن یک ژنراتور بادی معادل حل شده است. در هریک از چهار مطالعه موردی سهم توان بادی تولید شده به میزان ۱۰ درصد از کل تقاضای بار فرض شده است.

#### ۴-۱- سیستم تست اول

این مطالعه موردی سیستم ۳۰ باسه IEEE با ۶ ژنراتور و تقاضای کل بار ۱۸۰۰ MW است [۲۴، ۳۲]. تلفات سیستم با استفاده از فرمول تلفات (۶) و (۷) با ماتریس ضرایب تلفات زیر در نظر گرفته شده‌اند [۴۱].

$$B = 10^{-5} \begin{bmatrix} 20.0 & 1.0 & 1.5 & 0.5 & 0 & -3.0 \\ 10 & 30.0 & -2.0 & 0.1 & 1.2 & 1.0 \\ 1.5 & -2.0 & 10.0 & -1.0 & 1.0 & 0.8 \\ 0.5 & 0.1 & -1.0 & 15.0 & 0.6 & 5.0 \\ 0 & 1.2 & 1.0 & 0.6 & 25.0 & 2.0 \\ -3.0 & 1.0 & 0.8 & 5.0 & 2.0 & 21 \end{bmatrix} \quad (19)$$

الگوریتم DABFA پیشنهادی ابتدا بدون در نظر گرفتن توان تولیدی بادی اعمال می‌شود و سپس یک واحد معادل بادی با سهم ۱۰ درصد از بار در نظر گرفته می‌شود. نتایج به دست آمده در هر دو زیر بخش در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند. نتایج به دست آمده در زیر بخش اول با نتایج الگوریتم (SWT-NR)<sup>۶</sup> که در مرجع [۳۱] مطرح شده، روش برنامه‌ریزی مربعی متوالی (SQP)<sup>۷</sup> و بهینه‌سازی با جستجوی الگو مطرح شده (PS)<sup>۸</sup> در [۲۴] مقایسه شده‌اند. نتایج و مقایسه آنها در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

#### ۳-۳- کار با قیود

در مسأله پخش بار اقتصادی قیود تساوی و نامساوی به ترتیب با روابط (۴) و (۵) بیان می‌شوند. نوع دوم قیود (قیود نامساوی) بیانگر حدود مرزی تولید توان است. وقتی یک باکتری خارج از مرزهای فضای جستجوی خود شنا کند، قید نامساوی نقض شده است. در این حالت مدخل متناظر در بردار موقعیت باکتری دوباره در آخرین موقعیت مورد تحقق خود مکانیابی می‌شود. این در واقع اصل رد حل‌های غیر قابل تحقق و نگهداری حل‌های قابل تحقق است [۲۹]. این روال به منظور حفظ ویژگی‌های تصادفی الگوریتم و نگهداشتن هر باکتری در حالت فعال به جای اعمال جریمه مرگ، حتی اگر خارج از مرزها حرکت کند، اجرا می‌شود.

قیود تساوی یعنی معادلات توازن بار از طریق فاکتور جریمه با تابع هدف تعمیم داده می‌شوند. معادله به دست آمده به نام تابع ارزیابی ( $F_{eval}$ ) خوانده می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی تابع جریمه به کار گرفته شده به صورت یک تابع دینامیکی غیر خطی افزایشی فرمول بندی می‌شود [۳۰]. تابع ارزیابی پیشنهادی در روش DABFA که در هر تکرار محاسبه خواهد شد، به صورت ریاضی زیر بیان می‌شود:

$$F_{eval} = F_T + (A \times j)^\alpha \left| \sum_{i=1}^{N_g} P_{gi} - P_D - P_L \right|^\beta \quad (18)$$

جایی که  $A$ ،  $\alpha$  و  $\beta$  مقادیری ثابت بوده و  $j$  اندیسی برای گام chemotactic است. فرمول بندی نشان می‌دهد که قسمت اول تابع جریمه  $(A \times j)^\alpha$  با افزایش تکرار بزرگتر می‌شود. یک انتخاب معقول برای ثوابت  $A$ ،  $\alpha$  و  $\beta$  می‌تواند به ترتیب ۰/۵، ۲ و ۲ باشد [۳۰]. در بسیاری از شرایط عملی انتخاب پارامترها وابسته به مسأله است.

#### ۴- نتایج شبیه‌سازی

الگوریتم DABFA پیشنهادی با استفاده از چهار مطالعه موردی تست شده است. برخی از این موارد نمایانگر مسأله پخش بار اقتصادی با در نظر گرفتن تلفات سیستم بوده و

کاربرد الگوریتم کاوش باکتری دینامیکی تطبیقی برای پخش بار بهینه با در نظر گرفتن تأثیر نقطه شیر و توان بادی

