Archive of SID

فصلنامه علمی پژوهشی
دانش مالی تحلیل اوراق بهادار
سال نهم، شماره سی‌ویکم
پائیز ۱۳۹۵

بررسی روش‌های هوشمند در حل مسئله سبد سهام مقید در بازار سهام تهران

عصمت جمشیدی عینی[۱]
حمید خالوزاده[۲]

تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۴

چکیده

مسئله‌ی انتخاب سبد سهام بهینه، یافتن روشی بهینه برای تخصیص مقدار ثابتی سرمایه به مجموعه‌ای از دارایی‌های موجود است که با هدف داشتن حداکثر بازده مورد انتظار و در عین حال حداقل ریسک ممکن، صورت می‌گیرد.در این پژوهش، نشان داده می‌شود که یک سرمایه‌گذار با وجود n سهم ریسکی، چگونه می‌تواند دارایی‌اش را برای رسیدن به سود مشخص با حداقل ریسک بین این سهام پخش کند.چنین سبد سهامی، یک سبد سهام کارا نامیده می‌شود. برای این منظور، با بررسی الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک، رقابت استعماری و ازدحام ذرات و در نظر گرفتن قیدهای اساسی در مسئله سرمایه‌گذاری، از این روش‌های کاربردی برای حل مسئله بهینه‌سازی سبد سهام استفاده می‌کنیم. ارزش سبد سرمایه و ریسک آن، به عنوان اهداف بهینه‌سازی و معیار ارزش در معرض ریسک مشروط، به عنوان سنجه ریسک به‌کار برده شده است. نتایج عملی برای حل مسئله بهینه‌سازی سبد سرمایه در بازار بورس اوراق بهادار تهران، با انتخاب ۲۰ شرکت از میان ۳۰ صنعت فعال‌تر موجود، همراه با اعتبارسنجی آن‌ها به‌دست آمده است. هدف کمک به سرمایه‌گذاران برای انتخاب هرچه بهتر و عملی‌تر سهام مختلف و در نتیجه سرمایه‌گذاری مؤثر است.

واژه‌های کلیدی: سبد سهام، ارزش در معرض ریسک مشروط، الگوریتم ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم رقابت استعماری.

۱- کارشناس ارشد مهندسی برق، گروه کنترل، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. (نویسنده مسئول) esmat_jamshidi123@yahoo.com
۲- استاد دانشکده مهندسی برق، گروه کنترل، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. h_khaloozadeh@kntu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

سبد سهام یا به اصطلاح فرانسوی پرتفولیو[۱]، ترکیبی مناسب از سهام یا سایر دارائی‌ها است که یک سرمایه‌گذار آن را خریداری می‌کند. مسئله‌ی انتخاب سبد سهام بهینه، یافتن روشی بهینه برای تخصیص مقدار ثابتی سرمایه به مجموعه‌ای از دارایی‌های موجود، با هدف ماکزیمم کردن بازده مورد انتظار[۲] و در عین حال می‌نیمم کردن ریسک[۳] سرمایه‌گذاری با توجه به قیدهای گوناگون، است (توربیانو، ۲۰۱۲).مدیریت سبد سهام به‌طور کلی به مفهوم تشکیل سبد سهام، با توجه به شرایط خاص است که با توجه به همان شرایط، بهترین وضعیت را داشته باشد. این شرایط خاص می‌تواند شامل شرایط مختلفی شود که تابع هدف ما را تشکیل می‌دهد. هدف می‌تواند می‌نیمم کردن ریسک و ماکزیمم کردن بازده سبد سهام باشد.یک مدیر به دنبال‌ایجاد توازن بین ریسک و بازده سرمایه‌گذاری است. از آن رو مسئله انتخاب سبد سهام بهینه یکی از مسائلی بوده است که از دیرباز ذهن متخصصان امور سرمایه‌گذاری را به خود مشغول کرده است. محیط سرمایه‌گذاری، تغییرات پویا و غیرقابل پیش‌بینی دارد. برای خرید سهام، تعداد زیادی سهام متفاوت وجود دارد که باید از بین آن‌ها انتخاب کرد. یعنی نوعی فیلتر[۴] کردن بین سهام تا سهام با ارزش انتخاب شود. در نتیجه برای تعیین یک مجموعه سبد سهام کارا[۵]، ضروری است در چارچوب اول تحلیل تکنیکی روش گزینش سهام انجام شود و از آن طریق میانگین و واریانس[۶] هر سهم با توجه به داده‌های قبلی و تابع توزیع آن‌ها به‌دست آید. در چارچوب دوم، نظریه‌های مختلف سرمایه‌گذاری و مقیاس‌های ارزیابی عملکرد مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲- مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

در یک رویکرد کلی نظریه‌های مربوط به تشکیل سبد سهام را می‌توان به دو گروه مدرن و فرامدرن تقسیم‌بندی کرد. نظریه مدرن پرتفوی[۷] با مقاله‌ای با عنوان «انتخاب پرتفوی» توسط هری مارکویتز (۱۹۵۲) معرفی شده است. وی شیوه میانگین-واریانس[۸] رادر قالب تئوری سبدسهام تبیین نمود. مارکویتز معیار واریانس را به عنوان سنجه ریسک پیشنهاد کرد و این موضوع را با یک مدل محاسباتی نشان داد. معیار واریانس به خصوص به دلیل ماهیت تقارنی آن و عدم سازگاری آن با مدل‌های بدیهی تصمیم‌گیری (در شرایط تصادفی)، به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری ریسک، مورد انتقاد قرار گرفت. در نظریه فرامدرن پرتفوی، بر اساس رابطه‌ی بازدهی و ریسک نامطلوب، به تبیین رفتار سرمایه‌گذار و انتخاب سبد سهام بهینه پرداخته می‌شود. ریسک نامطلوب به‌عنوان شاخص اندازه‌گیری ریسک، یعنی احتمال نوسانات منفی بازدهی در آینده تعریف شده است. به‌عبارت دیگر، ریسک متقارن نبوده و شدیدا به سمت ریسک نامطلوب تمایل دارد. بر همین اساس، تئوری پست مدرن[۹] سبد سهام مطرح شد و از مبدعین آن می‌بایست به رام و فرگوسن و نیز کاپلان و سیگل (۱۹۹۴) اشاره نمود. این تئوری، ریسکی را که به اهداف خاص سرمایه‌گذاران مرتبط است، شناسایی کرده و هر پیامد یا نتیجه‌ای که بالاتر و بهتر از این هدف باشد، به‌عنوان ریسک درنظر نمی‌گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

