فصلنامــه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گــذاری
سال چهارم/ شماره سیزدهم/ بهار ۱۳۹٤

بکارگیری الگوریتم رقابت استعماری (ICA) در بهینه سازی و تشکیل پرتفلیو

علی مروتی شریف آبادی
استادیار دانشکده مدیریت دانشگاه یزد
شیرین عزیزی
کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی دانشگاه علم و هنر (مسئول مکاتبات)
Shirinazizi65@yahoo.com
نسترن احمدی
کارشناسی ارشد مدیریت مالی دانشکده علوم اقتصادی

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۲

چکیده

مسئله‌ی انتخاب پرتفلیو شامل پارامترهای مبهم بسیاری است. مسئله بهینه سازی مارکوویتز و تعیین مرز کارای سرمایه گذاری، زمانی که تعداد دارایی‌های قابل سرمایه گذاری و محدودیت های موجود در بازار کم باشد، توسط مدل‌های ریاضی حل شدنی است.اما هنگامی که شرایط و محدودیت های دنیای واقعی در نظر گرفته شود، مسئله بهینه سازی پرتفوی به راحتی و از طریق شیوه های ریاضی حل نمی شود.به همین دلیل استفاده از شیوه های ابتکاری همچون شبکه های عصبی ،الگوریتم ژنتیک و الگوریتم های تکاملی در بهینه سازی پرتفوی یکی از موضوعات مهم مورد بحث در دوران اخیر بوده است. هدف اصلی این پژوهش حل مسئله بهینه سازی پرتفوی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری (ICA) می باشد. بدین منظور با استفاده از اطلاعات قیمت 30 سهم پذیرفته شده صنعت خودرو و قطعات در بورس اوراق بهادار تهران در فاصله زمانی فروردین ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۹۰، نمودارهای مربوطه ترسیم می شود. نتایج این پژوهش نشان می دهد که الگوریتم رقابت استعماری در تشکیل پرتفوی سهام به گونه‌ای موفق عمل می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بهینه سازی پرتفوی ، الگوریتم رقابت استعماری، مدل میانگین – واریانس.

۱- مقدمه

انتخاب مجموعه مناسب از دارایی‌ها به منظور سرمایه گذاری و همچنین تخصیص منابع, نگرانی عمده شرکت های مدیریت سرمایه و همچنین سرمایه گذاران فردی می باشد.در یک بازار سرمایه کارا از بعد عملیاتی،سرمایه در اختیار بهترین گزینه های سرمایه گذاری قرار می گیرد و اولویت های بعدی ،سایر منابع را به خود اختصاص می دهد.ورود به بازار های هوشمند و استفاده از ابزار های هوشمند جهت کسب بازدهی بیشتر ،گامی در جهت کاراتر شدن بازار است.کارائی بازار تخصیص منابع مناسب را به همراه خواهد داشت.انتخاب پرتفولیو در مورد انتخاب دارایی ها و اینکه چه درصدی از هر دارایی بیشترین انتظارات و ترجیهات را برای سرمایه گذاران با در نظر گرفتن حداقل ریسک کسب می کند می باشد و همچنین هر سهم سبد سهام دارای بازدهی و ریسک معینی است.سبد سرمایه گذاری هر سرمایه گذار متفاوت است ،زیرا انگیزه ها و همچنین ویژگی های شخصیتی هر سرمایه گذار نسبت به بقیه متفاوت است. خرید و نگهداری سهام به صورت تکی و منفرد، ریسک سرمایه گذاری را به شدت افزایش داده، معقول و مناسب نمی باشد. به همین دلیل، توصیه به سرمایه گذاران، خرید و نگهداری سهام به صورت سبدی یا پورتفوی است. این رویکرد که منشأ در این باور دارد که "نباید همه ی تخم مرغ ها را در یک سبد قرار داد"، سال ها پیش توسط متخصصین سرمایه گذاری،کمّی و وارد معادلات مالی شد (آرش طالبی، ۱۳۸۹).

انتخاب پرتفوی دغدغه کسی است که در تلاش برای تخصیص ثروت در میان اوراق بهادار است طوری که به هدف سرمایه گذاری خود دست یابد.

این مسئله توسط مارکوویتز مطرح شد و روش حل حداقل واریانس او به عنوان اساس توسعه تئوری مدرن مالی قرار گرفته است. کارهای بعدی مارکوویتز ترکیب شده از احتمال و نظریه بهینه سازی، برای مدل کردن رفتار سرمایه گذاری در شرایط عدم اطمینان است .بازگشت سرمایه به عنوان میانگین بازده اوراق بهادار و ریسک سرمایه گذاری به عنوان انحراف از میانگین معرفی می‌شوند(ناظمی و همکاران، ۱۳۹۱).

مارکوویتز مدل خود را به صورت ریاضی به دو روش فرموله کرد :مینیمم کردن واریانس برای بدست آوردن ارزش مورد انتظار یا ماکزیمم کردن ارزش مورد انتظار برای بدست آوردن واریانس مورد نظر.

در قیاس با رشد روز افزون استفاده از پورتفوی ها و نیز با وجود ادبیات غنی آن، همچنان موضوعات و سؤالات بی پاسخ فراوانی در این زمینه وجود دارد. یکی از مسائل و چالش های مهم در تشکیل پورتفوی سهام، چگونگی انتخاب و بهینه سازی سبد است به طوری که به طور همزمان دارای ریسک مینیمم و بازده ماکزیمم باشد(آرش طالبی، ۱۳۸۹).

نکته مهم دیگر در انتخاب پرتفوی این است که در عمل با تعداد اندکی سهام نیز می توان پرتفوی متنوعی تشکیل داد .لذا پاسخ به این پرسش که وزن یک دارایی خاص در پرتفوی باید به چه میزان باشد در وهله اول مستلزم پاسخ به این سوال است که آیا این دارایی اساساً باید وارد پرتفوی شود و یا نه؟ (التون و همکاران، ۲۰۰۳).

.. بالأخص، مسئله وقتی بیشتر نمود پیدا می کند که ابعاد گسترده و فضای پیچیده و پر از نویز و اغتشاش بازار واقعی بورس را مد نظر آوریم. به دلیل این پیچیدگی ها، بهینه سازهای کلاسیک از حل مسئله ی پورتفوی عاجزند و در بهینه های محلی گیر افتاده، به پاسخ مناسبی دست نمی یابند.

امّا بهینه سازهای ابتکاری و تکاملی با مزایای متعدد، جهت حل این مسئله، مناسب تشخیص داده شده، به کار گرفته می شوند.سابقه ی استفاده از الگوریتم ژنتیک در حل مسئله ی انتخاب و بهینه سازی سبد سهام وجود دارد. (آرش طالبی، ۱۳۸۹)

با توجه به مطالب مطرح شده، مسئله انتخاب پرتفوی سهام با وجود محدودیت‌ها از اهمیت شایانی برخوردار است. و تاکنون روش‌های ابتکاری متنوعی به منظور بهینه‌سازی سبد سهام معرفی و نتایج حاصل از آن ارائه شده است. لذا با توجه به اهمیت موضوع بهینه‌سازی پرتفوی و سوالاتی که مطرح گردید هدف این پژوهش بهینه سازی پرتفوی سهام با استفاده از روش نو و ابتکاری الگوریتم رقابت استعماری با نگاهی به پژوهش‌های انجام پذیرفته با سایر تکنیک‌ها می‌باشد. این پژوهش تعیین می‌کند تا برای حصول یک پرتفوی بهینه چه سهمی و به چه میزان می‌بایست در تشکیل سبد مشارکت داشته باشد.

۲- مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

تعیین سبد سهام مناسب برای سرمایه گذار ، موضوع مهم در دنیای سرمایه گذاری است.آغاز تئوری سبد سهام به سال ۱۹۵۲ بر می گردد.زمانیکه هنری مارکوویتز مقاله ای را تحت عنوان "انتخاب سبد سهام "منتشر نمود.مارکوویتز یک چارچوب کمی برای انتخاب سبد سرمایه گذاری به وجود آورد.مدل وی یک مدل دو پارامتری است .در مدل وی میانگین بازده مورد انتظار رانشان می دهد و واریانس بیانگر ریسک پرتفوی است.(مارکوویتز ۱۹۹۲). مارکوویتز سعی نمود با این کار ،تئوری احتمالات را در سبد سهام وارد نمایدو بنابراین فرضیاتی را از ابتدا برای طراحی مدل خود بر پا نمود که صدق این فرضیات برای همیشه در دنیای واقعی ،قدری بعید به نظر می رسد.قبل از ورود تئوری سهام به دنیای واقعی ،سه نفر همزمان و به طور مستقل سوال زیر را مطرح نمودند.فرض کنید شخصی با استفاده از تئوری سبد سهام در مرز کارا سرمایه گذاری نماید (تقوی فرد، محمد تقی، ۱۳۸۶، ۴۲-۶۹). این عمل بر قیمت گذاری سهام چگونه تاثیری خواهد گذاشت؟

در پاسخ به این سوال شارپ(۱۹۶۴)، لینتر(۱۹۶۵) و موسین(۱۹۶۶)، مدلی را توسعه دادند که اکنون تحت عنوان APM شناخته می شود.این مدل امروز به طور گسترده ای در اندازه گیری عملکرد سهام ،ارزش گذاری اوراق بهادار ،تصمیمات بودجه بندی سرمایه ای و ...مورد استفاده قرار می گیرد. APM ریسک را به عنوان تغییر پذیری بازدهی یک دارایی نسبت به تغییر پذیری بازدهی سهام بازار تعریف می کند .با این وجود این مدل توسط ریچارد رول(۱۹۷۷،۱۹۷۸) مورد سوال واقع شد.وی عنوان نمود که مدل فوق بایستی کنار گذاشته شود ، زیرا به صورت تجربی در تصدیق و بیان پیش بینی اقتصادی خود ناتوان است.در سال ۱۹۷۶ مدل APT توسط استیو راس توسعه یافت.این مدل عنوان نمود که بازده مورد انتظار بایستی به نحوی به ریسک مرتبط گردد که

هیچ سرمایه گذاری نتواند ثروت بی حد و حصری را از طریق آربیتراژ بدست آورد(کلیکرت و همکاران،۲۰۰۷، ۱۸۶-۲۰۲) .