جدول (۱): مقایسه و نتایج شبیه‌سازی سیستم تست اول

Power plants (MW)	Without wind power				With wind power
	SWT-NR [۳۱]	SQP [۲۴]	PS [۲۴]	DABFA	DABFA
$P_1$	۲۵۱/۶۹۰	۲۵۱/۶۹۰	۲۵۲/۲۴۰	۲۵۲/۳۱۴	۲۶۹/۳۲۰۱
$P_2$	۳۰۳/۷۸۶	۳۰۳/۷۹۰	۳۰۶/۷۰۰	۳۰۳/۳۲۰	۲۷۰/۴۴۳۳
$P_3$	۵۰۳/۴۸۰	۵۰۳/۴۸۰	۵۰۵/۳۸۰	۵۰۳/۰۹۴	۴۳۵/۲۴۶۰
$P_4$	۳۷۲/۳۲۰	۳۷۲/۳۲۰	۳۶۵/۱۳۰	۳۷۲/۳۴۱	۳۲۹/۰۷۰۹
$P_5$	۳۰۱/۴۷۰	۳۰۱/۴۷۰	۳۰۲/۳۲۰	۳۰۱/۳۲۹	۲۶۱/۰۳۶۴
$P_6$	۱۹۷/۴۰۰	۱۹۷/۴۰۰	۱۹۸/۵۳۰	۱۹۷/۳۱۸	۱۵۸/۵۶۹۷
$P_{loss}$ (MW)	۱۳۰/۱۵۰	۱۳۰/۱۵۰	۱۳۰/۳۱۰	۱۳۰/۱۱۶	۱۰۳/۶۸۶۳
cost(\$/h)	۱۸۷۲۱/۳۹	۱۸۷۲۱/۳۹	۱۸۷۲۱/۵	۱۸۷۲۱/۳۹	۱۶۸۵۳/۴۹۸۲

جدول (۲): نتایج شبیه‌سازی سیستم تست اول برای ۳۰ بار اجرای برنامه

DABFA	cost(\$/h)			Average time(s)
	Best	Mean	Worse	
Without wind power	۱۸۷۲۱/۳۹۵۶	۱۸۷۲۱/۸۳۲۴	۱۸۷۲۷/۴۲۳۶	۰/۵۶۲۹
With wind power	۱۶۸۵۳/۴۹۸۲	۱۶۸۶۲/۵۹۶۲	۱۶۸۶۶/۵۷۳۲	۰/۶۱۳۲

داده‌های سیستم در [۱۰] ارائه شده و در جدول ۵ نیز نشان داده شده‌اند. این جدول همچنین پخش بار بهینه را در هر دو حالت سیستم با و بدون در نظر گرفتن توان بادی نشان می‌دهد. آمارهای همگرایی برای هر دو زیر بخش در جدول ۶ نشان داده شده‌اند.

نتایج الگوریتم پیشنهادی برای تولید بدون توان بادی با نتایج روش‌های دیگر مقایسه شده‌اند. سایر روش‌ها شامل برنامه‌ریزی تکاملی<sup>۹</sup> (EP) [۳۲]، بهینه‌سازی جستجوی ذرات<sup>۱۰</sup> (PSO)، برنامه‌ریزی تکاملی ترکیبی با روش برنامه‌ریزی مربعی متوالی (HEP-SQP)، روش ترکیبی جستجوی ذرات با روش برنامه‌ریزی مربعی متوالی (HPSO-SQP) [۹] و روش ترکیبی تکاملی دیفرانسیلی آشوبی<sup>۱۱</sup> (CED) با روش برنامه‌ریزی مربعی متوالی (CED-SQP) [۳۳] هستند. جدول ۷ این مقایسه را نشان می‌دهد. الگوریتم DABFA پیشنهادی به مقدار زیادی عملکرد بهتری از سایر روش‌ها دارد، زیرا به مینیمم هزینه (\$/h) ۱۷۸۴۵/۸۲ منتج شده که به معنی صرفه‌جویی سالانه (\$) ۸۱۶۰۰۰ در مقایسه با کمترین هزینه به دست آمده از سایر روش‌های جدول ۷ است.

#### ۴-۲- سیستم تست دوم

در این حالت سیستم متشکل از ۲۰ واحد تولیدی و تقاضای کل بار ۲۵۰۰ MW است. داده‌های سیستم شامل ماتریس ضرایب B را می‌توان در [۳۲] یافت. دو زیر بخش در نظر گرفته شده‌اند: در اولی هیچ توان بادی وجود ندارد و در دومی یک ژنراتور بادی معادل که ۱۰ درصد بار را تأمین می‌کند، در نظر گرفته شده است. نتایج به دست آمده در زیر بخش اول با نتایج روش Hopfield [۳۲]، روش LIM و رویکرد PS [۲۴] مقایسه شده‌اند. جدول‌های ۳ و ۴ نتایج اعمال الگوریتم پیشنهادی را برای هر دو زیر بخش به همراه مقایسه‌ها برای زیر بخش اول نشان می‌دهند. در مقایسه با روش‌های دیگر برای سیستم بدون توان بادی تابع هزینه به دست آمده با روش DABFA بسیار بهتر از توابع هزینه به دست آمده با مدل LIM و Hopfield بوده، مقداری کمتر از تابع هزینه به دست آمده از رویکرد PS است.

#### ۴-۳- سیستم تست سوم

این سیستم تست شامل ۱۳ واحد تولیدی با تقاضای کل بار ۱۸۰۰ MW و با در نظر گرفتن اثرات نقطه شیر است.



