

الگوریتم رقابت استعماری بهبود یافته مبتنی بر اتوماتای یادگیر

شیرین خضری^۱، مریم غلامی^۲، محمدرضا مبیدی^۳، زهرا السادات قندریز^۴

^۱دانشکده برق و رایانه و فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد، ایران

shirin.khezri@gmail.com

^۲دانشکده برق و رایانه و فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، ایران

m.gholami@gmail.com

^۳دانشکده کامپیووتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

mmeybodi@aut.ac.ir

^۴دانشکده برق و رایانه و فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، ایران

z.ghandriz@gmail.com

چکیده- در این مقاله یک مدل ترکیبی مبتنی بر الگوریتم رقابت استعماری بهبود یافته است. این الگوریتم بهبود یافته ای الگوریتم رقابت استعماری (ICA) است، که از ایده‌ی تکامل سیاسی- اجتماعی بشر الهام گرفته است. در الگوریتم اولیه تعدادی کشور استعمارگر همراه با کشورهای مستعمراتشان به جستجو برای یافتن نقطه‌ی بهینه عمومی برای حل مسئله بهینه‌سازی می‌پردازند. در این مقاله از تعدادی اتوماتای یادگیر برای تنظیم شاعر حرکت مستعمرات به سمت استعمارگرهاشان در فرآیند جستجوی الگوریتم ICA استفاده می‌نماید. در الگوریتم پیشنهادی به هر کشور یک اتوماتای یادگیر منسوب شده است که وظیفه‌ی برقراری تعادل بین جستجوی سراسری و جستجوی محلی را بر عهده دارد، در نتیجه یک جستجوی هوشمندانه و هدفمندتر در الگوریتم رقابت استعماری انجام می‌شود. عملکرد الگوریتم با چهارتابع محک با نامهای (Griewank, Rosenbrock, Schwefel, Rastrigin) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجربی حاصل از اجرای الگوریتم رقابت استعماری بهبود یافته نشان دادند که کیفیت راه حل بهینه عمومی و سرعت همگرایی به نقطه‌ی بهینه در این الگوریتم در مقایسه با الگوریتم ICA استاندارد و ICA تطبیقی بهبود قابل توجهی یافته است.

کلید واژه- الگوریتم رقابت استعماری، اتوماتای یادگیر، حرکت هوشمندانه، مستعمره، امپراطوری

در این الگوریتم کشورها (مستعمرات) با یک زاویه معین به سمت استعمار حرکت می‌کنند، که امکان گیر افتادن در دام بهینه محلی وجود دارد. در این مقاله روشی ارائه شده است که با ایجاد هوشمندی در جهت حرکت کشورها توسط اتوماتای یادگیر، شاعر حرکت در فرآیند جستجوی الگوریتم ICA بطور تطبیقی تنظیم می‌شود. با این روش امکان جستجوی هدفمندتری ایجاد می-شود، در واقع بین جستجوی محلی و عمومی بطور مناسبی موازن ایجاد می-کند. ما الگوریتم بهبود یافته را در مورد چند تابع محک استانداره، آزمایش کردیم. نتایج تجربی بدست آمده نشان داد که سرعت همگرایی و کیفیت راه-حل بدست آمده الگوریتم پیشنهادی، به مرتبه بهتر از الگوریتم ICA استاندارد و ICA تطبیقی است.

این مقاله به این صورت سازماندهی شده است که در بخش دوم به معرفی الگوریتم ICA می‌پردازیم. سپس در بخش سوم الگوریتم پیشنهادی ارائه می-شود. در بخش چهارم نتایج تجربی الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با از الگوریتم ICA و ICA تطبیقی ارائه شده است و در بخش آخر به نتیجه‌گیری می‌پردازیم.