علاوه بر این APT مشکل ارتباط بازده سهام را به بیش از یک شاخص بر طرف نمود.رول و رابیتس (۱۹۸۴)ادعا نمودند که این مدل حداقل در اصول قابل تست می باشد.در حال حاضر APT به شدت مورد انتقاد واقع شده است(راعی رضا ،تلنگی احمد، ۱۰۵،۱۳۸۸-۱۴۲).

اما در مارکوویتز چارچوب جذابیت امنیتی برای یک سرمایه گذاری تنها بر مبنای میانگین حسابداری سرمایه گذاری نیست,بلکه انحراف استاندارد بازده دارایی ها و ارتباط آن با بازده اوراق بهادار دیگردر سبد سرمایه گذاری,نقش مهمی را در فرآیند انتخاب بازی می کند.با داشتن ریسک تعریف شده به عنوان انحراف استاندارد بازده پرتفوی,تصمیم گیری برای انتخاب زیر مجموعه ای از دارایی ها به گونه ای که سبد سرمایه گذاری حداقل ریسک را برای سطح بازده تعیین شده حاصل کند مرز کارآمد را تشکیل می دهد(تقوی فرد محمد تقی).راه حل بهینه برای مسئله بهینه پرتفوی که به عنوان یک مدل کوادراتیک طبقه بندی شده این است که می تواند از طریق روش CLM تعیین شود(مارکوویتز،۱۹۵۲-۱۹۵۹).

با این حال پیچیدگی محاسبات زمانیکه کل تعداد دارایی های موجود بالاست , افزایش می یابد.علاوه بر آن زمانیکه محدودیت های اساسی را هم شامل شده باشدبه یک مدل عدد صحیح صفر و یک تبدیل می شود و مدل CLM در انجام محاسبات با مشکل مواجه می شود.

محدودیت اساسی که اغلب در کاربرد عملی مسئله انتخاب سبد سرمایه گذاری مورد نیاز است تعداد دارایی ها را به سبد سرمایه گذاری انتخاب شده محدود می کند.اضافه کردن محدودیت های دیگر از قبیل محدودیت های سرمایه پیچیدگی را افزایش می دهد که در نتیجه آن تلاش های زیادی برای توسعه روش های ابتکاری کارآمد به منظور حل مسئله به وجود آمد(گلمکانی، ۲۰۱۱، ۸۳۲۷- ۸۳۳۵).

۲-۱- پیشینه پژوهش

ناکنون در سطح جهان تحقیقات متعددی در مورد بهینه‌سازی پرتفوی سهام با استفاده از تکنیک‌های ابتکاری و هوش مصنوعی، صورت گرفته که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌کنیم. برخی روش های ابتکاری برمبنای الگوریتم ژنتیک (GA) به عنوان مثال از لوراسچی و همکاران ۱۹۹۵,جستجوی ممنوعه (TS) به عنوان مثال از رولان ۱۹۹۶, برای مسئله انتخاب سبد سرمایه گذاری مارکوویتز در ادبیات گزارش شده است. تحقیقات انجام شده توسط چانگ, مید, باسلیو شارایها(۲۰۰۰) تلاشی برای حل مسئله استاندارد با وجود محدودیت اساسی بود.آنها نشان دادند که وجود محدودیت اساسی برشکل مرز کارا تاثیرگذار است و آن را ناپیوسته می سازد.آن ها سه اکتشاف بر مبنای GA, TS, SA برای حل مسئله پیشنهاد کردند و نتایج را مقایسه کردند.

در پژوهش بوستی(۲۰۰۰) در معادله اصلی و غیرخطی, محدودیت های هزینه وارد مدل استاندارد شدند.او از GA و TS برای حل مدل استفاده کرد.

تحقیقات زیادی وجود دارد که در آن انواع محدودیت های کاربردی (از جمله محدودیت اصلی)به مدل استاندارد مارکوویتز معرفی و وارد آن شدند(به عنوان مثال کراما و اسچینز ۲۰۰۳- فیلدسند- ماتاتکو و پنگ۲۰۰۴- جوبست- هورنیمن- لوکاس- میترا۲۰۰۱-کلرر و مارینگر ۲۰۰۱- لین و لیو ۲۰۰۷- لین و وانگ ۲۰۰۲- اوه-کیم- مین و لی ۲۰۰۶- اس چارف ۲۰۰۲- استرچرت-آلمر – زل ۲۰۰۴- هنگ – چن و وانگ ۲۰۰۶- سلیمانی ۲۰۰۷و سلیمانی و همکاران ۲۰۰۹ بخش محدودیت سرمایه را به مدل توسعه یافته ماکوویتز معرفی کردند و روش های دیگری مانند GA و SA را پیشنهاد کردند(مانسینی و اسپرنزا، ۱۹۹۹، ۲۱۹-۲۹۳).

خو، چن و یانگ روش بر مبنای بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO) را برای حل مدل مارکوویتز استاندارد پیشنهاد کرده بودند(چانگ و همکاران،۱۲۷۱، ۲۰۰۰-۱۳۰۲).

در ایران در زمینه انتخاب پرتفوی بهینه با استفاده از الگوریتم های تکاملی, عبدالعلی زاده شهیرو عشقی پژوهشی را در زمینه بهینه سازی پرتفوی توسط الگوریتم ژنتیک انجام دادند. تقوی فرد , منصوری و خوش سیرت با افزودن محدودیت های دیگری به مدل قبلی نشان دادند, با استفاده از الگوریتم ژنتیک می توان مرز کارایی را بدست آورد که تا حدود زیادی تخمین زننده مرز کارای بدست آمده توسط روش های کواریدریک برنامه ریزی ریاضی است(رضایی زهرا، ۱۳۸۸)

باید توجه داشت که مدل استاندارد مارکوویتز محدودیت مربوط به تعداد دارایی های منتخب و همچنین محدودیت های مربوط به حد پایین و بالای نسبت نسبت سرمایه گذاری در هر دارایی در سبد را در بر ندارد.چانگ و دیگران و فرناندز و گومز مدل اصلاح یافته مارکوویتز را تحت عنوان "مدل میانگین-واریانس با مولفه های محدود "(CCMV) به کار گرفتند. بخش عمده مطالعات موردی انجام شده در این پژوهش نیز به حل مدل CCMV اختصاص می یابد(چانگ و همکاران).

۲-۲- مسئله بهینه سازی پرتفوی

بهینه سازی پرتفوی عبارت است از انتخاب بهترین ترکیب از دارایی های مالی به نحوی که باعث شود , تا حد ممکن بازده پرتفوی سرمایه گذاری حداکثر و ریسک پرتفوی حداقل شود.ایده اساسی نظریه مدرن پرتفوی این است که اگر در دارایی هایی که به طور کامل با هم همبستگی ندارند سرمایه گذاری شود ,ریسک آن دارایی ها یکدیگر را خنثی کرده , بنابراین می توان یک بازده ثابت را با ریسک کمتر بدست آورد (چانگ و همکاران). برای اولین بار در سال ۱۹۵۲ مارکوویتز الگوی حل مسئله انتخاب بهینه دارایی ها (نظریه میانگین- واریانس) را ارایه داد.وی مسئله را به صورت برنامه ریزی کوادراتیک با هدف کمینه سازی واریانس مجموعه دارایی ها با این شرط که بازده مورد انتظار با یک مقدار ثابت برابر باشد, مطرح کرد. ریسک گریز بودن کلیه سرمایه گذاران ,فرض اصلی این مدل است.این مسئله یک محدودیت کارکردی دیگر نیز دارد که بر اساس آن مجموع اوزان دارایی ها باید برابر با یک شود.همچنین وزن هر یک از دارایی ها در پرتفوی باید عددی حقیقی و غیر منفی باشد.شکل استاندارد مدل میانگین – واریانس به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} &\text{Min } \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_i x_j \sigma_{ij} \\ &\text{Subject to } \sum_{i=1}^{n} x_i u_i = R^* \\ &x_i \geq 0 \quad (i = 1, \dots, \text{n}) \\ &x_i \geq 0 \quad (i = 1, \dots, n) \end{aligned} \qquad (1)$$

فرناندز و گومز مدل مارکوویتز را با افزودن محدودیت های بالا و پایین برای متغیر ها ,اصلاح کردند و مدلCCMV یا مدل میانگین-واریانس با مولفه های مقید را به وجود آوردند که شکل عمومی این مدل به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} &\text{Min}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_i x_j \sigma_{ij} \\ &\text{Subject to } \sum_{i=1}^{n} x_i u_i = R^* \\ &\sum_{i=1}^{n} x_i = 1 \\ &\varepsilon_i \leq x_i \leq \delta_i \\ &x_i \geq 0 \quad (i = 1, \dots, \text{n}) \end{aligned} \qquad (2)$$

که ε_i و δ_i به ترتیب حد پایین و بالای متغیر i ام (نسبت سهم i در سبد سرمایه گذاری) می باشند (فرناندز و گومز،۱۱۷۷،۲۰۰۷-۱۱۹۱).