ظهور معیار ارزش در معرض ریسک (VaR)[10]، به‌عنوان یک روش پذیرفته شده برای کمی‌سازی ریسک بازار، مرحله مهمی از انقلاب در عرصه مدیریت ریسک به‌شمار می‌آید. اصطلاح VaRبرای اولین بار در گزارش گروه سی[11] (۱۹۹۳) معرفی گردید. از آن زمان به بعد، VaRمعروف‌ترین روش ارزیابی ریسک اقتصادی شد. به‌خصوص از زمانی که جی.پی. مورگان (۱۹۹۴) خدمات رایگان خود اندازه‌گیرهای ریسک[12] را معرفی کرد. امروزه ارزش در معرض ریسک، معروف‌ترین و پرکاربردترین روش اندازه‌گیری ریسک است. این معیار می‌تواند به‌صورت ماکزیمم زیان مورد انتظار روی یک افق هدف با یک سطح اطمینان[13]داده شده و تحت شرایط عادی بازار تعریف شود. گرچه ارزش در معرض ریسک یک معیار ریسک معمول است اما ویژگی‌های ریاضی نامطلوبی دارد و تابع آن غیر خطی، غیر محدب و مشتق‌ناپذیر است و نمودار آن می‌تواند شامل مینیمم و ماکزیمم‌های محلی بسیار زیادی باشد. در نتیجه، آرتزنر و همکارانش (۱۹۹۲) ایده‌ی همسان بودن را به‌عنوان یک مجموعه از خصوصیات اندازه‌گیری ریسک در رابطه با دم‌های تابع توزیع ارائه کردند. از جمله مهمترین اندازه‌گیرهای ریسک همسان، ارزش در معرض ریسک مشروط (CVaR)[14] است که توسط راکفلر و اوریاسف (۲۰۰۰) ارائه شده است. ارزش در معرض ریسک مشروط، به‌عنوان یک معیار ریسک ویژگی‌های بهتری را نسبت به VaRاز خود نشان داده است و بیان‌کننده این است که اگر اوضاع نامطلوب باشد، انتظار داریم چقدر متحمل زیان شویم.

استفاده از روشهایی بر مبنای شبیه‌سازی فرآیند انتخاب طبیعی، برای حل مسائل بهینه‌سازی به سالهای ۱۹۳۰ برمی‌گردد. از آن زمان، این موضوع توسعه زیادی پیدا نکرد تا سالهای ۱۹۶۰ که مطالعات فوگِل، هالند و شِفِل، زیربنای آنچه امروز الگوریتم‌های تکاملی[15]نامیده می‌شود را شکل دادند. این الگوریتم‌ها، تحت عنوان روش‌های بهینه‌سازی هوشمند و محاسبات تکاملی شناخته می‌شوند. مزیت آن‌ها این است که بدون نیاز به مشتق تابع هزینه، به یافتن نقطه بهینه آن می‌پردازند. همچنین در مقایسه با روش‌های مبتنی بر گرادیان[16]، کمتر دچار مشکل افتادن در دام کمینه محلی می‌شوند. هدف اصلی روش‌های هوشمند به‌کارگرفته شده در هوش مصنوعی، یافتن پاسخ بهینه مسائل مهندسی است.

۳- مدل علمی پژوهش

فرض می‌کنیم R_i سود تصادفی سهم S_i است و $R' = (R_1, R_2, \dots, R_n)$ بردار ترانهاده سود روی سهام $S_1, S_2, \dots, S_n$ باشد و بردار ستونی x_i مقدار سرمایه‌گذاری شده در سهم S_i را نشان دهد $x \epsilon R^n$ همچنین R^* سود مطلوب سرمایه‌گذار و σ_{ij} انحراف معیار بین دو سهم می‌باشد. مدل میانگین واریانس مارکویتز به‌صورت زیر است:

رابطه(۱)

$$minimize \quad \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_i x_j \sigma_{ij}$$

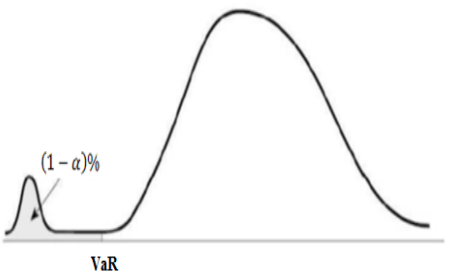
$$subject\ to \begin{cases} \sum_{i=1}^{n} R_i x_i = R^* \\ \sum_{i=1}^{n} x_i = 1 \quad , x_i \geq 0 \end{cases}$$