۲- الگوریتم رقابت استعماری

الگوریتم رقابت استعماری یک الگوریتم جدید در زمینه محاسبات تکاملی است که همانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی، این الگوریتم نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آن‌ها یک کشور نامیده می‌شوند، شروع

نیاز به جستجو در حل مسائل کاربردی امری غیر قابل اجتناب و در عین حال دشوار است. به همین جهت تعداد زیادی از الگوریتم‌های جستجو با فلسفه‌ها و دامنه استفاده متفاوت بوجود آمداند. الگوریتم‌های تکاملی دسته‌ای از الگوریتم‌های بهینه‌سازی تصادفی می‌باشند که در آنها از قوانین تکاملی موجود در طبیعت به منظور بهینه‌سازی استفاده می‌شود. این الگوریتم‌ها معمولا برای حل مسائل بهینه‌سازی پارامتری که سایر روش‌های فرمال از حل آنها عاجزند مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله این روش‌ها می‌توان به الگوریتم‌های رُنتیک (الهام گرفته از تکامل بیولوژیکی انسان و سایر موجودات) [۱]، بهینه‌سازی حرکت گروهی ذرات [۲] و روش بازیخت شبیه-سازی شده (با الهام گیری از فرایند تبرید فلزات) [۳]، اشاره نمود. الگوریتم های بهینه‌سازی معرفی شده، به طور عمده الهام گرفته از فرایند های طبیعی می‌باشند و در ارائه این الگوریتم‌ها به سایر نمودهای تکامل انسانی توجهی نشده است. اخیرا الگوریتم جدیدی با نام الگوریتم رقابت استعماری در زمینه محاسبات تکاملی، توسعه آتش پرگرگی و لوکاس در سال ۲۰۰۷ ارائه شده است که نه از یک پدیده طبیعی، بلکه از یک پدیده اجتماعی - انسانی الهام گرفته است[۴]. الگوریتم رقابت استعماری ماهیت پیوسته دارد و در کارهای متعدد کارایی خود را ثابت کرده است[۵، ۶، ۷، ۸، ۹].

دست بدده، در جریان رقابت‌های امپریالیستی، حذف خواهد شد. این حذف شدن، به صورت تدریجی صورت می‌پذیرد. بدین معنی که به مرور زمان، امپراطوری‌های ضعیف، مستعمرات خود را از دست داده و امپراطوری‌های قویتر، این مستعمرات را تصاحب کرده و بر قدرت خویش می‌افزایند.

الگوریتم موردنظر تا پرآورده شدن یک شرط همگرایی یا تأثیر متعادل تکرارهای ادامه می‌یابد. پس از مدتی، همه امپراطوری‌ها، سقوط کرده و تنها یک امپراطوری خواهیم داشت و بقیه کشورها تحت کنترل این امپراطوری واحد، قرار می‌گیرند.

۳- الگوریتم رقابت استعماری پیشنهادی

الگوریتم *ICA* مانند بسیاری از الگوریتم‌های تکاملی به دلیل استفاده از یک مکانیزم جستجوی محلی، فاقد توانایی برای یک جستجوی عمومی خوب در فضای مسئله است. از این‌رو به دلیل احتمال گیر افتادن در بهینه محلی، امکان دور شدن از جواب بهینه عمومی و همگرایی زودرس وجود دارد. در این مقاله به جای حرکت مستعمره به اندازه‌ی X واحد در جهت خط و اصل مستعمره به سمت استعمارگر، با استفاده از بردار جهت، شاعر حرکت مستعمرات به سمت استعمارگرهاشان را در فرآیند جستجوی الگوریتم *ICA* با استفاده از اتوماتای یادگیر به صورت تطبیقی تنظیم کردیم و حرکت با هوشمندی بیشتری انجام می‌شود.

۱-۱- حرکت تطبیقی در سیاست جذب

مدل پیشنهادی *ICA_LA* ترکیبی از اتوماتای یادگیر و الگوریتم بهینه-سازی رقابت استعماری می‌باشد. در این مدل به هر یک از کشورهای موجود، یک اتوamatای یادگیر اختصاص می‌دهد. هر اتوamatای یادگیر در واقع به عنوان مغز کشور می‌باشد که حرکت کشور در فضای جستجو را رهبری می‌نماید. هر اتوamatای یادگیر دارای دو عمل «دبناهاروی» و «ادامه مسیر فعلی» می‌باشد. هرگاه اتوamatای تخصیص داده شده به کشور عمل «دبناهاروی» را انتخاب نماید بدین مفهوم است که کشور برای حرکت در فضای جستجو با اینرسی حرکتی اولیه صفر به سمت امپراطوری $P_{imperialist}$ و بهترین موقعیتی که تا به حال ملاقات کرده P_{best} می‌رود این عمل جستجوی محلی را در پی خواهد داشت.