در صورتی که محدودیت مربوط به تعداد دارایی های منتخب به مسئله اضافه شود, مدل مربوطه به شکل زیر درمی آید.

$$\text{Minimize } \lambda\left[\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} Z_i X_i Z_j X_j \sigma_{ij}\right] \quad -(1-\lambda)\left[\sum_{i=1}^{N} Z_i X_i \mu_i\right] \qquad (3)$$

$$\text{Subject to } \sum_{i=1}^{N} X_i = 1 \qquad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{N} Z_i = K \qquad (5)$$

$$\varepsilon_i Z_i \leq X_i \leq \delta_i Z_i \quad (i = 1, \dots, n) \qquad (6)$$

$$Z_i \in [0,1] \quad (i = 1, \dots, n) \qquad (7)$$

$$X_i \geq 0 \quad (i = 1, \dots n) \qquad (8)$$

در مدل ریاضی فوق, λ پارامتری است که مقدار آن در فاصله [0,1] تغییر می کند, به طوریکه با قرار دادن λ=0 کل مقدار ضریب وزنی به بازده تخصیص داده میشود و بدون توجه به ریسک سبد سهام دارای بیشترین بازده انتخاب میشود و با در نظر گرفتن λ=1 کل مقدار ضریب وزنی به ریسک داده شده و بدون توجه به بازده, سبد سهام دارای کمترین ریسک انتخاب میشود. در فاصله بین صفر و یک, سبدهایی با در نظر گرفتن هر دو عامل ریسک و بازده بهینه می شوند.به عبارت دیگر با افزوده شدن مقدار ضریب λ, هدف کاهش ریسک اهمیت بیشتری یافته و در عین حال چون مقدار (λ-1)کاهش می یابد, بیشینه کردن بازده اهمیت کمتری می یابد. Z_i متغیر تصمیم در مورد سرمایه کذاری در هر سهم است.اگر Z_i برابر با یک باشد,یعنی سهم i در سبد قرار خواهد گرفت.مجموع تعداد سهامی که در سبد خواهند بود,بنا به محدودیت دوم مسئله K تا خواهد بود و ε_i و δ_i به ترتیب حد پایین و بالای متغیر i ام (نسبت سهم i در سبد سرمایه گذاری) هستند.

مجموعه معادلات CCMV ترکیبی از ترکیبی از مسئله برنامه ریزی عدد صحیح و مسئله برنامه ریزی عدد صحیح و مسئله برنامه ریزی درجه دوم است,که برای حل دقیق این نوع مسائل الگوریتم های موثر و کارایی در برنامه ریزی ریاضی وجود ندارد.در این پژوهش با هدف تشکیل پرتفوی بهینه, به بررسی پرتفوی بهینه توسط تکنیک فرا ابتکاری "الگوریتم رقابت استعماری " پرداخته می‌شود.

۳- روش‌شناسی پژوهش

مدل اصلی به‌کار گرفته شده پژوهش حاضر، الگوریتم رقابت استعماری(ICA) می‌باشد.پژوهش مذکور از لحاظ هدف کاربردی و داده‌های مورد استفاده برای انجام آن اطلاعات قیمت 30 سهم پذیرفته شده صنعت خودرو و قطعات در بورس اوراق بهادار تهران در فاصله زمانی فروردین ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۹۰ می‌باشد. متغیر اصلی پژوهش انتخاب سهم و تعیین سهم آن در مجموعه پرتفوی تشکیل شده می‌باشد.

در این مطالعه هر ذره نمایانگر یک سبد سهام است و ذرات با بهترین موقعیت,مرز کارای سرمایه گذاری را تشکیل می دهند.برای هر ذره $2\times N$ بعد در نظر گرفته می شود که N تعداد کل دارایی هاست.N بعد اول مربوط به متغیر های نسبت سرمایه گذاری در هر سهم(X_{pi}) است و N بعد دوم متغیر های تصمیم سرمایه گذاری (Z_{pi}) را در بر می گیرد. P=1,….,N شماره ذره را در پرتفوی نشان می دهد, P تعداد کل ذرات موجود در ازدحام است. i=1,…,N شماره سهم در ذره را نشان می دهد.

۴- الگوریتم رقابت استعماری

الگوریتم رقابت استعماری اولین بار توسط آتش‌پز و لوکاس در سال ۲۰۰۷مطرح شد. این الگوریتم، در وحله اول با داشتن یک دیدگاه کاملاً نو به مبحث بهینه سازی،پیوندی جدید میان علوم انسانی و اجتماعی از یک سو و علوم فنی و ریاضی از سوی دیگر، برقرار می کند. بطور ویژه این الگوریتم به فرایند استعمار، به عنوان مرحله ای از تکامل اجتماعی – سیاسی بشر نگریسته و با مدلسازی ریاضی این پدیده تاریخی، از آن به عنوان منشأ الهام یک الگوریتم قدرتمند در زمینه بهینه سازی بهره می گیرد .در مدت کوتاهی که از معرفی این الگوریتم می گذرد، از آن برای حل مسائل بسیاری در حوزه بهینه سازی استفاده شده است .طراحی چیدمان بهینه برای واحد های صنعتی،آنتن های مخابراتی هوشمند، سیستم های پیشنهاد دهنده هوشمند و نیز طراحی کنترل کننده بهینه برای سیستم های صنعتی شیمیایی تعدادی معدود از کاربردهای گسترده این الگوریتم در حل مسائل بهینه سازی می باشد.به منظور ارزیابی کارایی این الگوریتم مسائلی که با دیگر الگوریتم های تکاملی حل شده است را با این الگوریتم نیزحل شده است که نتایج بهتری هم از نظر زمانی و هم از نظر جواب بهینه حاصل شده است (آتش‌پز و لوکاس، ۲۰۰۷)

۴-۱- اصول پایه

الگوریتم رقابت استعماری همانند دیگر الگوریتم های تکاملی، این الگوریتم ، نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آنها یک " کشور " نامیده می شوند؛ شروع می شود .تعدادی از بهترین عناصر

جمعیت(معادل نخبه ها در الگوریتم ژنتیک و ذره در ازدحام ذرات) به عنوان امپریالیست[1] انتخاب می شوند . باقیمانده جمعیت نیز به عنوان مستعمر[2] ، در نظر گرفته می شوند .استعمارگران بسته به قدرتشان، این مستعمرات را با یک روند خاص که در ادامه می آید؛ به سمت خود می کشند .قدرت کل هر امپراطوری، به هر دو بخش تشکیل دهنده آن یعنی کشور امپریالیست(به عنوان هسته مرکزی) ومستعمرات آن، بستگی دارد .در حالت ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت امپراطوری به صورت مجموع قدرت کشور امپریالیست، به اضافه درصدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، مدلسازی شده است .

با شکل گیری امپراطور یهای اولیه، رقابت امپریالیستی میان آ نها شروع می شود.هر امپراطوری ای که نتواند در رقابت استعماری، موفق عمل کرده و بر قدرت خود بیفزاید (و یا حداقل از کاهش نفوذش جلوگیری کند)، از صحنه رقابت استعماری، حذف خواهد شد.بنابراین بقای یک امپراطوری، وابسته به قدرت آن در جذب مستعمرات امپراطوری های رقیب و به سیطره در آوردن آنها خواهد بود.در نتیجه، در جریان رقابت های امپریالیستی، به تدریج بر قدرت امپراطوری های بزرگتر افزوده شده وامپراطوری های ضعیف تر، حذف خواهند شد .امپراطوری ها برای افزایش قدرت خود، مجبور خواهند شد تا مستعمرات خود را نیز پیشرفت دهند.با گذشت زمان، مستعمرات، از لحاظ قدرت به امپراطوری ها نزدیک تر خواهند شد و شاهد یک نوع همگرایی خواهیم بود. حد نهایی رقابت استعماری، زمانی است که یک امپراطوری واحد در دنیا داشته باشیم، با مستمراتی که از لحاظ موقعیت، به خود کشور امپریالیست، خیلی نزدیک هستند. در ادامه مباحث این قسمت، بخش های مختلف الگوریتم، ارائه می شود (آتش‌پز و لوکاس، ۲۰۰۷).

۴-۲- شکل دهی امپراطوری های اولیه

در بهینه سازی، هدف یافتن یک جواب بهینه بر حسب متغیر های مسئله، است .ما یک آرایه از متغیرهای مسئله را که باید بهینه شوند، ایجاد می کنیم. در اینجا آن را یک کشور می‌نامیم. در یک مسئله‌ی بهینه‌سازی N_{var} بعدی، یک کشور، یک آرایه‌ی $1 \times N_{\mathrm{Var}}$ است. این آرایه به صورت زیر تعریف می شود.

$$Countrry = [P_1, P_2, P_3, \dots, P_{N_{\mathrm{var}}}] \qquad (9)$$

مقادیر متغیره ها در یک کشور، به صورت اعداد اعشاری نمایش داده می شوند .در حقیقت در حل یک مسئله بهینه سازی توسط الگوریتم معرفی شده، ما به دنبال بهترین کشور (کشوری با بهترین ویژگی های اجتماعی-سیاسی) هستیم. یافتن این کشور در حقیقت معادل یافتن بهترین پارامترهای مسئله است که کمترین مقدار تابع هزینه را تولید می کنند.