معیار عمومی واریانس در مدل مارکویتز برای یک دارایی که دارای توزیع نرمال باشد و در بازاری کارا معامله شود، معیار قابل قبولی است در غیر این صورت واریانس معیار مناسبی برای ریسک نخواهد

www.SID.ir

Archive of SID

بود چون با افزایش دارایی‌ها، حجم محاسبات ماتریس کواریانس بیش از اندازه بزرگ می‌شود. سنجه‌های ریسک نامطلوب به دو دسته کلی نیم-سنجه‌های ریسک و سنجه‌های ریسک مبتنی بر صدک تقسیم‌بندی می‌شوند. ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک مشروط، معروفترین سنجه‌ها در دسته سنجه‌های ریسک مبتنی بر صدک می‌باشند. VaR، یک اندازه‌گیری ریسک کاهشی است و بدترین زیان مورد انتظار را تحت شرایط عادی بازار و طی یک دوره زمانی مشخص و در یک سطح اطمینان معین اندازه می‌گیرد. گرچه ارزش در معرض ریسک یک معیار ریسک معمول است، اما ویژگی‌های ریاضی نامطلوبی دارد. CVaR، به‌عنوان یک معیار ریسک ویژگی‌های بهتری را نسبت به VaRاز خود نشان داده است. این معیار بیان‌کننده این است که اگر اوضاع نامطلوب باشد، انتظار داریم چقدر متحمل زیان شویم.به‌عبارت دیگر بیان‌گر مقدار زیان در طی یک دوره n روزه است، مشروط به این‌که ما به اندازه $1-\alpha$ درصد در قسمت برآمدگی چپ منحنی توزیع احتمال قرار داریم.



شکل ۱: منحنی توزیع احتمال بازده دارایی با معیار CVaR

فرض کنیم $f(x,y)$ریسک مرتبط با بردار تصمیم$x\epsilon X \subseteq R^n$و بردار تصادفی $y\epsilon R^m$ باشد.

برای سادگی، ابتدا فرض می‌کنیم که yاز یک توزیع پیوسته پیروی می‌کند و تابع چگالی آن به صورت $p(.)$نمایش داده می‌شود. برای سطح اطمینان داده شده β و x ثابت، ارزش در معرض ریسک به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\varphi(x,a)=\int_{f(x,y)\le\alpha} p(y)dy$$

$$VaR_\beta(x)=min\{\alpha\in R:\varphi(x,\alpha)\ge\beta\} \qquad \text{رابطه(۲)}$$

$$CVaR_\beta(x)=\frac{1}{1-\beta}\int_{f(x,y)\ge VaR_\beta(x)} f(x,y)p(y)dy$$

راکفلر و اوریاسف نشان دادند که محاسبه CVaRمی‌تواند توسط حداقل‌سازی تابع معین زیر نسبت به α به‌دست آید و چون از نظر محاسباتی، مشکل‌ترین قسمت بهینه‌سازی CVaRمحاسبه انتگرال یک تابع چندمتغیره و غیرهموار است. برای رفع این مشکل می‌توان از تخمین استفاده کرد، به‌طوری که $y_{[k]}$ نشان‌دهنده k–امین نمونه تولید شده توسط نمونه‌گیری تصادفی ساده نسبت به y است.

$$F_\beta(x,\alpha)=\alpha+\frac{1}{s(1-\beta)}\sum_{k=1}^{s}(f(x,y_{[k]})-\alpha)^+ \qquad \text{رابطه(۳)}$$

$$CVaR_\beta(x)=min_{\alpha\in R}F_\beta(x,\alpha)$$

حال با توجه به معیار ریسک بررسی شده، می‌توان مدل مارکویتز را با افزودن سه قید کاربردی اصلاح کرد. اولین قید مجموع سهم تمام دارایی‌هاست که باید برابر یک باشد. محدودیت بعدی، اعمال حد پایین و بالا برای سهم هر دارایی است. در صورتی‌که بخواهیم محدودیت مربوط به تعداد دارایی منتخب برای سرمایه‌گذاری را داشته باشیم، مدل طراحی شده به‌صورت زیر خواهد بود

www.SID.ir

Archive of SID

که آن را با نام مدل انتخاب سبد سهام با مولفه‌های مقید(CCPS)[17] معرفی می‌کنیم:

$$minimize \quad \lambda[\mathcal{R}(x)] - (1-\lambda)\left[\sum_{i=1}^{n} z_i R_i x_i\right]$$

$$subject\ to \quad \begin{cases} \sum_{i=1}^{n} z_i = K \\ \sum_{i=1}^{n} x_i = 1 \\ \varepsilon_i z_i \le x_i \le \delta_i z_i \\ z_i = [0,1] \quad i = 1, \dots, n \\ x_i \ge 0 \quad i = 1, \dots, n \end{cases}$$

رابطه(۴)

در مدل ریاضی فوق که مدل اصلی مورد بررسی در این تحقیق می‌باشد، معیار ریسک $\mathcal{R}(x)$، CVaRاست و λ پارامتری است که مقدار آن در فاصله [0,1] تغییر می‌کند. به‌طوری‌که با قرار دادن $\lambda = 0$ کل مقدار ضریب وزنی به بازده اختصاص داده می‌شود و با در نظر گرفتن $\lambda = 1$ 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 می‌شوند. پارامتر z_i متغیر تصمیم در مورد سرمایه‌گذاری در هر سهم است. اگر z_i برابر یک باشد، یعنی سهم iدر سبد قرار خواهد گرفت. مجموع تعداد سهامی که در سبد خواهند بود، بنا به قید سوم مسئله برابر K تا خواهد بود و ε_i و δ_i به‌ترتیب حد پایین و بالای متغیر i ام هستند.برای حل دقیق این مدل، الگوریتم‌های مؤثر و کارایی در برنامه‌ریزی ریاضی وجود ندارند. بنابراین با هدف تشکیل پرتفوی بهینه، تکنیک‌های الگوریتم‌های فراابتکاری را به‌کار می‌گیریم و سپس از آن برای به‌دست آوردن انتخاب بهینه دارایی‌ها استفاده می‌کنیم.

