الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و انتخاب بهینه سبدسهام

زین‌الدین علی‌زاده
کارشناس ارشد حسابداری

بورس سرمایه‌گذاران همواره مایل هستند تا با بهینه‌سازی و متنوع‌سازی سبد سهام، بازده مورد انتظار خود را حداکثر و ریسک خود را حداقل کنند. تئوری مدرن پرتفوی (MPT) مارکوویتز مهم‌ترین موفقیت در این راستا بوده است. ازآن‌جاکه رفتار سهام در بازار رفتار غیرخطی است، نیاز به استفاده از مدل‌های غیر خطی برای حل مدل میانگین – واریانس مارکوویتز احساس می‌شود. همچنین با توجه به عملکرد موفق الگوریتم‌های تکاملی، این الگوریتم‌ها در مساله بهینه‌سازی سبد سهام می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در مدل مارکوویتز این نکته نیز قابل تامل است که معیار ریسک واریانس برای یک دارایی که توزیع نرمال داشته باشد و در بازار کارآ معامله شود، معیار قابل قبولی است. اگر این دو خصوصیت برای دارایی وجود نداشته باشد، استفاده از واریانس با مشکل روبه‌رو می‌شود. در این تحقیق الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات بر اساس دو تعریف متفاوت از ریسک، به‌منظور بهینه‌سازی پرتفوی مورد استفاده قرار گرفت. این الگوریتم پیشنهادی روی داده‌های ماهانه وسالانه پنجاه شرکت برتر پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران از فروردین ۱۳۸۶ تا شهریور۱۳۹۰، مورد آزمون قرار گرفت. عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات با الگوریتم‌های ژنتیک و کلونی زنبورهای مصنوعی مقایسه شد. معیار ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها معیار شارپ بود. نتایج تحقیق نشان داد الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک و کلونی زنبورهای مصنوعی دارد. همچنین سبدهای سهام تشکیلی بر اساس اطلاعات ماهانه و معیار ریسک نیمه واریانس عملکرد بهتری نسبت به سبدهای سهام منتخب بر اساس اطلاعات سالانه و معیار ریسک واریانس دارند.

نبود اطمینان در بازار سرمایه، نوسانات قیمت‌ها و بازدهی سهام شرکت‌ها، سرمایه‌گذاران را نسبت به آینده سرمایه‌گذاری خود دچار نگرانی می‌کند. از مهم‌ترین راهکارها برای کاهش این نگرانی و مشارکت بیشتر افراد جامعه در بازار سرمایه و استمرار حیات و گسترش روز افزون آن، انتخاب اوراق بهادار مناسب برای سرمایه‌گذاری وتشکیل سبد سهام (پرتفوی) است. با توجه به اهمیت موضوع انتخاب سبد سهام، محققان تلاش‌های گسترده‌ای را برای ارایه روش‌های تحلیل سهام در بازارهای مالی انجام داده‌اند که که سرمنشأ آن نظریه نوین پرتفوی هری مارکوویتز بوده است تا سرمایه‌گذاران بتوانند با انتخاب سبد سهام بهینه، مطلوبیت خود را حداکثر کنند. مارکوویتز نظریه میانگین– واریانس را به‌صورت یک برنامه‌ریزی درجه دوم مطرح کرد. ریسک‌گریز بودن کلیه سرمایه‌گذاران، فرض اصلی این مدل است. این مساله یک محدودیت کارکردی دارد که بر اساس آن وزن هر یک از دارایی‌ها در پرتفوی باید عدد حقیقی و غیرمنفی باشد و مجموع اوزان دارایی‌ها نیز باید برابر با یک شود. این مدل معایبی دارد: طولانی شدن حجم محاسبات ماتریس کوواریانس با افزایش تعداد دارایی‌ها؛ عدم کارآیی روش‌های قطعی (برنامه‌ریزی درجه دوم) در شناسایی بهینه کل؛ عدم کارآیی معیار واریانس در برخورد با دارایی‌هایی که توزیع غیرنرمال دارند. برای رفع موارد اول و دوم، در سال‌های اخیر محققان روش‌های ابتکاری (شبکه‌های عصبی و الگوریتم‌های تکاملی و...) را مطرح کرده‌اند. در تحقیق حاضر نیز از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای تحقق این امر استفاده می‌شود. برای رفع مورد سوم، استفاده از معیارهای دیگر ریسک مانند نیمه واریانس پیشنهاد شد. همچنان که بعدها خود مارکوویتز اعتراف می‌کند: «ازآن‌جاکه یک سرمایه‌گذار، پرتفوی با بازده بیش از حد انتظار را ترجیح می‌دهد و فقط عملکرد کمتر از حد انتظار برای وی نامطلوب است، نیمه واریانس نسبت به واریانس سنجه بهتری برای ریسک سرمایه‌گذار است.» در این تحقیق در کنار استفاده از مدل میانگین– واریانس از مدل میانگین– نیمه واریانس نیز استفاده خواهد شد. هدف اصلی این پژوهش عبارت است از: «به‌کارگیری الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در انتخاب بهینه سبد سهام از بین سهام شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران.» همچنین اهداف فرعی تحقیق عبارتند از:

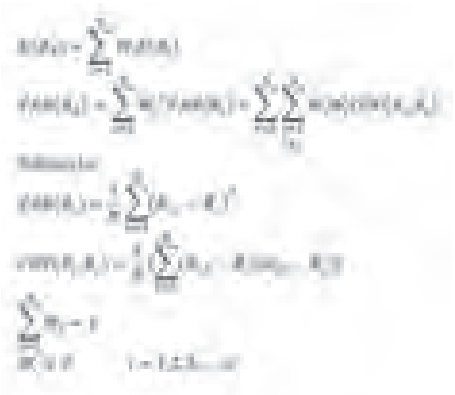
۱. انتخاب و بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات؛
۲. مقایسه تاثیر متغیر ریسک بر نتیجه سبد سهام تشکیلی؛
۳. مقایسه سبد سهام تشکیلی بر مبنای نوع اطلاعات ورودی.

مواد و روش‌ها

۱. مبانی نظری تحقیق

۱-۱. مدل میانگین– واریانس مارکوویتز

مدل بهینه‌سازی میانگین– واریانس مارکوویتز برای انتخاب سبد سهام اقدام به رهگیری یک مرز کارآ می‌کند. این مرز، منحنی پیوسته‌ای است که مبادله میان بازده و ریسک سبد سهام را نشان می‌دهد. به‌طور خلاصه می‌توان مدل بهینه‌سازی مارکوویتز را به این صورت نشان داد.



در مدل فوق n تعداد دارایی‌های موجود، واریانس سبد سهام، $VAR(R_i)$ واریانس سهم i، $E(R_i)$ بازده مورد انتظار سهم i، $COV(R_i,R_j)$ کوواریانس سهم i و j، N تعداد بازه‌های زمانی، $R_{i,t}$ بازده سهم i در بازه زمانی t، R_i میانگین بازده سهم i و w_j ،w_i نسبتی از کل ثروتی است که در دارایی i و j سرمایه‌گذاری شده است.

۱-۲. مدل میانگین- نیمه واریانس

سرمایه‌گذاران با توجه به اهداف کوتاه‌مدت تا حد امکان به دنبال نوسانات مثبت هستند و تنها نوسانات منفی را به‌عنوان ریسک حاصل از سرمایه‌گذاری شناسایی می‌کنند. به عبارتی ریسک متقارن نیست و شدیدا به سمت ریسک نامطلوب تمایل دارد. میزان انحراف از بازده مورد انتظار تا جایی خطرآفرین است که به زیان سرمایه‌گذار بینجامد و در غیر این صورت، انحراف از بازده هیچ‌گونه ریسکی ایجاد نمی‌کند. بنابراین در محاسبه ریسک در مواقعی که مقدار بازده تصادفی از بازده مورد انتظار بیشتر باشد، مقدار صفر را جایگزین تفاوت آن دومی‌کنیم. بنابراین کافی است در مدل بهینه‌سازی سبد سهام میانگین- واریانس از رابطه نیمه واریانس در تعریف ریسک استفاده کنیم.

۱-۳. اندازه‌گیری عملکرد سبد سهام

در آخرین مرحله سرمایه‌گذاری باید چگونگی عملکرد سبدهای مختلف را محاسبه و با یکدیگر مقایسه کنیم. برای ارزیابی مناسب عملکرد سبد سرمایه‌گذاری، باید معین کنیم که آیا بازده‌ها به فراخور ریسک انتخابی بالا هستند یا خیر؟ بنابراین سرمایه‌گذاران باید هم بازده تحقق یافته و هم ریسک را در نظر بگیرند. به همین دلیل است که روش‌های ارزیابی تعدیل‌شده بر مبنای ریسک معرفی شده‌اند و برای این پژوهش نیز از معیار شارپ (RVAR) استفاده می‌شود. این مقیاس به این صورت تعریف می‌شود:

$$RVAR = \frac{TR_{p(avr)} - RF_{p(avr)}}{SD_p}$$

در این معادله، $TR_{p(avr)}$ میانگین بازده کل سبد طی دوره زمانی P، SD_p انحراف معیار بازده سبد طی دوره زمانی، $RF_{p(avr)}$ میانگین نرخ بازده بدون ریسک طی دوره زمانی ، $TR_{p(avr)} - RF_{p(avr)}$ بازده اضافی سبد طی دوره زمانی p است.