برای شروع الگوریتم باید تعدادی از این کشورها (به تعداد کشورهای اولیه الگوریتم) ایجاد شوند.بنابراین ماتریس کل کشورها به صورت تصادفی اولیه تشکیل می شود.

$$COUNTRY = \begin{bmatrix} country_1 \\ country_2 \\ country_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ country_{N_{country}} \end{bmatrix} \qquad (9)$$

هزینه‌ی یک کشور با ارزیابی تابع f در متغیرهای $(P_1, P_2, P_3, \dots, P_{N_{\text{var}}})$ یافت می شود بنابراین

$$cost_i = f(country_i) = f(P_1, P_2, P_3, \dots, P_{N_{\text{var}}}) \qquad (11)$$

الگوریتم معرفی شده در این نوشتار، با تولید یک دسته اولیه از جواب ها و دسته بندی آنها در قالب امپراطوری ها و اعمال سیاست جذب از طرف استعمارگران به روی مستعمرات و همچنین با ایجاد رقابت استعماری میان امپراطوریها به جستجوی بهترین کشوریا جواب می پردازد.

برای شروع الگوریتم،تعداد $N_{country}$ کشور اولیه را ایجاد می کنیم. N_{imp} تا از 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 هرکدام به یک امپراطوری تعلق دارند .برای تقسیم مستعمرات اولیه بین امپریالیست ها، به هر امپریالیست، تعدادی از مستعمرات را که این تعداد، متناسب با قدرت آن است، می دهیم .برای انجام این کار، با داشتن هزینه همه امپریالیست ها، هزینه نرمالیزه آن ها را به صورت زیر در نظر می گیریم.

$$C_n = max\{c_i\} - c_n \qquad (12)$$

که در آن C_n، هزینه امپریالست n ام، $max\{c_i\}$ بیشترین هزینه میان امپریالیست ها و C_n ،هزینه نرمالیزه شده این امپریالیست، می باشد .هر امپریالیستی که درای هزینه بیشتری باشد (امپریالیست ضعیفتری باشد)، دارای هزینه نرمالیزه کمتری خواهد بود .با داشتن هزینه نرمالیزه، قدرت نسبی نرمالیزه ی هر امپریالیست، به صورت زیر محاسبه شده و بر مبنای آن، کشورهای مستعمره، بین امپریالسیت ها تقسیم می شوند.

$$P_{\text{n}} = \left| \frac{\text{C}_{\text{n}}}{\sum_{\text{i}=1}^{\text{N}_{\text{imp}}} \text{C}_{\text{i}}} \right| \qquad (13)$$

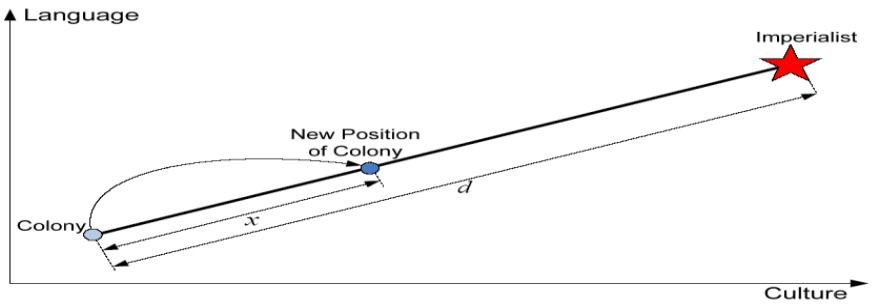
از یک دید دیگر، قدرت نرمالیزه شده یک امپریالیست، نسبت مستعمراتی است که توسط آن امپریالیست اداره می شود .بنابراین تعداد اولیه ی مستعمرات یک امپریالیست برابر خواهد بود با

$$N.C_{.n} = round\{p_n.(N_{col})\} \qquad (14)$$

که در آن $N.C_n$ ، تعداد اولیه مستعمرات یک امپراطوری و N_{col} نیز تعداد کل کشورهای مستعمره موجود در جمعیت کشورهای اولیه است. $round$ نیز تابعی است که نزدیک ترین عدد صحیح به یک عدد اعشاری را می دهد. با در نظر گرفتن $N.C_n$ برای هر امپراطوری، به این تعداد از کشورهای مستعمره اولیه را به صورت تصادفی انتخاب کرده و به امپریالیست nام می دهیم. با داشتن حالت اولیه تمام امپراطوریها، الگوریتم رقابت استعماری شروع می شود .روند تکامل در یک حلقه قرار دارد که تا برآورده شدن یک شرط توقف، ادامه می یابد(رضایی زهرا،۱۳۸۸).

۴-۳- مدل سازی سیاست جذب :حرکت مستعمره ها به سمت امپریالیست

سیاست همگون سازی[۳] (جذب) با هدف تحلیل فرهنگ و ساختار اجتماعی مستعمرات در فرهنگ حکومت مرکزی انجام می گرفت .همانگونه که قبلاً نیز بیان شد، کشورهای استعمارگر، برای افزایش نفوذ خود، شروع به ایجاد عمران(ایجاد زیرساخت های حمل و نقل، تاسیس دانشگاه و...) کردند .به عنوان مثال کشورهایی نظیر انگلیس و فرانسه با تعقیب سیاست همگون سازی در مستعمرات خود در فکر ایجاد انگیس نو[۴] و فرانسه نو[۵] در مستعمرات خویش بودند .با در نظر گرفتن شیوه نمایش یک کشور در حل مسئله بهینه سازی، در حقیقت این حکومت مرکزی با اعمال سیاست جذب سعی داشت تا کشور مستعمره را در راستای ابعاد مختلف اجتماعی سیاسی به خود نزدیک کند .این بخش از فرایند استعمار درالگوریتم بهینه سازی، به صورت حرکت مستعمرات به سمت کشور امپریالیست، مدل شده است .شکل۴-۱، شمای کلی این حرکت را نشان می دهد آتش‌پز و لوکاس، ۲۰۰۷).

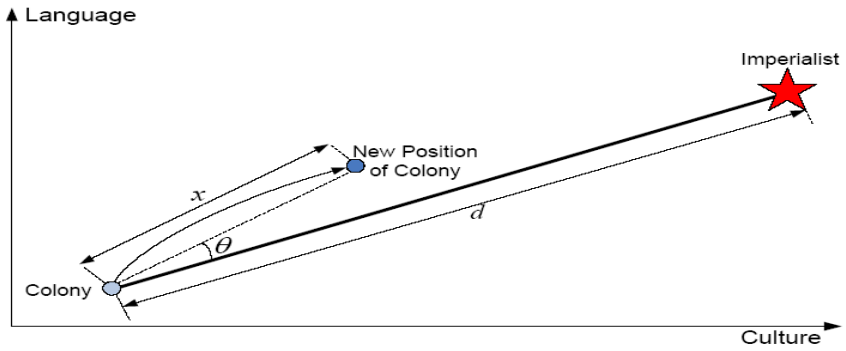


شکل۱:شمای کلی حرکت مستعمرات به سمت امپریالیست (طالبی آرش،۲۰۱۱)

همانگونه که در این شکل نشان داده شده است، کشور مستعمره به اندازه x واحد در جهت خط واصل مستعمره به استعمارگر،حرکت کرده و به موقعیت جدید[۶] کشانده می شود .در این شکل، فاصله میان استعمارگر و مستعمره با d نشان داده شده است. x نیز عددی تصادفی با توزیع یکنواخت(و یا هر توزیع مناسب دیگر) می باشد. یعنی برای x داریم.

$x \sim U(0, \beta \times d)$ (۱۵)

که در آن β عددی بزرگتر از یک و نزدیک به 2 می باشد. یک انتخاب مناسب می تواند$\beta = 2$ باشد. وجود ضریب $\beta > 1$ باعث می شود تا کشور مستعمره در حین حرکت به سمت کشور استعمارگر، از جهت های مختلف به آن نزدیک شود .



شکل ۲:حرکت واقعی مستعمرات به سمت امپریالیست(طالبی آرش،۲۰۱۱)

با بررسی تاریخی پدیده همگون سازی، یک حقیقت آشکار در این زمینه این است که علی رغم اینکه کشوهای استعمارگر بطور جدی پیگیر سیاست جذب بودند، اما وقایع بطور کامل مطابق سیاست اعمال شده آنها پیش نمی رفت و انحرافاتی در نتیجه کار وجود داشت .در الگوریتم معرفی شده، این انحراف احتمالی با افزودن یک زاویه تصادفی به مسیر جذب مستعمرات، انجام می گیرد .بدین منظور، در حرکت مستعمرات به سمت استعمارگر، کمی زاویه تصادفی نیز به جهت حرکت مستعمره، اضافه می کنیم . شکل۴-۲ این حالت را نشان می دهد. بدین منظور این بار به جای حرکت به اندازه x ،به سمت کشور استعمارگر و در جهت بردار واصل مستعمره به استعمارگر، به همان میزان، ولی با انحراف θ در مسیر، به حرکت خود ادامه می دهیم.θ را به صورت تصادفی و با توزیع یکنواخت در نظر می گیریم (اما هر توزیع دلخواه و مناسب دیگر نیز می تواند استفاده شود). پس:

$\theta \sim U(-\gamma, \gamma)$ (۱۶)

در این رابطه، γ پارامتری دلخواه می باشد که افزایش آن باعث افزایش جستجوی اطراف امپریالیست شده و کاهش آن نیز باعث می شود تا مستعمرات تا حد ممکن، به بردار واصل مستعمره به استعمارگر، نزدیک حرکت کنند. با در نظر گرفتن واحد رادیان برای θ ،عددی نزدیک به $\pi/4$ ، در اکثر پیاده سازی ها، انتخاب مناسبی بوده است. [۵]

۴-۴- جابجایی موقعیت مستعمره و امپریالیست

در مدلسازی این واقعه تاریخی در الگوریتم معرفی شده به این صورت عمل شده است که در حین حرکت مستعمرات به سمت کشور استعمارگر، ممکن بعضی از این مستعمرات به موقعیتی بهتر از امپریالیست برسند (به نقاطی در تابع هزینه برسند که هزینه کمتری را نسبت به مقدار تابع هزینه در موقعیت امپریالیست، تولید می کنند). در این حالت، کشور استعمارگر و کشور مستعمره، جای خود را با همدیگر عوض کرده و الگوریتم با کشور استعمارگر در موقعیت جدید ادامه یافته و این این بار این کشور امپریالیست جدید است که شروع به اعمال سیاست همگون سازی بر مستعمرات خود می کند [۴].

