Archive of SID

ارائه یک مدل جدید برای جستجوی ترکیبی هوشمند جهت پیدا نمودن پاسخ بهینه سراسری مسائل مهندسی

محمد رضا حسن‌زاده [۱]، فرشید کی‌نیا [۲،*]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۸/۰۲
پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۱۴

واژگان کلیدی:
جستجوی فرا اکتشافی،
الگوی جستجوی ترکیبی،
الگوریتم بازار بورس،
الگوریتم گرده افشانی گل.

چکیده

با توجه به پیچیدگی مسائل مهندسی و وجود محدودیت‌های مختلف در این مسائل، استفاده از الگوریتم های فراابتکاری در بهینه‌سازی مسائل علمی با توجه به توانایی آنها در پیدا نمودن راه حل‌های قابل قبول در یک زمان مقرون به صرفه تحمل غیرمحدبی و غیر متمایزی مسائل مختلف، لازم گردیده و از این رو تحقیقات گسترده ای جهت بهبود الگوریتم های اکتشافی به منظور بالا بردن توانائی آنها در حل مسائل مهندسی و عملی انجام گردیده است. در این مقاله با توجه به توانایی جستجوی سراسری بعضی الگوهای جستجوی فرا اکتشافی (مانند الگوریتم EMA) و توانایی جستجوی محلی بعضی الگوهای جستجوی فرا اکتشافی (مانند الگوریتم FPA)، یک روش ترکیب جدید برای استفاده از توانایی هردو نوع الگوریتم پیشنهاد میشود. سپس با استفاده از روش پیشنهادی یک الگوی جستجوی ترکیبی با توانایی های جدید ارائه میشود که توانایی های آن برروی توابع تست استاندارد و همچنین حل مسائل مهندسی اثبات می‌گردد.

۱- مقدمه

هر الگوریتم بهینه سازی فرا اکتشافی دارای مزایا و معایب خاص خود می باشد و هیچ الگوریتم بهینه سازی نمی تواند نتایج خوبی را برای حل تمامی مسائل بهینه سازی ارائه نماید. این ویژگی‌ها از فرآیندهای طبیعی و مدل های رفتاری سیستم های بیولوژیکی در طبیعت به منظور تولید و سازماندهی اعداد تصادفی در حل مسائل الهام گرفته شده اند. اپراتورهای جذب و جستجوی متفاوت بکار گرفته شده در این الگوریتم ها منجر به مزایا و محدودیت های در مقایسه با سایر الگوریتم های فرا ابتکاری گردیده است [۱]. به عنوان نمونه، الگوریتم ژنتیک[3] از تنوع ژنتیکی طبیعی و انتخاب طبیعی [۲]، الگوریتم بهینه سازی ذرات[4] از رفتار اجتماعی پرندگان و یا دسته ماهیان [۳] [۴]، الگوریتم بهینه سازی علف های هرز[5] از کلونی علف های هرز [۵]، الگوریتم ازدحام گربه ها[6] از رفتار گربه ها [۶]، الگوریتم بهینه سازی امواج آب[7] از تقلید حرکت موج آب [۷]، الگوریتم جستجوی حالات ماده[8] از مکانیزم حرکت ملکول-ها [۸]، الگوریتم جستجوی کلاغ[9] از رفتار هوشمندانه کلاغ در ذخیره سازی مواد غذائی اضافی [۹]، الگوریتم بهینه-سازی گرده افشانی گل[10] از فرآیند گرده‌افشانی گل‌ها [۱۰ و ۱۱]، الگوریتم بهینه سازی گرگ خاکستری[11] از رفتار اجتماعی و مکانیزم شکار گرگ های خاکستری [۱۲]

*. پست الکترونیک نویسنده مسئول: f.keynia@kgut.ac.ir
۱. دانشجو دکتری نرم افزار، گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان
۲. دانشیار، گروه مدیریت و بهینه‌سازی انرژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

[3] Genetic Algorithm (GA)
[4] Particle Swarm Optimization Algorithm (PSO)
[5] Invasive Weed Optimization (IWO)
[6] Cat Swarm Optimization (CSO)
[7] Water Wave Optimization (WWO)
[8] States of Matter Search (SMS)
[9] Crow Search Algorithm (CSA)
[10] Flower Pollination Algorithm (FPA)
[11] Grey Wolf Optimizer (GWO)

www.SID.ir

Archive of SID

و الگوریتم بازار بورس[1] از سهام معامله شده در بازار بورس الهام گرفته شده اند [۱۳]. مهمترین مشکلات الگوریتم های فرا ابتکـــاری عبارت اند از: ۱- به دام افتادن در نقاط بهینه محلی و در نتیجه همگرائی زود هنگام (مشکل اکتشاف). ۲- عدم توانائی لازم برای پیدا نمودن نقاط بهینه مجاور یکدیگر (مشکل بهره برداری). ۳- همگرائی به راه حل های غیر مشابه در اجراهای با مقادیر پارامتر یکسان. در حال حاضر استفاده از الگوریتم های فرا ابتکاری در حل مسائل مختلف مهندسی مانند توزیع بار اقتصادی کاربرد های فراوانی پیدا نموده است [۱۴و ۱۵].

در این مقاله یک روش جدید برای ترکیب الگوریتـــم های فرا ابتکاری جهت افزایش توانایی های آنها ارائه میشود. برای بررسی این روش یک الگوریتم ترکیبی نمونه که از ادغام دو الگوریتم بازار بورس و الگوریتم گرده افشانی گل بوجود آمده است، پیشنهاد می گردد. در این روش از یک اپراتور جستجو به منظور جستجوی سراسری و از یک اپراتور جذب جهت جستجوی محلی به منظور پیدا نمودن مقادیر بهینه استفاده خواهد شد.

سازماندهی مقاله به این صورت می باشد: بعد از ارائه مقدمه، در بخش دوم الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم گرده افشانی و الگوریتم بازار بورس و ساختار الگوریتم پیشنهادی ارائه گردیده است. در بخش سوم پیاده سازی های به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم ترکیبی پیشنهادی با کمک توابع ارزیابی و همچنین مقایسه با عملکرد سایر الگوریتم های شناخته شده در حوزه بهینه سازی مسائل و نیز بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی در حل یک مسئله مهندسی در حوزه توزیع بار الکتریکی مولدهای برق ارائه گردیده است. در بخش چهارم بررسی و تحلیل نتایج ارائه گردیده است. در بخش پنجم تحلیل حساسیت و در بخش ششم نتایج و کارهای آتی ارائه گردیده است.

۲- الگوریتم پیشنهادی

در این مقاله یک روش ترکیب برای الگوهای جستجوی مختلف جهت افزایش توانایی های آنها ارائه میشود. به این منظور یک الگوریتم ترکیبی که از الگوریتم بهینه سازی بازار بورس و الگوریتم گرده افشانی گل تشکیل شده است، معرفی می گردد. الگوریتم بازار بورس از روش معاملات سهام در بازاربورس و الگوریتم گرده افشانی گل از شبیه سازی رفتار گرده افشانی گل ها الهام گرفته شده اند. خصوصیات مهم الگوریتم بازار بورس عملکرد بالای آن در جستجوی نقطه بهینه سراسری و دوری از نقطه بهینه محلی و عدم همگرائی زودهنگام می باشد و در مقابل خصوصیات مهم الگوریتم گرده افشانی گل توانائی این الگوریتم در بهینه سازی مسائل با ابعاد کم و عملکرد بالای آن در استخراج نقاط در جستجوی محلی می باشد. در بخش های بعدی الگوریتم بازاربورس و الگوریتم گرده افشانی توضیح داده شده اند.

۲-۱- الگوریتم بازاربورس

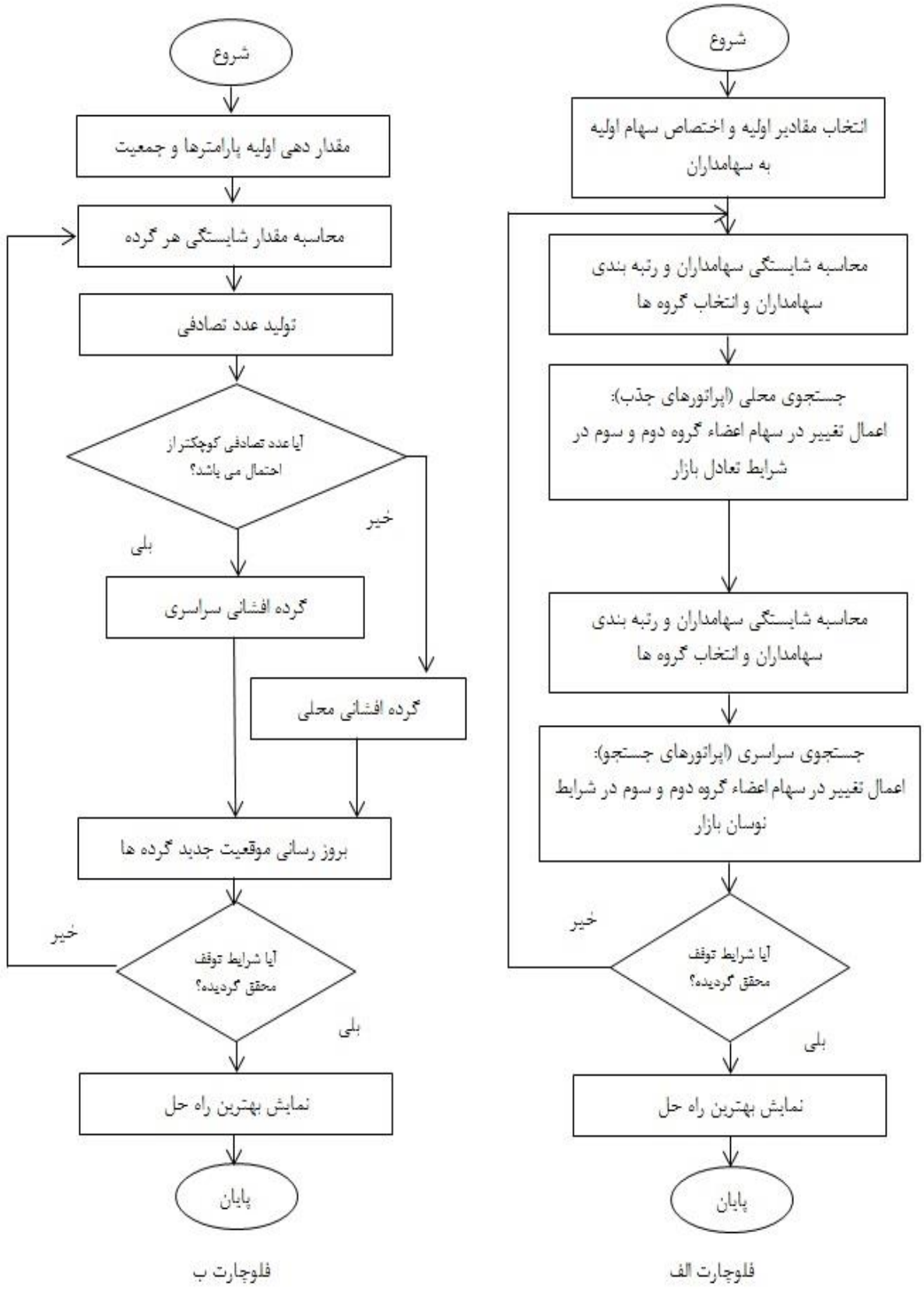
الگوریتم بازاربورس توسط قربانی و بابائی در سال ۲۰۱۵ میلادی ارائه گردیده است [۱۳]. این الگوریتم یک الگوریتم بهینه سازی است که از روش معاملات سهام در بازاربورس الهام گرفته شده است و برای حل مسائل بهینه سازی غیرخطی پیوسته[2] مناسب می باشد. الگوریتم فوق دارای دو حالت مختلف، یکی عدم وجود نوسان در بازار (تعادل بازار) و دیگری حالت نوســان بازار می باشد. نوسان بازار بعلت افزایش و یا کاهش تقاضا و نیز اقدامات سیاسی و اقتصادی اتخاذ شده بوسیله سازمانها و کشورها در بازار ایجاد می گردد. در این الگوریتم هر فرد بازار بورس یک پاسخ مسئله می باشد. الگوریتم ابتدا افراد (سهامداران) را براساس شایستگی شان مرتب نموده و سپس براساس درصدهای مشخص، افراد در ابتدا، وسط و پایان فهرست مرتب شده را بعنوان اولین، دومین و سومین گروه بصورت منطقی تفکیک می نماید. افراد در اولین گروه نخبه ها و یا افراد موفق بازار بوده و مقدار سهام شان در تمام مراحل اجـرای الگوریتم بدون تغییر باقی می ماند. افراد دومین و سومین گروه با درصد ریسک بالا و متفاوت سعی می نمایند سهام شان را نزدیک و یا مشابه سهام افراد نخبه انتخاب نمایند. در این الگوریتم فضای جستجو برای فراهم سازی امکان جستجوی نقاط ناشناخته مربوط به هر نوع تابعی قابل تنظیم می باشد. روش جستجوی فوق در شکل (۱) فلوچارت الف مشاهده می‌شود [۱۶].

[1] Exchange market algorithm (EMA)

[2] Continous non-linear optimization problem

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- فلوچارت الف: الگوریتم بازاربورس [۱۶] و فلوچارت ب: الگوریتم گرده افشانی [۱۰]

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- پیاده سازی های مختلف الگوریتم ترکیبی

ردیف	نام الگوریتم	توضیحات
۱	FEA۱	جستجوی محلی الگوریتم گرده افشانی روی کل جمعیت بازار بورس با احتمال p-۱ انجام گردد. (p احتمال گرده افشانی سراسری و p-۱ احتمال گرده افشانی محلی می باشد).
۲	FEA۲	جستجوی محلی الگوریتم گرده افشانی روی کل جمعیت بازار بورس و بدون در نظر گرفتن هر گونه احتمالی برای گرده افشانی محلی انجام گردد.
۳	FEA۳	جستجوی محلی الگوریتم گرده افشانی برروی کل جمعیت گروه دوم و سوم بازار بورس (بدون تفکیک منطقی) با احتمال p-۱ انجام گردد.
۴	FEA۴	جستجوی محلی الگوریتم گرده افشانی برروی کل جمعیت گروه دوم و سوم بازار بورس (بدون تفکیک منطقی) و بدون در نظر گرفته هر گونه احتمالی برای گرده افشانی محلی انجام گردد.
۵	FEA۵	جستجوی محلی الگوریتم گرده افشانی با انتخاب تصادفی یک فرد از گروه اول بازار بورس و با انتخاب تصادی یک نفر از گروه دوم و یا گروه سوم بازار بورس با احتمال p-۱ انجام گردد.
۶	FEA۶	جستجوی محلی الگوریتم گرده افشانی با انتخاب تصادفی یک فرد از گروه اول بازار بورس و با انتخاب تصادی یک نفر از گروه دوم و یا سوم بازار بورس و بدون در نظر گرفته هر گونه احتمالی برای گرده افشانی محلی انجام گردد.
۷	FEA۷	مشابه حالت FEA۱ و در نظر گرفتن جایگزینی راه حل جدید بجای راه حل قبلی فقط در صورتی که بهبودی در راه حال جدید ایجاد شده باشد انجام گردد.
۸	FEA۸	مشابه حالت FEA۲ و در نظر گرفتن جایگزینی راه حل جدید بجای راه حل قبلی فقط در صورتی که بهبودی در راه حال جدید ایجاد شده باشد انجام گردد.
۹	FEA۹	مشابه حالت FEA۳ و در نظر گرفتن جایگزینی راه حل جدید بجای راه حل قبلی فقط در صورتی که بهبودی در راه حال جدید ایجاد شده باشد انجام گردد.
۱۰	FEA۱۰	مشابه حالت FEA۴ و در نظر گرفتن جایگزینی راه حل جدید بجای راه حل قبلی فقط در صورتی که بهبودی در راه حال جدید ایجاد شده باشد انجام گردد.
۱۱	FEA۱۱	مشابه حالت FEA۵ و در نظر گرفتن جایگزینی راه حل جدید بجای راه حل قبلی فقط در صورتی که بهبودی در راه حال جدید ایجاد شده باشد انجام گردد.
۱۲	FEA۱۲	مشابه حالت FEA۶ و در نظر گرفتن جایگزینی راه حل جدید بجای راه حل قبلی فقط در صورتی که بهبودی در راه حال جدید ایجاد شده باشد انجام گردد.