در صورتی که اتوamatای یادگیر هر کشور عمل «ادامه مسیر فعلی» را انتخاب نماید بدین مفهوم است که کشور با یک شتاب خاص در فضای حرکت جستجوی سراسری و کشف قسمت‌هایی ناشناخته از فضای جستجو می‌گردد. حرکت کشورها در الگوریتم پیشنهادی به صورت تطبیقی تنظیم می‌شود، به این صورت که، الگوریتم *ICA* با یک گروه از جواب‌های تصادفی (کشورها) شروع به کار می‌کند، سپس برای یافتن جواب بهینه در فضای مسئله، با بروز کردن مکان کشورها به جستجو می‌پردازد.

هر کشور بصورت چند بعدی (بسته به طبیعت مسئله) با دو مقدار X_{id} و V_{id} که به ترتیب معرف موقعیت مکانی و جهت حرکت بعد- d -ام کشور i -ام هستند مشخص می‌شود. پس کشورها با یک موقعیت و جهت حرکت اولیه

می‌شود. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت (معادل نخبه‌ها در الگوریتم ژنتیک) به عنوان امپریالیست انتخاب می‌شوند. باقیمانده جمعیت نیز به عنوان مستعمره، در نظر گرفته می‌شوند.

برای شروع الگوریتم، تعداد $N_{country}$ کشور اولیه را ایجاد می‌کنیم. N_{imp} تا این بهترین اعضای این جمعیت (کشورهای دارای کمترین مقدار تابع هزینه) را به عنوان امپریالیست انتخاب می‌کنیم. باقیمانده N_{col} تا از کشورهای مستعمراتی را تشکیل می‌دهند که هر کدام به یک امپراطوری تعلق دارند.

کشورهای استعمارگر با اعمال سیاست جذب (همگون سازی) در راستای محورهای مختلف بهینه‌سازی، کشورهای مستعمره را به سمت خود می‌کشند. شکل ۱، شما کلی این حرکت را نشان می‌دهد.

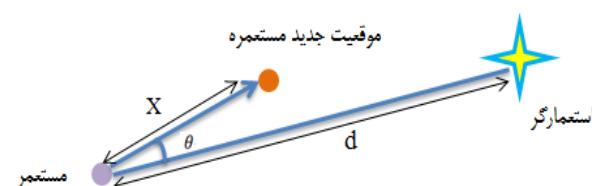
کشور مستعمره، به اندازه‌ی x واحد در جهت خط و اصل مستعمره به استعمارگر، حرکت کرده و به موقعیت جدید کشانده می‌شود. در شکل ۱، فاصله‌ی میان استعمارگر و مستعمره با d نشان داده شده است و θ نیز عددی تصادفی با توزیع یکنواخت (و یا هر توزیع مناسب دیگر) می‌باشد. یعنی برای x داریم:

$$x \sim U(0, \beta \times d) \quad (1)$$

که در آن β عددی بزرگتر از یک و نزدیک به ۲ می‌باشد. یک انتخاب مناسب می‌تواند $= 2$ باشد. وجود ضربی $\beta > 1$ باعث می‌شود تا کشور استعمارگر، از جهت‌های مختلف به آن نزدیک شود.

در الگوریتم *JCA* با یک انحراف احتمالی، مستعمره در مسیر جذب استعمارگر پیش می‌رود. این انحراف با زاویه θ نشان داده شده است که به صورت تصادفی و با توزیع یکنواخت انتخاب می‌شود، که این زاویه حرکت به صورت توزیع یکنواخت زیر در نظر گرفته شده است.

$$\theta \sim U(-\gamma, \gamma) \quad (2)$$



شکل ۱- حرکت مستعمرات به سمت استعمارگر (سیاست جذب)

در حین حرکت مستعمرات به سمت کشور استعمارگر، ممکن است بعضی از این مستعمرات به موقعیتی بهتر از استعمارگر برسند، در این حالت کشور استعمارگر و کشور مستعمره جای خود را با هم عوض می‌کنند.