۴-۵- قدرت کل یک امپراطوری

قدرت یک امپراطوری برابر است با قدرت کشور استعمارگر، به اضافه درصدی از قدرت کل مستعمرات آن .بدین ترتیب برای هزینه کل یک امپراطوری داریم:

$$T.C._n = Cost(imperalist_n) + \xi\ mean\{Cost(colonies\ of\ empire_n)\} \qquad (۱۷)$$

که در آن $T.C._n$ هزینه کل امپراطوری n ام و ξ عددی مثبت است که معمولاً بین صفر و یک و نزدیک به صفر در نظر گرفته می شود. کوچک در نظر گرفتن ξ ،باعث می شود که هزینه کل یک امپراطوری ، تقریباً برابر با هزینه حکومت مرکزی آن (کشور امپریالیست) شود و افزایش ξ نیز باعث افزایش تاثیر میزان هزینه مستعمرات یک امپراطوری در تعیین هزینه کل آن می شود .در حالت نوعی $\xi = 0.05$ در اکثر پیاده سازی به جوابهای مطلوبی منجر شده است.

۴-۶) رقابت استعماری

همانگونه که قبلاً نیز بیان شد، 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 ازدست داده و امپراطوریهای قویتر، این مستعمرات را تصاحب کرده و بر قدرت خویش می افزایند. برای مدل کردن این واقعیت، فرض می‌کنیم که امپراطوری در حال حذف، ضعیف ترین امپراطوری موجود است .بدین ترتیب، در تکرار الگوریتم، یکی یا چند تا از ضعیف ترین مستعمرات ضعیف ترین امپراطوری را برداشته و برای تصاحب این مستعمرات، رقابتی را میان کلیه امپراطوری ها ایجاد می کنیم .مستعمرات مذکور، لزوماً توسط قویترین امپراطوری، تصاحب نخواهند شد، بلکه امپراطوری های قویتر، احتمال تصاحب بیشتری دارند. بدین منظورابتدا از روی هزینه کل امپراطوری، هزینه کل نرمالیزه شده آن را تعیین می کنیم:

$$N.T.C._n = max_i\{T.C._i\} - T.C._n \qquad (۱۸)$$

در این رابطه $T.C._n$ هزینه کل امپراطوری n ام و $N.T.C._n$ نیز، هزینه کل نرمالیزه شده آن امپراطوری می باشد.هر امپراطوری که $T.C._n$ کمتری داشته باشد $N.T.C._n$ بیشتری خواهد داشت.درحقیقت $T.C._n$ معادل هزینه کل یک امپراطوری و $N.T.C._n$ معادل قدرت کل آن می باشد .امپراطوری با کمترین هزینه، دارای بیشترین قدرت است.

با داشتن هزینه کل نرمالیزه شده، احتمال (قدرت) تصاحب مستعمره رقابت، توسط هر امپراطوری، به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P_{\mathrm{P_n}} = \left| \frac{N.T.C._n}{\sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{N_{imp}}} N.T.C._i} \right| \qquad (۱۹)$$

با داشتن احتمال تصاحب هر امپراطوری، برای اینکه مستعمرات مذکور را به صورت تصادفی، ولی با احتمال وابسته به احتمال تصاحب هر امپراطوری، بین امپراطور یها تقسیم کنیم؛ بردار P را از روی مقادیر احتمال فوق، به صورت زیر تشکیل میدهیم:

$$P = [P_{P1}, P_{P2}, P_{P3}, \dots, P_{PN_{\mathrm{imp}}}] \qquad (۲۰)$$

بردار P دارای سایز N_{imp} *1 می باشد و از مقادیر احتمال تصاحب امپراطور یها تشکیل شده است. سپس بردار تصادفی R ، همسایز با بردار P را تشکیل می دهیم. آرایه های این بردار، اعدادی تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه [0,1] می باشند.

$$R = \left[r_1, r_2, r_3, \dots, r_{N_{\mathrm{imp}}}\right] \qquad (۲۱)$$

$$r_1, r_2, r_3, \dots, r_{N_{\mathrm{imp}}} \sim U(0,1) \qquad (۲۲)$$

سپس بردار D را به صورت زیر تشکیل می دهیم.

$$\mathrm{D} = \mathrm{P} - \mathrm{R} = [\mathrm{D}_1, \mathrm{D}_2, \mathrm{D}_3, \dots, \mathrm{D}_{\mathrm{N_{imp}}}] \qquad (۲۳)$$

$$= \left[P_{P1} - r_1, P_{P2} - r_2, P_{P3} - r_3, \dots, P_{PN_{\mathrm{imp}}} - r_{N_{\mathrm{imp}}}\right] \qquad (۲۴)$$

با داشتن بردار D،مستعمرات مذکور را به امپراطوری ای می دهیم که اندیس مربوط به آن در بردارD بزرگتر از بقیه می باشد .امپراطوری ای که بیشترین احتمال تصاحب را داشته باشد، با احتمال بیشتری اندیس مربوط به آن در بردارD ، بیشترین مقدار را خواهد داشت.با تصاحب مستعمره توسط یکی از امپراطوری ها، عملیات این مرحله از الگوریتم نیز به پایان می رسد (رضایی زهرا،۱۳۸۸).

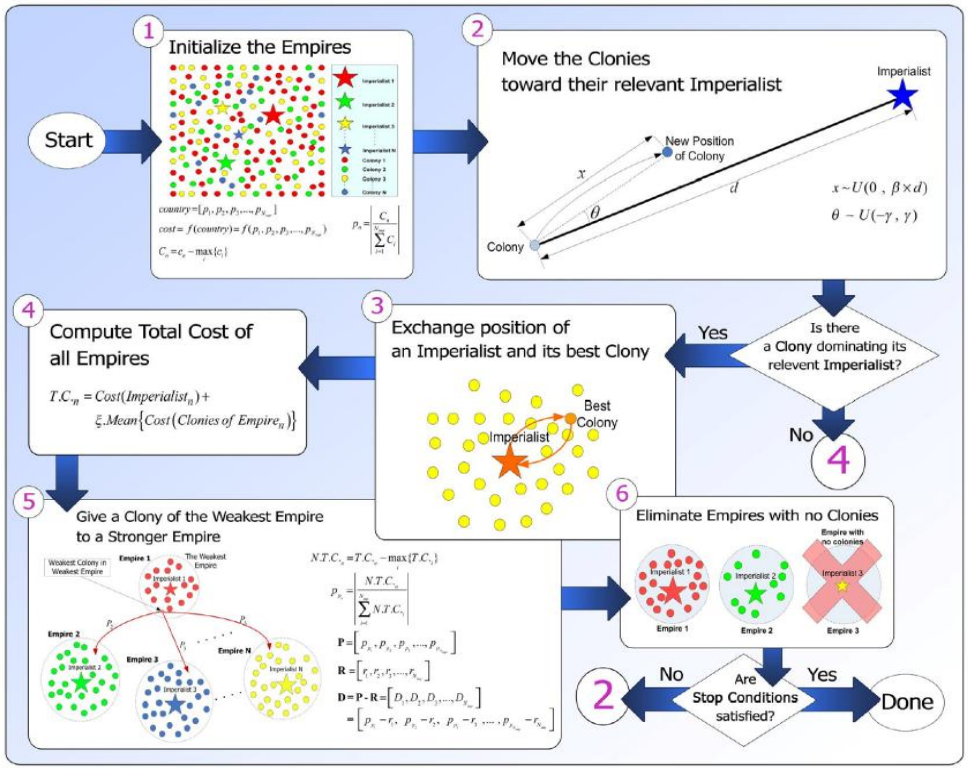
۴-۷- سقوط امپراطوریهای ضعیف

شروط متفاوتی را می توان برای سقوط یک امپراطوری در نظر گرفت .در الگوریتم پیشنهاد شده، یک امپراطوری زمانی حذف شده تلقی می‌شود که مستعمرات خود را از دست داده باشد(کریمی و همکاران، ۲۰۰۹).

۴-۸- همگرایی

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 .در این دنیای ایده آل جدید، همه ی مستعمرات، توسط یک امپراطوری واحد اداره می شوند و موقعیت ها و هزینه های مستعمرات، برابر با موقعیت و هزینه کشور امپریالیست است .در این دنیای جدید، تفاوتی، نه تنها، میان مستعمرات، بلکه میان مستعمرات وکشور امپریالیست، وجود ندارد .به عبارت دیگر، همه ی کشورها، در عین حال، هم مستعمره و هم استعمارگرند .در چنین موقعیتی رقابت امپریالیستی به پایان رسیده و به عنوان یکی از شروط توقف الگوریتم متوقف می شود (کریمی و همکاران، ۲۰۰۹).

شمای کلی الگوریتم به صورت گرافیکی در شکل۵-۴نیز نشان داده شده است .مطابق این شکل، الگوریتم با جمعیت اولیه تصادفی و تشکیل امپراطوری های اولیه آغاز شده و در یک چرخه سیاست جذب و رقابت امپریالیستی تکرار می شوند.