جدول (۳): نتایج مدل‌های PS, LIM, Hopfield و DABFA برای سیستم تست دوم

Power plants (MW)	Without wind power				With wind power
	LIM[۲۴]	Hopfield[۳۲]	PS[۲۴]	DABFA	DABFA
P <sub>۱</sub>	۵۱۲/۷۸۰۵	۵۱۲/۷۸۰۴	۵۰۱/۷۸۸۲	۵۰۱/۱۰۸۷	۵۰۱/۷۳۳۵
P <sub>۲</sub>	۱۶۹/۱۰۳۳	۱۶۹/۱۰۳۵	۱۶۹/۱۰۳۵	۱۶۹/۸۷۰۷	۱۱۴/۹۱۲۵
P <sub>۳</sub>	۱۲۶/۸۸۹۸	۱۲۶/۸۸۹۷	۱۲۶/۸۸۱۹	۱۲۶/۷۱۴۶	۸۶/۲۹۷۰
P <sub>۴</sub>	۱۰۲/۸۶۵۷	۱۰۲/۸۶۵۶	۱۰۲/۸۶۸۴	۱۰۲/۵۱۸۶	۷۵/۶۴۷۷
P <sub>۵</sub>	۱۱۳/۶۸۳۶	۱۱۳/۶۸۳۶	۱۱۳/۶۸۳۶	۱۱۳/۱۷۸۸	۸۵/۴۱۹۵
P <sub>۶</sub>	۷۳/۵۷۱۰	۷۳/۵۷۰۹	۷۲/۱۵۶۴	۷۲/۳۵۹۴	۸۷/۳۲۲۸
P <sub>۷</sub>	۱۱۵/۲۸۷۸	۱۱۵/۲۸۷۶	۱۱۶/۷۸۷۰	۱۱۶/۲۲۸۵	۹۷/۰۳۱۸
P <sub>۸</sub>	۱۱۶/۳۹۹۴	۱۱۶/۳۹۹۴	۱۱۶/۳۹۹۲	۱۱۶/۷۹۹۲	۱۴۷/۴۲۳۵
P <sub>۹</sub>	۱۰۰/۴۰۶۲	۱۰۰/۴۰۶۳	۱۰۰/۴۰۶۳	۱۰۰/۴۸۰۷	۱۰۴/۰۹۹۴
P <sub>۱۰</sub>	۱۰۶/۰۲۶۷	۱۰۶/۰۲۶۷	۱۰۶/۰۲۴۲	۱۰۶/۴۷۸۳	۷۲/۱۳۴۳
P <sub>۱۱</sub>	۱۵۰/۲۳۹۴	۱۵۰/۲۳۹۵	۱۵۰/۲۳۶۰	۱۵۰/۶۶۰۳	۱۳۷/۱۰۵۷
P <sub>۱۲</sub>	۲۹۲/۷۶۴۸	۲۹۲/۷۶۴۷	۳۰۴/۰۷۸۴	۳۰۴/۰۲۷۸	۱۸۷/۰۶۱۹
P <sub>۱۳</sub>	۱۱۹/۱۱۵۴	۱۱۹/۱۱۵۵	۱۱۹/۱۱۴۷	۱۱۹/۸۰۰۵	۱۲۶/۱۸۷۷
P <sub>۱۴</sub>	۳۰/۸۳۴۰	۳۰/۸۳۴۲	۳۰/۸۳۵۶	۳۰/۸۰۶۷	۷۲/۴۳۰۵
P <sub>۱۵</sub>	۱۱۵/۸۰۵۷	۱۱۵/۸۰۵۶	۱۱۵/۸۰۵۶	۱۱۴/۸۲۷۹	۵۴/۱۷۰۴
P <sub>۱۶</sub>	۳۶/۲۵۴۵	۱۱۵/۲۵۴۵	۳۶/۴۸۸۳	۳۶/۴۰۷۱	۳۶/۸۴۰۹
P <sub>۱۷</sub>	۶۶/۸۵۹۰	۶۶/۸۵۹۰	۶۶/۸۵۸۹	۶۵/۹۲۲۵	۸۱/۱۶۸۰
P <sub>۱۸</sub>	۸۷/۹۷۲۰	۸۷/۹۷۲۰	۸۷/۹۷۰۴	۸۷/۹۹۰۰	۱۰۴/۹۷۰۷
P <sub>۱۹</sub>	۱۰۰/۸۰۳۳	۱۰۰/۸۰۳۳	۱۰۰/۸۰۳۳	۱۰۰/۴۷۹۳	۱۰۳/۵۹۴۸
P <sub>۲۰</sub>	۵۴/۳۰۵۰	۵۴/۳۰۵۰	۵۴/۳۰۴۳	۵۴/۹۰۱۱	۴۸/۱۵۵۹
Ploss (MW)	۹۱/۹۶۷۱	۹۱/۹۶۷۰	۹۲/۶۰۱۲	۹۲/۵۶۰۸	۷۳/۷۰۴۸
Cost (\$/h)	۶۲۴۵۶/۶۳۹	۶۲۴۵۶/۶۳۴	۶۲۱۳۶/۶۶۱	۶۲۱۳۶/۶۵۰	۵۷۰۵۷/۸۴۱۱
Mean time (S)	۳۳/۷۵۷۰	۶/۳۵۵۰	-	۰/۸۲۳۳	۰/۷۴۳۲