قدرت کل هر امپراطوری، با محاسبه‌ی قدرت هر دو بخش تشکیل دهنده آن یعنی قدرت کشور استعمارگر، به اضافه‌ی درصدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، تعیین می‌شود.

رقابت استعماری، بخش مهم دیگری از این الگوریتم را تشکیل می‌دهد. هر امپراطوری ای که تواند بر قدرت خود بیفزاید و قدرت رقابت خود را از

۴- تحلیل و بررسی نتایج

در این مقاله برای ارزیابی عملکرد الگوریتم رقابت استعماری پیشنهادی، با چهارتابع محک معروف که اغلب در روش‌های بهینه‌سازی تکاملی استفاده می‌شوند، مورد ارزیابی قرار گرفتند. این توابع در جدول ۱، نشان داده شده‌اند. نتایج حاصل برای الگوریتم‌های پیشنهادی را با نتایج الگوریتم‌های ICA و ICA تطبیقی، مقایسه خواهیم کرد برای مقایسه کارایی الگوریتم‌های ذکر شده پارامترهای مشترک بین آن‌ها مانند تعداد نسل و تعداد ژئومهای هر نسل را یکسان در نظر گرفتیم.

جدول ۱)- توابع محک مورد استفاده برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی

نام تابع	فرمول ریاضی	حدوده جستجو
Sphere	$f(x) = \sum_{i=1}^D x_i^2$	(-100,100)
Rosenbrock	$f(x) = \sum_{i=1}^{D-1} (100 \times (x_{i+1} - x_i)^2 + (x_i - 1)^2)$	(-100,100)
Rastrigin	$f(x) = \sum_{i=1}^D (x_i^2 - 10 \times \cos(2\pi x_i) + 10)$	(-10,10)
Griewank	$f(x) = \frac{1}{4000} \times \sum_{i=1}^D x_i^2 - \prod_{i=1}^D \cos(x_i)$	(-600,600)

این آزمایش‌ها بر روی چهارتابع در ابعاد ۵، ۱۰ و ۱۵ با ۹۰ مستعمره و ۱۰ امپراطوری و ۳۰۰۰ تکرار صورت گرفته‌اند که در جداول ۲ تا ۵ نتایج آن آورده شده است. (نتایج مندرج در جداول ۲ تا ۵ بهترین موقعیت ملاقط شده بر باشد). در نمودارهای موجود در اشکال ۲ تا ۵ بهترین موقعیت ملاقط شده بر حسب تکرار در الگوریتم‌های مختلف برای چهارتابع نمایش داده شده است، همچنین در جدول ۶ مقایسه زمانی الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها آمده است.

نتایج حاصل نشان می‌دهند که الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم‌های دارای زمان اجرای بیشتری است و در زمان اجرا بهبود خاصی صورت نگرفته است و آن هم به دلیل اتومناتهای یادگیر استفاده شده است.

جدول ۲): مقایسه الگوریتم پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها در ابعاد ۵، ۱۰ و ۱۵ برای تابع Schwefel

D	ICA-LA-L _{RI}	ICA-LA-L _{RP}	ICA-LA-L _{ReP}	Modified ICA	ICA
N=5	4.6842	1.6908	1.6854	345.35	467.75
N=10	99.6854	88.6855	89.6743	930.63	1020.35
N=15	988.5	986.78	967.8	9821.54	10923

به صورت تصادفی در فضای جستجو قرار داده می‌شوند. سپس براساس هزینه نرم‌افزاری شده امپراطوری‌ها و تعداد اولیه مستعمرهای تعبیه می‌شود. به هر کشور یک اتومناتی یادگیر اختصاص داده می‌شود و بردار احتمال انتخاب اعمال اتومناتی یادگیر یا کشور مقداردهی اولیه می‌شوند. اتومناتی یادگیر مربوط به هر کشور یکی از اعمالش را بر طبق بردار احتمال اعمالش، انتخاب می‌کند.