شکل ۳: شمای کلی مربوط به الگوریتم رقابت استعماری (طالبی،آرش،۲۰۱۱)

۵- تابع برازش پژوهش

با توجه به توضیحاتی که پیشتر ارائه شد، تابع برازش پژوهش به شکل زیر تعریف میشود:

$$f_{cost} = \lambda [\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} Z_{pi}X_{pi}Z_{pj}X_{pj}\sigma_{ij}] - (1-\lambda)[\sum_{i=}^{N} Z_{pi}X_{pi}\mu_i]$$

f_{cost} مقدار برازش ذره یا کشور p است (۲۵)

۶- محدودیت های مدل

همانطور که قبل گفته شد،هر ذره در پایان هر تکرار در فضای جواب ۲× N بعدی موقعیت جدیدی اتخاذ می کند.هر ذره نماینده یک جواب برای مدل مورد نظر است و باید موجه باشد، بنابراین باید معادلات مربوط به محدودیت ها را برآورده سازد.اغلب در مواردی که از روش های فرا ابتکاری برای حل مسایل بهینه سازی استفاده می شود ،محدودیت ها را به صورت ضرایب جریمه در تابع هدف در نظر می گیرند .در این مقاله با رویکردی مشابه رویکرد کورا ،خرده الگوریتم هایی برای برآوردن محدودیت های مسئله در نظر گرفته شده است [۱۳].

به منظور اعمال محدودیت مربوط به تعداد سهام منتخب ،متغیر $K_P^* = \sum_{i=1}^{N} Z_{pi}$ و مجموعه Q تعریف می شود.Q مجموعه سهامی است که ذره (پرتفوی) P در بر دارد و K_p^* تعداد سهام موجود در مجموعه Q را نشان می دهد.اگر فرض شود ،K تعداد دارایی مطلوب در سبد سهام باشد،در حالتی که K_p^* <K باشد ،به Q تعدادی سهام باید اضافه شود. اگر K_p^* >K باشد ،از Q تعدادی سهم باید کم شود تا زمانیکه $K_p^* = K$ برای تصمیم گیری در مورد اینکه کدام سهم باید به مجموعه Q اضافه یا کم شود ،میزان تاثیر نسبی هر یک از سهام بر تابع برازش (C_i) اندازه گیری می شود .سهام یا دارایی هایی که اثر نسبی آنها بر تابع برازش زیاد باشد ،برای اضافه شدن به مجموعه Q در اولویت هستند و برعکس ،سهم هایی که اثر آنها بر تابع برازش کم باشد ،برای حذف شدن از مجموعه Q در اولویت هستند.محاسبه C_i مطابق فرمول های زیر انجام می شود [۶].

$$\theta = 1 + (1-\lambda)\mu_i \quad \text{i=1…,N}$$

$$\rho_i = 1 + \lambda\frac{\sum_{j=1}^{N}\sigma_{ij}}{N} \quad \text{i=1,…,N}$$

$$\Omega = -1 \times min(0, \theta_1, \dots \theta_N) \qquad (۲۶)$$

$$\psi = - \min(0, \rho_1, \dots, \rho_N)$$

$$C_i = \frac{\theta_i + \Omega}{\rho_i + \psi} \quad \text{i=1,…,N}$$

بنابراین در حالتیکه $K_p^* > K$ ، سهم با کمترین مقدار c از مجموعه Q حذف می شود و در حالتیکه $K_p^* < K$ ،سهم با بیشترین مقدار c به مجموعه Q اضافه می شود.

همان طور که گفته شد ،ابعاد x_i موجود در هر ذره ،نسبت سرمایه گذاری را نشان می دهد.مجموع ابعاد x_i برای سهم هایی که در مجموعه Q هستند ،باید برابر با یک باشد.اگر χ مجموع x_i ها باشد،با تبدیل $x_{pi} = {x_{pi}}/{\chi}$ برای تمامی سهم های عضو Q،محدودیت مربوط به معادله ۹ برآورده می شود.

محدودیت $\varepsilon_i < x_{pi} < \delta_i$ نیز برای سهم های عضو Q باید برقرار شود .برای اعمال این محدودیت متغیرهای $t_i = \delta_i - z$ و $e_i = x_{pi} - \varepsilon_i$ برای سهام عضو مجموعه Q تعریف می شوند.δ^* مجموع t_i ها و ε^* مجموع e_i هاست .η مجموع $(t_i \times -1)$ هایی است که $t_i < 0$ باشد.ϕ مجموع $(e_i \times -1)$ هایی است که $e_i < 0$ باشد . در صورتی که ابعاد یک ذره از حد بالای سرمایه گذاری تجاوز کند ،یا از حد پایین کمتر شود بر اساس معادله زیر محدودیت مربوط برآورده می شود [۶].

$$x_{pi} = \begin{cases} x_i + \frac{t_i}{d^*}h & \text{اگر } t_i > 0 \\ d_i & \text{اگر } t_i < \\ x_{pi} + \frac{e_i}{e^*}f & \text{اگر } e_i > 0 \\ e_i & \text{صورت این غیر در} \end{cases} \qquad (۲۷)$$

۷- مطالعات موردی

همان طور که در قبل نیز گفته شد، در این مقاله مسئله بهینه سازی پرتفوی سهام با استفاده از تکنیک *ICA* حل می شود.جامعه آماری این پژوهش شامل کلیه ی شرکت‌های فعال صنعت خودرو و قطعات در بورس اوراق بهادار تهران در فاصله زمانی فروردین ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۹۰ می باشد.اطلاعات مربوط به میانگین و انحراف معیار بازده سهام جدول زیر ارائه شده است.لازم به ذکر است که به منظور برنامه کامپیوتری الگوریتم از نرم افزار مطلب استفاده شده است.

جدول ۱- داده های پژوهش

شماره سهم	نام شرکت	تعداد روز های مورد معامله	قیمت	میانگین بازده
1	موتورسازان تراکتور	138	1316.57	-0.087
2	گروه بهمن	209	1022.61	-0.161
3	سرمایه گذاری رنا	212	1163.632	0.041
4	س. ایران خودرو	239	1447.3	0.034
5	سایپا دیزل	128	848.36	-0.952
6	سایپا	121	1465.43	0.455
7	پارس خودرو	219	1259.72	-0.294
8	ایران خودرو دیزل	205	935.64	-0.144

شماره سهم	نام شرکت	تعداد روز های مورد معامله	قیمت	میانگین بازده
9	ایران خودرو	147	1048.85	-0.112
10	کمک فنر ایندامین	241	1180.24	-36.959
11	کاربراتور ایران	67	1505.72	-0.486
12	نیرومحرکه	65	1997.08	0.966
13	نصیر ماشین	13	1124.62	-9.57
14	مهرکام پارس	143	985.93	-0.127
15	محورسازان	215	851.9	-3375.37
16	محور خودرو	189	1214.63	0.021
17	لنت ترمز	11	10475.55	-0.833
18	قطعات اتومبیل	234	1126.76	-3.262
19	فنرسازی زر	6	2949.83	8.392
20	فنرسازی خاور	253	971.88	-1.413
21	صنایع ریخته گری	47	687.7	-2860.2259
22	سایپا اذین	236	1965.83	-3.711
23	سازه پویش	70	1457.07	-0.626
24	زامیاد	88	602.36	-36.79
25	رینگ سازی مشهد	32	1712.09	1.307
26	ریخته گری تراکتور	182	1226.71	-0.259
27	رادیاتور ایران	29	645.62	-7.153
28	چرخشگر	178	850	0.073
29	الکتریک خودرو	129	1143.48	0.188
30	آهنگری تراکتور	201	1628.79	0.216

۸-آنالیز وتحلیل نتایج

به منظور اعتبارسنجی عملکرد الگوریتم رقابت استعماری در تشکیل پرتفوی سهام، داده‌های حاصل از پژوهش علاوه در اجرا در تکنیک فوق الذکر، به طور همزمان با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) هم اجرا می‌شود و نتایج مربوط به هر دو الگوریتم با یکدیگر مقایسه می‌شود. به این ترتیب پارامترهای مورد استفاده در هر دو الگوریتم و مقادیر آن‌ها به طور مجزا به شرح جدول زیر ارائه می‌شود.

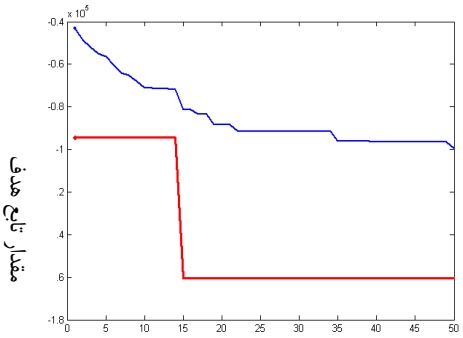
جدول زیر مقادیر پارامتر های مورد استفاده در مسئله تشکیل پرتفوی سهام را در حل دو تکنیک را نشان می دهد.

جدول ۲- پارامترهای پژوهش

الگوریتم ازدحام ذرات	الگوریتم رقابت استعماری
N = 30 Number of Portfolies VarMin =0.01 VarMax =1 Landa=0.02 Algorithmic Parameter Setting Number of particles P =50 NumOfIteration=50 Alfa=0.06 K=10	'FitnesFunc'ProblemParams.NPar = 30 ProblemParams.VarMin = 0.01 ProblemParams.VarMax = 1 ProblemParams.landa = 0.02 AlgorithmParams.NumOfCountries = 200 AlgorithmParams.NumOfInitialImperialists = 10 AlgorithmParams.NumOfDecades = 50 AlgorithmParams.RevolutionRate = 0.7 AlgorithmParams.AssimilationCoefficient = 0.3 AlgorithmParams.AssimilationAngleCoefficient = .5 AlgorithmParams.Zeta = 0.02 K=10

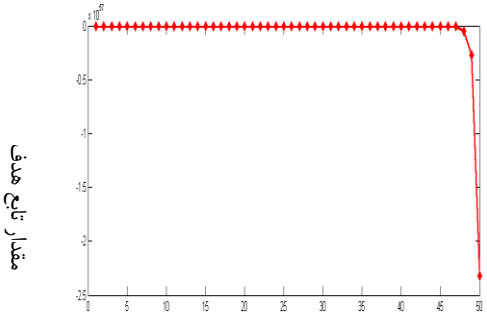
نتایج بدست آمده از هر یک از الگوریتم های فوق در نمودارهای مجزا به صورت زیر ارائه شده است.