۲-۲- الگوریتم گرده افشانی گل

الگوریتم گرده افشانی گل در سال ۲۰۱۲ میلادی توسط زین شی یانگ[۱]ارائه گردیده است [۱۰] [۱۱]. این الگوریتم یک الگوریتم بهینه سازی هوشمند بر پایه جمعیت می باشد که از شبیه سازی رفتار گرده افشانی گل ها الهام گرفته شده است.

گرده افشانی باعث باروری و تولید مثل گیاهان گلدار می گردد. دو نوع گرده افشانی وجود دارد: ۱- گرده افشانی که از گرده یک گل متفاوت اتفاق می افتد و تحت عنوان گرده افشانی متقابل[۲]و یا گرده افشانی سراسری[۳]شناخته می شود. ۲- گرده افشانی که از گرده همان گل و یا گرده گیاهان دیگری از همان گونه گل اتفاق می افتد و بعنوان خود گرده افشانی[۴]و یا گرده افشانی محلی[۵]شناخته می شود. روش جستجوی فوق در شکل (۱) فلوچارت ب مشاهده می‌شود [۱۰].

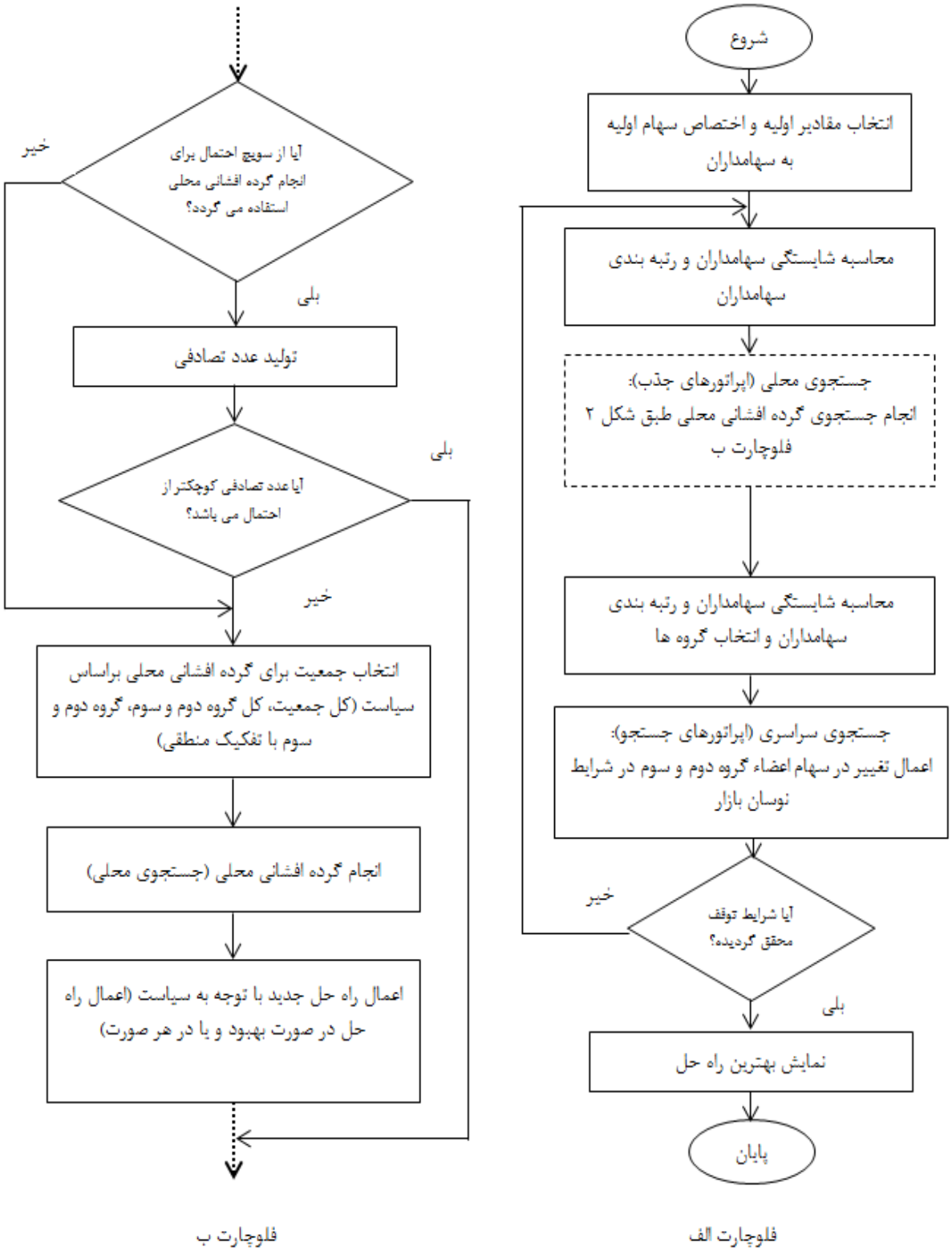
۲-۳- ساختار الگوریتم پیشنهادی

در الگوریتم ترکیبی پیشنهادی بخش جستجوی محلی الگوریتم بازاربورس با بخش جستجوی محلی الگوریتم گرده افشانی جایگزین گردیده است. بنابراین بخش جستجوی محلی الگوریتم ترکیبی را با حالت های ذیل می توان پیاده سازی نمود:

[۱] Xin-She Yang
[۲] Cross pollination
[۳] Global pollination
[۴] Self pollination
[۵] Local pollination

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- فلوچارت الف: الگوریتم ترکیبی پیشنهادی - فلوچارت ب: بخش جستجوی محلی الگوریتم ترکیبی

جدول ۲- مشخصات ۱۲ تابع ارزیابی بکاربرده شده

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- مشخصات ۱۲ تابع ارزیابی بکاربرده شده

ردیف	نام تابع	مشخصات تابع	بازه عملکرد	فرمول تابع
۱	Ackley	MN	[-۳۲و۳۲]	$f(x)=f(x_1,\dots,x_n)=-20.\exp\left(0.2\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i^2}\right)-\exp\left(\frac{1}{d}\sum_{i=1}^{n}\cos(cx_i)\right)+20+\exp(1)$
۲	Griewank	MN	[-۶۰۰و۶۰۰]	$f(x)=f(x_1,\dots,x_n)=1+\sum_{i=1}^{n}\frac{x_i^2}{4000}-\prod_{i=1}^{n}\cos(\frac{x_i}{\sqrt{i}})$
۳	Penalized Fun. ۱	MN	[-۵۰و۵۰]	$f(x)=f(x_1,\dots,x_n)=\frac{\pi}{n}\times y_i=1+\frac{1}{4}(x_i+1),\ u(x_i,\mathrm{a},\mathrm{k},\mathrm{m})=\begin{cases}k(x_i-a)^m & if\ x_i>a\\ 0 & if\ -a\le x_i\le a\\ k(-x_i-a)^m & if\ x_i<-a\end{cases}\ a=10,k=100,m=4$
۴	Penalized Fun. ۲	MN	[-۵۰و۵۰]	$f(x)=f(x_1,\dots,x_n)=0.1\times\{\sin^2(3\pi x_1)+\sum_{i=1}^{n-1}(x_i-1)^2[1+sin^2(3\pi x_{i+1})]+(x_n-1)^2[1+sin^2(2\pi x_n)]\}+\sum_{i=1}^{n}u(x_i,a,k,m)\ u(x_i,\mathrm{a},\mathrm{k},\mathrm{m})=\begin{cases}k(x_i-a)^m & if\ x_i>a\\ 0 & if\ -a\le x_i\le a\\ k(-x_i-a)^m & if\ x_i<-a\end{cases}\ a=10,k=100,m=4$
۵	Quartic	US	[-۱/۲۸و۱/۲۸]	$f(x)=f(x_1,\dots,x_n)=\sum_{i=1}^{n}ix_i^4+random[0,1)$
۶	Rastrigin	MS	[-۵/۱۲و۵/۱۲]	$f(x)=f(x_1,\dots,x_n)=10n+\sum_{i=1}^{n}(x_i^2-10\cos(2\pi x_i))$
۷	Rosenbrock	UN	[-۵و۱۰]	$f(x)=f(x_1,\dots,x_n)=\sum_{i=1}^{n}[10(x_{i+1}-x_i^2)^2+(1-x_i)^2]$
۸	Schwefel ۱/۲	UN	[-۱۰۰و۱۰۰]	$f(x)=f(x_1,\dots,x_n)=\sum_{i=1}^{n}(\sum_{j=1}^{i}x_j)^2$
۹	Schwefel ۲/۲۱	UN	[-۱۰۰و۱۰۰]	$f(x)=f(x_1,\dots,x_n)=\max\lvert x_i\rvert$
۱۰	Schwefel ۲/۲۲	UN	[-۱۰۰و۱۰۰]	$f(x)=f(x_1,\dots,x_n)=\sum_{i=1}^{n}\lvert x_i\rvert+\prod_{i=1}^{n}\lvert x_i\rvert$
۱۱	Sphere	US	[-۵/۱۲و۵/۱۲]	$f(x)=f(x_1,\dots,x_n)=\sum_{i=1}^{n}x_i^2$

www.SID.ir

Archive of SID

۱۲	Step	US	[-۱۰۰و۱۰۰]	$f(x)=f(x_1,\dots,x_n)=\sum_{i=1}^{n}(\lfloor\lvert x_i+0.5\rvert\rfloor)^2$

U: unimodal; M: multimodal, S: separable, N: non-separabel

۱-دامنه جستجوی محلی می تواند شامل کل جمعیت بازار بورس (هر سه گروه) و یا کل گروه جذب (گروه های دوم و سوم بازار بورس) بدون تفکیک منطقی و یا در نظر گرفتن گروه دوم بصورت مجزا از گروه سوم باشد. این وضعیت سه حالت مختلف را برای بررسی ایجاد می نماید. ۲-استفاده و یا عدم استفاده از سویچ احتمال برای گرده افشانی محلی. این وضعیت دو حالت مختلف را برای بررسی ایجاد می نماید. ۳- پس از ایجاد راه حل جدید با جستجوی محلی گرده افشانی آیا راه حل جدید فقط در صورت بهبود به راه حل قبلی اعمال گردد و یا اینکه راه حل جدید در هر صورت با انجام جستجوی محلی براساس الگوریتم گرده افشانی بدون توجه به ایجاد بهبود به راه حل مربوطه خودش اعمال گردد. این وضعیت دو حالت مختلف را برای بررسی ایجاد می نماید. بنابراین پیاده سازی الگوریتم ترکیبی با ۱۲=(۲×۲×۳) حالت مختلف طبق جدول ۱ انجام گردید و جهت سادگی در نام بردن این ۱۲ حالت اسامی آنها با نام های FEA۱ الی FEA۱۲ نامگذاری گردید. فلوچارت روش جستجوی ترکیبی پیشنهادی درشکل (۲) مشاهده می‌شود.

۳- نتایج پیاده‌سازی

در این تحقیق به منظور بررسی کارائی و عملکرد الگوریتم ترکیبی دو نوع پیاده سازی مختلف انجام گردید. پیاده سازی اول با استفاده از توابع ارزیابی استاندارد انجام گردیده است و پیاده سازی دوم جهت حل یک مسئله مهندسی در زمینه توزیع بار الکتریکی مولدهای برق انجام شده است. کلیه پیاده سازی های انجام شده توسط نرم افزار متلب ورژن ۱۴ و برروی یک رایانه رومیزی شخصی با پردازنده ۳ هسته ای با چهار گیگا بایت حافظه اصلی و تحت سیستم عامل ویندوز سون ۶۴ بیت انجام گردیده است.

مقادیر پارامترهای استفاده شده در پیاده سازی های فوق براساس مقادیر پیش فرض انتخاب گردیده اند [۱۰ و ۱۱ و ۱۳و ۱۷].

جهت ارزیابی عملکرد ۱۲ الگوریتم ترکیبی (FEA۱ الی FEA۱۲)، دو آزمایش برروی ۱۲ تابع ارزیابی[۱] استاندارد که مشخصات آنها در جدول ۲ آمده است انجام گردید. توابع ارزیابی فوق جهت مشخص شدن کارائی ۱۲ الگوریتم ترکیبی در بررسی ویژگی های مربوط به الگوریتم ها مانند: همگرائی سریع، نادیده گرفتن تعداد زیادی نقاط می نیمم محلی[۲] قابلیت پرش بیرون از بهینه محلی و دوری از همگرائی زودهنگام انتخاب شده اند.

در جدول ۲ نام تابع ارزیابی، نوع تابع (شامل: چندمدی[۳] تک مدی[۴] جداشدنی[۵] جدانشدنی[۶]، بازه عملکرد تابع (حد بالا و حد پائین) و فرمول تابع آمده است. مقدار بهینه کلیه توابع فوق مقدار صفر می باشد. در این دو آزمایش اندازه جمعیت ۵۰ در نظر گرفته شده است. اولین آزمایش با حداکثر تعداد تکرار ۱۰۰۰۰ و ابعاد فضای مسئله ۲ انجام گردید.

