پژوهشنامه اقتصاد و کسب و کار
شاپا: ۸۳۹۶ – ۲۰۰۸
سال هفتم، شماره سیزدهم، (بهار ۱۳۹۵)، صفحه ۱ تا ۱۲

کشف پرتفوی سهام بااستفاده از محدودیت کاردینال

حسن ابوالفتحی[۱*]

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۳۱

چکیده

تنوع روش‌های سرمایه‌گذاری و پیچیدگی تصمیم‌های مزبور در چند دههٔ اخیر، افزایش چشم‌گیری داشته است. این رشد گسترده، نیاز فزاینده‌ای به مدل‌های فراگیر و یکپارچه ایجاد کرد که برای پاسخگویی به این نیاز، مدل‌سازی مالی از پیوند رویکرد مالی و برنامه‌ریزی ریاضی به‌وجود آمده است. این مدل‌ها، از پیشرفت‌های برنامه‌ریزی ریاضی و مباحث مالی به‌موازات هم استفاده می‌کنند. هدف این پژوهش، ایجاد مدلی هوشمند برای انتخاب سبد بهینهٔ سهام با استفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی مقید بهبودیافته است. به این منظور، ریسک و بازدهٔ مورد انتظار شرکت‌های دارویی و سرمایه‌گذاری پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران، به‌صورت ماهیانه بررسی شده است. نمونهٔ آماری پژوهش، شامل داده‌های مالی ۳۲ شرکت دارویی و ۲۸ شرکت سرمایه‌گذاری بورس ایران، طی سال های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳ است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که الگوریتم به‌کاررفته، توانایی انتخاب سبد بهینه سهام را با درنظرگرفتن تعاملات بین ریسک و بازده دارد. ضمن آنکه براساس نتایج مکتسبه، تشکیل پرتفوی سهام متشکل از شرکت‌های دارویی، نسبت به شرکت‌های سرمایه‌گذاری، بهینه‌تر بوده است.

کلیدواژه‌ها: سبد سهام، الگوریتم تکامل تفاضلی، صنعت دارویی و صنعت سرمایه‌گذاری.

۱. مقدمه

تصمیم‌گیرندگان حوزهٔ سرمایه‌گذاری، اغلب ناگزیر به انتخاب از میان گزینه‌های مختلف هستند. پیشنهادهای گوناگونی درخصوص انجام فعالیتی به‌دست آنها می‌رسد و آنان باید به‌قدر کافی با اصول مقایسهٔ گزینه‌های مختلف، ازنظر سودآوری، آشنا باشند تا بتوانند بهترین گزینه را انتخاب کنند(سن جو و همکاران، ۱۳۷۸).

تنوع روش‌های سرمایه‌گذاری و پیچیدگی تصمیم‌های مزبور در چند دههٔ اخیر، افزایش چشم‌گیری داشته است. این رشد گسترده، نیازِ فزاینده‌ای به مدل‌های فراگیر و یکپارچه ایجاد کرد که برای پاسخگویی به این نیاز، مدل‌سازی مالی از پیوند رویکرد مالی و برنامه‌ریزی ریاضی به‌وجود آمده است. این مدل‌ها، از پیشرفت‌های برنامه‌ریزی ریاضی و مباحث مالی، به‌موازات هم استفاده می‌کنند. سرمایه‌گذاری در چارچوب سبد سهام، در پرتو اندیشه‌های مارکویتز و شارپ، روند تکاملی پیموده و کاربرد برنامه‌ریزی ریاضی، دقت سرمایه‌گذاری در سبد سهام را افزایش داده است(آذر و معماریانی، ۱۳۷۶).

بازار سرمایهٔ کشور ما دارای کارآیی لازم نیست و برای کسب بازده منطقی، نمی‌توان فقط به اطلاعات موجود

۱*. دانشجوی دکترای حسابداری دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب پردیس بین المللی کیش، **پست الکترونیکی نویسنده مسئول:** *h.aboalfathy1391@yahoo.com*

اکتفا کرد؛ بنابراین، باتوجه به گزینه‌های فراوان پیش رو و نیز عدم کارآیی بازار، نیاز است مدلی طراحی شود که برای حداکثرسازی بازده و حداقل‌کردن ریسک سبد سهام مؤثر واقع شود. پژوهش‌ها و مطالعات بسیاری که در حوزهٔ تعیین سبد سهام بهینه و استفاده از مدل‌های مدرن و در تعامل با یکدیگر انجام گرفته است، نشان از اهمیت این موضوع دارد که چگونه می‌توان با مدیریت صحیح سبد سهام، نسبت به تشکیل پربازده‌ترین سبد سهام اقدام کرد. در چند دههٔ اخیر، اساس تئوری‌های مالی(فرضیهٔ بازار کارآ، عقلایی‌بودن سرمایه‌گذار و ضریب بتا)، ازسوی صاحب‌نظران کنونی مورد تردید واقع شده است. به‌عبارت‌دیگر، مدل‌های موجود در انتخاب سبد سهام بهینه، دارای اعتبار کافی نیستند(عباس‌نژاد، ۱۳۸۰)؛ بنابراین، ضرورت دارد مدلی طراحی شود که نسبت به مدل‌های انتخاب سبد سهام بهینهٔ قبلی، دارای اعتبار باشد و در شرایط عدم اطمینان موجود، سرمایه‌گذاران را در انتخاب سبد بهینه سهام یاری رساند.