جدول (۴): نتایج شبیه‌سازی سیستم تست دوم برای ۳۰ بار اجرای برنامه

DABFA	cost(\$/h)			Average time(s)
	Best	Mean	Worse	
Without wind power	۶۲۱۳۶/۶۵۰۲	۶۲۱۳۹/۹۹۹۹	۶۲۲۳۰/۰۷۵۵	۰/۸۲۳۳
With wind power	۵۷۰۵۷/۸۴۱۱	۵۷۱۰۶/۹۳۶۳	۵۷۱۴۲/۶۴۴۳	۰/۷۴۳۲

کاربرد الگوریتم کاوش باکتری دینامیکی تطبیقی برای پخش بار بهینه با در نظر گرفتن تأثیر نقطه شیر و توان بادی

جدول (۵): اطلاعات سیستم شامل ۱۳ واحد تولیدی در سیستم تست سوم

Unit	Pmin (MW)	Pmax (MW)	a	b	c	e	f	Generation without wind power (MW)	Generation with wind power (MW)
P <sub>1</sub>	۰	۶۸۰	۰/۰۰۰۲۸	۸/۱۰	۵۵۰	۳۰۰	۰/۰۳۵	۵۲۵/۶۳۰۱	۲۷۵/۳۲۵۰
P <sub>۲</sub>	۰	۳۶۰	۰/۰۰۰۵۶	۸/۱۰	۳۰۹	۲۰۰	۰/۰۴۲	۲۵۲/۹۴۳۲	۱۷۶/۸۴۹۴
P <sub>۳</sub>	۰	۳۶۰	۰/۰۰۰۵۶	۸/۱۰	۳۰۷	۱۵۰	۰/۰۴۲	۲۵۷/۶۸۱۸	۲۳۸/۳۵۷۲
P <sub>۴</sub>	۶۰	۱۸۰	۰/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳	۷۸/۳۴۲۴	۱۳۳/۴۴۰۲
P <sub>۵</sub>	۶۰	۱۸۰	۰/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳	۸۳/۴۰۱۶	۱۱۰/۳۵۶۲
P <sub>۶</sub>	۶۰	۱۸۰	۰/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳	۸۹/۹۴۷۶	۶۰/۶۰۳۶
P <sub>۷</sub>	۶۰	۱۸۰	۰/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳	۸۷/۳۵۲۳	۱۱۹/۴۵۶۸
P <sub>۸</sub>	۶۰	۱۸۰	۰/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳	۱۰۰/۹۰۷۱	۸۰/۳۲۱۱
P <sub>۹</sub>	۶۰	۱۸۰	۰/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳	۱۳۱/۱۲۲۹	۱۵۶/۹۲۷۸
P <sub>۱۰</sub>	۴۰	۱۲۰	۰/۰۰۲۸۴	۸/۶۰	۱۲۶	۱۰۰	۰/۰۸۴	۴۰/۴۱۸۱	۴۳/۷۶۸۹
P <sub>۱۱</sub>	۴۰	۱۲۰	۰/۰۰۲۸۴	۸/۶۰	۱۲۶	۱۰۰	۰/۰۸۴	۴۰/۷۷۹۵	۹۴/۰۷۹۴
P <sub>۱۲</sub>	۵۵	۱۲۰	۰/۰۰۲۸۴	۸/۶۰	۱۲۶	۱۰۰	۰/۰۸۴	۵۵/۸۰۷۵	۵۷/۳۷۷۰
P <sub>۱۳</sub>	۵۵	۱۲۰	۰/۰۰۲۸۴	۸/۶۰	۱۲۶	۱۰۰	۰/۰۸۴	۵۵/۶۶۶۱	۷۳/۱۳۷۵

جدول (۶): نتایج شبیه‌سازی سیستم تست سوم برای ۳۰ بار اجرای برنامه

DABFA	cost(\$/h)			Average time(s)
	Best	Mean	Worse	
Without wind power	۱۷۸۴۵/۸۱۸۰	۱۷۸۶۵/۴۲۶۷	۱۷۹۰۱/۰۱۸۲	۰/۶۳۶۱
With wind power	۱۷۲۶۲/۴۱۸۷	۱۷۲۹۷/۴۰۸۹	۱۷۳۶۱/۲۹۶۰	۰/۵۲۵۳

جدول (۷): مقایسه و نتایج شبیه‌سازی برای سیستم تست سوم

Method	Total cost(\$/h)	Mean time(s)
EP[۱۰]	۱۷۹۹۴/۰۷	۱۵۷/۴۳۰۰
PSO[۹]	۱۸۰۳۰/۷۲	۷۷/۳۷۰۰
HEP-SQP[۹]	۱۷۹۹۱/۰۳	۱۲۱/۹۳۰۰
HPSO-SQP[۹]	۱۷۹۶۹/۹۳	۳۳/۹۷۰۰
DE[۳۳]	۱۷۹۵۹/۶۱	۲/۶۹۰۰
DEC[۳۳]	۱۷۹۶۰/۱۱	۲/۷۴۰۰
CDE-SQP[۳۳]	۱۷۹۳۸/۹۵	۰/۵۰۰۰
DABFA	۱۷۸۴۵/۸۲	۰/۶۳۶۱