نتایج این آزمایش شامل میانگین خطای ۱۲ الگوریتم ترکیبی در بهینه سازی توابع ارزیابی و نیز تعیین الگوریتم ترکیبی که بهترین عملکرد را داشته است در جدول ۳ ارائه گردیده است. دومین آزمایش با حداکثر تعداد تکرار ۱۰۰۰۰ و ابعاد فضای مسئله ۳۰ انجام گردید. نتایج این آزمایش در جدول ۴ ارائه گردیده است. هدف از این دو آزمایش تعیین بهترین الگوریتم ترکیبی از بین ۱۲ الگوریتم پیشنهادی در بهینه سازی توابع ارزیابی بوده است. خلاصه نتایج این دو آزمایش در جدول ۵ ارائه گردیده است. با توجه به نتایج جدول ۳ مشاهده می گردد که الگوریتم FEA۷ در پنج مورد، الگوریتم FEA۸ در نه مورد، الگوریتم FEA۹ در پنج مورد، الگوریتم FEA۱۰ در هفت مورد، الگوریتم FEA۱۱ در شش مورد و الگوریتم FEA۱۲ در ده مورد منفردا و یا مشترکا نتایج بهتری را نسبت به سایر الگوریتم های ترکیبی بدست آورده اند. با توجه به نتایج جدول ۴ مشاهده می گردد که الگوریتم FEA۸ در پنج مورد، الگوریتم FEA۱۰ در یک مورد و الگوریتم FEA۱۲ در شش مورد منفردا نتایج بهتری نسبت

[۱] Benchmark function
[۲] Local Minima
[۳] Multimodal
[۴] Unimodal
[۵] Separable
[۶] Non-Separable

www.SID.ir

Archive of SID

به سایر الگوریتم های ترکیبی بدست آورده اند. الگوریتم های ترکیبی FEA۱ الی FEA٦ در هیچ موردی نتایج برتری را از خود نشان نداده اند. با توجه به جدول ۵ مشاهده می گردد که سه الگوریتم ترکیبی برتر در بهینه سازی ۱۲ تابع ارزیابی مورد استفاده الگوریتم های FEA۸، FEA۱۰ و FEA۱۲ می باشند. بنابراین در ادامه این تحقیق کلیه پیاده سازی ها و بررسی های مربوط به الگوریتم ترکیبی پیشنهادی منحصرا جهت این سه الگوریتم برتر ترکیبی انجام گردیده است.

جدول ۳- میانگین خطای ۱۲ الگوریتم ترکیبی در بهینه سازی توابع ارزیابی با حداکثر تعداد تکرار ۱۰۰۰۰ و ابعاد فضای مسئله ۲

ردیف	نام تابع	میانگین خطا			
		FEA۱ FEA۲ FEA۳	**FEA۴ FEA۵ FEA۶**	**FEA۷ FEA۸ FEA۹**	**FEA۱۰ FEA۱۱ FEA۱۲**
		بهترین الگوریتم (ها) در ارزیابی این تابع			
۱	Ackley	۳/۶۷۲۹۳e-۰۱	۱/۳۳۵۵۱e-۰۱	۸/۸۸۱۷۸e-۱۶	۸/۸۸۱۷۸e-۱۶
		۱/۴۵۵۹۴e-۰۱	۲/۵۶۹۰۵e-۰۲	۸/۸۸۱۷۸e-۱۶	۸/۸۸۱۷۸e-۱۶
		۵/۹۸۴۲۰e-۰۱	۲/۲۸۹۱۵e-۰۳	۸/۸۸۱۷۸e-۱۶	۸/۸۸۱۷۸e-۱۶
		FEA۷+FEA۸+FEA۹+FEA۱۰+FEA۱۱+FEA۱۲			
۲	Griewank	۸/۶۶۶۳۵e-۰۲	۴/۰۴۲۴۲e-۰۲	۹/۴۳۹۷۹e-۱۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰
		۱/۲۰۳۷۲e-۰۱	۱/۳۸۵۲۴e-۰۲	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰
		۱/۵۱۳۷۰e-۰۱	۷/۱۰۳۵۰e-۰۳	۱/۸۴۱۰۵e-۰۴	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰
		FEA۸+FEA۱۰+FEA۱۱+FEA۱۲			
۳	Penalized Fun. ۱	۵/۳۵۶۲۹e-۰۲	۷/۵۳۹۳۸e-۰۳	۲/۳۵۵۸۲e-۳۱	۲/۳۵۵۸۲e-۳۱
		۴/۷۱۶۷۳e-۰۳	۱/۶۳۵۸۱e-۰۴	۲/۳۵۵۸۲e-۳۱	۲/۳۵۵۸۲e-۳۱
		۱/۰۹۸۶۹e-۰۱	۱/۴۳۹۴۶e-۰۵	۲/۳۵۵۸۲e-۳۱	۲/۳۵۵۸۲e-۳۱
		FEA۷+FEA۸+FEA۹+FEA۱۰+FEA۱۱+FEA۱۲			
۴	Penalized Fun. ۲	۱/۹۷۹۱۳e-۰۲	۵/۱۸۵۲۰e-۰۳	۱/۳۴۹۷۸e-۳۲	۱/۳۴۹۷۸e-۳۲
		۲/۶۵۸۳۶e-۰۲	۵/۴۶۲۷۹e-۰۶	۱/۳۴۹۷۸e-۳۲	۱/۳۴۹۷۸e-۳۲
		۲/۴۱۶۲۹e-۰۲	۱/۰۴۸۸۰e-۰۵	۱/۳۴۹۷۸e-۳۲	۱/۳۴۹۷۸e-۳۲
		FEA۷+FEA۸+FEA۹+FEA۱۰+FEA۱۱+FEA۱۲			
۵	Quartic	۲/۶۵۱۵۳e-۱۱	۵/۳۰۶۷۳e-۱۲	۱/۸۲۸۲۶e-۱۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰
		۴/۱۱۳۶۷e-۱۱	۲/۷۵۰۸۵e-۱۶	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۵/۱۲۲۳۲e-۲۰۸
		۲/۳۵۱۲۱e-۱۰	۳/۸۸۵۵۸e-۱۷	۶/۹۶۹۹۶e-۱۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰
		FEA۸+FEA۱۰+FEA۱۲			
۶	Rastrigin	۸/۵۱۶۵۷e-۰۵	۴/۵۰۱۰۶e-۰۲	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰
		۲/۱۳۷۷۸e-۰۳	۲/۸۸۳۷۵e-۰۳	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰
		۵/۷۲۰۶۷e-۰۲	۱/۴۵۹۹۴e-۰۴	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰
		FEA۷+FEA۸+FEA۹+FEA۱۰+FEA۱۱+FEA۱۲			
۷	Rosenbrock	۳/۲۹۷۱۶e-۰۲	۴/۶۰۵۲۳e-۰۵	۴/۵۵۰۹۶e-۱۷	۲/۷۶۳۲۷e-۱۵
		۲/۶۱۶۳۰e-۰۳	۵/۵۸۳۷۷e-۰۴	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۳/۵۳۷۰۶e-۱۷
		۱/۰۱۲۳۰e-۰۲	۲/۴۳۰۷۲e-۰۶	۱/۹۳۵۷۲e-۱۳	۶/۱۶۲۲۰e-۱۷
		FEA۸			
۸	Schwefel ۱/۲	۹/۲۴۵۹۵e-۰۵	۷/۰۶۹۱۸e-۰۹	۹/۴۵۹۴۵e-۲۲	۱/۸۲۲۴۲e-۱۷
		۲/۹۱۱۱۴e-۰۹	۷/۸۱۷۶۹e-۱۰	۲/۵۱۳۰۳e-۵۴	۶/۵۸۲۲۸e-۱۳
		۴/۰۵۵۴۵e-۰۸	۸/۴۹۷۰۲e-۱۲	۱/۷۰۷۰۵e-۱۳	۱/۸۳۱۴۷e-۱۵
		FEA۸			
۹	Schwefel ۲/۲۱	۴/۰۴۰۸۱e-۰۱	۲/۳۵۹۹۹e-۰۱	۲/۷۳۷۷۵e-۳۰	۲/۸۲۹۰۶e-۱۰۴

www.SID.ir

Archive of SID

		۲/۰۶۲۳۷e-۰۱ ۴/۸۲۸۸۶e-۰۱	۳/۸۷۳۳۵e-۰۲ ۶/۴۶۴۴۹e-۰۳	۱/۶۹۲۵۹e-۱۰۰ ۹/۹۸۲۲۸e-۳۱	۳/۰۴۹۹۹e-۵۹ ۱/۴۹۵۰۴e-۲۸۰
		FEA۱۲			
۱۰	Schwefel ۲/۲۲	۵/۲۷۶۶۰e-۰۱ ۸/۰۲۵۷۵e-۰۲ ۶/۷۳۳۲۹e-۰۱	۱/۲۰۶۳۹e-۰۱ ۶/۲۷۱۳۸e-۰۳ ۸/۸۰۹۶۲e-۰۳	۱/۷۰۵۴۰e-۲۸ ۲/۴۷۶۸۹e-۱۰۸ ۶/۹۱۳۵۷e-۲۵	۵/۸۸۰۲۳e-۱۰۵ ۱/۵۶۳۱۱e-۵۲ ۴/۸۲۰۲۰e-۲۶۳
		FEA۱۲			
۱۱	Sphere	۳/۲۱۸۴۲e-۰۴ ۷/۷۷۰۰۵e-۰۴ ۷/۹۱۱۰۲e-۰۵	۱/۸۲۶۷۰e-۰۶ ۷/۹۱۳۳۱e-۰۸ ۷/۶۸۸۶۴e-۰۹	۳/۰۹۶۲۳e-۶۵ ۴/۱۶۹۴۷e-۲۱۷ ۴/۵۳۴۸۱e-۶۰	۷/۳۲۰۴۹e-۲۰۷ ۲/۶۶۵۴۵e-۱۱۸ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰
		FEA۱۲			
۱۲	Step	۱/۵۴۵۱۱e+۰۰ ۹/۰۶۵۹۹e-۰۱ ۱/۱۴۴۱۸e+۰۰	۵/۹۰۶۰۲e-۰۱ ۵/۲۰۵۶۵e-۰۱ ۵/۱۵۰۹۲e-۰۱	۵/۰۰۰۰۰e-۰۱ ۵/۰۰۰۰۰e-۰۱ ۵/۰۰۰۰۰e-۰۱	۵/۰۰۰۰۰e-۰۱ ۵/۰۰۰۰۰e-۰۱ ۵/۰۰۰۰۰e-۰۱
		FEA۷+FEA۸+FEA۹+FEA۱۰+FEA۱۱+FEA۱۲			

جدول ۴- میانگین خطای ۱۲ الگوریتم ترکیبی در بهینه سازی توابع ارزیابی با حداکثر تعداد تکرار ۱۰۰۰۰ و ابعاد فضای مسئله ۳۰

ردیف	نام تابع	میانگین خطا				بهترین الگوریتم (ها)
		FEA۱ FEA۲ FEA۳	FEA۴ FEA۵ FEA۶	FEA۷ FEA۸ FEA۹	FEA۱۰ FEA۱۱ FEA۱۲	
۱	Ackley	۷/۱۰۶۴۵e+۰۰ ۶/۴۰۵۱۷e+۰۰ ۳/۹۶۱۶۵e+۰۰	۳/۱۱۱۱۴e+۰۰ ۲/۷۹۳۸۰e+۰۰ ۲/۱۴۶۹۵e+۰۰	۲/۶۲۴۱۰e+۰۰ ۱/۳۰۷۴۸e+۰۰ ۴/۳۳۹۶۵e+۰۰	۲/۰۸۳۹۶e+۰۰ ۲/۳۲۶۰۴e+۰۰ ۱/۱۶۹۷۴e+۰۰	FEA۱۲
۲	Griewank	۱/۹۹۸۵۳e+۰۲ ۱/۰۷۵۸۳e+۰۲ ۶/۱۰۴۳۷e+۰۱	۱/۱۱۶۴۵e+۰۱ ۵/۱۱۹۵۰e+۰۰ ۱/۲۴۸۰۷e+۰۰	۱/۶۵۸۴۶e+۰۰ ۴/۹۰۶۹۱e-۰۳ ۳/۶۹۵۰۰e+۰۱	۱/۰۳۳۶۶e+۰۰ ۱/۲۱۴۳۰e+۰۰ ۱/۴۱۴۸۵e-۰۲	FEA۸
۳	Penalized Fun. ۱	۱/۲۶۹۲۰e+۰۷ ۲/۱۱۳۳۱e+۰۴ ۵/۰۱۲۷۹e+۰۱	۱/۳۳۷۸۷e+۰۱ ۱/۱۵۷۹۵e+۰۱ ۲/۷۶۶۲۴e+۰۰	۹/۰۶۰۹۳e-۰۲ ۱/۲۸۰۹۷e-۰۱ ۹/۶۲۴۸۵e-۰۱	۱/۳۵۹۵۳e-۰۷ ۱/۰۵۰۷۶e-۰۳ ۱/۲۸۰۹۷e-۰۱	FEA۱۰
۴	Penalized Fun. ۲	۳/۰۶۴۰۲e+۰۷ ۳/۷۱۹۰۶e+۰۷ ۱/۳۳۱۳۵e+۰۵	۶/۴۷۰۵۴e+۰۱ ۴/۱۸۷۳۴e+۰۱ ۲/۷۱۳۴۲e+۰۰	۸/۲۹۸۰۴e-۰۳ ۱/۴۷۲۲۲e-۰۷ ۴/۳۹۷۳۲e-۰۲	۱/۰۹۸۸۶e-۰۲ ۵/۱۳۷۶۳e-۰۳ ۲/۹۴۰۵۴e-۰۷	FEA۸
۵	Quartic	۶/۴۸۷۹۵e+۰۰ ۷/۷۸۰۸۷e+۰۰ ۴/۴۸۷۸۵e-۰۱	۳/۹۱۹۱۲e-۰۲ ۲/۶۱۶۳۶e-۰۲ ۳/۷۹۸۹۳e-۰۴	۳/۶۹۷۴۴e-۰۴ ۹/۹۵۳۶۴e-۰۹ ۱/۲۴۵۲۹e+۰۰	۵/۷۱۲۲۲e-۰۳ ۵/۲۰۴۳۸e-۰۴ ۱/۳۸۳۴۹e-۱۱	FEA۱۲
۶	Rastrigin	۲/۷۹۹۲۹e+۰۲ ۲/۷۶۱۰۳e+۰۲ ۲/۳۶۳۵۰e+۰۲	۲/۲۶۱۰۳e+۰۲ ۱/۹۹۸۹۸e+۰۲ ۱/۰۴۶۲۱e+۰۲	۱/۱۶۳۴۳e+۰۲ ۲/۷۹۴۴۷e+۰۱ ۱/۶۷۸۱۵e+۰۲	۱/۰۸۴۲۹e+۰۲ ۱/۲۷۷۴۸e+۰۲ ۳/۵۴۹۳۱e+۰۱	FEA۸
۷	Rosenbrock	۲/۶۸۸۳۶e+۰۵ ۲/۱۱۴۰۴e+۰۵ ۴/۱۷۱۳۷e+۰۴	۲/۱۳۴۱۵e+۰۴ ۳/۵۹۴۶۱e+۰۳ ۱/۷۶۲۰۸e+۰۲	۴/۸۷۸۲۳e+۰۱ ۱/۶۱۶۳۱e+۰۱ ۱/۵۳۰۳۷e+۰۲	۷/۰۸۷۳۱e+۰۱ ۱/۰۷۰۲۸e+۰۳ ۱/۱۲۱۶۹e+۰۱	FEA۱۲
۸	Schwefel ۱/۲	۷/۲۵۷۹۴e-۰۹ ۱/۰۶۴۷۶e-۰۷ ۶/۴۱۹۰۲e-۰۷	۵/۳۹۸۳۶e-۰۸ ۴/۱۳۵۴۸e-۱۰ ۱/۸۰۲۲۴e-۱۱	۳/۲۲۱۸۹e-۲۲ ۱/۹۱۳۶۲e-۴۹ ۶/۹۸۹۰۷e-۱۰	۱/۳۶۶۱۹e-۱۰ ۵/۸۷۳۳۳e-۱۲ ۴/۳۳۰۱۷e-۱۴	FEA۸
۹	Schwefel ۲/۲۱	۵/۴۹۷۵۲e+۰۱ ۴/۸۰۰۰۷e+۰۱	۱/۸۷۶۵۸e+۰۱ ۱/۴۶۱۳۸e+۰۱	۵/۴۴۷۵۱e+۰۰ ۱/۵۹۷۸۹e-۰۳	۴/۱۹۰۲۷e-۰۲ ۹/۴۲۲۵۸e+۰۰	FEA۱۲