- ✓ اگر اتومناتی یادگیر تخصیص داده شده به کشور i ام عمل «دنباله‌روی» را انتخاب کرده باشد جهت حرکت کشور به صورت فرمول (۳) یروز می‌شود (اینرسی حرکت کشور را صفر در نظر می‌گیریم).

$$V_i^d(t+1) = c_1 * rand * (P_{best}(t) - P_{countryid}t + c_2 * rand P_{imperialist} - P_{countryid}, d \in 1, \dots, Nvar) \quad (3)$$

اگر اتومناتی یادگیر تخصیص داده شده به کشور «دامنه مسیر-فلی» را انتخاب کرده باشد جهت حرکت فلی آن برابر با جهت حرکت قبلی مستعمره است، بنابراین برای یروز نمودن جهت حرکت از فرمول (۴) استفاده می‌شود.

$$w(t) = w_0 - \frac{t * w_i}{MaxGen} \quad (4)$$

$$V_{id}(t+1) = w(t) * V_{id}(t) + c_1 * rand(P_{best}_{id} - P_{country}_i^d(t)) + c_2 * rand(P_{imperialist}_{id} - P_{countryid}, d \in 1, \dots, Nvar) \quad (5)$$

نهایتاً موقعیت مستعمرات بر اساس رابطه (۶) یروز می‌شوند.

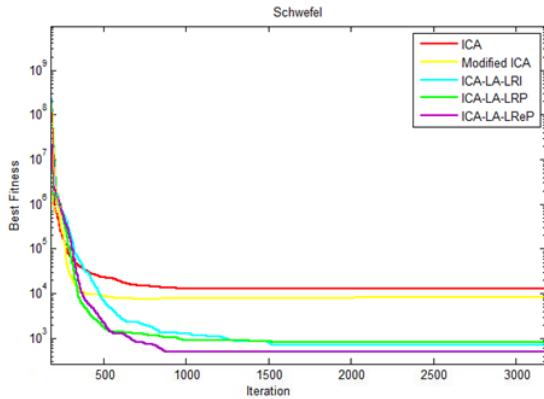
$$P_{country}_i^d(t+1) = P_{country}_i^d(t) + V_{id}(t+1) \quad (6)$$

پس با توجه به عمل انتخاب شده، نحوه یروز رسانی حرکت مستعمرات تعیین می‌شود و سپس مستعمرات، جهت حرکت و موقعیت خود را یروز می‌کنند.

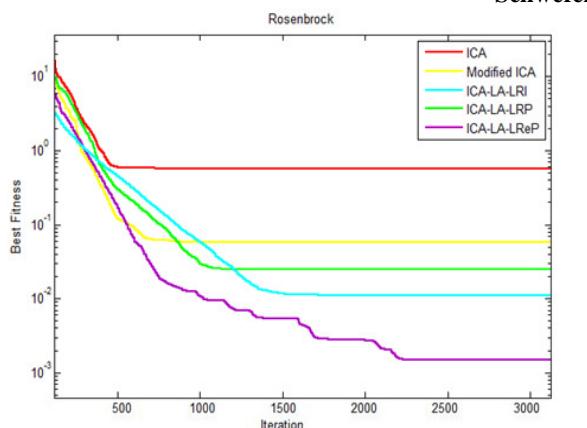
در این مقاله محیط اتومناتی یادگیر از نوع مدل S در نظر گرفته شده است. سیگنال تقویتی در نسل n ام یعنی (n, β) ، به صورت رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$\beta_j(n) = \frac{f_j(n) - \min(f)}{\max(f) - \min(f)} \quad (7)$$