خلاصه‌ای از رفتار همگرایی ۳۰ اجرای الگوریتم برای دو زیر بخش در جدول ۹ نشان داده شده است. نتایج برای حالت بدون توان بادی با روش‌های فهرست شده در مورد تست سوم به علاوه روش PSO اصلاح شده (MPSO) ارائه شده در [۳۴] مقایسه شده‌اند. نتایج مقایسه در جدول ۱۰ نشان داده شده‌اند. کمترین هزینه به دست آمده با الگوریتم DABFA پیشنهادی (\$/h) ۱۱۹۸۹۸/۱۹۷۰ بوده که کمتر از هزینه‌های به دست آمده با سایر روش‌های جدول ۱۰ است. مقدار سالانه کاهش هزینه با استفاده از

#### ۴-۴- سیستم تست چهارم

در این مطالعه موردی تعداد واحدهای تولیدی ۴۰ و تقاضای کل بار ۱۰۵۰۰ MW بوده و اثرات نقطه شیر هم در نظر گرفته شده است. داده‌های سیستم در [۱۰] قابل دسترسی هستند. الگوریتم DABFA در این سیستم یک بار بدون توان بادی و بار دیگر با در نظر گرفتن توان بادی آزمایش شده است. تولید بهینه هر واحد برای هر دو زیر بخش در جدول ۸ نشان داده شده است.

روش پیشنهادی (\$) ۱۶۱۵۱۵۳۰/۳۲۰ است. این مقدار با دست آمده از سایر روش‌های جدول ۱۰ محاسبه شده است. مقایسه نمودن هزینه روش پیشنهادی و کمترین هزینه به