www.SID.ir

Archive of SID

		۲/۵۳۰۲۷e+۰۱	۸/۲۷۵۹۰e+۰۰	۱/۷۱۳۸۳e+۰۱	۷/۳۵۴۰۰e-۰۹	
۱۰	Schwefel ۲/۲۲	۱/۸۳۹۴۵e+۳۲ ۳/۵۴۹۷۸e+۲۰ ۷/۶۸۲۳۹e+۲۰	۷/۳۰۳۱۷e+۱۴ ۶/۱۸۱۹۳e+۱۴ ۱/۹۷۷۱۴e+۰۹	۱/۱۰۴۲۳e+۱۵ ۲/۸۳۰۹۲e+۰۲ ۱/۴۵۵۶۵e+۲۳	۱/۰۶۷۱۳e+۱۲ ۴/۸۷۶۳۷e+۱۴ ۲/۲۹۸۵۸e+۰۲	FEA۱۲
۱۱	Sphere	۵/۹۲۵۷۶e+۰۱ ۳/۲۶۳۸۰e+۰۱ ۸/۹۶۲۴۸e+۰۰	۲/۸۵۱۸۹e+۰۰ ۱/۵۷۶۷۶e+۰۰ ۸/۰۶۶۲۶e-۰۲	۱/۶۳۹۵۸e-۰۱ ۳/۰۷۵۵۰e-۱۷ ۵/۵۳۹۵۶e+۰۰	۱/۰۷۸۲۵e-۱۱ ۲/۹۵۶۳۹e-۰۵ ۷/۵۰۲۴۶e-۵۴	FEA۱۲
۱۲	Step	۲/۵۱۵۰۱e+۰۴ ۱/۱۴۵۲۶e+۰۴ ۳/۳۹۸۹۵e+۰۳	۱/۷۴۳۴۷e+۰۳ ۶/۰۱۰۵۶e+۰۲ ۷/۵۲۴۶۴e+۰۱	۱/۳۲۳۵۵e+۰۲ ۷/۵۰۰۰۱e+۰۰ ۲/۴۷۹۲۵e+۰۳	۷/۵۰۲۲۵e+۰۰ ۸/۱۲۰۶۳e+۰۰ ۷/۵۰۰۶۵e+۰۰	FEA۸

جدول ۵- خلاصه نتایج ارزیابی ۱۲ الگوریتم ترکیبی پیشنهادی

ردیف	نوع آزمایش		تعداد موارد برتر شدن الگوریتم ترکیبی (منفردا و یا مشترکا)					
	تعداد تکرار	ابعاد مسئله	FEA۷	FEA۸	FEA۹	FEA۱۰	FEA۱۱	FEA۱۲
۱	۱۰۰۰۰	۲	۵	۹	۵	۷	۶	۱۰
۲	۱۰۰۰۰	۳۰		۵		۱		۶
جمع			۵	۱۴	۵	۸	۶	۱۶

جدول ۶- میانگین خطای سه الگوریتم برتر ترکیبی در مقایسه با الگوریتم های والد و
سایر الگوریتم های شناخته شده در بهینه سازی توابع ارزیابی با حداکثر تعداد تکرار ۱۰۰۰۰ و ابعاد فضای مسئله ۲

ردیف	نام تابع	میانگین خطا			
		HS BBO RCGA DE	GSA PSO ABC CSA	FPA EMA	FEA۸ FEA۱۰ FEA۱۲
		بهترین الگوریتم (ها) در ارزیابی این تابع			
۱	Ackley	۷/۸۸۷۱۳e-۰۷ ۱/۵۰۹۹۰e-۱۴ ۸/۸۸۱۷۸e-۱۶ ۸/۸۸۱۷۸e-۱۶	۴/۹۵۶۱۲e-۱۱ ۸/۸۸۱۷۸e-۱۶ ۶/۳۲۰۲۳e-۰۶ ۸/۸۸۱۷۸e-۱۶	۸/۸۸۱۷۸e-۱۶ ۸/۸۸۱۷۸e-۱۶	۸/۸۸۱۷۸e-۱۶ ۸/۸۸۱۷۸e-۱۶ ۸/۸۸۱۷۸e-۱۶
		FEA۸+FEA۱۰+FEA۱۲+FPA+EMA+CSA+DE+PSO+RCGA			
۲	Griewank	۲/۷۱۲۵۴e-۰۲ ۷/۳۹۶۰۴e-۰۳ ۴/۷۷۵۸۰e-۰۸ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۳/۰۶۲۸۵e-۰۵ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۱/۰۷۰۹۵e-۰۴ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰
		FEA۸+FEA۱۰+FEA۱۲+FPA+EMA+CSA+DE+PSO			
۳	Penalized Fun. ۱	۷/۸۹۳۴۰e-۱۲ ۵/۳۲۱۲۵e-۲۶ ۲/۳۵۵۸۲e-۳۱ ۲/۳۵۵۸۲e-۳۱	۶/۲۳۳۶۴e-۲۳ ۲/۳۵۵۸۲e-۳۱ ۵/۷۸۶۱۱e-۱۳ ۲/۳۵۵۸۲e-۳۱	۲/۳۵۵۸۲e-۳۱ ۲/۳۵۵۸۲e-۳۱	۲/۳۵۵۸۲e-۳۱ ۲/۳۵۵۸۲e-۳۱ ۲/۳۵۵۸۲e-۳۱
		FEA۸+FEA۱۰+FEA۱۲+FPA+EMA+CSA+DE+PSO+RCGA			
۴	Penalized Fun. ۲	۷/۵۰۱۹۴e-۱۲ ۶/۹۶۵۲۸e-۲۶ ۱/۳۴۹۷۸e-۳۲ ۱/۳۴۹۷۸e-۳۲	۲/۰۲۶۳۶e-۲۲ ۱/۳۴۹۷۸e-۳۲ ۷/۱۹۹۹۷e-۱۲ ۱/۳۴۹۷۸e-۳۲	۱/۳۴۹۷۸e-۳۲ ۱/۳۴۹۷۸e-۳۲	۱/۳۴۹۷۸e-۳۲ ۱/۳۴۹۷۸e-۳۲ ۱/۳۴۹۷۸e-۳۲
		FEA۸+FEA۱۰+FEA۱۲+FPA+EMA+CSA+DE+PSO+RCGA			
۵	Quartic	۸/۷۰۸۷۱e-۲۴	۶/۲۰۹۸۹e-۴۴	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰

www.SID.ir

Archive of SID

	۱/۳۳۶۰۳e-۶۴ ۲/۷۷۵۳۰e-۹۴ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۱/۷۲۴۲۷e-۳۳ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰
	FEA۸+FEA۱۰+FEA۱۲+FPA+EMA+CSA+DE+PSO			
۶	Rastrigin	۲/۵۲۱۵۵e-۰۹ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۱/۲۱۹۶۵e-۱۰ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۷/۶۰۲۶۴e-۰۷ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰
	FEA۸+FEA۱۰+FEA۱۲+FPA+EMA+BBO+CSA+DE+GSA+PSO			
۷	Rosenbrock	۲/۱۳۰۶۷e-۰۳ ۱/۰۰۷۴۲e-۰۸ ۱/۰۱۴۲۶e+۰۰ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۶/۴۱۹۹۰e-۲۱ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۳/۲۱۰۱۵e-۰۵ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۴/۱۳۹۲۲e-۲۰ ۱/۲۵۷۲۷e-۱۵ ۱/۸۶۱۳۶e-۱۷
	FEA۸+FPA+CSA+DE+PSO			
۸	Schwefel ۱/۲	۵/۳۹۱۸۳e-۱۵ ۱/۱۷۸۲۱e-۵۳ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۶/۸۷۹۷۴e-۳۶ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۴/۷۷۶۲۹e-۲۶ ۲/۴۸۳۶۲e-۲۶۱	۱/۱۵۷۹۰e-۲۴۹ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۶/۹۴۱۳۳e-۵۵ ۲/۲۸۴۷۴e-۱۴ ۱/۴۱۶۷۴e-۱۶
	EMA+DE+PSO+RCGA			
۹	Schwefel ۲/۲۱	۵/۹۵۸۷۱e-۰۶ ۳/۷۰۰۶۸e-۱۲ ۳/۴۱۳۹۹e-۱۰ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۱/۶۷۱۸۳e-۱۱ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۲/۳۵۷۳۶e-۰۶ ۱/۵۳۵۰۶e-۹۷	۱/۶۸۳۵۲e-۹۲ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۸/۰۶۱۶۶e-۱۰۷ ۱/۲۲۵۱۰e-۱۰۷ ۳/۱۴۵۲۸e-۲۶۲
	EMA+DE+PSO			
۱۰	Schwefel ۲/۲۲	۱/۸۲۰۹۵e-۰۶ ۱/۳۵۱۱۳e-۱۵ ۷/۷۳۷۷۳e-۷۶ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۴/۳۴۷۲۱e-۱۱ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۳/۴۳۶۲۶e-۰۷ ۶/۱۳۷۸۱e-۱۰۶	۱/۳۵۸۶۳e-۹۱ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۳/۲۸۳۴۰e-۱۰۴ ۶/۹۰۵۴۰e-۱۱۱ ۱/۳۱۶۰۸e-۲۵۸
	EMA+DE+PSO			
۱۱	Sphere	۱/۳۷۸۵۸-e۱۲ ۶/۶۱۱۶۶e-۳۷ ۲/۵۱۰۷۹e-۸۷ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۲/۹۲۲۹۹e-۲۲ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۷/۰۱۲۸۱e-۱۶ ۱/۰۸۹۰۴e-۲۲۰	۱/۰۱۳۳۰e-۱۸۱ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰ ۵/۷۶۸۲۷e-۲۱۳ ۱/۷۵۷۴۷e-۲۰۵ ۰/۰۰۰۰۰e+۰۰
	FEA۱۲+EMA+DE+PSO			
۱۲	Step	۵/۰۰۰۰۴e-۰۱ ۵/۰۰۰۰۰e-۰۱ ۵/۰۰۰۰۰e-۰۱ ۵/۰۰۰۰۰e-۰۱	۵/۰۰۰۰۰e-۰۱ ۵/۰۰۰۰۰e-۰۱ ۵/۰۰۰۰۰e-۰۱ ۵/۰۰۰۰۰e-۰۱	۵/۰۰۰۰۰e-۰۱ ۵/۰۰۰۰۰e-۰۱ ۵/۰۰۰۰۰e-۰۱

جدول ۷- میانگین خطای سه الگوریتم برتر ترکیبی در مقایسه با الگوریتم های والد و
سایر الگوریتم های شناخته شده در بهینه سازی توابع ارزیابی با حداکثر تعداد تکرار ۱۰۰۰۰ و ابعاد فضای مسئله ۳۰

ردیف	نام تابع	میانگین خطا			
		HS BBO RCGA DE	**GSA PSO ABC CSA**	**FPA EMA**	**FEA۸ FEA۱۰ FEA۱۲**
		بهترین الگوریتم (ها) در ارزیابی این تابع			
۱	Ackley	۱/۸۴۷۰۳e+۰۰ ۱/۴۸۸۰۳e-۰۳ ۴/۶۷۶۲۵e-۰۱	۴/۴۸۴۶۳e-۱۰ ۵/۰۷۴۲۵e-۰۱ ۱/۶۳۱۸۹e+۰۰	۱/۱۲۰۱۷e+۰۰ ۸/۹۰۴۰۵e-۰۱	۱/۱۴۱۷۶e+۰۰ ۲/۰۱۷۱۰e+۰۰ ۹/۹۹۳۱۴e-۰۱