۴- روش‌شناسی پژوهش

۴-۱- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک[18] به وسیله جان هالند در سال‌های دهه ۱۹۶۰ ابداع شد و به وسیله او و همکارانش در دانشگاه میشیگان در سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ توسعه یافت و در نهایت در سال ۱۹۷۵ به عنوان الگوریتم ژنتیک ارائه گردید(Holland, 1975). این الگوریتم یک روش جست‌وجوگرانه فراابتکاری است که از تئوری تکامل طبیعی و تنازع بقا برای حل مسئله استفاده می‌کند. براساس مفروضات این روش، جواب‌های خوب،جواب‌های بد را از بین برده و جایگزین آن‌ها می‌شوند. امروزه این الگوریتم به دلیل خاصیت اکتشافی خود، برای حل مسائل پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد(Grupe&etal, 2004).الگوریتم ژنتیک با یک رشته جواب اولیه، به نام کروموزوم[19] و مجموعه آن‌ها با نام جمعیت[20] آغاز می‌گردد. در هر رشته کروموزوم، مجموعه‌ای از ژن[21]ها وجود دارند که هر کدام بیانگر ارزش یک متغیر یا صفت خاصه است(Mitchel, 1999). بر روی کروموزوم‌ها معمولا سه عملگر ترکیب[22]، جهش[23]و انتخاب اعمال می‌شود تا نسل جدید جامعه متولد گردد. این نسل، تکامل‌یافته نسل قبلی در جهت دست‌یابی به جواب‌های بهتر یا به اصطلاح برازنده[24] است.

یکی از مهمترین مراحل الگوریتم ژنتیک ارزیابی جواب‌های به دست آمده در هر مرحله است. هرچه که‌یک جواب مناسب‌تر باشد مقدار برازندگی بیشتری دارد که با استفاده از محدوده دانش مسئله به کار برده می‌شود. عملگر ترکیب یک روش برای اشتراک اطلاعات مابین کروموزوم‌ها می‌باشد.این عملگر خصیصه‌های والدین را برای ساختن فرزندان

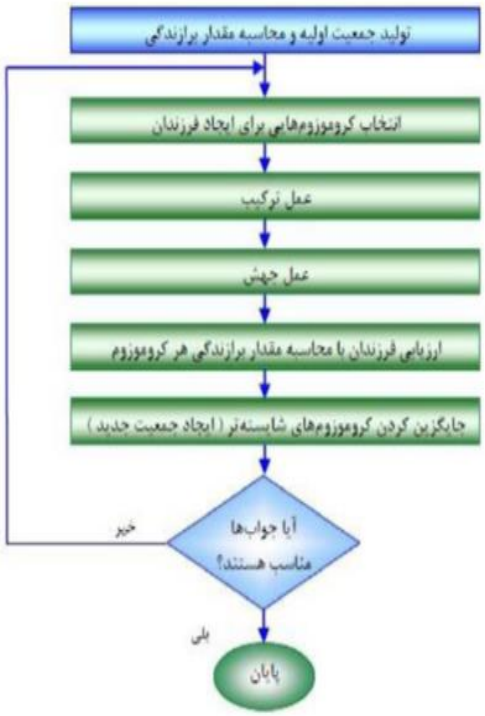
www.SID.ir

Archive of SID

ترکیب می‌کند تا اینکه کروموزوم‌های بهتری ایجاد شوند. وظیفه اصلی این عملگر بهبود برازندگی جمعیت می‌باشد. پیاده سازی‌این عملگر به روش کدگذاری کروموزوم‌ها وابسته است. ترکیب تک نقطه‌ای، متداول‌ترین روش ترکیب می‌باشد. در این روش یک نقطه بطور تصادفی در کروموزوم‌های والد انتخاب شده و با همدیگر ترکیب می‌شوند. درنتیجه پس از ایجاد فرزندان از بین کروموزوم‌های والد و کروموزوم‌های فرزند، دو کروموزومی‌که بیشترین مقدار برازندگی را داشته باشند به نسل بعدی انتقال می‌یابند. بعد از اعمال عملگر ترکیب به منظور اجتناب از همگرایی به بهینه محلی و ایجاد تنوع و گوناگونی در جمعیت با استفاده از عملگر جهش یک تعداد از کروموزوم‌های بدست آمده تغییر داده می‌شوند. با این عمل کروموزوم‌های جدیدی که به احتمال در کل جمعیت وجود نداشته‌اند بوجود می‌آید. پس از اعمال عملگرهای الگوریتم ژنتیک مجموعه‌ای از رشته‌ها برای دور محاسباتی بعد با تعدادی برابر جمعیت اولیه تعیین می‌شوند. انتخاب‌این تعداد از رشته‌های اولیه بطور تصادفی از بین رشته‌های با عدد برازندگی بالاتر انجام می‌شود. روش چرخ رولت یکی از متداول‌ترین روش‌های انتخاب می‌باشد. انتخاب یک شخص می‌تواند با تعیین احتمال انتخاب برای هر شخص انجام گیرد که‌این احتمال با نسبت برازندگی آن شخص نسبت به مجموع برازندگی تمامی‌اشخاص در جمعیت برابر است. توزیع احتمال انتخاب می‌تواند با استفاده از معادله زیر تولید شود:

$$p(k)=\frac{F_k}{\sum_{i=1}^{n} F_i} \qquad \text{رابطه(۵)}$$

در رابطه بالا $p(k)$ عبارت است از احتمال انتخاب کروموزوم kام، F_k عبارت است از میزان برازندگی کروموزوم kام، $\sum_{i=1}^{n} F_i$ عبارت است از مجموع میزان برازندگی تمام کروموزوم‌ها و n عبارت است از تعداد کروموزوم‌های جمعیت. به طور کلی در الگوریتم ژنتیک، ابتدا با توجه به صورت مسئله، متغیرهایی که باید تعیین شوند، مشخص می‌شوند. سپس‌این متغیرها به نحو مناسبی کدگذاری شده و به شکل کروموزوم نمایش داده می‌شوند. بر اساس تابع هدف یک تابع برازندگی برای کروموزوم‌ها تعریف می‌گردد و یک جمعیت اولیه دلخواه نیز به طور تصادفی انتخاب می‌شود. به دنبال آن میزان تابع برازندگی برای هر کروموزوم جمعیت اولیه محاسبه می‌شود. سپس مراحلی که در شکل زیر نمایش داده شده است به‌ترتیب زیر انجام می‌گیرد.



