

الگوریتم رقابت استعماری بهبود یافته مبتنی بر اتوماتای یادگیر

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

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

shirin.khezri@gmail.com

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

m.gholami@gmail.com

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

mmeybodi@aut.ac.ir

^۴ دانشکده 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 و اتوماتای یادگیر معرفی شده است. این الگوریتم بهبود یافته 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 شعاع حرکت مستعمرات به سمت استعمارگرهایشان 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 برعهده دارد، در نتیجه یک جستجوی هوشمندانه و هدفمندتر در الگوریتم رقابت استعماری انجام می‌شود. عملکرد الگوریتم با چهار تابع 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 راه‌حل بهینه عمومی و سرعت همگرایی به نقطه 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

۱- مقدمه

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].

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، شعاع حرکت در فرایند جستجوی الگوریتم ICA بطور تطبیقی تنظیم می‌شود. با این روش امکان جستجوی هدفمندتری ایجاد می‌شود، در واقع بین جستجوی محلی و عمومی بطور مناسبی موازنه ایجاد می‌کند. ما الگوریتم بهبود یافته را در مورد چند تابع محک استاندارد، آزمایش کردیم. نتایج تجربی بدست آمده نشان داد که سرعت همگرایی و کیفیت راه‌حل بدست آمده الگوریتم پیشنهادی، به مراتب 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 می‌شود. در بخش چهارم نتایج تجربی الگوریتم

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 آمده‌اند. الگوریتم‌های تکاملی دسته‌ای از الگوریتم‌های بهینه‌سازی تصادفی می‌باشند که در آنها از قوانین تکاملی موجود در طبیعت به منظور بهینه‌سازی استفاده می‌شود. این الگوریتم‌ها معمولاً برای حل مسائل بهینه‌سازی پارامتری که سایر روش‌های فرمال از حل آنها عاجزند مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله این روش‌ها می‌توان به الگوریتم‌های ژنتیک (الهام گرفته از تکامل بیولوژیکی انسان و سایر موجودات) [۱]، بهینه سازی حرکت گروهی ذرات [۲] و روش بازپخت شبیه‌سازی شده (با الهام گیری از فرایند تبرید فلزات) [۳]، اشاره نمود. الگوریتم‌های بهینه‌سازی معرفی شده، به طور عمده الهام گرفته از فرایند‌های طبیعی می‌باشند و در ارائه این الگوریتم‌ها به سایر نمودهای تکامل انسانی توجهی نشده است. اخیراً الگوریتم جدیدی با نام الگوریتم رقابت استعماری در زمینه محاسبات تکاملی، توسط آتش‌پز گرگری و لوکاس در سال ۲۰۰۷ ارائه شده است که نه از یک پدیده طبیعی،

پیشنهادی در مقایسه با از الگوریتم ICA و ICA تطبیقی ارائه شده است و در بخش آخر به نتیجه گیری می پردازیم.

۲- الگوریتم رقابت استعماری

الگوریتم رقابت استعماری یک الگوریتم جدید در زمینه محاسبات تکاملی است که همانند دیگر الگوریتم های تکاملی، این الگوریتم نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آن ها یک کشور نامیده می شوند، شروع می شود. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت (معادل نخبه ها در الگوریتم ژنتیک) به عنوان امپریالیست انتخاب می شوند. باقیمانده جمعیت نیز به عنوان مستعمره، در نظر گرفته می شوند.

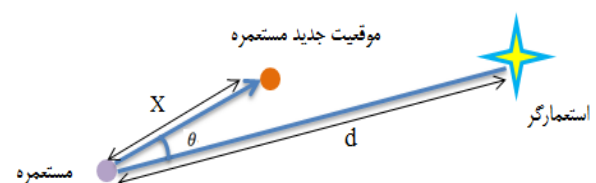
برای شروع الگوریتم، تعداد $N_{country}$ کشور اولیه را ایجاد می کنیم. N_{imp} تا این بهترین اعضای این جمعیت (کشورهای دارای کمترین مقدار تابع هزینه) را به عنوان امپریالیست انتخاب می کنیم. باقیمانده N_{col} تا از کشورها، مستعمراتی را تشکیل می دهند که هر کدام به یک امپراطوری تعلق دارند.