www.SID.ir

Archive of SID

		۷/۹۹۳۶۱e-۱۵	۷/۹۷۷۹۴e-۰۱		
		DE			
۲	Griewank	۶/۸۰۸۰۴e+۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۱/۷۲۲۶۳e-۰۲	۱/۵۹۵۳۴e-۰۲
		۲/۱۹۴۵۶e-۰۲	۴/۸۹۰۵۶e-۰۲	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۱/۰۵۶۹۹e+۰۰
		۱/۰۴۹۲۳e+۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰		۱/۱۰۷۱۵e-۰۲
		۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰		
		EMA+ABC+CSA+DE+GSA			
۳	Penalized Fun. ۱	۱/۴۵۱۴۶e+۰۱	۲/۵۳۸۷۷e-۱۹	۱/۲۸۰۹۷e-۰۱	۹/۲۹۹۶۸e-۰۹
		۲/۶۱۳۵۶e+۰۵	۱/۵۷۰۵۴e-۳۲	۱/۵۷۰۵۴e-۳۲	۴/۱۴۰۸۵e-۰۷
		۱/۲۶۷۴۷e-۰۱	۱/۵۱۰۶۷e+۰۱		۴/۸۸۴۶۵e+۰۰
		۱/۵۷۰۵۴e-۳۲	۱/۵۷۰۵۴e-۳۲		
		EMA+CSA+DE+PSO			
۴	Penalized Fun. ۲	۵/۳۳۹۱۵e+۰۱	۶/۷۴۸۲۴e-۱۹	۵/۰۰۸۶۵e-۱۷	۲/۷۷۶۵۹e-۰۷
		۲/۴۵۱۹۷e+۰۴	۱/۴۷۳۰۴e-۳۲	۱/۳۴۹۷۸e-۳۲	۸/۰۹۰۸۴e-۰۷
		۲/۱۶۷۲۸e-۰۱	۵/۹۰۲۵۷e-۱۲		۱/۰۹۸۷۹e-۰۲
		۱/۳۴۹۷۸e-۳۲	۱/۳۴۹۷۸e-۳۲		
		EMA+CSA+DE			
۵	Quartic	۱/۴۶۰۶۰e-۰۲	۱/۶۰۷۹۳e-۳۵	۳/۲۵۱۵۲e-۳۱	۶/۴۵۷۹۳e-۱۰
		۸/۷۶۴۵۸e-۱۴	۱/۱۶۶۱۵e-۱۵۹	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۵/۶۴۴۸۵e-۰۳
		۱/۷۲۸۱۴e-۰۶	۱/۹۷۸۴۸e-۲۰		۱/۵۷۴۴۰e-۱۲
		۸/۱۹۹۰۱e-۲۵۱	۱/۹۷۶۳۸e-۹۸		
		EMA			
۶	Rastrigin	۲/۰۵۷۵۹e+۰۱	۱/۱۹۳۹۵e+۰۱	۲/۵۸۶۸۹e+۰۱	۳/۵۰۶۰۴e+۰۱
		۵/۹۶۹۹۱e+۰۱	۲/۷۸۵۸۸e+۰۱	۵/۶۸۴۳۴e-۱۴	۱/۰۳۶۱۹e+۰۲
		۴/۴۹۲۰۱e+۰۰	۱/۹۱۵۲۹e+۰۲		۳/۴۰۲۶۰e+۰۱
		۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۱/۲۸۵۷۹e+۰۱		
		DE			
۷	Rosenbrock	۷/۰۰۱۰۸e+۰۲	۱/۴۱۰۷۴e+۰۱	۷/۲۸۵۶۷e+۰۰	۳/۵۷۱۹۹e-۰۵
		۱/۶۹۶۸۲e+۰۱	۲/۲۶۶۷۵e+۰۱	۱/۴۰۰۶۴e-۰۲	۵/۶۸۲۳۱e+۰۱
		۹/۴۰۰۲۵e+۰۱	۲/۱۹۷۰۸e+۰۱		۷/۰۴۲۳۴e+۰۱
		۱/۹۵۰۵۴e+۰۱	۶/۳۴۲۹۶e-۱۱		
		CSA			
۸	Schwefel ۱/۲	۹/۴۸۰۲۳e-۱۶	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۶/۸۸۴۰۶e-۲۴۹	۸/۳۵۸۰۱e-۵۳
		۲/۱۱۶۴۱e-۱۳	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۹/۱۳۱۳۳e-۶۵	۲/۳۲۹۱۱e-۱۱
		۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰		۱/۰۷۲۲۰e-۱۴
		۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۷/۶۴۸۴۲e-۲۷۶		
		ABC+DE+GSA+PSO+RCGA			
۹	Schwefel ۲/۲۱	۲/۹۱۸۲۶e+۰۱	۱/۷۵۲۶۰e-۰۹	۱/۹۷۵۹۲e+۰۰	۲/۷۷۷۷۱e-۰۳
		۱/۴۴۱۴۱e-۰۱	۵/۶۹۱۹۷e-۰۶	۲/۶۶۷۶۱e-۴۴	۲/۸۴۰۵۲e-۰۲
		۱/۹۳۴۰۵e+۰۰	۴/۹۱۵۱۲e+۰۱		۱/۷۹۷۹۰e-۰۷
		۴/۰۶۳۷۱e-۱۵	۱/۲۱۷۱۵e-۰۴		
		EMA			
۱۰	Schwefel ۲/۲۲	۳/۶۶۰۹۳e+۰۱	۱/۳۳۵۷۹e-۰۸	۵/۴۰۳۹۹e-۰۱	۲/۱۹۷۰۷e+۰۲
		۱/۵۷۹۱۴e-۰۱	۱/۲۹۱۹۰e-۴۴	۲/۲۵۶۸۹e-۱۷۸	۷/۹۵۳۵۶e+۱۲
		۴/۴۷۵۷۵e+۰۰	۶/۱۵۳۱۸e+۱۴		۱/۹۰۹۴۷e+۰۲
		۴/۱۴۰۸۳e-۹۲	۱/۰۰۰۰۰e+۱۰		
		EMA			
۱۱	Sphere	۱/۵۲۰۵۶e+۰۰	۸/۱۹۳۹۳e-۱۸	۲/۰۷۱۶۷e-۱۹	۴/۴۵۶۴۳e-۱۸
		۲/۶۷۵۴۱e-۰۶	۳/۹۲۹۱۲e-۱۰۳	۰/۰۰۰۰۰e+۰۰	۱/۰۴۶۶۱e-۱۱
		۱/۳۸۷۱۸e-۰۳	۱/۲۸۴۱۳e-۳۲		۲/۱۴۱۵۹e-۵۶
		۱/۵۵۴۹۸e-۱۵۸	۳/۶۷۶۴۸e-۶۳		
		EMA			

www.SID.ir

Archive of SID

۱۲	Step	۶/۱۰۸۸۵e+۰۲	۷/۵۰۰۰e+۰۰	۷/۵۰۰۰e+۰۰	۷/۵۰۰۲e+۰۰
		۷/۵۹۷۳۰e+۰۰	۷/۵۰۰۰e+۰۰	۷/۵۰۰۰e+۰۰	۷/۵۰۰۸۸e+۰۰
		۱/۷۴۴۳۱e+۰۱	۷/۵۰۰۰e+۰۰		۷/۵۱۴۲۳e+۰۰
		۷/۵۰۰۰e+۰۰	۷/۵۰۰۰e+۰۰		
	EMA+ABC+CSA+DE+PSO				

با توجه به جدول ۱ (پیاده سازی های مختلف الگوریتم ترکیبی) و نتایج جدول ۵ (تعیین سه الگوریتم های برتر ترکیبی)، مشخص گردید که ویژگی های اصلی سه الگوریتم برتر ترکیبی عبارتند از: ۱- این سه الگوریتم برتر فاقد سویچ احتمال برای گرده افشانی محلی می باشند. ۲- در این سه الگوریتم برتر، راه حال تولیدی در صورت بهبود نسبت به راه حل قبلی در جمعیت اعمال می گردد. ۳- بهترین حالت انتخاب جمعیت برای FEA۱۲ می باشد به طوریکه یک نفر بصورت تصادفی از گروه اول و یک نفر بصورت تصادفی از گروه دوم و یا گروه سوم بازار انتخاب گردیده است.

۳-۱- عملکرد الگوریتم های برتر ترکیبی در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها

دو آزمایش جهت بررسی عملکرد سه الگوریتم برتر ترکیبی FEA۸، FEA۱۰ و FEA۱۲ در مقایسه با الگوریتم های بهینه سازی مطرح و شناخته شده RCGA و PSO و DE و ABC و BBO و HSA و GSA و CSA و نیز الگوریتم های والد الگوریتم ترکیبی (FPA و EMA) انجام گردید. در این دو آزمایش اندازه جمعیت ۵۰ در نظر گرفته شده است. اولین آزمایش جهت مقایسه کارائی سه الگوریتم برتر ترکیبی در مقایسه با الگوریتم های والد و هشت الگوریتم دیگر شناخته شده در حوزه بهینه سازی با حداکثر تعداد تکرار ۱۰۰۰۰ و ابعاد فضای مسئله ۲ انجام گردید. نتایج این آزمایش شامل میانگین خطای الگوریتم های فوق در بهینه سازی توابع ارزیابی و نیز تعیین الگوریتم (های) که بهترین عملکرد را داشته است در جدول ۶ ارائه گردیده است. دومین آزمایش جهت مقایسه کارائی سه الگوریتم برتر ترکیبی در مقایسه با الگوریتم های والد و هشت الگوریتم دیگر شناخته شده در حوزه بهینه سازی با حداکثر تعداد تکرار ۱۰۰۰۰ و ابعاد فضای مسئله ۳۰ انجام گردید. نتایج این آزمایش شامل میانگین خطای الگوریتم های فوق در بهینه سازی توابع ارزیابی و نیز تعیین الگوریتم (های) که بهترین عملکرد را داشته است در جدول ۷ ارائه گردیده است. در صورتیکه میانگین خطای کمتر از ۳۲-e۱ بعنوان خطای با مقدار صفر در نظر گرفته شود و با توجه به نتایج جدول ۶ مشاهده می گردد که الگوریتم BBO در یک مورد، الگوریتم RCGA در پنج مورد، الگوریتم DE در دوازده مورد، الگوریتم GSA در یک مورد، الگوریتم PSO در دوازده مورد، الگوریتم CSA در هشت مورد، الگوریتم FPA در هشت مورد، الگوریتم EMA در یازده مورد، الگوریتم FEA۸ در دوازده مورد، الگوریتم FEA۱۰ در ده مورد و الگوریتم FEA۱۲ در ۱۰ مورد مشترکا نتایج بهتری نسبت به سایر الگوریتم ها بدست آورده اند و با توجه به جدول ۷ مشاهده می گردد که الگوریتم RCGA در یک مورد، الگوریتم DE در هفت مورد، الگوریتم GSA در دو مورد، الگوریتم PSO در سه مورد، الگوریتم ABC در سه مورد، الگوریتم CSA در پنج، مورد الگوریتم EMA در هشت مورد، الگوریتم FEA۸ در یک مورد و الگوریتم FEA۱۲ در یک مورد منفردا و یا مشترکا نتایج بهتری نسبت به سایر الگوریتم ها بدست آورده اند.

خلاصه نتایج جدول ۶ و جدول ۷ در جدول ۸ ارائه گردیده است. با توجه به جدول ۸ مشاهده می گردد که سه الگوریتم ترکیبی برتر در مقایسه با والدین خود و سایر الگوریتم های شناخته شده در حل توابع ارزیابی با حداکثر تعداد تکرار ۱۰۰۰۰ و فضای ابعاد ۲ تقریبا نتایج یکسان و در برخی از موارد نیز نیاز بهتری را تولید نموده اند، اما در حل توابع ارزیابی با حداکثر تعداد تکرار ۱۰۰۰۰ و فضای ابعاد ۳۰ اگرچه نتایج از الگوریتم FPA بهتر می باشد ولی در مقایسه با الگوریتم EMA و نیز برخی از الگوریتم های شناخته شده نتایج خوبی را تولید ننموده اند.

۳-۲- حل یک مسئله مهندسی

در پیاده سازی های سری دوم به منظور بررسی عملکرد و کارائی سه الگوریتم برتـر ترکیبی آزمایش های جهت حل یک مسئله مهندسی در زمینه توزیع بار الکتریکی مولدهای برق انجام گردید.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸- خلاصه مقایسه عملکرد سه الگوریتم برتر ترکیبی نسبت به الگوریتم های والد (FPA و EMA) و سایر الگوریتم های شناخته شده در بهینه سازی توابع ارزیابی

ردیف	نوع آزمایش		تعداد موارد برتر شدن الگوریتم ها (منفردا و یا مشترکا)				
	تعداد تکرار	ابعاد مسئله	HS BBO	RCGA DE	GSA PSO	ABC CSA	FPA EMA	FEA۸ FEA۱۰ FEA۱۲
۱	۱۰۰۰۰	۲	۰ ۱	۵ ۱۲	۱ ۱۲	۰ ۸	۸ ۱۱	۱۲ ۱۰ ۱۰
۲	۱۰۰۰۰	۳۰	۰ ۰	۱ ۷	۲ ۳	۳ ۵	۰ ۸	۱ ۰ ۱

۳-۲-۱- مسئله توزیع بار اقتصادی[۱]

برنامه ریزی برای نحوه توزیع برق الکتریکی تولیدی مولدها به منظور پاسخگوئی به تقاضای بار برای پریودهای زمانی مشخص بسیار ضروری می باشد. این برنامه ریزی تحت عنوان مسئله تعهد واحد[۲]شناخته می شود.

در برنامه توزیع بارالکتریکی، تولید بهینه برای تقاضای بار مورد نیاز و با در نظر گرفتن ضایعات انتقال[۳]با کمترین (بهینه ترین) هزینه تولید مد نظر می باشد. هدف اصلی ELDP در سیستم های برق الکتریکی، برنامه ریزی به منظور تامین تقاضای بار الکتریکی با کمترین هزینه ضمن ارضاء محدودیت های تولیدی و محدویت های عملیاتی می باشد. بحث ELDP یک مسئله بهینه سازی محدود شده می باشد و می توان فرمول ریاضی آنرا بصورت ذیل بیان نمود [۱۷و ۱۸]:

$$\min[FC(P_n)] = \sum_{n=1}^{NEU}(a_n P_n^2 + b_n P_n + c_n) \quad \$/Hour \qquad (۱)$$

با شرط تساوی:

$$\sum_{n=1}^{NEU} P_n = P_{Demand} + P_{Loss} \qquad (۲)$$

و شرط نامساوی:

$$P_n^{min} \le P_n \ll P_n^{max} \qquad n = 1,2,3,\dots,NEU \qquad (۳)$$

بطوریکه a_n و b_n و c_n ضرایب هزینه و P_{Demand} تقاضای بار و P_{Loss} تلفات انتقال برق می باشد. مقدار NEU[۴] تعداد واحدهای تولیدی برق و P_n میزان تولید برق واقعی می باشد.

فرمول ریاضی میزان تلفات از طریق فرمول جورج [۱۷] با استفاده از ماتریس ضرایب B بصورت ذیل تعریف می گردد:

$$P_{Loss} = \sum_{n=1}^{NEU}\sum_{m=1}^{NEU} P_{gn} B_{nm} P_{gm} \quad (MegaWatt) \qquad (۴)$$

بطوریکه P_{gn} و P_{gm} به ترتیب تولید برق واقعی در n امین و m امین مولد برق می باشد. ماتریس B_{nm}، ماتریس ضرایب تلفات می باشد.

یک مسئله ELDP محدود را می توان به یک مسئله ELDP غیرمحدود با استفاده از فاکتور جریمه قطعی تبدیل نمود. بنابراین فرمول ریاضی ELDP غیرمحدود را می توان بصورت ذیل ارائه نمود:

$$\min[FC(P_n)] = \sum_{n=1}^{NEU}(a_n P_n^2 + b_n P_n + c_n) + 1000 * abs\left(\sum_{n=1}^{NEU} P_n - P_{Demand} - \sum_{n=1}^{NEU}\sum_{m=1}^{NEU} P_{gn} B_{nm} P_{gm}\right) \qquad (۵)$$

معادله (۵) شامل فاکتور جریمه $\sum_{n=1}^{NEU}\sum_{m=1}^{NEU} P_{gn} B_{nm} P_{gm}$ می باشد.