شکل ۲: مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک

www.SID.ir

Archive of SID

۴-۲- الگوریتم رقابت استعماری

الگوریتم رقابت استعماری[۲۵] (ICA) یک الگوریتم جدید در زمینه محاسبات تکاملی است که بر مبنای تکامل اجتماعی-سیاسی انسان پایه گذاری شده است. این الگوریتم در سال ۱۳۸۷ توسط آتش‌پز معرفی شد و توجه بسیاری از متخصصین را به‌خود جلب نموده است. همانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی این الگوریتم نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آنها یک کشور نامیده می‌شود شروع می‌شوند. تعدادی از بهترین عناصر به عنوان استعمارگر انتخاب و باقیمانده جمعیت نیز به عنوان مستعمره در نظر گرفته می‌شوند. استعمارگران بسته به قدرتشان این مستعمرات را با یک روند خاص به سمت خود می‌کشند.

در الگوریتم ICA برای شروع، تعداد $N_{country}$ کشور اولیه‌ایجاد و N_{imp} تا از بهترین اعضای‌این جمعیت (کشورهای دارای کمترین مقدار تابع) به عنوان استعمارگر انتخاب شوند. باقیمانده N_{col} تا از کشورها، مستعمراتی را تشکیل می‌دهند که هر کدام به یک امپراطوری تعلق دارند. کشورهای استعمارگر با اعمال سیاست جذب (همگون سازی) در راستای محورهای مختلف بهینه‌سازی کشورهای مستعمره را به سمت خود می‌کشانند. در حین حرکت مستعمرات به سمت کشور استعمارگر، ممکن است بعضی از این مستعمرات به موقعیتی بهتر از استعمارگر برسند دراین حالت کشور استعمارگر و کشور مستعمره جای خود را با هم عوض می‌کنند. برای مدل‌سازی این رقابت ابتدا احتمال تصاحب مستعمرات توسط هر امپراطوری با درنظر گرفتن هزینه کل امپراطوری به صورت زیر محاسبه می‌شود:

رابطه(۶) $$N.T.C._n = \max_i \{T._n\} - T.C._n$$

در این رابطه $T.C._N$ هزینه کل امپراطوری n ام و $N.T.C._n$ نیز، هزینه کل نرمالیزه شدن آن امپراطوری می‌باشد. هر امپراطوری که $T.C._N$ کمتری داشته باشد $N.T.C._n$ بیشتری خواهد داشت. در حقیقت $T.C._N$ معادل هزینه کل‌یک امپراطوری و $N.T.C._n$ معادل قدرت کل آن می‌باشد. احتمال تصاحب مستعمره توسط هر امپراطوری به صورت زیر محاسبه می‌شود:

رابطه(۷) $$P_{P_n} = \left| \frac{N.T.C._n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} N.T.C._i} \right|$$

با داشتن احتمال تصاحب هر امپراطوری مکانیزمی‌همانند چرخه رولت در الگوریتم ژنتیک مورد نیاز است تا مستعمره مورد رقابت را با احتمال متناسب با قدرت امپراطوری‌ها در اختیار یکی از آن‌ها قرار دهد. الگوریتم مورد نظر تا برآورده شدن یک شرط همگرایی و یا اتمام تعداد کل تکرارها ادامه می‌یابد. پس از مدتی همه امپراطوری‌ها سقوط کرده و تنها یک امپراطوری خواهیم داشت که بقیه کشورها تحت کنترل‌این امپراطوری واحد قرار می‌گیرند.

۴-۳- الگوریتم ازدحام ذرات

در چند سال اخیر با توجه به محدودیت‌های موجود در روش ریاضی، پژوهش‌های زیادی در زمینه استفاده از الگوریتم‌های تکاملی، در جهت بهینه‌سازی پرتفوی انجام شده است. یکی از کاراترین پژوهش‌های مورد استفاده در این زمینه،

www.SID.ir

Archive of SID

تکنیک بهینه‌سازی حرکت تجمعی ذرات[۲۶] است. جیمز کندی، روانشناس اجتماعی و راسل سی ابرهات، مهندس برق، صاحبان اصلی ایده‌ی الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات می‌باشند. این تکنیک با الهام از روابط و کنش‌های اجتماعی موجود در طبیعت مانند حرکت توده پرندگان یا ماهیان دریا شکل گرفته است.

هر ذره در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات از سه بردار d بُعدی تشکیل شده است که d بُعد فضای جستجو می‌باشد. برای ذره i اُم این سه بردار عبارتند از: x^i موقعیت فعلی ذره، v^i سرعت حرکت ذره و $x^{i.best}$ بهترین موقعیتی که ذره تا به‌حال تجربه کرده است. x^i به‌عنوان یک جواب برای مسئله محاسبه می‌گردد. اگر این موقعیت بهتر از جواب‌های پیشین باشد در $x^{i.best}$ ذخیره می‌شود. در هر تکرار x^i و v^i جدیدی به‌دست می‌آیند و منظور از اجرای الگوریتم، بهتر کردن $x^{i.best}$ برای رسیدن به بهترین پاسخ است. درنتیجه بهترین موقعیتی که به‌وسیله همه‌ی ذرات پیدا شده است به‌صورت $x^{g.best}$ نشان داده می‌شود. در مرحله‌ی ابتدایی الگوریتم، ذرات با موقعیت‌ها و سرعت‌های تصادفی ایجاد می‌شوند. در طی اجرای الگوریتم، موقعیت و سرعت هر ذره در مرحله‌ی $t+1$ اُم از الگوریتم، از روی اطلاعات مرحله‌ی قبلی ساخته می‌شوند. اگر z_j مولفه‌ی j اُم از بردار z باشد، آن‌گاه روابطی که سرعت و موقعیت ذرات را تغییر می‌دهند عبارتند از:

$$v_j^i[t+1] = wv_j^i[t] + c_1 r_1\left(x_j^{i.best}[t] - x_j^i[t]\right) + c_2 r_2\left(x_j^{g.best}[t] - x_j^i[t]\right) \quad \text{رابطه(۸)}$$

$$x_j^i[t+1] = x_j^i[t] + v_j^i[t+1]$$

در این روابط w ضریب اینرسی، r_1 و r_2 اعداد تصادفی در بازه‌ی $[0,1]$ با توزیع یکنواخت و همچنین c_1 و c_2 ضرایب یادگیری هستند. r_1 و r_2 باعث می‌شوند که نوعی گوناگونی در جواب‌ها به‌وجود آید و به این نحو جست‌وجوی کاملی روی فضا انجام پذیرد. c_1 ضریب یادگیری مربوط به تجارب شخصی هر ذره است و در مقابل c_2 ضریب یادگیری مربوط به تجارب کل جمع می‌باشد.