روش تحقیق

تحقیق حاضر از بعد هدف از نوع تحقیقات توصیفی- همبستگی است. در این نوع تحقیقات بدون این‌که در متغیرها دخالتی صورت گیرد، جمع‌آوری می‌شوند. از بعد جمع‌آوری اطلاعات، یک تحقیق اسنادی- کتابخانه‌ای و از بعد نتیجه یک تحقیق کاربردی است.

۱. جامعه آماری و دوره زمانی تحقیق

جامعه آماری تحقیق حاضر شامل پنجاه شرکت برتر بورس و دوره زمانی تحقیق نیز از فروردین ۱۳۸۶ تا پایان اسفند ۱۳۸۹ است. همچنین از داده‌های سالانه و ماهانه مربوط به بازده شرکت‌ها استفاده شده است.

۲. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

جیمز کندی و راسل سی ابرهارت، صاحبان اصلی ایده الگوریتم ازدحام ذرات هستند. در الگوریتم ازدحام ذرات تعدادی از موجودات وجود دارند که به آنها ذره گفته می‌شود و در فضای جست‌وجوی تابعی که قصد کمینه کردن یا بهینه کردن مقدار آن را داریم، پخش شده‌اند. هر ذره مقدار تابع هدف را در موقعیتی از فضا که در آن قرار گرفته است، محاسبه می‌کند سپس با استفاده از ترکیب اطلاعات محل فعلی‌اش و بهترین محلی که در گذشته در آن بوده است و همچنین اطلاعات یک یا چند ذره از بهترین ذرات موجود در جمع، جهتی را برای حرکت انتخاب می‌کند. همه ذرات جهتی برای حرکت انتخاب می‌کنند و پس از انجام حرکت، یک مرحله از الگوریتم به پایان می‌رسد. این مراحل چندین بار تکرار می‌شوند تا آن‌که جواب مورد نظر به دست بیاید. در واقع انبوه ذرات که مقدار کمینه یک تابع را جست‌وجو می‌کنند، همانند دسته‌ای از پرندگان عمل می‌کنند که به دنبال غذا می‌گردند.

هر ذره در الگوریتم ازدحام ذرات از سه بردار d بعدی تشکیل شده است که d بعد فضای جست‌وجو است. ذره i ام این سه بردار عبارت است از: x^i موقعیت فعلی ذره، v^i سرعت حرکت ذره و $x^{i,best}$ بهترین موقعیتی که ذره تا به حال تجربه کرده است. x^i مجموعه‌ای از مختصات است که موقعیت فعلی ذره را نمایش می‌دهد. در هر مرحله‌ای که الگوریتم تکرار می‌شود، x^i به‌عنوان یک جواب برای مساله محاسبه می‌شود. اگر این موقعیت بهتر از جواب‌های پیشین باشد در $x^{i,best}$ ذخیره می‌شود. f^i مقدار تابع هدف در x^i و $f^{i,best}$، مقدار تابع هدف در $x^{i,best}$ است که هر دو از عناصر تشکیل‌دهنده هر ذره به حساب می‌آیند. ذخیره کردن مقدار $f^{i,best}$ برای مقایسه‌های بعدی ضروری است. اما ذخیره کردن مقدار f^i ضروری نیست. در هر تکرار x^i و v^i جدیدی به دست می‌آید و منظور از اجرای الگوریتم، بهتر کردن $x^{i,best}$ و به احتمال x^i است. در مرحله ابتدایی الگوریتم، ذرات با موقعیت‌ها و سرعت‌های تصادفی ایجاد می‌شوند. طی اجرای الگوریتم، موقعیت و سرعت هر ذره در مرحله $t+1$ ام از الگوریتم، از روی اطلاعات مرحله قبلی ساخته می‌شوند. اگر z^i مولفه j ام از بردار z باشد، روابطی که سرعت و موقعیت ذرات را تغییر می‌دهند، عبارتند از:

$$v^i_j[t+1] = wv^i_j[t] + c_1r_1(x^{i,best}_j[t] - x^i_j[t]) + c_2r_2(x^{gbest}_j - x^i_j[t])$$

$$x^i_j[t+1] = x^i_j[t] + v^i_j[t+1]$$

در این روابط w ضریب اینرسی، r_1 و r_2 اعدادی تصادفی در بازه $[1,0]$ با توزیع یکنواخت و c_1، c_2 ضرایب یادگیری هستند. r_1 و r_2 باعث می‌شوند که نوعی گوناگونی در جواب‌ها به وجود بیاید و 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 است.

۳. یافته‌های تحقیق

در تحقیق حاضر علاوه بر معرفی الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای تشکیل سبدهای سهام بهینه از الگوریتم‌های ژنتیک و کلونی زنبورهای مصنوعی نیز به‌منظور مقایسه عملکرد سبدهای سهام تشکیلی استفاده شد. دوره آموزش و یادگیری از اول فروردین ۱۳۸۶ تا پایان اسفند ۱۳۸۹ و دوره زمانی تست مدل ۶ ماه اول سال ۹۰ انتخاب شد.

۳-۱. تعیین پارامترهای ورودی

به‌منظور اجرا و ارزیابی الگوریتم پیشنهادی تحقیق، کدهای آن در برنامه نرم‌افزاری متلب نوشته و اجرا شد. قبل از اجرای برنامه باید پارامترهای اولیه

الگوریتم تعیین شوند که این مقادیر در این تحقیق به این صورت تعیین شده است.

۳-۱-۱. تعریف مقادیر اولیه برای پارامترهای مساله و الگوریتم‌ها

در گام اول شکل کلی مساله بهینه‌سازی پرتفوی سهام به این صورت تعریف می‌شود:

$$Minimize\ l\left[\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} w_i w_j s_{ij}\right] - (1-l)\left[\sum_{i=1}^{N} w_i m_i\right]$$

$$Subject\ to \sum_{i=1}^{N} w_i = 1$$

$$0 \le w_i \le 1 \qquad (i = 0,1,...,n)$$

در مدل فوق λیک پارامتر وزن‌دهی است که مقدار آن در فاصله [۱،۰] تغییر می‌کند. ازآن‌جاکه در این تحقیق ارزیابی و مقایسه الگوریتم تکاملی در نقطه‌ای از مرز کارآ صورت گرفته است، مقدار آن برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شده است. در رابطه فوق، عامل ریسک، واریانس قرار داده شده است؛ در صورتی که درحالت نیمه واریانس، می‌توان از رابطه نیمه‌واریانس استفاده کرد.

$$Minimize\ l\left[\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} w_i w_j semi\ \mathrm{cov}_{i,j}\right] - (1-l)\left[\sum_{i=1}^{N} w_i m_i\right]$$

تعداد ذرات در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برابر با ۵۰ و حداکثر تعداد چرخه (MCN) برابر با ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. مقدار نرخ یادگیری فردی و اجتماعی برابر r_1،r_2 و r_3 اعدادی تصادفی در بازه [۱و۰] با توزیع یکنواخت هستند. اندازه جمعیت و حداکثر تعداد نسل در الگوریتم ژنتیک به ترتیب برابر با ۵۰ و ۱۰۰ انتخاب شده است. تکنیک انتخاب مورد استفاده در این الگوریتم، تکنیک انتخاب چرخ رولت است. در این الگوریتم از عملگر جهش یکنواخت با نرخ ۰/۵ استفاده شده است. عملگر تقاطع مورد استفاده در این الگوریتم، عملگر تقاطع میانی با نرخ تقاطع ۰/۵ است. در الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی بیشترین تعداد تکرار برابر با حداکثر تعداد چرخه برابر با ۱۰۰ و اندازه کلونی برابر با اندازه جمعیت برابر با ۵۰ در نظر گرفته شده است. تعداد زنبورهای تماشاچی و کارگر برابر با ۵۰ درصد اندازه کلونی و تعداد زنبورهای دیده ور ۱ انتخاب شده است.