[۱] Economic load dispatch problem (ELDP)
[۲] Unit Commitment Problem (UCP)
[3] Transmission loss.
[4] Number of electric generating units (NEU)

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۲-۲- حل مسئله توزیع بار الکتریکی مولدهای برق

دو آزمایش مختلف جهت بررسی عملکرد سه الگوریتم برتر ترکیبی FEA۸، FEA۱۰ و FEA۱۲ در مقایسه با الگوریتم GWO و نیز الگوریتم های والد الگوریتم ترکیبی (FPA و EMA) برای حل مسئله توزیع بار الکتریکی مولدهای برق انجام گردید. آزمایش اول با حداکثر تعداد تکرار ۱۰۰ و آزمایش دوم با حداکثر تعداد تکرار ۲۵۰ انجام شد. در این دو آزمایش به بررسی واحدهای تولیدی مختلف به منظور تامین تقاضای بار الکتریکی مشخص و در برخی از موارد به همراه تلفات بار انجام گردید. سه نوع واحد تولیدی مختلف شامل واحدهای تولیدی کوچک شامل ۳ و ۶ واحدی و واحد تولیدی متوسط شامل ۱۳ واحدی و واحدهای تولیدی بزرگ ۳۸ و ۴۰ واحدی مورد بررسی قرار گرفتند. سیستم با ۳ واحد تولیدی و تقاضای بار ۱۵۰ مگا وات بهمراه تلفات بار [۱۹] و سیستم با ۳ واحد تولیدی و تقاضای بار ۸۵۰ و ۱۰۵۰ مگا واتی [۲۰] و سیستم با ۶ واحد تولیدی و تقاضای بارهای ۶۰۰ و ۷۰۰ و ۸۰۰ و ۹۰۰ و ۱۰۰۰ مگا وات بهمراه تلفات بار [۳] و سیستم با ۱۳ واحد تولیدی و تقاضای بار ۱۸۰۰ مگا وات [۲۱] و سیستم با ۳۸ واحد تولیدی و تقاضای بار ۶۰۰۰ مگا وات [۱۷] و سیستم با ۴۰ واحد تولیدی و تقاضای بار ۱۰۵۰۰ مگا وات [۱۶] مورد بررسی قرار گرفتند. در هر دو آزمایش تعداد اجرای الگوریتم ها ۵۰ بار و اندازه جمعیت ۱۵ در نظر گرفته شد و میانگین هزینه سوخت و میانگین تلفات بار در ۵۰ تکرار محاسبه گردید. نتیجه آزمایش اول با حداکثر تعداد تکرار ۱۰۰ در جدول ۹ ارائه گردیده است. نتیجه آزمایش دوم با حداکثر تعداد تکرار ۲۵۰ در جدول ۱۰ ارائه گردیده است. خلاصه نتایج آزمایش های اول و دوم به ترتیب در جدول ۱۱ و جدول ۱۲ ارائه گردیده است.

با توجه به جدول ۱۱ دیده می شود که الگوریتم GWO در دو مورد برای سیستم های ۶ و ۴۰ واحدی (فضای ابعاد کم و فضای ابعاد زیاد)، الگوریتم EMA در یک مورد برای سیستم های ۳۸ واحدی (فضای ابعاد زیاد)، الگوریتم FEA۸ در دو مورد برای سیستم های ۶ و ۱۳ واحدی (فضای ابعاد کم و فضای ابعاد متوسط) و الگوریتم FEA۱۲ در شش مورد برای سیستم های ۳ و ۶ واحدی (فضای ابعاد کم) بهترین هزینه تولید را داشته اند. با توجه به جدول ۱۲ دیده می شود که الگوریتم FPA در شش مورد برای سیستم های ۳، ۶ و ۳۸ واحدی (فضای ابعاد کم و فضای ابعاد زیاد)، الگوریتم EMA در یک مورد برای سیستم های ۴۰ واحدی (فضای ابعاد زیاد) و الگوریتم FEA۱۲ در چهار مورد برای سیستم های ۳ و ۶ واحدی (فضای ابعاد کم) بهترین هزینه تولید را داشته اند.

جدول ۹- توزیع بار الکتریکی اقتصادی سه الگوریتم برتر ترکیبی در مقایسه با الگوریتم های والد (FPA و EMA) و الگوریتم GWO با حداکثر تعداد تکرار ۱۰۰

تعداد واحد تولیدی	میزان تقاضای بار (مگا وات)	میانگین کل هزینه سوخت واحدهای تولیدی / میانگین کل تلفات بار واحدهای تولیدی					
		GWO	FPA	EMA	FEA۸	FEA۱۰	FEA۱۲
		الگوریتم دارای بهترین هزینه					
۳	۱۵۰	۱۰۲۶/۵۶۴ ۲/۴۷۰	۷۲۶/۰۸۸ ۲/۴۶۹	۱۶۵۸/۵۸۸ ۲/۴۸۹	۷۲۶/۷۱۸ ۲/۴۵۶	۷۴۰/۱۲۲ ۲/۴۴۴	۷۲۴/۶۰۶ ۲/۴۸۴
		FEA۱۲					
۳	۸۵۰	۹۱۰۶/۱۷۶ ۰/۰۰۰	۷۵۱۱/۳۰۵ ۰/۰۰۰	۱۲۲۵۶/۶۶۳ ۰/۰۰۰	۷۵۰۷/۰۵۲ ۰/۰۰۰	۷۶۱۷/۵۵۹ ۰/۰۰۰	۷۳۹۸/۱۶۹ ۰/۰۰۰
		FEA۱۲					
۳	۱۰۵۰	۱۵۴۲۹/۵۶۸ ۰/۰۰۰	۱۳۶۴۷/۵۳۳ ۰/۰۰۰	۱۶۲۹۹/۱۳۹ ۰/۰۰۰	۱۳۶۰۷/۵۰۶ ۰/۰۰۰	۱۳۸۲۸/۷۰۲ ۰/۰۰۰	۱۳۴۷۴/۳۳۰ ۰/۰۰۰
		FEA۱۲					
۶	۶۰۰	۷۷۰۷/۷۱۷ ۳/۳۷۶	۷۶۸۱/۸۸۶ ۳/۵۱۰	۸۱۱۸/۸۰۹ ۳/۶۵۲	۷۶۸۴/۳۰۸ ۳/۴۱۲	۷۷۰۹/۲۸۶ ۳/۵۹۱	۷۶۷۱/۵۸۷ ۳/۶۳۴

www.SID.ir

Archive of SID

		FEA۱۲				
۶	۷۰۰	۷۷۱۲/۶۳۰ ۴/۵۸۱	۷۶۷۷/۵۴۴ ۴/۹۹۰	۹۵۹۴/۸۴۷ ۴/۳۹۳	۷۶۸۵/۸۴۰ ۴/۶۱۶	۷۷۰۰/۹۲۳ ۴/۷۳۴	۷۶۷۱/۹۵۴ ۴/۸۹۲
		FEA۱۲					
۶	۸۰۰	۷۷۱۷/۷۴۳ ۶/۲۳۵	۷۶۷۷/۲۱۱ ۶/۰۹۸	۱۰۸۳۶/۱۷۴ ۵/۸۵۱	۷۶۸۱/۴۵۷ ۵/۹۵۰	۷۷۰۶/۱۸۲ ۶/۰۲۵	۷۶۷۱/۹۲۵ ۶/۲۹۴
		FEA۱۲					
۶	۹۰۰	۷۸۰۰/۷۲۶ ۷/۶۱۲	۷۶۸۴/۶۱۱ ۷/۶۰۳	۱۴۷۳۷/۳۹۲ ۷/۲۸۵	۷۶۸۳/۶۲۲ ۷/۴۵۹	۷۶۹۹/۲۰۵ ۷/۴۰۰	۷۷۹۲/۲۴۵ ۷/۷۲۳
		FEA۸					
۶	۱۰۰۰	۸۲۱۷/۹۰۰ ۹/۱۷۹	۸۳۴۳/۳۷۲ ۸/۸۸۷	۲۰۶۳۰/۷۹۱ ۸/۳۷۱	۸۳۰۱/۳۸۱ ۸/۶۲۷	۹۸۵۶/۹۳۷ ۸/۵۹۳	۹۱۴۴/۰۸۸ ۹/۰۰۴
		GWO					
۱۳	۱۸۰۰	۶۹۳۱/۴۰۶ ۰/۰۰۰	۳۲۰۸/۰۹۴ ۰/۰۰۰	۲۴۶۳۴/۳۴۱ ۰/۰۰۰	۳۱۳۶/۳۵۶ ۰/۰۰۰	۳۸۵۶/۰۴۱ ۰/۰۰۰	۳۷۱۹/۸۹۸ ۰/۰۰۰
		FEA۸					
۳۸	۶۰۰۰	۲۷۶۲۰۴۹۳/۲ ۰/۰۰۰	۲۷۶۲۰۳۳۰/۳ ۰/۰۰۰	۲۷۶۲۰۳۲۳/۵ ۰/۰۰۰	۲۷۶۲۰۳۶۱/۶ ۰/۰۰۰	۲۷۶۲۱۲۷۰/۶ ۰/۰۰۰	۲۷۶۲۰۳۸۵/۰ ۰/۰۰۰
		EMA					
۴۰	۱۰۵۰۰	۳۸۴۹۲/۸۲۰ ۰/۰۰۰	۵۵۵۸۱/۲۳۶ ۰/۰۰۰	۳۸۸۷۸/۱۱۰ ۰/۰۰۰	۵۰۹۰۵/۴۸۳ ۰/۰۰۰	۲۷۶۵۷۹/۵۵۳ ۰/۰۰۰	۲۶۱۵۲۶/۷۹۹ ۰/۰۰۰
		GWO					

جدول ۱۰- توزیع بار الکتریکی اقتصادی سه الگوریتم برتر ترکیبی در مقایسه با الگوریتم های والد (FPA و EMA) و الگوریتم GWO با حداکثر تعداد تکرار ۲۵۰

تعداد واحد تولیدی	**میزان تقاضای بار (مگا وات)**	**میانگین کل هزینه سوخت واحدهای تولیدی** **میانگین کل تلفات بار واحدهای تولیدی**					
		GWO	**FPA**	**EMA**	**FEA۸**	**FEA۱۰**	**FEA۱۲**
		الگوریتم دارای بهترین هزینه					
۳	۱۵۰	۷۸۸/۲۲۰ ۲/۵۰۱	۷۲۳/۴۰۸ ۲/۴۸۱	۱۴۷۰/۴۷۵ ۲/۴۹۹	۷۲۳/۸۰۳ ۲/۴۸۲	۷۲۴/۷۶۹ ۲/۴۸۶	۷۲۳/۴۶۶ ۲/۴۹۴
		FPA					
۳	۸۵۰	۷۶۴۶/۸۱۷ ۰/۰۰۰	۷۳۹۰/۷۲۹ ۰/۰۰۰	۱۲۱۱۹/۸۷۴ ۰/۰۰۰	۷۳۹۳/۶۲۷ ۰/۰۰۰	۷۳۹۹/۳۲۴ ۰/۰۰۰	۷۳۹۰/۵۲۱ ۰/۰۰۰
		FEA۱۲					
۳	۱۰۵۰	۱۵۰۶۴/۵۸۰ ۰/۰۰۰	۱۳۲۹۱/۵۷۰ ۰/۰۰۰	۱۵۳۷۷/۵۲۴ ۰/۰۰۰	۱۳۲۹۲/۸۸۵ ۰/۰۰۰	۱۳۳۰۶/۱۷۵ ۰/۰۰۰	۱۳۲۹۰/۶۵۸ ۰/۰۰۰
		FEA۱۲					
۶	۶۰۰	۷۶۸۴/۶۶۲ ۳/۵۴۰	۷۶۷۰/۳۱۳ ۳/۵۷۴	۸۱۸۰/۳۲۹ ۳/۵۵۸	۷۶۷۱/۹۲۳ ۳/۵۶۳	۷۶۷۶/۹۵۵ ۳/۸۲۰	۷۶۷۰/۳۵۲ ۳/۶۳۴
		FPA					

www.SID.ir

Archive of SID

۶	۷۰۰	۷۶۸۲/۱۱۰ ۴/۸۵۳	۷۶۷۰/۴۴۴ ۴/۸۵۵	۸۳۶۳/۱۹۲ ۴/۶۳۶	۷۶۷۱/۸۷۸ ۵/۰۳۵	۷۶۷۷/۴۳۵ ۴/۸۴۰	۷۶۷۰/۴۳۱ ۴/۸۳۷
		FEA۱۲					
۶	۸۰۰	۷۶۸۶/۶۷۶ ۶/۰۷۲	۷۶۷۰/۳۸۱ ۵/۹۷۲	۹۳۴۳/۹۳۲ ۵/۹۲۳	۷۶۷۱/۹۰۹ ۶/۰۶۹	۷۶۷۶/۸۴۶ ۶/۳۳۸	۷۶۷۰/۳۵۰ ۶/۱۵۸
		FEA۱۲					
۶	۹۰۰	۷۶۸۷/۸۳۸ ۷/۵۶۷	۷۶۷۰/۲۰۴ ۷/۵۲۷	۱۲۵۶۷/۵۹۰ ۷/۱۶۰	۷۶۷۲/۰۳۶ ۷/۵۸۶	۷۶۷۵/۳۳۹ ۷/۶۲۰	۷۶۷۰/۴۴۱ ۷/۸۵۶
		FPA					
۶	۱۰۰۰	۷۷۸۹/۰۷۵ ۹/۰۶۸	۷۶۷۱/۱۷۹ ۹/۰۶۷	۱۷۵۳۳/۱۲۹ ۸/۵۳۹	۷۶۷۱/۵۱۵ ۸/۹۱۰	۷۸۳۳/۰۵۴ ۸/۹۲۹	۷۶۷۸/۰۰۷ ۹/۰۷۵
		FPA					
۱۳	۱۸۰۰	۳۹۰۷/۱۹۲ ۰/۰۰۰	۳۱۱۰/۰۷۳ ۰/۰۰۰	۱۹۰۳۸/۵۲۸ ۰/۰۰۰	۳۱۱۱/۹۹۳ ۰/۰۰۰	۳۱۱۷/۵۶۵ ۰/۰۰۰	۳۳۶۲/۴۰۰ ۰/۰۰۰
		FPA					
۳۸	۶۰۰۰	۲۷۶۲۰۳۷۰/۱ ۰/۰۰۰	۲۷۶۲۰۳۲۳/۲ ۰/۰۰۰	۲۷۶۲۰۳۲۳/۳ ۰/۰۰۰	۲۷۶۲۰۳۲۶/۲ ۰/۰۰۰	۲۷۶۲۰۳۳۸/۰ ۰/۰۰۰	۲۷۶۲۰۳۲۳/۷ ۰/۰۰۰
		FPA					
۴۰	۱۰۵۰۰	۳۷۱۹۳/۷۹۹ ۰/۰۰۰	۴۲۸۷۸/۸۸۰ ۰/۰۰۰	۳۶۹۶۲/۳۰۱ ۰/۰۰۰	۳۷۶۱۸/۴۵۶ ۰/۰۰۰	۶۵۲۲۲/۷۰۶ ۰/۰۰۰	۴۲۳۶۵/۴۲۶ ۰/۰۰۰
		EMA					