(نمودار ۲)



نمودار الگوریتم ازدحام ذرات (۲)

(نمودار ۱)



نمودار الگوریتم رقابت استعماری (۱)

در جدول زیر مقادیر تابع هدف و میزان سرمایه گذاری در هر سهم ارائه شده است.

الگوریتم رقابت استعماری(۱)	الگوریتم ازدحام ذرات(۲)
=Fitness function -2.316675879005060e+57 ماتریس جواب= [0.073,0.71,0.213,0.213,0.128,0.154,0.644,0.1,0.815, 0.56,0.34 / 5,12,13,15,16,17,18,27,28,30]	Fitness function= -1.604298164268946e+05 ماتریس جواب = [0.01,0.476,0.36,0.94,0.626,0.01,0.8,0.01,0.72,0.16 / 2,6,11,16,18,19,22,25,26,29]

(جدول ۳: نتایج)

مقدار تابع هدف حاصل از اجرای هر تکنیک طبق جداول بالا تحت عنوان Fitness function مشخص شده است.ساختار ماتریس جواب بدین صورت است که ۱۰ مقدار اول، میزان سرمایه‌گذاری سهم‌های انتخاب شده در جواب بهینه را مشخص می کند و ۱۰مقدار دوم، شماره سهم انتخاب شده در پرتفوی سهام را نشان می‌دهد.

شایان ذکر است همیشه در انتخاب پرتفوی ۲ نکته اساسی وجود دارد : اول اینکه در چه نوع سهامی سرمایه گذاری کرد ؟ دوم اینکه چقدر از مبلغ سرمایه در آن موضوع سرمایه گذاری شود . با داشتن ۲ مورد فوق میتوان میزان دارایی را طوری تخصیص داد که میزان بازده مورد انتظار حداکثر و ریسک سرمایه حداقل گردد.

بطور مثال با داشتن ۱۰۰$ ،ابتدا باید تصمیم گرفت در چه موضوعی سرمایه گذاری کرد ، مانند طلا ، سرمایه گذاری در سهام ، سپرده بانکی ... . سپس باید ارزیابی کرد که از این ۱۰۰$ چه مقدار به سپرده بانکی ،چه مقدار به دلار و چه مقدار به سرمایه گذاری در بورس تخصیص یابد.

در این پژوهش فرض بر سرمایه‌گذاری در سهام شرکت‌های خودروساز و قطعه‌ساز فعال در بورس تهران می-باشد .حال هدف انتخاب نوع شرکت و میزان سهم هر شرکت در تشکیل سبد سرمایه‌گذاری مذکور می‌باشد.

بعد از تحلیل داده‌های شرکت‌های فعال صنعت خودرو و قطعات در بورس اوراق بهادار تهران در فاصله زمانی فروردین ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۹۰ که نتایج آن در جدول شماره ۱ ارائه شده است ، و تطبیق آن با نتایج حاصل شده از جدول شماره ۳، به این نتیجه رسیدیم که به منظور تشکیل پرتفوی بهینه از میان سهام موجود می-بایست در ۱۰ شرکت معرفی شده در جدول شماره ۳ و به میزان تخصیص داده شده برای هر سهم سرمایه-گذاری نمود. .بطور مثال در روش الگوریتم رقابت استعماری باید ۰,۰۷۳ در سهم شماره ۵ جدول ۱ (سایپا دیزل) ،۰,۷۱ در سهم شماره ۱۲ جدول ۱ (نیرو محرکه) .... سرمایه گذاری کرد.

مقایسه با تحقیقات پیشین

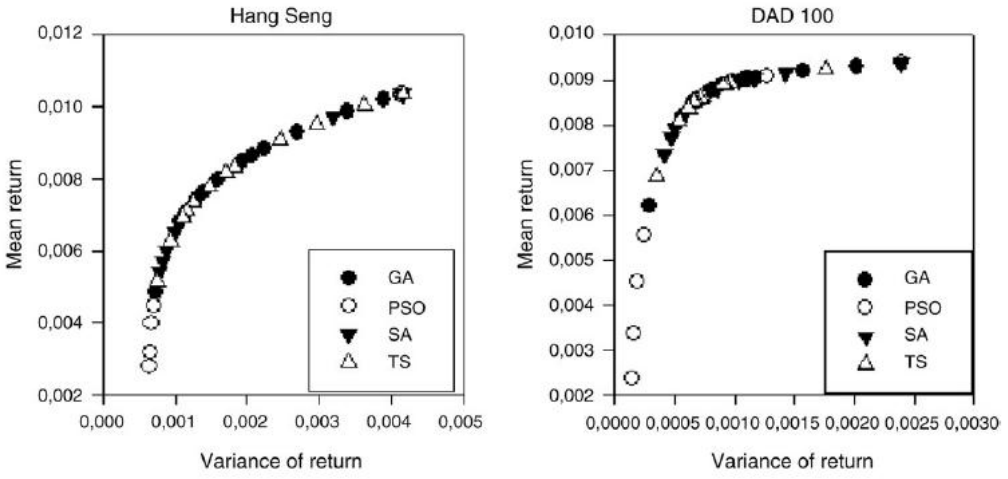
دکتر رضا راعی و هدایت علی بیگی مساله بهینه سازی و تعیین مرز کارایی را در زمانی که تعداد دارایی ها قابل سرمایه گذاری کم باشد ، را با استفاده از از روش بهینه سازی حرکت تجمعی ذرات (PSO) بر روی اطلاعات قیمتی ۲۰ سهم پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران در فاصله ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ مرز کارایی را رسم می کند .نتایج این پژوهش نشان میدهد روش بهینه سازی پرتفوی سهام در روش حرکت تجمعی ذرات بطور موفق عمل کرده است دکتر رضا راعی و هدایت علی بیگی (۱۳۸۹).

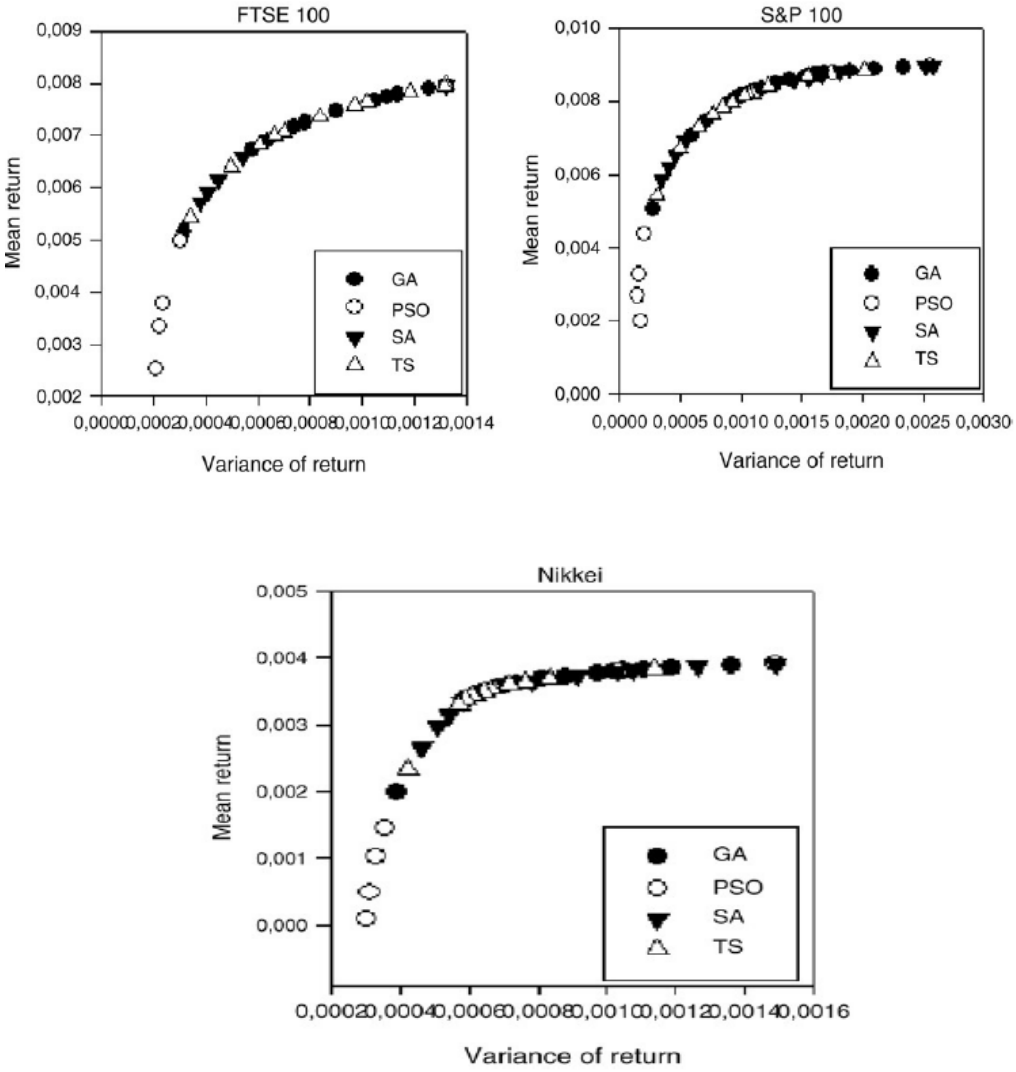
در پژوهشی دیگر حمید رضا نویدی و همکاران تشکیل پرتفوی بهینه در بورس اوراق بهادار را با روش الگوریتم ژنتیک بررسی کردند. نتایج پژوهش نشان داد بـا وجود کم بودن تعداد تکرار الگوریتم، نتایج به دست آمده بسیار مناسب می‌باشد و این روش مدل مناسبی را ارائه می کن حمید رضا نویدی و همکاران (۱۳۸۸)د.