۵- یافته‌های پژوهش

مسأله سبد سرمایه در این مقاله با در نظر گرفتن قیمت‌های مربوط به ۷۰۰ روز از شرکت‌هایی که از میان ۳۰ صنعت فعال‌تر بازار بورس تهران انتخاب شده‌اند، حل می‌گردد. بازه زمانی در نظر گرفته شده، از تاریخ ۸۷/۵/۲۸ تا ۹۲/۱۱/۱۰ می‌باشد و ۲۰ شرکت برای تشکیل سبد سرمایه انتخاب شده‌اند که با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی، وزن‌دهی بهینه بدست می‌آید. قیدهای درنظر گرفته شده عبارتند از سرمایه‌گذاری در ۱۵ شرکت از ۲۰ شرکت موجود و تعیین حد بالا و پایین مجاز برای وزن‌های هر دارایی بطوریکه درصد حد بالای هر وزن برابر با ۰/۳ و درصد حد پایین برابر با ۰/۰۱ است. در مدل سبد سهام مقید، مقدار ضریب وزنی که به بازده و ریسک اختصاص داده شده برابر ۰/۵ است. هرچقدر مقدار ریسک کمتر و ارزش سبد سهام بزرگ‌تر باشد، تابع هزینه می‌نیمم‌تر خواهد بود.با در دست داشتن سری قیمت‌های موجود در این بازه زمانی، سبد سهام بهینه برای مسئله مقید به کمک سه الگوریتم بهینه‌سازی‌حل شده است. شکل زیر مسیر پیموده شده توسط تابع هدف و ارزیابی برای رسیدن به نقطه بهینه توسط الگوریتمGA، ICAوPSOرا نشان

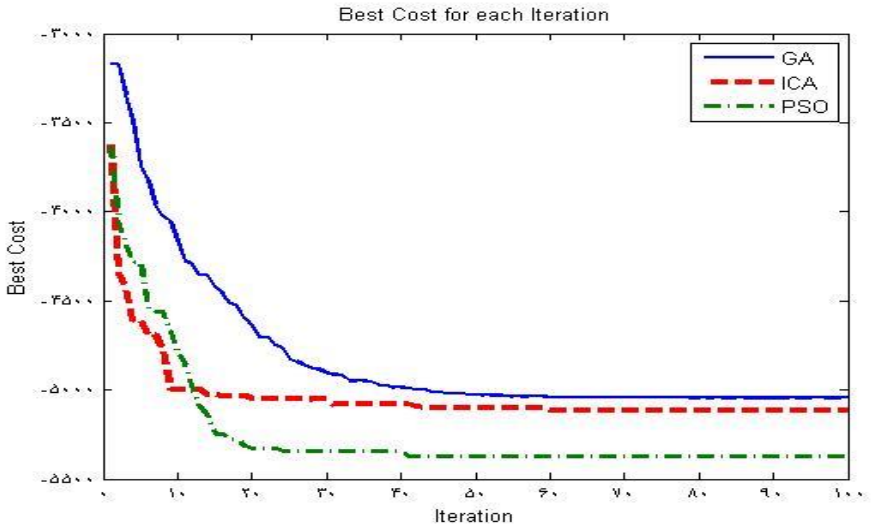
www.SID.ir

Archive of SID

می‌دهد. مشاهده می‌شود کـه مقـدار تـابع هزینـه در روش PSOنسبت به بقیه روش‌ها کمتر است.درنتیجه اختلاف بین ریسک و مقدار ارزش سبد سهام در این الگوریتم بیش‌تر به‌دست می‌آیـد و عملکـرد بهتـری نسبت به بقیه از خود نشان می‌دهد.

در جدول یک مقدار ارزش سبد سهام و ریسک محاسبه شده و مقدار تابع هزینه برای هر سـه روش فوق، نشان داده شـده اسـت.با مقایسـه مقـادیر زیـر می‌توان مشاهده نمود که در مسئله مقید بهینـه‌سـازی سبد سهام بـا الگـوریتم PSOمقـدار ارزش پرتفـوی بالاتر، در مقابل تابع هزینه مناسب‌تر حاصل می‌شود. در نتیجه عملکـرد بهتـر الگـوریتم ازدحـام ذرات را نشان می‌دهد.

همچنـین در جـدول دو مقـدار درصـد وزنـی اختصاص یافتـه بـه شـرکتهای تشـکیل‌دهنـده سـبد سرمایه مقید، نشان داده شده است.