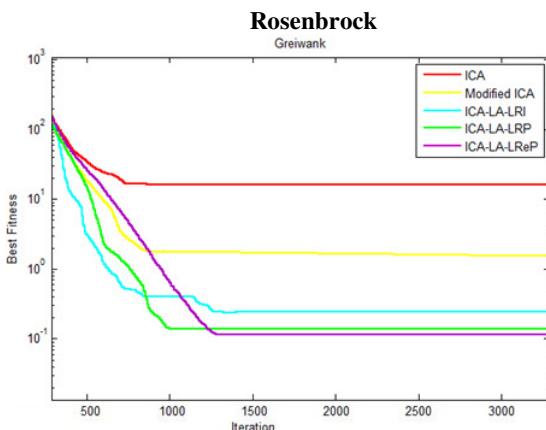
که $f(n)$ و $\min(f)$ به ترتیب حداقل و حداکثر شایستگی مستعمرات در نسل n یک امپراطوری را نشان می‌دهند و $f_j(n)$ شایستگی مستعمره زام در نسل n ام است.



شکل ۲- میانگین بهترین تابع شایستگی کشورها نسبت به تعداد تکرارهای الگوریتم در ۲۰ تکرار، ۱۰۰۰۰ بعد، ۳۰۰۰ تکرار و تابع Schwefel



شکل ۳- میانگین بهترین تابع شایستگی کشورها نسبت به تعداد تکرارهای الگوریتم در ۲۰ تکرار، ۱۰۰۰۰ بعد، ۳۰۰۰ تکرار و تابع Rosenbrock



شکل ۴- میانگین بهترین تابع شایستگی کشورها نسبت به تعداد تکرارهای الگوریتم در ۲۰ تکرار، ۵ بعد، ۳۰۰۰ تکرار و تابع Greiwank

جدول ۳): مقایسه الگوریتم پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها در ابعاد ۵

Rosenbrock ۱۰ و ۱۵ برای تابع

D	ICA -LA- L _{RI}	ICA- LA-L _{RP}	ICA -LA- L _{ReP}	Modif ied ICA	ICA
N=5	1.82 73e-02	5.538 e-02	2.23 7e-03	0.097 4	0.8856
N=10	0.66 95	0.439 3	0.00 73	9.354 8	21.8749
N=15	9.57 42	9.574 2	7.56 43	53.58 31	324.252 1

جدول ۴): مقایسه الگوریتم پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها در ابعاد ۵

Rastrigin ۱۰ و ۱۵ برای تابع

D	ICA- LA-L _{RI}	ICA- LA-L _{RP}	ICA- LA-L _{ReP}	Modifi ed ICA	ICA
N=5	5.933 2e-11	4.983 2e-11	6.453 2e-11	9.926 2e-06	9.826 1e-04
N=10	8.975 7e-06	6.897 4e-06	4.786 5e-06	6.927 2e-03	0.937 7
N=15	5.897 55e-04	3.876 4e-04	1.786 5e-04	0.446 3	78.97 31

جدول ۵): مقایسه الگوریتم پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها در ابعاد ۵

Griewank ۱۰ و ۱۵ برای تابع

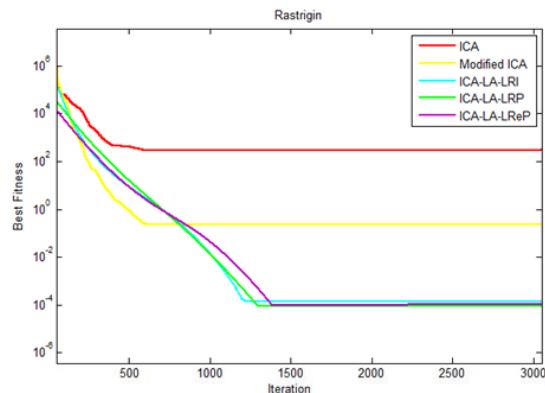
D	ICA -LA- L _{RI}	ICA -LA- L _{RP}	ICA -LA- L _{ReP}	Modifi ed ICA	ICA
N=5	9.63 72e-04	6.98 34e-04	2.837 3e-04	3.7865 e-03	0.231 4
N=10	8.78 27e-02	1.34 90e-02	2.739 e-02	0.7824 2e-03	8.785 4
N=15	0.52 67	0.37 48	0.127 5	7.7896 3	39.78 65

جدول ۶): مقایسه زمانی الگوریتم پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها روی ۴