محمد حسین پور کاظمی در پژوهشی به بررسی بهینه سازی سبد پـروژه سـازمانی پرداخته است و بیان کرده که بـه دلیـل پیچیـدگی ارزیـابی پـروژه‌هـا و همچنـین محدودیت منابع، بهینه‌سازی سبد پروژه همواره با چالش های تصمیم‌گیری متعددی روبرو است. او در این پژوهش ابتدا فرمولاسیون مسئله انتخاب سبد پروژه با درنظر گرفتن اثرات متقابل بین پروژه ها انجام داده اسـت. سـپس مسـئله انتخاب سبد پروژه با درنظر گرفتن

اثرات متقابل پروژه ها با استفاده از الگوریتم های بهینه سـازی ICA مورد بررسی قرار داده است.همچنین بیان کرده است که لحاظ کردن اثرات متقابـل در انتخـاب سـبـد نهـایی و برازنـدگی آن را تحت تأثیرات قابل توجه بالایی قرار می دهد. نتایج حاصل نشان داد که روش ICA نسبت‌به روش الگوریتم‌های GA،PSO و CPSO که پیش از این در این‌گونه مسائل به‌کار رفتـه اسـت برتری دارد محمد حسین پور کاظمی (۱۳۹۲).

در پژوهشی که در سال ۲۰۰۹ توسط کورا با هدف مقایسه تشکیل بهینه پرتفوی سهام با در نظر گرفتن مرز کارای مارکوویتز توسط الگوریتم ازدحام ذرات(PSO) با سه الگوریتم ابتکاری دیگر شامل الگوریتم ژنتیک (Ga)، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده (Sa)، و الگوریتم جستجوی ممنوعه (Ts) انجام پذیرفت، نتایج زیر حاصل شد. لازم به ذکر است که داده لازم برای انجام پژوهش از قیمت‌های هفتگی چهار سهم هنگ سنگ در هنگ کنگ، دکس آلمان، S&P آمریکا، نیکی ژاپن، FTSE انگلستان در فاصله زمانی مارس ۱۹۹۲ تا پایان سال ۱۹۹۷ اقتباس شده است و همچنین مقدار پارامتر لاندا نیز (λ=0.02) در نظر گرفته شده است.نتایج تجربی نشان داد که، با اینکه هیچکدام از چهار تکنیک ابتکاری نامبرده در سیاست های سرمایه‌گذاری، نسبت به دیگر تکنیک‌ها از عملکرد بهتری برخوردار نیست با این وجود، زمانی‌که تقاضا سرمایه‌گذاری با ریسک پایین مد نظر می‌باشد، الگوریتم ازدحام ذرات نسبت به سایر تکنیک‌های فوق‌الذکر عملکرد مطلوبتری را ارائه می‌دهد. نتایج این پژوهش در شکل زیر منعکس شده است.





شکل ۴: تجمیع تکنیک‌های بهینه‌سازی (کورا،۲۰۰۹)

با ملاحضه نتایج پژوهش‌های مذکور و با توجه به اینکه به طور تجربی، در پژوهش حاضر برتری الگوریتم رقابت استعماری نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات مشخص می‌باشد ، لذا کارامدی این الگوریتم در بهینه‌سازی پرتفوی سهام نسبت به دیگر تکنیک‌های نامبرده شده در فوق بارز است.

۹- نتیجه گیری و بحث

موضوع این پژوهش درباره حل مسئله انتخاب پرتفوی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری است که این کار با استفاده از مجموعه معادلات مدل CCMV که ترکیبی از مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح و مسئله برنامه-ریزی درجه دوم است، و برای حل دقیق مسائلی از این قبیل، الگوریتم های موثر و کارایی در برنامه ریزی ریاضی وجود ندارد انجام پذیرفته است. همچنین به منظور اعتبارسنجی، نتایج حاصل از اجرای آن با نتایج حاصل از الگوریتم ازدحام ذرات مقایسه شده است. نتایج بدست آمده و تشکیل پاسخ ها در هر تکرار در نمودارهای ۱و۲ ترسیم شده است. همان گونه که از ترسیم نمودارها مشخص است، مقدار تابع هدف محاسبه شده در الگوریتم رقابت استعماری به نسبت مقدار کسب شده در الگوریتم ازدحام ذرات به مراتب مطلوبتر می-باشد و بدین ترتیب تشکیل پرتفوی بهینه‌تری را به منظور سرمایه‌گذاری تسهیل می‌کند. بنابراین توانایی بالای این روش بر اساس نتایج مشهود می‌باشد و می تواند به عنوان یک مدل کاربردی به منظور انتخاب پرتفوی سهام با حداکثر بازدهی با ریسک پایین ، مورد استفاده قرار گیرد .

با توجه به کارایی روش‌های محاسباتی فازی و پیشینه مطلوب آن در ارائه پاسخ‌های دقیقتر، لذا پیشنهاد می‌گردد انجام این تکنیک با روش‌های فازی نیز تلفیق شده و و از این طریق عملکرد تکنیک هر چه بیشتر بهبود یابد.

با توجه به نو بودن تکنیک و به منظور غنای بیشتر نتایج پیشنهاد می‌گردد تا گام های اجرای این تکنیک با گام‌های سایر تکنیک‌های ابتکاری از جمله الگوریتم ژنتیک، شبکه های عصبی، تبرید شبیه‌سازی شده، ازدحام ذرات، مورچگان و ... تلفیق شده و نتایج آن با نتایج پژوهش حاضر مقایسه گردد.

پیشنهاد می‌گردد استفاده از این تکنیک علاوه بر تشکیل پرتفوی سهام، در سایر مباحث مربوط به سرمایه-گذاری در بورس نیز اجرا گردد.

فهرست منابع

* آتش پز گرگری اسماعیل ،"توسعه الگوریتم اجتماعی و بررسی کارایی آن" پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق دانشکده فنی دانشگاه تهران ، سال دفاع ۱۳۸۷
* تقوی فرد محمد تقی ،منصوری طاها ،خوش طینت محسن ،"ارائه یک الگوریتم فراابتکاری جهت انتخاب سبد سهام با در نظر گرفتن محدودیت های عدد صحیح ، ۱۳۸۶ ،فصل نامه پژوهش های اقتصادی ،4:69-49
* رضایی زهرا،" ارائه الگوریتم فراابتکاری کارا برای حل مدل کنترل موجودی چند سطح "، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشکده مدیریت دانشگاه شهید بهشتی، سال دفاع ۱۳۸۸
* راعی رضا ،تلنگی احمد ،" مدیریت سرمایه گذاری پیشرفته" – تهران :سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه ها(سمت)،۱۴۲-۱۰۵.

* ناظمی علیرضا ، امیدی فرحناز ، صافی محمدرضا، "مسئله بهینه سازی پرتفوی با بازده نامطمئن با استفاده از شبکه‌های عصبی"، سومین کنفرانس ریاضیات مالی و کاربردها ، دانشگاه سمنان، بهمن ۱۳۹۱
* U Celikyurt,S Ozekici(2007).Multiperiod Portfolio Optimazation mododels in stochastic markets using the mean-variance approach ,European Journal Operationa Reseach179:186-202
* T.J Chaang , N Meade , J.E.Beasley , Y.M.Sharaiha (2000).Heuristics for cardinality constraned portfolio optimazation , Computers & Operations Research 27:1271-1302.
* Kc , Chiam, .Tan,A Al.Mamum (2008).A memetic model of evalutionary PSO for computational finance application .Expert Systems With Applications,36:3695-3711
* Cura Tunchan(2009).Particle swarm optimization approach to portfolio optimization .NonlinearAnalysis : Real Word Application , 10:2396-2406
* Elton, E. J., M. J. Gruber, S. J. Brown, and W. N. Goetzmann (2003). Modern Portfolio Theory and Investment Analysis. Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, 6th Ed.
* Fernandez A,S Gomez (2007).Portfolio selection using neural networks .Computers &operation Research ,34:1177-1191.
* H.Golmakani,M Fazel(2011) , Constrained Portfolio selsction using particle swarm optimazation,Exper system with Application38:8327-8335
* S.Karimi,S.Baradaran Shokohi,M.Mokhtarzade -(2009) ,Optimal Hierachical Remote sensing Image clustering using Imperialist Competitive Algoritm ,in 2nd International conference on Machine vision (ICMV) .
* J Kennedy , R.C Eberhart (1995).Particle Optimazation,in:Proc.iEEE Int,Conf.on Networks ,4:1942-1948.
* R.Mansini,M.G.sperenza(1999).Heuristic algorithms for the portfolio selection problem with minimum transaction lots,Europen Journal of Operational Research ,114:219-233. A.Talebi,M.A.Molaei,B.Ashrafi (2011).Application of an Imperialist Competitive Algorithm in portfolio Optimazation ,World Applied Siences Journal 14(10):1576-159

یادداشت‌ها

[1] Imperialist
[2] Colony
[3] Assimilation
[4] New England
[5] New France
[6] New position of colony