کشورهای استعمارگر با اعمال سیاست جذب (همگون سازی) در راستای محور های مختلف بهینه سازی، کشورهای مستعمره را به سمت خود می کشند. شکل ۱، شمای کلی این حرکت را نشان می دهد. کشور مستعمره، به اندازه x واحد در جهت خط واصل مستعمره به استعمارگر، حرکت کرده و به موقعیت جدید کشانده می شود. در شکل ۱، فاصله ی میان استعمارگر و مستعمره با d نشان داده شده است و x نیز عددی تصادفی با توزیع یکنواخت (و یا هر توزیع مناسب دیگر) می باشد. 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 می باشد. یک انتخاب مناسب می تواند $\beta = 2$ باشد. وجود ضریب $\beta > 1$ باعث می شود تا کشور استعمارگر، از جهت های مختلف به آن نزدیک شود. در الگوریتم ICA ، با یک انحراف احتمالی، مستعمره در مسیر جذب استعمارگر پیش می رود. این انحراف با زاویه θ نشان داده شده است که θ به صورت تصادفی و با توزیع یکنواخت انتخاب می شود، 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 می کنند.

قدرت کل هر امپراطوری، با محاسبه ی قدرت هر دو بخش تشکیل دهنده آن یعنی قدرت کشور استعمارگر، به اضافه ی درصدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، تعیین می شود.

رقابت استعماری، بخش مهم دیگری از این الگوریتم را تشکیل می دهد. هر امپراطوری ای که نتواند بر قدرت خود بیفزاید و قدرت رقابت خود را از دست بدهد، در جریان رقابت های امپریالیستی، حذف خواهد شد. این حذف شدن، به صورت تدریجی صورت می پذیرد. بدین معنی که به مرور زمان، امپراطوری های ضعیف، مستعمرات خود را از دست داده و امپراطوری های قویتر، این مستعمرات را تصاحب کرده و بر قدرت خویش می افزایند.

الگوریتم مورد نظر تا برآورده شدن یک شرط همگرایی و یا تا اتمام تعداد کل تکرارها، ادامه می یابد. پس از مدتی، همه امپراطوری ها، سقوط کرده و تنها یک امپراطوری خواهیم داشت و بقیه کشورها تحت کنترل این امپراطوری واحد، قرار می گیرند.

۳- الگوریتم رقابت استعماری پیشنهادی

الگوریتم ICA مانند بسیاری از الگوریتم های تکاملی به دلیل استفاده از یک مکانیزم جستجوی محلی، فاقد توانایی برای یک جستجوی عمومی خوب در فضای مسئله است. از این رو 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 اندازه ی X واحد در جهت خط واصل مستعمره به استعمارگر، با استفاده از بردار جهت، شعاع حرکت مستعمرات به سمت استعمارگرهایشان را در فرآیند جستجوی الگوریتم ICA با استفاده از اتوماتای یادگیر به صورت تطبیقی تنظیم کردیم و حرکت با هوشمندی بیشتری انجام می شود.

۳-۱- حرکت تطبیقی در سیاست جذب

مدل پیشنهادی ICA_LA ترکیبی از اتوماتای یادگیر و الگوریتم بهینه سازی رقابت استعماری می باشد. در این مدل به هر یک از کشورهای موجود، یک اتوماتای یادگیر اختصاص می دهد. هر اتوماتای یادگیر در واقع به عنوان مغز کشور می باشد که حرکت کشور در فضای جستجو را رهبری می نمایند. هر اتوماتای یادگیر دارای دو عمل «دنباله روی» و «ادامه مسیر فعلی» می باشد. هرگاه اتوماتای تخصیص داده شده به کشور عمل «دنباله روی» 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 می رود این عمل جستجوی محلی را در پی خواهد داشت. در صورتی که اتوماتای یادگیر هر کشور عمل «ادامه مسیر فعلی» را انتخاب نماید بدین مفهوم است که کشور با یک شتاب

در این مقاله محیط اتوماتای یادگیر از نوع مدل S در نظر گرفته شده است. سیگنال تقویتی در نسل n ام یعنی $\beta(n)$ ، به صورت رابطه-ی (۷) محاسبه می‌شود.

$$\beta_j(n) = \frac{f_j(n) - \min(f)}{\max(f) - \min(f)} \quad (۷)$$

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

۴- تحلیل و بررسی نتایج

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

جدول ۱- توابع محک مورد استفاده برای ارزیابی الگوریتم

پیشنهادی

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

این آزمایش‌ها بر روی چهار تابع در ابعاد ۵، ۱۰ و ۱۵ با ۹۰ مستعمره و ۱۰ امپراطوری و ۳۰۰۰ تکرار صورت گرفته اند که در جداول ۲ تا ۵ نتایج آن آورده شده است. (نتایج مندرج در جداول میانگین ۲۰ بار اجرای الگوریتم می‌باشد). در نمودارهای موجود در اشکال ۲ تا ۵ بهترین موقعیت ملاقات شده بر حسب تکرار در الگوریتم‌های مختلف برای چهار تابع 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 اتوماتاهای یادگیر استفاده شده است.