جدول ۱۱- خلاصه توزیع بار الکتریکی اقتصادی سه الگوریتم برتر ترکیبی در مقایسه با الگوریتم های والد (FPA و EMA) و الگوریتم GWO با حداکثر تعداد تکرار ۱۰۰

نام الگوریتم	تعداد تولید بهترین هزینه	توضیحات
GWO	۲	منفردا برای ابعاد ۶ و ۴۰ واحدی
EMA	۱	منفردا برای ابعاد ۳۸
FEA۸	۲	منفردا برای ابعاد ۶ و ۱۳ واحدی
FEA۱۲	۶	منفردا برای ابعاد ۳ و ۶ واحدی

جدول ۱۲- خلاصه توزیع بار الکتریکی اقتصادی سه الگوریتم برتر ترکیبی در مقایسه باالگوریتم های والد (FPA و EMA) و الگوریتم GWO با حداکثر تعداد تکرار ۲۵۰

نام الگوریتم	تعداد تولید بهترین هزینه	توضیحات
FPA	۶	منفردا برای ابعاد ۳ و ۶ و ۳۸ واحدی – در پنج مورد اختلاف این الگوریتم با الگوریتم FEA۸ و یا الگوریتم FEA۱۲ بسیار کم می باشد.
EMA	۱	منفردا برای ابعاد ۴۰ واحدی
FEA۱۲	۴	منفردا برای ابعاد ۳ و ۶ واحدی

www.SID.ir

Archive of SID

۴-تحلیل نتایج

در این تحقیق عملکرد یک الگوریتم ترکیبی که از ترکیب الگوریتم گرده افشانی گل و الگوریتم بازاربورس ایجاد گردیده است بررسی گردید. خصوصیات مهم الگوریتم گرده افشانی گل توانائی این الگوریتم در بهینه سازی مسائل با ابعاد کم و عملکرد بالای آن در استخراج نقاط در جستجوی محلی می باشد [۱۰ و ۱۱] و در مقابل خصوصیات مهم الگوریتم بازار بورس عملکرد بالای آن در جستجوی نقطه بهینه سراسری و دوری از نقطه بهینه محلی و عدم همگرائی زودهنگام می باشد و پایداری نتایج در تکرار با مقادیر پارامتر مشابه می باشد [۱۳]. قالب اصلی الگوریتم ترکیبی از الگوریتم EMA گرفته شد و بخش جستجوی محلی آن با جستجوی محلی الگوریتم گرده افشانی گل جایگزین گردید. ترکیب دو الگوریتم در ۱۲ حالت مختلف طبق جدول ۱ انجام گردید. سپس عملکرد ۱۲ الگوریتم ترکیبی پیشنهادی در بهینه سازی ۱۲ تابع ارزیابی استاندارد که در جدول ۲ مشخصات آنها آمده است به منظور بررسی عملکرد الگوریتم ها در حل توابع ارزیابی با فضای ابعاد کم (۲ بعد) و فضای ابعاد زیاد (۳۰ بعد) طبق جدول ۳ و جدول ۴ انجام گردید.

نتیجه این بررسی در جدول ۵ خلاصه گردیده است. در بررسی عملکرد الگوریتم های ترکیبی برای فضای ابعاد کـــم، الگوریتم های FEA۸ و FEA۱۰ و FEA۱۲ نسبت به سایر الگوریتم های ترکیبی نتایج بهتری را تولید نموده اند و در مقابل برای ابعاد فضای زیاد الگوریتم های FEA۸ و FEA۱۲ نتایج بهتری را نسبت به سایر الگوریتم های ترکیبی تولید نموده اند.

با توجه به خلاصه نتایج طبق جدول ۵ و جمع بندی تمامی حالات مشاهده می گردد که الگوریتم FEA۸ با ۱۴ مورد و الگوریتم FEA۱۰ با ۸ مورد و الگوریتم FEA۱۲ با ۱۶ مورد، سه الگوریتم برتر ترکیبی از بین ۱۲ الگوریتم ترکیبی پیشنهادی بوده اند. خصوصیات اصلی این سه الگوریتم برتر ترکیبی عبارت است از: ۱- این سه الگوریتم برتر فاقد سویچ احتمال برای گرده افشانی محلی می باشند. ۲- در این سه الگوریتم برتر، راه حال تولیدی در صورت بهبود نسبت به راه حل قبلی در جمعیت اعمال می گردد. الگوریتم FEA۱۲ با ۱۶ مورد نتایج بهتر، ثابت نمود که بهترین حالت انتخاب جمعیت در الگوریتم ترکیبی برای الگوریتم FEA۱۲ بوده است که در آن یک نفر بصورت تصادفی از گروه اول و یک نفر بصورت تصادفی از گروه دوم و یا گروه سوم بازار بورس انتخاب گردیده اند. در ادامه تحقیق به منظور بررسی کارآئی و عملکرد الگوریتم ترکیبی به مقایسه سه الگوریتم برتر ترکیبی (FEA۸ و FEA۱۰ و FEA۱۲) نسبت به الگوریتم های والد خود (FPA و EMA) و سایر الگوریتم های شناخته شده در حوزه بهینه سازی توابع ارزیابی طبق جدول ۶ و جدول ۷ آزمایش های با تعداد تکرار ۱۰۰۰۰ و ابعاد فضای مسئله ۲ و ۳۰ انجام گردید. خلاصه نتایج جدول ۶ و جدول ۷ طبق جدول ۸ ارائه گردید. با توجه به جدول ۸ برای فضای ابعاد کم (فضای ابعاد ۲) مشاهده گردید که الگوریتم های FEA۸ و FEA۱۰ و FEA۱۲ عملکرد بهتر از الگوریتم های FPA داشته اند و ضمنا نتایج آنها نزدیک به الگوریتم EMA بوده است و در مقایسه با سایر الگوریتم های بهینه سازی مشخص شده در این جدول، یا نتایج نزدیک به نتایج این الگوریتم ها بوده است و یا نتایج بهتری این سه الگوریتم نسبت به سایر الگوریتم های شناخته شده تولید نموده بودند. در مقابل برای ابعاد فضای مسئله بالا (فضای ابعاد ۳۰) طبق جدول ۸ دیده می شود که فقط الگوریتم EMA با تعداد ۸ مورد نتیجه برتر، بسیار خوب عمل نموده است و الگوریتم های FEA۸ و FEA۱۰ و FEA۱۲ اگرچه نتایج خوبی را تولید ننموده اند (فقط یک مورد نتیجه بهتر) ولی تعداد نتایج برتر این سه الگوریتم از الگوریتم FPA نیز بهتر بوده می باشد. نتیجه بررسی عملکرد سه الگوریتم برتر ترکیبی در مقایسه با والدین خود و سایر الگوریتم های شناخته شده در حوزه بهینه سازی توابع ارزیابی نشان می دهد که در بهینه سازی برای فضای ابعاد کم، سه الگوریتم برتر ترکیبی نتایج مشابه الگوریتم های والد خود و سایر الگوریتم های شناخته شده و نیز در برخی از موارد حتی بهتر هم عمل نموده اند ولی در فضای ابعاد زیاد نتایج بهتر از الگوریتم FPA بوده ولی در مقایسه با الگوریتم EMA و برخی از الگوریتم های شناخته شده در حوزه بهینه سازی تفاوت بسیار داشته و نتایج خوبی تولیـــد ننموده اند.

در ادامه تحقیق عملکرد و کارآئی سه الگوریتم ترکیبی در مقایسه با الگوریتم های والد خود (FPA و EMA) و نیز الگوریتم بهینه سازی گرگ خاکستری در حل یک مسئله مهندسی در حوزه توزیع بار الکتریکی مولدهای برق بررسی گردید. الگوریتم GWO یک الگوریتم قوی در حوزه بهینه سازی است که برای حل مسائل بهینه سازی غیرمحدب

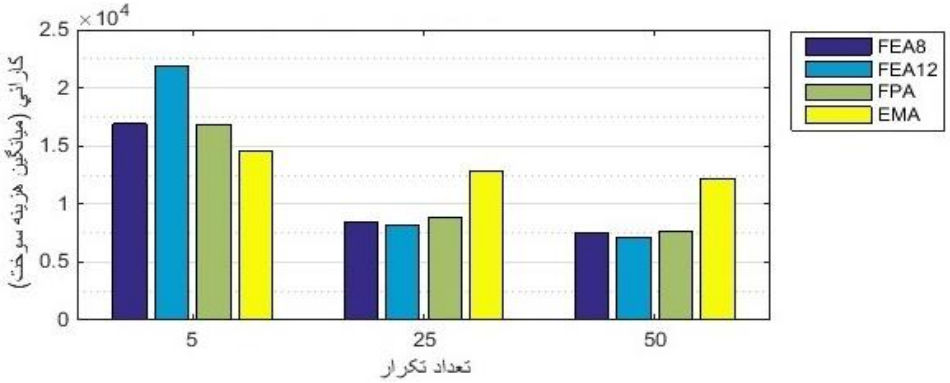
www.SID.ir

Archive of SID

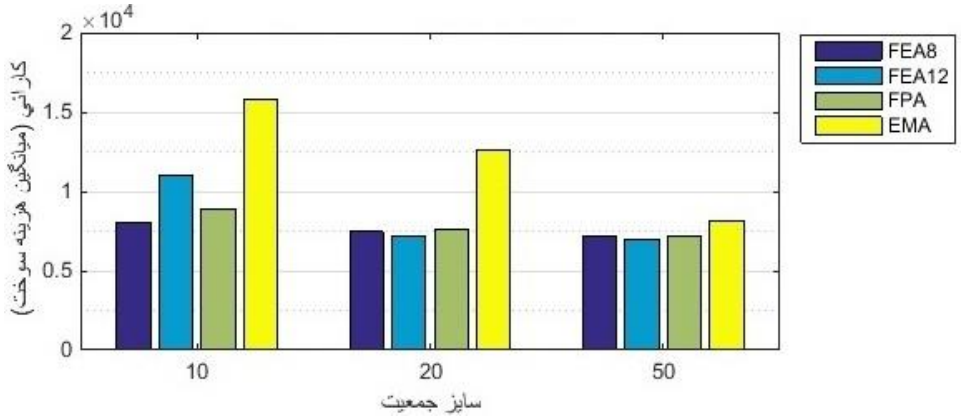
پیشنهاد گردیده است [۱۲]. با توجه به خصوصیات این الگوریتم در ایجاد تعادل خوب بین اکتشاف و بهره برداری که منجر به دوری زیـاد از بهینه محلی می گردد و نیز نتایج بسیار رضایت بخش این الگوریتم در بهینه سازی توزیع بار اقتصادی در این مقاله دو مقایسه بین سه الگوریتم برتر ترکیبی و الگوریتم های والدشان و نیز الگوریتم GWO انجام گردید. بررسی شامل بهینه سازی هزینه سوخت واحدهای تولیدی ۳ و ۶ و ۱۳ و ۳۸ و ۴۰ واحدی به منظور تامین تقاضای بار مشخص می باشد.

با توجه به نتایج جدول ۱۱ و جدول ۱۲ نتیجه گیری می گردد که در تعداد تکرار کم (۱۰۰ تکرار)، الگوریتم FEA (الگوریتم ترکیبی) دارای همگرائی سریع بوده و برای تکرار کم بسیار بهتر از الگوریتم های والد خود و الگوریتم GWO عمل نموده اند که این از خصوصیات الگوریتم FPA (همگرائی سریع) می باشد که در این الگوریتم ترکیبی از آن استفاده شده است. بعلاوه، الگوریتم FEA (الگوریتم ترکیبی) برای حل مسائل با ابعاد بالا نتایج خوبی را تولید ننموده است که این مورد نیز بخاطر ضعف الگوریتم FPA در حل مسائل با فضای ابعاد بالا می باشد که در این الگوریتم ترکیبی از آن استفاده شده است.

با توجه به پیاده سازی های انجام شده در این تحقیق و نتایج حاصل از پیاده سازی ها، اثبات گردید که در صورتیکه در قالب اصلی یک الگوریتم ترکیبی از یک الگوریتم دیگر استفاده گردد باعث می گردد که برآینـد نقاط قوت و ضعف الگوریتم تزریق شده به قالب اصلی اعمال گردد. در این پیاده سازی خاص، الگوریتم ترکیبی دارای خصوصیت همگرائی سریع (مشابه الگوریتم FPA)، توانائی در حل مسائل با فضای ابعاد پائین (مشابه الگوریتم FPA) و ضعف در حل مسائل با ابعاد بالا (مشابه الگوریتم FPA) می باشد. علاوه براین برای فضای ابعاد کم، نتایج الگوریتم ترکیبی مشابه الگوریتم های والد خود و یا حتی در برخی از موارد بهتر از الگوریتم های والد خود و سایر الگوریتم های شناخته شده در حوزه بهینه سازی توابع می باشد ولی برای فضای ابعاد بالا اگر چه مشابه و یا بهتر از الگوریتم FPA عملی می نماید ولی از الگوریتم EMA بهتر عمل نمی نماید.