شکل ۳: مقدار تابع هزینه در هر تکرار از الگوریتم‌هایPSO,ICA,GA در مسئله مقید سبد سهام

جدول 1: مقادیر بهینه روش‌های بهینه‌سازی مسئله مقید سبد سهام

الگوریتم / مقدار	GA	ICA	PSO
ارزش سبد سهام	۸۹۱۵/۱۹۴۷	۱۰۸۰۷/۳۱۰۸	۱۱۷۱۲/۹۸۱۴
ریسک	۳۸۷۱/۵۲۹۹	۵۶۹۴/۰۲۷۳	۶۳۳۹/۳۰۲۱
هزینه	-۵۰۴۳/۷۸۹۵	-۵۱۱۳/۲۸۳۵	-۵۳۷۳/۶۷۹۳

www.SID.ir

Archive of SID

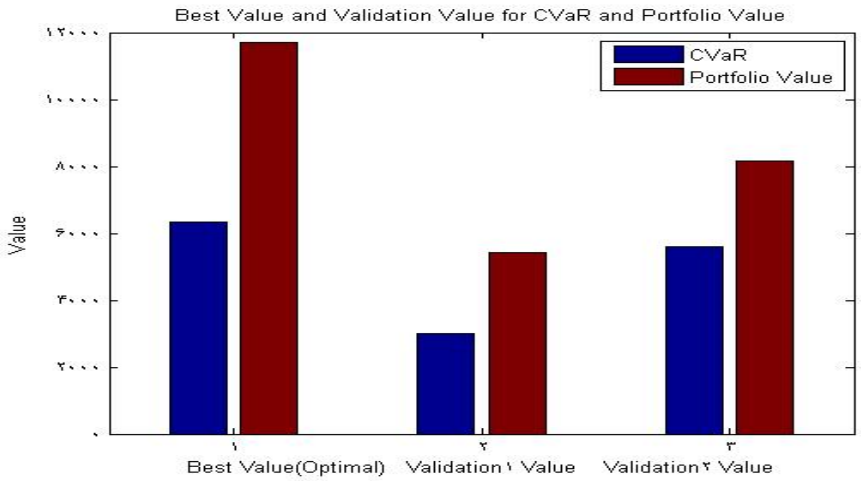
جدول ۲: درصد وزنی اختصاص یافته به شرکتهای تشکیل دهنده سبد سرمایه

ردیف	نام شرکت	درصد وزن با روش GA	درصد وزن با روش ICA	درصد وزن با روش PSO
۱	فولاد مبارکه اصفهان	۰/۰۲۵۴	۰/۰۶۹۹	۰/۰۱۹۶
۲	حفاری شمال	۰/۰۸۷۱	۰/۰۲۹۸	۰/۰۲۱۸
۳	ایران ترانسفو	۰	۰/۰۱۱۸	۰/۰۱۷۹
۴	دارو جابرابن حیان	۰	۰/۰۱	۰/۰۱۷۳
۵	مخابرات ایران	۰/۰۸۳۶	۰	۰/۰۶۶۳
۶	چینی ایران	۰/۰۶۹	۰/۰۳۲	۰/۰۳۲۵
۷	سایپا	۰	۰	۰
۸	پتروشیمی آبادان	۰/۰۲۹۴	۰/۲۱۶۸	۰/۱۴۲۴
۹	توسعه صنایع بهشهر	۰/۰۱۰۳	۰/۰۱	۰
۱۰	سیمان فارس و خوزستان	۰	۰	۰/۰۱۳۸
۱۱	سرمایه‌گذاری غدیر	۰/۰۹۶۳	۰/۰۵۰۳	۰/۰۲۶۶
۱۲	سرمایه‌گذاری ساختمان ایران	۰/۰۱۲۷	۰/۰۱۴۷	۰/۰۱
۱۳	خدمات انفورماتیک	۰/۲۹۶۸	۰/۲۹۸۹	۰/۲۹۹۴
۱۴	بانک سینا	۰/۰۱۰۸	۰	۰
۱۵	تکین کو	۰/۰۱۳۵	۰/۰۷۶۷	۰/۰۱۲۴
۱۶	تراکتورسازی	۰/۰۱۲۳	۰/۰۲۳۷	۰
۱۷	سرمایه‌گذاری بوعلی	۰	۰	۰
۱۸	اما	۰/۰۳۷۱	۰/۰۱۲۷	۰/۰۲۸
۱۹	ایران یاسا	۰/۱۱۰۸	۰/۱۰۱۶	۰/۲۵۴۲
۲۰	معادن روی ایران	۰/۱۰۵	۰/۰۴۱۱	۰/۰۳۷۲
	مجموع درصد وزن	۱	1	۱

با توجه به مقادیر بهینه به‌دست آمده، مشاهده می‌شود که الگوریتم ازدحام ذرات، کارایی بهتری از خود نشان می‌دهد و مقدار ارزش سبد سهام بیشتری تولید می‌کند. به‌منظور اعتبارسنجی مدل PSOو اطمینان از صحت مدل اجرا شده، دو روش به‌کار گرفته شده است. در روش اول مقدار وزن‌های سبد سهام که خروجی مسئله است، با هم یکسان گرفته و مقدار ۰/۰۵ برای درصد وزن‌دهی هر سهم انتخاب شده، در نتیجه مجموع ضرایب وزن‌ها برابر با یک می‌باشد و مقادیر ریسک و ارزش سبد سهام با مقادیر بهینه مقایسه شده است. در روش دوم، دو وزن ازمقادیر وزن‌های بهینه به‌دست آمده جابه‌جا می‌شوند وبرای وزن‌های جدید، مقادیر ریسک و ارزش سبد سهام محاسبه می‌گردد. نتایج این دو روش اعتبارسنجی به‌صورت زیر است که نشان از بهینه بودن الگوریتم ازدحام ذرات دارد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴: مقادیر ریسک و ارزش سبد سهام برای مدل بهینه و مدل‌های اعتبارسنجی