جدول (۸): حل بهینه سیستم آزمون چهارم با ۴۰ واحد تولیدی

Unit	P <sub>min</sub> (MW)	P <sub>max</sub> (MW)	P <sub>OPT</sub> no wind (MW)	P <sub>OPT</sub> with wind (MW)	Unit	P <sub>min</sub> (MW)	P <sub>max</sub> (MW)	P <sub>OPT</sub> no wind (MW)	P <sub>OPT</sub> with wind (MW)
P <sub>۱</sub>	۳۶	۱۱۴	۱۰۶/۴۴۱۵	۸۴/۵۳۷۸	P <sub>۲۱</sub>	۲۵۴	۵۵۰	۵۴۲/۹۰۷۹	۴۶۰/۳۹۷۹
P <sub>۲</sub>	۳۶	۱۱۴	۱۱۲/۲۹۹۷	۸۶/۱۲۱۵	P <sub>۲۲</sub>	۲۵۴	۵۵۰	۵۲۱/۱۷۵۴	۴۶۴/۰۸۴۰
P <sub>۳</sub>	۶۰	۱۲۰	۹۱/۳۸۴۴	۱۰۳/۶۴۸۸	P <sub>۲۳</sub>	۲۵۴	۵۵۰	۵۲۸/۷۲۹۶	۴۵۶/۰۴۰۵
P <sub>۴</sub>	۸۰	۱۹۰	۱۶۴/۸۰۰۶	۱۵۰/۹۴۵۵	P <sub>۲۴</sub>	۲۵۴	۵۵۰	۵۴۸/۴۵۹۱	۴۳۲/۷۵۸۶
P <sub>۵</sub>	۴۷	۹۷	۹۷/۰۰۰۰	۹۳/۳۸۶۷	P <sub>۲۵</sub>	۲۵۴	۵۵۰	۵۱۲/۸۰۲۹	۴۳۳/۸۲۶۸
P <sub>۶</sub>	۶۸	۱۴۰	۱۴۰/۰۰۰۰	۹۹/۷۴۰۹	P <sub>۲۶</sub>	۲۵۴	۵۵۰	۵۲۲/۵۰۲۰	۳۵۲/۵۷۳۷
P <sub>۷</sub>	۱۱۰	۳۰۰	۲۹۷/۹۸۳۳	۲۴۳/۸۱۹۶	P <sub>۲۷</sub>	۱۰	۱۵۰	۱۰/۰۰۰۰	۸۰/۵۱۷۵
P <sub>۸</sub>	۱۳۵	۳۰۰	۲۹۸/۷۵۵۹	۲۴۱/۵۳۸۱	P <sub>۲۸</sub>	۱۰	۱۵۰	۱۰/۰۰۰۰	۲۲/۴۱۶۸
P <sub>۹</sub>	۱۳۵	۳۰۰	۲۹۸/۷۶۸۱	۱۹۸/۲۱۷۲	P <sub>۲۹</sub>	۱۰	۱۵۰	۱۰/۰۰۰۰	۴۶/۰۴۱۱
P <sub>۱۰</sub>	۱۳۰	۳۰۰	۱۳۰/۰۰۰۰	۲۱۱/۸۳۵۶	P <sub>۳۰</sub>	۴۷	۹۷	۸۴/۴۱۷۲	۸۳/۶۳۵۳
P <sub>۱۱</sub>	۹۴	۳۷۵	۱۵۴/۸۰۴۴	۲۴۲/۲۷۹۳	P <sub>۳۱</sub>	۶۰	۱۹۰	۱۸۰/۲۹۹۷	۱۴۰/۴۸۴۲
P <sub>۱۲</sub>	۹۴	۳۷۶	۹۴/۶۲۹۸	۳۵۶/۰۳۱	P <sub>۳۲</sub>	۶۰	۱۹۰	۱۸۹/۳۱۷۲	۱۸۹/۷۴۸۲
P <sub>۱۳</sub>	۱۲۵	۵۰۰	۲۱۹/۰۱۴۸	۲۵۵/۶۲۴۴	P <sub>۳۳</sub>	۶۰	۱۹۰	۱۸۱/۲۵۳۸	۹۷/۹۳۹۲
P <sub>۱۴</sub>	۱۲۵	۵۰۰	۳۹۲/۸۰۰۳	۲۱۹/۷۷۹۱	P <sub>۳۴</sub>	۹۰	۲۰۰	۱۷۸/۳۳۰۳	۱۶۴/۶۰۵۲
P <sub>۱۵</sub>	۱۲۵	۵۰۰	۳۰۷/۲۹۸۴	۳۶۱/۸۷۰۵	P <sub>۳۵</sub>	۹۰	۲۰۰	۱۹۶/۱۳۳۰	۱۴۴/۲۵۷۵
P <sub>۱۶</sub>	۱۲۵	۵۰۰	۳۰۱/۱۶۰۵	۱۵۴/۳۶۴۱	P <sub>۳۶</sub>	۹۰	۲۰۰	۲۰۰/۰۰۰۰	۱۷۲/۱۲۶۹
P <sub>۱۷</sub>	۲۲۰	۵۰۰	۴۹۱/۴۰۷۲	۴۲۲/۰۰۱۸	P <sub>۳۷</sub>	۲۵	۱۱۰	۱۱۰/۰۰۰۰	۸۳/۴۴۲۶
P <sub>۱۸</sub>	۲۲۰	۵۰۰	۴۹۸/۳۳۹۳	۴۷۴/۶۲۳۳	P <sub>۳۸</sub>	۲۵	۱۱۰	۱۱۰/۰۰۰۰	۷۵/۵۰۴۵
P <sub>۱۹</sub>	۲۴۲	۵۵۰	۵۱۱/۷۲۷۱	۳۹۸/۸۸۸۸	P <sub>۳۹</sub>	۲۵	۱۱۰	۱۱۰/۰۰۰۰	۸۴/۵۷۲۱
P <sub>۲۰</sub>	۲۴۲	۵۵۰	۵۲۰/۲۹۳۹	۵۲۸/۷۸۹۹	P <sub>۴۰</sub>	۲۴۲	۵۵۰	۵۱۴/۷۸۲۶	۵۳۷/۰۰۱۶

جدول (۹): نتایج شبیه‌سازی سیستم آزمون چهارم برای ۳۰ بار اجرای برنامه

DABFA	cost(\$/h)			Average time(s)
	Best	Mean	Worse	
Without wind power	۱۱۹۸۹۸/۱۹۷۰	۱۲۰۲۹۴/۳۷۲۵	۱۲۱۳۶۸/۱۲۵۵	۶/۴۱۶۳
With wind power	۱۱۷۴۱۶/۶۹۷۶	۱۱۷۶۸۵/۲۹۵۹	۱۱۷۹۴۹/۱۲۴۴	۷/۸۰۹۴

جدول (۱۰): مقایسه و نتایج شبیه‌سازی برای سیستم آزمون چهارم

Method	Total cost(\$/h)	Mean time(s)
EP[۱۰]	۱۲۲۶۲۴/۳۵۰	۱۱۶۷/۳۵
PSO[۹]	۱۲۲۹۳۰/۴۵۰	۹۳۳/۳۹
MPSO[۳۴]	۱۲۲۲۵۲/۲۶۵	-
HEP-SQP[۹]	۱۲۲۳۲۳/۹۷۰	۹۹۷/۷۳
HPSO-SQP[۹]	۱۲۲۰۹۴/۶۷۰	۷۳۳/۹۷
DE[۳۳]	۱۲۱۹۰۰/۸۷۹	۵/۱۲
DEC[۳۳]	۱۲۱۸۱۵/۸۰۱	۵/۰۱
CDE-SQP[۳۳]	۱۲۱۷۴۱/۹۷۹	۱۴/۲۶
DABFA	۱۱۹۸۹۸/۱۹۷	۶/۴۲

کاربرد الگوریتم کاوش باکتری دینامیکی تطبیقی برای پخش بار بهینه با در نظر گرفتن تأثیر نقطه شیر و توان بادی