خاص در فضا حرکت می‌نماید و کشور همچنان مسیری فعلی را ادامه خواهد داد. این عمل باعث 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 به صورت تصادفی در فضای جستجو قرار داده می‌شوند. سپس براساس هزینه نرمالیزه شده‌ی امپراطوری‌ها و تعداد اولیه مستعمراتشان تعیین می‌شود. به هر کشور یک اتوماتای یادگیر اختصاص داده می‌شود و بردار احتمالات انتخاب اعمال اتوماتای یادگیر هر کشور مقداردهی اولیه می‌شوند.

اتوماتای یادگیر مربوط به هر کشور یکی از اعمالش را بر طبق بردار احتمال اعمالش، انتخاب می‌کند.

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

$$V_i^d(t+1) = c_1 * rand * (P_best(t) - P_country_i^d(t)) + c_2 * rand * (P_imperialist(t) - P_country_i^d(t)), \quad d \in 1, \dots, N_{var} \quad (۳)$$

✓ اگر اتوماتای یادگیر تخصیص داده شده به کشور «ادامه مسیر فعلی» را انتخاب کرده باشد جهت حرکت فعلی آن برابر با جهت حرکت قبلی مستعمره است، بنابراین برای بروز نمودن جهت حرکت از فرمول (۵) استفاده می‌شود.

$$w(t) = w_0 - \frac{t * w_i}{MaxGen} \quad (۴)$$

$$V_{id}(t+1) = w(t) * V_{id}(t) + c_1 * rand * (P_best_{id} - P_country_i^d(t)) + c_2 * rand * (P_imperialist_{id} - P_country_i^d(t)), \quad d \in 1, \dots, N_{var} \quad (۵)$$

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

$$P_country_i^d(t+1) = P_country_i^d(t) + V_{id}(t+1) \quad (۶)$$

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

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

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

۱۰ و ۱۵ برای تابع Rosenbrock

D	ICA-LA-L _{RI}	ICA-LA-L _{RP}	ICA-LA-L _{ReP}	Modified ICA	ICA
N=5	1.827 3e-02	5.53 8e-02	2.23 7e-03	0.097 4	0.8856
N=10	0.669 5	0.43 93	0.00 73	9.354 8	21.8749
N=15	9.574 5	9.57 42	7.56 43	53.58 31	324.252

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

۱۰ و ۱۵ برای تابع Rastrigin

D	ICA-LA-L _{RI}	ICA-LA-L _{RP}	ICA-LA-L _{ReP}	Modified ICA	ICA
N=5	5.9332 e-11	4.983 2e-11	6.453 2e-11	9.926 2e-06	9.826 1e-04
N=10	8.9757 e-06	6.897 4e-06	4.786 5e-06	6.927 2e-03	0.937 7
N=15	5.8975 5e-04	3.876 4e-04	1.786 5e-04	0.446 3	78.97 31

جدول ۵: Error! No text of specified style in document.

مقایسه الگوریتم پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها در ابعاد ۵، ۱۰ و ۱۵

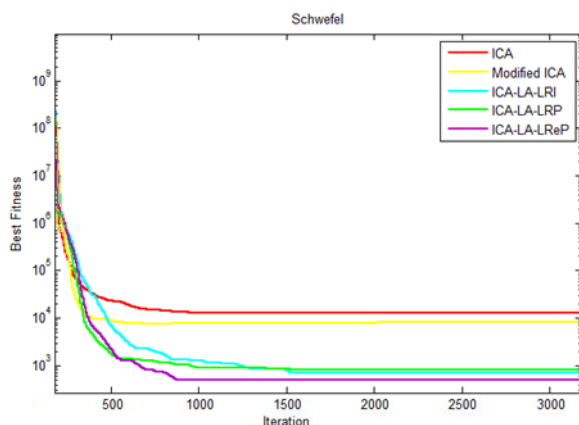
برای تابع Greiwank

D	ICA-LA-L _{RI}	ICA-LA-L _{RP}	ICA-LA-L _{ReP}	Modified ICA	ICA
N=5	9.637 2e-04	6.983 4e-04	2.837 3e-04	3.786 5e-03	0.2314
N=10	8.782 7e-02	1.349 0e-02	2.739 e-02	0.782 4	8.7854
N=15	0.526 7	0.374 8	0.127 5	7.789 6	39.7865