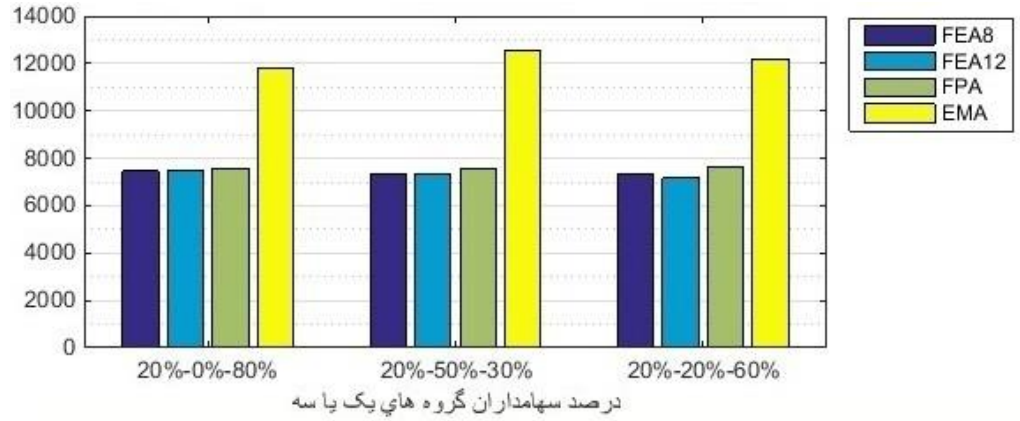
شکل ۳- تاثیر تغییر تعداد تکرار بر کارآئی الگوریتم ها



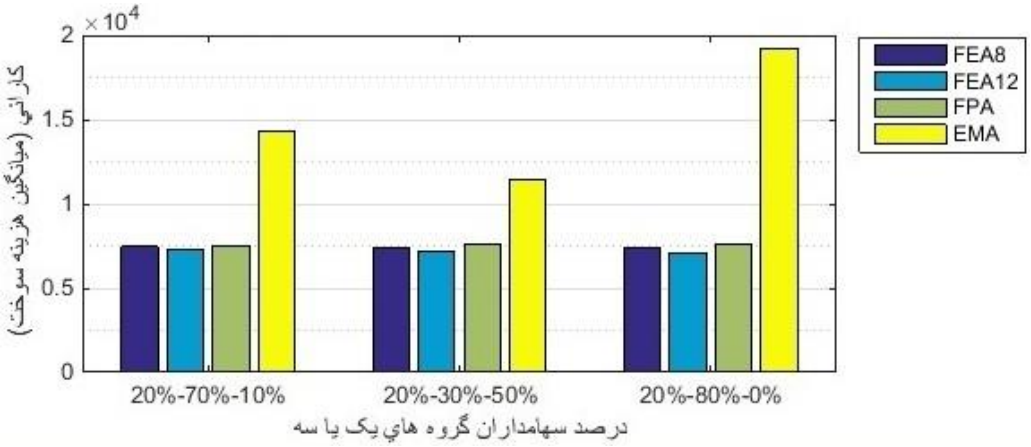
شکل ۴- تاثیر تغییرسایز جمعیت بر کارآئی الگوریتم ها

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- تاثیر تغییر درصد سهامداران در حالت نوسان بازار بر کارآئی الگوریتم ها



شکل ۶- تاثیر تغییر درصد سهامداران در حالت تعادل بازار بر کارآئی الگوریتم ها

۵- تحلیل حساسیت

به منظور اندازه گیری اثربخشی الگوریتم ترکیبی پیشنهادی، آزمایش های جهت حل مسئله توزیع بار الکتریکی مولدهای برق با تغییر پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم های فوق انجام گردید. پارامترها شامل تعداد تکرار الگوریتم، سایز جمعیت و درصد سهامداران گروه های یک تا سه بازار بورس در دو حالت تعادل بازار و نوسان بازار بررسی گردیدند. با توجه به نتایج جدول جدول ۱۱ و جدول ۱۲ تحلیل حساسیت برای الگوریتم های برتر ترکیبی شامل FEA8 و FEA12 در مقایسه با الگوریتم های مرجع (الگوریتم های والد شامل FPA و EMA) و فقط برای ابعاد کم و متوسط (واحدهای تولیدی ۳ و ۶ و ۱۳ واحدی) انجام گردید. مقادیر پیش فرض در پیاده سازی های تحلیل حساسیت شامل ۱۵ اجرای برای بررسی کارآئی چهار الگوریتم، ۵۰ تکرار در هر اجرای الگوریتم، سایز جمعیت ۲۰ و درصد سهامداران گروه های یک تا سه جمعیت بازار بورسی برای حالت تعادل و نوسان به ترتیب از چپ به راست (برای سه گروه سهامداران) ۵۰٪-۳۰٪-۲۰٪ و ۳۰٪-۵۰٪-۲۰٪ در نظر گرفته شد. به منظور بررسی تحلیل حساسیت چهار آزمایش انجام گردید. در هر آزمایش یکی از پارامترهای مورد بررسی با مقادیر متفاوت و سایر پارامترها بصورت ثابت در نظر گرفته شدند و اثر تغییر پارامتر مورد بررسی بر نتایج حاصل از الگوریتم ترکیبی و الگوریتم های مرجع (والد) بررسی گردیدند.

در آزمایش اول تاثیر تعداد تکرار متفاوت شامل ۵ و ۲۵ و ۵۰ تکرار بر کارآئی الگوریتم ها بررسی گردید. شکل (۳) میانگین ۱۵ اجرای کارآئی چهار الگوریتم را با مقادیر مختلف تکرار نشان می دهد. بطور کلی تمامی الگوریتم ها متاثر از شدت تغییر تعداد تکرار می باشند و الگوریتم های FEA8 و FEA12 بطور قابل ملاحظه ای نتایج بهتری را نسبت به الگوریتم EMA برای تعداد تکرار ۲۵ و ۵۰ تولید نموده است. علاوه براین الگوریتم های ترکیبی در مقایسه با الگوریتم FPA نیز برای همین تعداد تکرار نتایج رضایت

www.SID.ir

Archive of SID

بخش تری را تولید نموده اند. نتایج تحلیل فوق نشان می دهد که با افزایش تعداد تکرار الگوریتم FEA12 از تمامی الگوریتم ها پیشی گرفته و نتایج بهتری را تولید خواهد نمود.

دومین آزمایش تاثیر تغییر سایز جمعیت ۱۰ و ۲۰ و ۵۰ را برروی کارآئی الگوریتم ها بررسی نموده است. نتایج این آزمایش در شکل (۴) نشان داده شده است. با توجه به شکل فوق دیده می شود که برای هر سه تغییر حداقل یکی از الگوریتم های ترکیبی نتایج بهتری را نسبت با الگوریتم های والد خود تولید نموده است. بطور خاص الگوریتم FEA12 برای سایز جمعیت ۲۰ و ۵۰ از سایر الگوریتم ها و بخصوص الگوریتم های مرجع نتایج بهتری را تولید نموده است. شکل فوق نشان می دهد که افزایش سایز جمعیت علاوه براینکه باعث بهبود کارآئی الگوریتم پیشنهادی می گردد برروی بهبود کارآئی الگوریتم EMA بشدت اثر می گذارد.

آزمایش های سوم و چهارم تاثیر درصد متفاوت سهامداران گروه های اول تا سوم را به ترتیب در حالت نوسان بازار و در حالت تعادل بازار بصورت جداگانه بررسی نموده است. نتایج آزمایش های فوق به ترتیب در شکل (۵) و شکل (۶) ارائه گردیده است. با توجه به نتایج ارائه شده در این دو شکل دیده می شود که الگوریتم های ترکیبی پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم‌های مرجع برای درصدها متفاوت مناسب می تواند نتایج بهتری را تولید نماید.

دو آزمایش یکی با تعداد تکرار کم (۱۰۰ تکرار) طبق جدول ۹ و دومی با تعداد تکرار زیاد (۲۵۰ تکرار) طبق جدول ۱۰ انجام گردید. خلاصه نتایج جدول ۹ در جدول ۱۱ و خلاصه نتایج جدول ۱۰ در جدول ۱۲ ارائه گردیده است. طبق جدول ۱۱ برای تکرار کم (۱۰۰ تکرار) در خصوص فضای ابعاد کم (۳ و ۶ واحد تولیدی) الگوریتم FEA۱۲ در شش مورد نتایج بهتری را تولید نموده بود ولی در خصوص ابعاد زیاد (۴۰ واحد تولیدی) فقط الگوریتم EMA و GWO نتیجه بهتری را تولید نموده بودند. علاوه براین نتایج الگوریتم FEA۱۲ برای فضای ابعاد کم از الگوریتم های والد خود و حتی از الگوریتم GWO نیز بهتر عمل نموده بود. طبق جدول ۱۲ برای تکرار زیاد (۲۵۰ تکرار) در خصوص فضای ابعاد کم (۳ و ۶ واحد تولیدی) الگوریتم FEA۱۲ در چهار مورد نتایج بهتری را تولید نموده ولی در خصوص ابعاد زیاد (۴۰ واحد تولیدی) فقط الگوریتم EMA نتیجه بهتری را تولید نموده بود. با توجه به نتایج این آزمایش الگوریتم FEA۸ و FEA۱۲ برای فضای ابعاد کم، از الگوریتم FPA و حتی از الگوریتم EMA و الگوریتم GWO عملکرد بهتری را نشان دادند.

۶- نتیجه گیری و کارهای آتی

در این تحقیق یک مدل جدید برای جستجوی ترکیبی هوشمند به منظور پیدا نمودن پاسخ بهینه سراسری مسائل مهندسی پیشنهاد گردید. به منظور بررسی صحت ایده ارائه شده، از ترکیب دو الگوریتم قوی، یکی الگوریتم بازار بورس که دارای توانائی بالائی در جستجوی سراسری و دیگری الگوریتم گرده افشانی گل که دارائی توانائی بالائی در جستجوی محلی می باشد استفاده گردید. جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم ترکیبی پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم های والد خود (الگوریتم بازار بورس و الگوریتم گرده افشانی گل) و نیز برخی از الگوریتم های شناخته شده در حوزه بهینه سازی مسائل از ۱۲ تابع ارزیابی (توابع محک) که در ارزیابی اکثر مسائل بهینه سازی بکار برده می شوند استفاده گردید. بعلاوه عملکرد و کارآئی الگوریتم ترکیبی برای حل مسائل مهندسی در حوزه توزیع بار الکتریکی مولدهای برق مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به پیاده سازی های انجام شده در این تحقیق و نتایج حاصل از آن به وضوح نشان می دهد در صورتیکه در قالب اصلی یک الگوریتم از یک الگوریتم دیگر استفاده گردد باعث می گردد که برآیند نقاط قوت و ضعف الگوریتم تزریق شده به قالب الگوریتم اصلی اعمال گردد. نتایج این تحقیق برای ترکیب دو الگوریتم خاص استفاده شده (الگوریتم بازار بورس و الگوریتم گرده افشانی) نشان می دهد که نقطه قوت الگوریتم گرده افشانی گل (توانائی در جستجوی محلی برای ابعاد کم) و نقطه ضعف آن (عدم توانائی در حل مسائل با ابعاد بالا) به قالب اصلی الگوریتم ترکیبی (الگوریتم بازار بورس) منتقل گردیده است.

بعنوان کارهای آتی، بررسی بیشتر برروی انواع حالت های ممکن جهت ترکیب الگوریتم های بهینه سازی، بکارگیری سایر الگوریتم های قوی در جستجوی محلی با کارآئی بالا برای فضای ابعاد بزرگ بجای الگوریتم گرده افشانی گل و نیز تجزیه فضای جستجوی مسائل با ابعاد بالا پیشنهاد می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

۷- مراجع

[۱] حسین شریف زاده و نیما امجدی، "مروری بر انواع الگوریتم‌های فراکاوشی در بهینه‌سازی"، نشریه مدل سازی در مهندسی، دوره ۱۲، شماره ۳۸، پائیز ۱۳۹۳، صفحه ۲۷-۴۳.

[2] R. L. Haupt and S.E. Haupt, Practical genetic algorithms, 2th ed., Wiley, NJ, USA, 1998.

[3] Z. L. Gaing, "Particle swarm optimization to solving the economic dispatch considering the generator constraints", IEEE transactions on power systems, Vol. 18, No. 3, August 2003, pp. 1187-1195.

[4] Y. Shi, "Particle swarm optimization: developments, applications and resources", in IEEE Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation, Seoul, South Korea, Vol. 1, May 2001, pp. 81-86.

[5] A. R. Mehrabian, and C. Lucas, "A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization", Ecological informatics, Vol. 1, No. 4, December 2006, pp. 355-366.

[6] Y. Kumar and P. K. Singh, "Improved cat swarm optimization algorithm for solving global optimization problems and its application to clustering", Applied Intelligence, Vol. 48, No. 9, September 2018, pp. 2697-2681.

[7] J. Zhang, Y. Zhou and Q. Luo, "Nature-inspired approach: a wind-driven water wave optimization algorithm", Applied Intelligence, Vol. 49, No. 1, January 2019, pp. 233–252.

[8] E. Cuevas, A. Reyna-Orta and M.-A. Díaz-Cortes, "A Multimodal Optimization Algorithm Inspired by the States of Matter", Neural Processing Letters, Vol. 48, No. 1, August 2018, pp. 517-556.

[9] A. Askarzadeh, "A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: crow search algorithm", Computers & Structures, Vol. 169, June 2016, pp. 1-12.

[10] S. Łukasik, and P. A. Kowalski, "Study of flower pollination algorithm for continuous optimization", in Intelligent Systems' 2014, Warsaw, Poland, Vol. 1, September 2014, pp. 451-459.

[11] X.-S. Yang, "Flower pollination algorithm for global optimization", in International conference on unconventional computing and natural computation, Orléan, France, Vol. 7445, September 2012, pp. 240-249.

[12] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili ,and A. Lewis, "Grey wolf optimizer", Advances in engineering software, Vol. 69, March 2014, pp. 46-61.

[13] N. Ghorbani, and E. Babaei, "Exchange market algorithm", Applied Soft Computing, Vol. 19, June 2014, pp. 177-187.

[۱۴] صابر ارمغانی و نیما امجدی، "توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن آلودگی در سیستم‌های قدرت چندناحیه‌ای با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی فاخته"، نشریه مدل سازی در مهندسی, دوره ۱۲، شماره ۳۷، تابستان ۱۳۹۳، صفحه ۸۹-۱۰۴.

[۱۵] مسعود احمدی گرجی و نیما امجدی، "برنامه ریزی توسعه پویای شبکه های توزیع در حضور منابع تولید پراکنده با استفاده از یک الگوریتم بهینه سازی جدید دو سطحی"، نشریه مدل سازی در مهندسی, دوره ۱۳، شماره ۴۳، زمستان ۱۳۹۴، صفحه ۱۴۳-۱۵۷.

[16] N. Ghorbani, and E. Babaei, "Exchange market algorithm for economic load dispatch", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 75, February 2016, pp. 19-27.

[17] V. K. Kamboj, S. Bath, and J. Dhillon, "Solution of non-convex economic load dispatch problem using Grey Wolf Optimizer", Neural Computing and Applications, Vol. 27, No. 5, July 2016, pp. 1301-1316.

[18] V. K. Kamboj, A. Bhadoria, and S. Bath, "Solution of non-convex economic load dispatch problem for small-scale power systems using ant lion optimizer", Neural Computing and Applications, Vol. 28, No. 8, August 2017, pp. 2181-2192

[19] A. J. Wood, and B. Wollenberg, Power generation operation and control, 2th ed., Wiley, New York, USA, 1996.

[20] M. Modiri-Delshad, and N. A. Rahim, "Solving non-convex economic dispatch problem via backtracking search algorithm", Energy, Vol. 77, December 2014, pp. 372-381.

[21] L. dos Santos Coelho, and V. C. Mariani, "An improved harmony search algorithm for power economic load dispatch", Energy Conversion and Management, Vol. 50, No. 10, October 2009, pp. 2522-2526.

www.SID.ir