۶- نتیجه‌گیری و بحث

در این مقاله، مسئله بهینه‌سازی سبد سهام در بازار بورس اوراق بهادار تهران به صورت مسئله مقید، مورد بررسی قرار گرفت. به منظور حل مسئله بهینه‌سازی از سه روش الگوریتم ژنتیک، الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم ازدحام ذرات استفاده شده است. ارزش سبد سرمایه و ریسک آن، به‌عنوان اهداف بهینه‌سازی و معیار ارزش در معرض ریسک مشروط، به‌عنوان سنجه ریسک به‌کار رفته است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که تابع هزینه در الگوریتم ژنتیک، نسبت به بقیه هموارتر بوده است. مقدار این تابع در الگوریتم رقابت استعماری از تابع الگوریتم ژنتیک پایین‌تر بوده و توانسته است عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک از خود نشان دهد. با این تفاوت که سرعت اجرای الگوریتم ژنتیک بسیار بالا است ولی اجرای الگوریتم رقابت استعماری برای حل مسئله سبد سهام به کندی انجام می‌شود. تابع هزینه الگوریتم ازدحام ذرات در مسئله سبد سهام مقید، نسبت به سایر الگوریتم‌ها دارای تابع هزینه کمتری می‌باشد. درنتیجه مقدار ارزش پرتفوی بالاتر در مقابل ریسک کمتری حاصل می‌شود.نتایج به‌دست آمده بیانگر کارایی بهتر روش PSOنسبت به روش GAو ICAبرای حل مسئله مقید سبد سهام بوده است.هم‌چنین نتایج اعتبارسنجی‌ها، مهر تأییدی بر صحت کارکرد این الگوریتم و درستی نتایج آن می‌باشد.

فهرست منابع

* تهرانی، رضا و سیری، علی (۱۳۸۸). کاربرد مدل سرمایه‌گذاری کارا با استفاده از تجزیه و تحلیل مدل مارکویتز.فصل‌نامه بورس اوراق بهادار، ۶، ۱۳۷-۱۵۵.
* خالوزاده، حمید وامیری، نسیبه (۱۳۸۵). تعیین سبد سهام بهینه در بازار بورس ایران براساس نظریه ارزش در معرض ریسک. مجله تحقیقات اقتصادی، ۷۳، ۲۱۱-۲۳۱.
* سجادی، زینب و فتحی، سعید (۱۳۹۲). تبیین فرایند چهار گامی محاسبه ارزش در معرض‌خطر به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری ریسک و پیاده‌سازی آن در یک مدل بهینه‌سازی

www.SID.ir

Archive of SID

سرمایه‌گذاری، فصل‌نامه دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، ۲۰، ۱-۱۳.

* راعی، رضا و علی بیگی، هدایت (۱۳۸۹). بهینه‌سازی پرتفوی سهام با استفاده از روش حرکت تجمعی ذرات.مجله تحقیقات مالی، ۲۹.
* گرکز، م.، عباسی ا. و مقدسی م.(۱۳۸۹). انتخاب و بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم ژنتیکبر اساس تعاریفی متفاوت از ریسک، فصلنامه مدیریت صنعتی دانشگاه آزاد سنندج، ۱۱، ۱۱۵-۱۳۶.
* Anagnostopoulos, K.P., Mamanis, G. (2011). The mean–variance cardinality constrained portfolio optimization problem: An experimental evaluation of five multiobjective evolutionary algorithms, Expert Systems with Applications, 38, 14208-14217.
* Artzener, P.,Delbaen, F., Eber,J. M. & Health, D. (1992). Coherent Measures of Risk.Mathematical Finance,9, 203-228.
* Atashpaz-Gargari, E. (2008). A Decentralized PID Controller based on Optimal Shrinkage of Gershgorin based and PID Tuning using Colonial Competitive Algorithm, Information Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC), 353-376.
* Kennedy, J.&Eberhart, R. C. (1995).Particle Swarm Optimization.Presented at the in Proceeding of the 4th IEEE International Conference on Neural Networks.
* Lipinski, P. W. (2013). Portfolio selection models based on characteristics of return distributions, Faculty of Economic Sciences University of Warsaw, 14.
* Markowitz, H. M. (1952). Portfolio Selection.Journal of Finance, 7, 77-91.
* Ogryczak, W. &Sliwinski, T.(2010).Efficient Portfolio Optimization with Conditional Value at Risk.IEEE Proceeding of the 2010 International Multiconference Computer Science and Information Technology (IMCSIT), 901-908.
* Peng-Yeng, Y., Wang, J. Y. (2006). A Particle Swarm Optimization approach to the nonlinear resource allocation", Applied Mathematics Computation, 232-242.
* Rockafellar, R, T.&Uryasev, S. (2002). Conditional Value at Risk for general loss distribution.Journal of Banking and Finance, 26, 1443-1471.
* Torrubiano, R. R.(2012). Cardinality Constraints and Dimensionality Reduction inOptimization Problems. Ph.D. Dissertation, Dept. Computer Science,Universidad AUT_ONOMA de Madrid.
* Ye, Y.,Zhang, Z., Zeng, J. & Peng L. (2008).A fast and adaptive ICA algorithm with its application to fetal electrocardiogram extraction, Applied Mathematics and Computation, 205.
* Xu, R. T., Zhang, J., Liu, O. & Huang, R. Z. (2010).An Estimation of Distribution Algorithm Based Portfolio Selection Approach.IEEE International Conference on Technologies and Application of Artificial Intelligence (TAAI), 18-20.
* Wang, W., Wang, H., Wu, Z.& Dai, H. (2009). A Simple and Fast Particle Swarm Optimization and Its Application on Portfolio Selection.International Workshop on Intelligent Systems and Applications.

یادداشت‌ها

[1] Portfolio
[2] Expected Return
[3] Risk
[4] Filter
[5] Efficient Portfolio
[6] Variance
[7] Modern Portfolio Theory
[8] Mean-Variance Method
[9] Postmodern Theory
[10] Value at Risk
[11] Group of Thirty
[12] Risk Metrics
[13] Confidence Level
[14] Conditional Value at Risk
[15] Evolutionary Algorithms
[16] Gradient-based Methods
[17] Cardinality Constrained Portfolio Selection
[18] Genetic Algorithm
[19] Chromosome
[20] Population
[21] Gene
[22] Crossover
[23] Mutation
[24] Fitness
[25] ImperialistCompetitive Algorithm
[26] Particle Swarm Optimization (PSO)

www.SID.ir