جدول ۶: مقایسه زمانی الگوریتم پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها روی

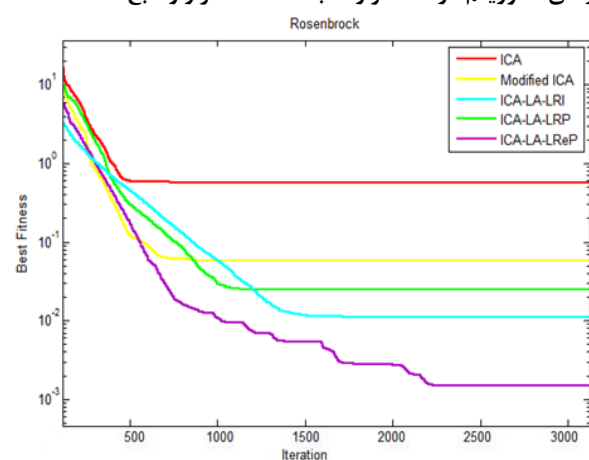
۴ تابع تست استاندارد

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



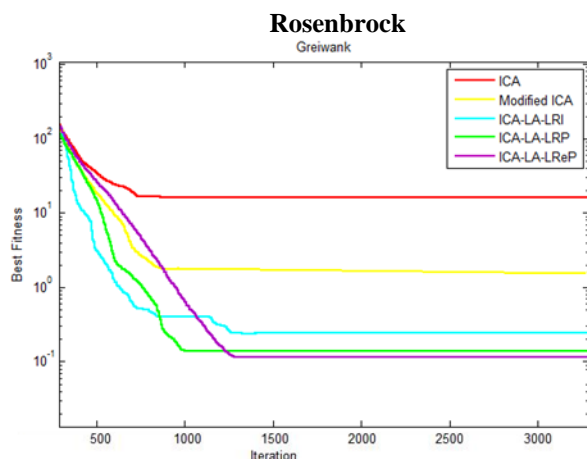
شکل ۲- میانگین بهترین تابع شایستگی کشورها نسبت به تعداد

تکرارهای الگوریتم در ۲۰ تکرار، ۱۰ بعد، ۳۰۰۰ تکرار و تابع Schwefel



شکل ۳- میانگین بهترین تابع شایستگی کشورها نسبت به تعداد

تکرارهای الگوریتم در ۲۰ تکرار، ۱۰ بعد، ۳۰۰۰ تکرار و تابع



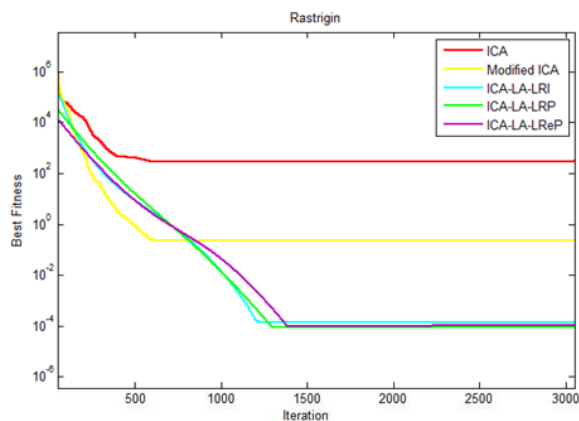
شکل ۴- میانگین بهترین تابع شایستگی کشورها نسبت به تعداد

تکرارهای الگوریتم در ۲۰ تکرار، ۵ بعد، ۳۰۰۰ تکرار و تابع

Griewank

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, 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. Hashemzadeh 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- نتیجه گیری

الگوریتم تکاملی رقابت استعماری یکی از جدیدترین روش‌های بهینه سازی است که از تکامل اجتماعی- سیاسی بشر الهام می‌گیرد. الگوریتم *ICA_LA* گونه جدیدی از الگوریتم رقابت استعماری است که از تعدادی اتوماتای یادگیر برای تنظیم رفتار گروه و برقراری موازنه بین جستجوی سراسری و جستجوی محلی استفاده می‌نماید. به این صورت که به هر کشور یک اتوماتای 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 مستعمرات با یک شعاع تطبیقی به سمت امپراطوری‌شان حرکت می‌کنند، در حالیکه در فرم استاندارد رقابت استعماری شعاع 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) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج 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 Optimization Inspired by Imperialist Competition",