تابع تست استاندارد

Functions	ICA	Modified ICA	ICA-LA
Rosenbrock	37.89	38.32	41.23
Greiwank	56.94	57.21	60.54
Rastrigin	21.92	21.31	24.63
Schwefel	34.45	33.65	35.32

- Optimization Inspired by Imperialist Competition”, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2007), pp. 4661-4667, 2007.*
- [5] E. Atashpaz-Gargari, F. Hashemzadeh, R. Rajabioun and C. Lucas, “*Colonial Competitive Algorithm Algorithm, a novel approach for PID controller design in MIMO distillation column process*”, Int. J. Intel. Compute. Cybernet. 1(3), pp. 337-355, 2008.
 - [6] R. Rajabioun, E. Atashpaz-Gargari and C. Lucas, “*Colonial Competitive Algorithm as a tool for Nash equilibrium point achievement*”, Lect. Notes Comput. Sci., 5073, pp. 680-695, 2008.
 - [7] A. Khabbazi, E. Atashpaz-Gargari, C. Lucas, “*Imperialist Competitive Algorithm for minimum bit error rate beam forming*”, Int. J. Bio-Inspired Comput., 1(1/2), pp. 125-133, 2009.
 - [8] E. Atashpaz- Gargari, F. Hashemzade and C. Lucas, “*Designing MIMO PID controller using Colonial Competitive Algorithm: Applied to Distillation Column Process*”, In Proceedings of IEEE CEC, within IEEE WCCI, Hong Kong, pp. 1929- 1934, 2008.
 - [9] H. Duan, C. Xu, S. Liu and S. Shao, “*Template Matching using Chaotic Imperialist Competitive Algorithm*”, Pattern Recognition Letters In Press, xxx, pp. xxx-xxx, 2009.



شکل ۵- میانگین بهترین تابع شایستگی کشورها نسبت به تعداد تکرارهای الگوریتم در ۲۰ تکرار، ۱۵ بعد، ۳۰۰۰ تکرار و تابع Rastrigin

۵- نتیجه‌گیری

الگوریتم تکاملی رقابت استعماری یکی از جدیدترین روش‌های بهینه‌سازی است که از تکامل اجتماعی- سیاسی بشر الهام می‌گیرد. الگوریتم ICA_LA گونه جدیدی از الگوریتم رقابت استعماری است که از تعدادی اتوماتی یادگیر برای تنظیم رفتار گروه و برقراری موازنۀ بین جستجوی سراسری و جستجوی محلی استفاده می‌نماید. به این صورت که به هر کشور یک اتوماتی یادگیر اختصاص داده می‌شود که به مثابه مغز کشور می‌باشد که جستجوی سراسری و جستجوی محلی کشور را تنظیم می‌نماید، در واقع در این روش مستمرات با یک شاعع تطبیقی به سمت امپراطوری شان حرکت می‌کند، در حالیکه در فرم استاندارد رقابت استعماری شاعع حرکت با یک توزیع یکنواخت محاسبه می‌شد که در این حالت الگوریتم جستجوی عمومی را بطور مناسب انجام نمی‌دهد. عملکرد الگوریتم با چهار تابع محک با نامهای (/ Griewank, Rosenbrock, Schwefel, Rastrigin آزمایش‌ها نشان می‌دهند که روش ارائه شده از عملکرد بهتری در مقایسه با مدل ICA استاندارد و Modified ICA برخوردار است.

۶- مراجع

- [1] M. Melanie, “*An Introduction to Genetic Algorithms*”, Massachusetts's: MIT Press, 1999.
- [2] J. Kennedy and R. C. Eberhat, “*Particle Swarm Optimization*”, in Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, Piscataway: IEEE, pp. 1942- 1948, 1995.
- [3] M. F. Cardoso, R. L. Salcedo, S. F. Azevedo, D. Barbosa, “*A Simulated Annealing approach to the Solution of Minlp Problems*”, Comput. Chem. Eng. 21(12), pp. 1349- 1364, 1997.
- [4] E. Atashpaz-Gargari and C. Lucas, “*Imperialist Competitive Algorithm: An Algorithm for*