۳. جواب‌های الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و ارزیابی آن با دیگر الگوریتم‌های تکاملی

پس از اجرای الگوریتم ازدحام ذرات و اطمینان از ثبات الگوریتم، این الگوریتم به همراه الگوریتم ژنتیک و کلونی زنبور مصنوعی مربوط به هر یک از سبدها (بر اساس معیارهای ریسک، میانگین- واریانس و میانگین- نیمه واریانس و اطلاعات ورودی ماهانه و سالانه) اجرا شد.

به‌منظور محاسبه RVAR، از بازده‌های اکتسابی سبدهای منتخب الگوریتم‌ها در دوره شش‌ماهه اول سال ۹۰ همراه رابطه ۳ استفاده شد. جدول زیر نتایج بازده مورد انتظار و ریسک پرتفوهای منتخب الگوریتم‌ها، به همراه متوسط بازده این سبدها در دوره شش‌ماهه آزمون، انحراف معیار بازده دوره آزمون، عدد عملکرد سبدها و نتایج رتبه‌بندی پرتفوهای منتخب الگوریتم‌ها را براساس معیارشارپ نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش در سه بخش قابل بیان است:

* الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات توانست در تعاریف متفاوتی از ریسک و همچنین تفاوت در نوع اطلاعات ورودی نسبت به الگوریتم‌های ژنتیک و کلونی زنبورهای مصنوعی به‌طور کارآتری به حل مساله اقدام کند.
* نتایج حاصل از اجرای تمام الگوریتم‌ها حاکی از برتری تعریف ریسک نیمه واریانس نسبت به تعریف ریسک واریانس است.
* با توجه به نتایج یافت‌شده از این پژوهش می‌توان گفت تشکیل سبد سهام بر اساس اطلاعات ماهانه نسبت به اطلاعات سالانه از کارآیی بیشتری برخوردار است.

* منابع مقاله در دفتر ماهنامه بورس موجود است

جدول نتایج بازده مورد انتظار و ریسک پرتفوهای منتخب الگوریتم‌ها

نوع داده‌های ورودی	نام الگوریتم	بازده مورد انتظار سبد سهام	ریسک سبد سهام	متوسط بازده واقعی ۶ ماهه	انحراف معیاربازده واقعی ۶ ماهه	عملکرد سبد سهام بر اساس معیار RVAR	رتبه عملکردی
ماهانه	میانگین- واریانس بهینه‌سازی ازدحام ذرات	۰,۰۴۶	۰,۰۰۱	۳,۳۹	۴,۷۰	۰,۴۷	۲
ماهانه	میانگین- نیمه واریانس بهینه‌سازی ازدحام ذرات	۰,۰۳۹	۰,۰۰۳	۴,۲۳	۶,۲۱	۰,۴۹	۱
سالانه	میانگین- واریانس بهینه‌سازی ازدحام ذرات	۰,۴۷۸	۰,۱۰۲	۳,۰۵	۶,۵	۰,۲۸	۷
سالانه	میانگین- نیمه واریانس بهینه سازی ازدحام ذرات	۰,۵۹۰	۰,۰۸	۲,۶۹	۵,۴۰	۰,۲۸	۸
ماهانه	میانگین- واریانس ژنتیک	۰,۰۴۰	۰,۰۰۲	۲,۸۳	۶,۰۰	۰,۲۸	۹
ماهانه	میانگین- نیمه واریانس ژنتیک	۰,۰۴۹	۰,۰۰۳	۴,۰۵	۶,۸۳	۰,۴۲	۳
سالانه	میانگین- واریانس ژنتیک	۰,۴۱۲	۰,۱۱۳	۲,۰۲	۵,۸۷	۰,۱۵	۱۲
سالانه	میانگین-نیمه واریانس ژنتیک	۰,۴۱۹	۰,۰۸۴	۲,۲۳	۵,۶۴	۰,۱۹	۱۱
ماهانه	میانگین-واریانس کلونی زنبورهای مصنوعی	۰,۰۳۲	۰,۰۰۳	۳,۱۸	۶,۹۴	۰,۲۹	۶
ماهانه	میانگین- نیمه واریانس کلونی زنبورهای مصنوعی	۰,۰۳۱	۰,۰۰۳	۲,۸۶	۵,۷۴	۰,۲۹	۵
سالانه	میانگین- واریانس کلونی زنبورهای مصنوعی	۰,۴۶۳	۰,۰۷۸	۲,۱۴	۴,۸۲	۰,۲۰	۱۰
سالانه	میانگین-نیمه واریانس کلونی زنبورهای مصنوعی	۰,۴۳۶	۰,۰۷۱	۳,۱۲	۵,۵۶	۰,۳۵	۴