- solving the economic dispatch considering the generator constraints', IEEE Trans. Power Syst, Vol. 18, No. 3, pp. 1187-1195, 2003.
- [5] ATTAVIRIYANUPAP, P., KITA, H., TANAKA, E., HASEGAWA, J., 'A hybrid EP and SQP for dynamic economic dispatch with nonsmooth fuel cost function', IEEE Power Eng. Rev, Vol. 22, No. 4, pp. 77-77, 2002.
- [6] SMITH, J., THRESHER, R., ZAVADIL, R., ET, A.L., 'A mighty wind', IEEE Power Energy Mag, Vol. 7, No. 2, pp. 41-51, 2009.
- [7] DEMEO, E.A., GRANT, W., MILLIGAN, M.R., SCHUERGER, M.J., 'Wind plant integration', IEEE Power Energy Mag, Vol. 3, No. 6, pp. 38-46, 2005.
- [8] ARAVINDHABABU, P., NAYAR, K.R., 'Economic dispatch based on optimal lambda using radial basis function network', Int. J. Electr.Power Energy Syst, Vol. 24, No. 7, pp. 551-556, 2002.
- [9] VICTOIRE, T.A.A., JEYAKUMAR, A.E., 'Hybrid PSO-SQP for economic dispatch with valve-point effect', Electr.Power Syst. Res, Vol. 71, No. 1, pp. 51-59, 2004.
- [10] SINHA, N., CHAKRABARTI, R., CHATTOPADHYAY, P.K., 'Evolutionary programming techniques for economic load dispatch', IEEE Trans. Evol. Comput, Vol. 7, No. 1, pp. 83-94, 2003.
- [11] TIPPAYACHAI, J., ONGSAKUL, W., NGAMROO, I., 'Parallel micro genetic algorithm for constrained economic dispatch', IEEE Trans. Power Syst, Vol. 17, No. 3, pp. 790-797, 2002.
- [12] LIN, W., CHENG, F., TSAY, M., 'An improved Tabu search for economic dispatch with multiple minima', IEEE Trans.Power Syst, Vol. 17, No. 1, pp. 108-112, 2002.
- [13] SELVAKUMAR, A.I., THANUSHKODI, K., 'A new particle swarm optimization solution to nonconvex economic dispatch problems', IEEE Trans. Power Syst, Vol. 22, No. 1, pp. 42-51, 2007.
- [14] PASSINO, K.M., 'Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control', IEEE Control Syst.Mag, Vol. 22, No. 3, pp. 52-67, 2002.
- [15] TANG, W.J., WU, Q.H., SAUNDERS, J.R., 'Bacterial foraging algorithm for dynamic environments'. IEEE Congress Evolutionary Computation (CEC 2006), pp. 1324-1330, 2006.
- [16] TANG, W.J., LI, M.S., HE, S., WU, Q.H., SAUNDERS, J.R., 'Optimal power flow with dynamic loads using bacterial foraging algorithm'. Int. Conf. on Power System

این حالت (سیستم تست با ۴۰ واحد تولیدی) نشان می‌دهد که الگوریتم DABFA پیشنهادی با وجود ابعاد بالای ابر فضای جستجو و ناهم‌واری تابع هدف مربعی ناشی از اثرات نقطه شیر، عملکرد مناسبی در مسأله پخش بار اقتصادی دارد.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک الگوریتم DABFA برای پخش بار اقتصادی بهینه معرفی شد. تأثیر در نظر گرفتن توان بادی در سیستم‌های تولیدی و روی پخش بار اقتصادی مطالعه گردید. فرمول‌بندی مسأله پخش بار اقتصادی با در نظر گرفتن اثرات نقطه شیر و تلفات توان ارائه شد. به علاوه، فرمول‌بندی مسأله توان بادی را نیز به منظور نشان دادن و بررسی مزایای اقتصادی قرار دادن توان بادی در شبکه‌های سیستم قدرت مورد نظر قرار داد. الگوریتم پیشنهادی یک تکنیک کاوش باکتری اصلاح شده است که یک روش دینامیکی غیر خطی را برای به روز کردن بردار جستجو و بهبود همگرایی الگوریتم اعمال می‌کند. همچنین، از یک معیار توقف تطبیقی برای کاهش بار محاسباتی الگوریتم استفاده می‌کند. نتایج شبیه‌سازی موثر و مقاوم بودن الگوریتم پیشنهادی را نشان داده‌اند. مقایسه با سایر روش‌های قطعی و مکاشفه‌ای نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی در اکثر حالات به نتایج بسیار بهتری رسیده و در سایر حالات هم نتایج حاصله از روش پیشنهادی چندان بدتر نبوده است.

## ۶- مراجع

- [1] WOOD, A.J., WOLLENBERG, B.F., 'Power generation operation and control' (Wiley, New York, USA, 1996, 2nd edn.)
- [2] VICTOIRE, T.A.A., JEYAKUMAR, A.E., 'Reserve constrained dynamic dispatch of units with valve-point effects', IEEE Trans. Power Syst, Vol. 20, No. 3, pp. 1273-1282, 2005.
- [3] LEE, F.N., BREIPOHL, A.M., 'Reserve constrained economic dispatch with prohibited operating zones', IEEE Trans.Power Syst, Vol. 8, No. 1, pp. 246-254, 1993.
- [4] GAING, Z., 'Particle swarm optimization to

- [29] ALHAJRI, M.F., ALRASHIDI, M.R., EL-HAWARY, M.E., 'Hybrid particle swarm optimization approach for optimal distribution generation sizing and allocation in distribution systems'. Canadian Conf. on Electr. Comp. Eng. (CCECE 2007), pp. 1290-1293, 2007.
- [30] JOINES, J.A., HOUCK, C.R., 'On the use of non-stationary penalty functions to solve nonlinear constrained optimization problems with GA's'. Proc. First IEEE Conf. on Evolutionary Computation, 1994 (IEEE World Congress on Computational Intelligence), Vol. 2, pp. 579-584, 1994.
- [31] DHILLON, J.S., KOTHARI, D.P., 'The surrogate worth trade-off approach for multiobjective thermal power dispatch problem', Electr. Power Syst. Res, Vol. 56, No. 2, pp. 103-110, 2000.
- [32] SU, C., LIN, C., 'New approach with a Hopfield modeling framework to economic dispatch', IEEE Trans. Power Syst, Vol. 15, No. 2, pp. 541-545, 2000.
- [33] COELHO, L.S., MARIANI, V.C., 'Combining of chaotic differential evolution and quadratic programming for economic dispatch optimization with valve-point effect', IEEE Trans. Power Syst, Vol. 21, No. 2, pp. 989-996, 2006.
- [34] PARK, J., LEE, K., SHIN, J., LEE, K.Y., 'A particle swarm optimization for economic dispatch with nonsmooth cost functions', IEEE Trans. Power Syst, Vol. 20, No. 1, pp. 34-42, 2005.
- Technology (PowerCon 2006), pp.1-5, 2006.
- [17] DAS, T.K., VENAYAGAMOORTHY, G.K., ALIYU, U.O., 'Bio-inspired algorithms for the design of multiple optimal power system stabilizers: SPPSO and BFA', IEEE Trans. Ind. Appl, Vol. 44, No. 5, pp. 1445-1457, 2008.
- [18] MISHRA, S., 'A hybrid least square-fuzzy bacterial foraging strategy for harmonic estimation', IEEE Trans. Evol. Comput, Vol. 9, No. 1, pp. 61-73, 2005.
- [19] PANIGRAHI, B.K., PANDI, V.R., 'Bacterial foraging optimisation: Nelder-Mead hybrid algorithm for economic load dispatch', IET Gener. Transm. Distrib, Vol. 2, No. 4, pp. 556-565, 2008.
- [20] CHEN, H., ZHU, Y., HU, K., 'Self-adaptation in bacterial foraging optimization algorithm'. Third Int. Conf. on Intelligent System and Knowledge Engineering (ISKE 2008), Vol. 1, pp. 1026-1031, 2008.
- [21] CHU, Y., MI, H., LIAO, H., JI, Z., WU, Q.H., 'A fast bacterial swarming algorithm for high-dimensional function optimization'. IEEE Congress Evolutionary Computation (IEEE World Congress on Computational Intelligence)(CEC2008), pp.3135-3140, 2008.
- [22] EL-HAWARY, M.E., CHRISTENSEN, G.S., 'Optimal economic operation of electric power systems' (Academic Press, New York, USA, 1979).
- [23] FLETCHER, R., 'Practical methods of optimization' (Wiley, New York, USA, 2002, 2nd edn.).
- [24] ALHAJRI, M.F., EL-HAWARY, M.E., 'Pattern search optimization applied to convex and non-convex economic dispatch'. IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics (ISIC 2007), pp. 2674-2678, 2007.
- [25] BERGEN, R., VITTAL, V., 'Power systems analysis' (Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 1999, 2nd edn.).
- [26] SHI, Y., EBERHART, R., 'A modified particle swarm optimizer'. Proc. IEEE Int. Conf. on Evolutionary Computation, 1998 (IEEE World Congress on Computational Intelligence), pp. 69-73, 1998.
- [27] NAKA, S., GENJI, T., YURA, T., FUKUYAMA, Y., 'Practical distribution state estimation using hybrid particle swarm optimization'. 2001 IEEE Power Eng. Society Winter Meeting, Vol. 2, pp. 815-820, 2001.
- [28] PERAM, T., VEERAMACHANENIM, K., MOHAN, C.K., 'Fitness distance-ratio based particle swarm optimization'. Proc. 2003 IEEE Swarm Intelligence Symp (SIS'03), pp. 174-181, 2003.

### زیر نویس‌ها

- 
- 1-Dynamic Adaptive Bacterial Foraging Algorithm
  - 2-Economic Dispatch
  - 3-Bacterial Foraging Algorithm
  - 4 - Lambda Iteration Method
  - 5 - Particle Swarm Optimisation
  - 6 - surrogate worth trade-off with Newton-Raphson
  - 7 - sequential quadratic programming
  - 8 - pattern search
  - 9 - evolutionary programming
  - 10 - particle swarm optimisation
  - 11 - chaotic differential evolution