۲. مبانی نظری و مروری بر پیشینهٔ پژوهش

در عبارت ساده، پرتفوی به ترکیبی از دارایی‌ها اطلاق می‌شود که ازطریق یک سرمایه‌گذار، برای سرمایه‌گذاری تشکیل می‌شود. این سرمایه‌گذار می‌تواند یک فرد یا یک نهاد باشد. ازنظر تکنیکی، یک پرتفوی، دربرگیرندهٔ مجموعه‌ای از دارایی‌های واقعی و مالی سرمایه‌گذاری‌شده ازسوی یک سرمایه‌گذار است. به‌عبارت‌دیگر، می‌توان گفت پرتفوی، مجموعهٔ دارایی‌های یک نفر، یا یک سازمان است. در این ارتباط، مسئلهٔ مدیریت پرتفوی مطرح می‌شود که مفهوم آن، مطالعهٔ تمام جنبه‌های پرتفوی است. این واژهٔ وسیع، دربرگیرندهٔ مفاهیم پرتفوی است که بخش مهمی از مفهوم سرمایه‌گذاری را تشکیل می‌دهد. در بهینه‌سازی سبد سهام، مسئلهٔ اصلی، انتخاب بهینهٔ دارایی‌ها و اوراق بهاداری است که با مقدار مشخصی سرمایه می‌توان تهیه کرد. در این میان، ریسک سرمایه‌گذاری، یکی از مهم‌ترین مسائلی است که سرمایه‌گذار در بورس با آن مواجه است. به‌طور عموم، سرمایه‌گذار به‌دنبال نگهداری سهامی است که بازدهی بالا و ریسک پایینی دارند. از طرف دیگر، نتایج بسیاری از مطالعه‌های سنتی انجام‌گرفته، نشان‌دهندهٔ وجود رابطهٔ مثبت بین ریسک و بازدهی است. از این رو، یکی از مهم‌ترین چالش‌های موجود در تشکیل سبد سهام، تعیین نسبت یا وزن بهینه‌ای از سهام موجود در سبد سهام، برای کاهش ریسک است.

شایان ذکر است که پژوهش‌های انجام‌شده در حوزهٔ رفتار مالی، نشان می‌دهد که برخلاف نظریه‌های سنتی، شخص سرمایه‌گذار ممکن است، تصمیم‌هایی اتخاذ کند که ازلحاظ اقتصادی توجیهی نداشته باشد. براساس نظریهٔ رفتار مالی، سرمایه‌گذار اولویت‌هایی دارد که باعث می‌شود ریسک‌گریز نباشد، بلکه زیان‌گریز باشد؛ بنابراین، حاضر به تحمل ریسک بالا باشد. به‌علاوه، فرد ممکن است، تحت‌تأثیر اجتماع یا افراد، در تضاد با نظریه‌های سنتی، تصمیم‌هایی اتخاذ کند. با قبول نظریهٔ سنتی، سرمایه‌گذاری و فرض اساسی ریسک‌گریزی شخص، چالش تشکیل سبد بهینه سهام را می‌توان حل کرد. مارکویتز[1] (۱۹۵۲)، با اشاره به این نکته که با تشکیل یک سبد در سطح معینی از بازدهی، ریسک کمتری را متحمل شد، چالش مذکور را حل کرد.

روش‌های متعددی برای تشکیل سبد سهام بهینه به‌کاررفته است. این رویکرد در چارچوب سبد سرمایه‌گذاری در پرتو اندیشه‌های مارکویتز و شارپ، روند تکاملی پیمود و کاربرد ریاضی، دقت سرمایه‌گذاران را در انتخاب سبد سهام افزایش داد. مدل‌های مختلفی برای هدایت سرمایه‌گذاران با کمک برنامه‌ریزی ریاضی ارائه شده است.

مارکویتز(۱۹۵۲ و ۱۹۵۹)، با پیشنهاد مدلی که حداقل‌کردن واریانس به‌همراه حداکثرشدن بازده را دنبال می‌کرد، آغازگر این راه بود و با پیشنهاد مرز کارآ، سرمایه‌گذاران را در پذیرش ریسک‌های مختلف یاری کرد. مدل مارکویتز از دو معیار بازده و ریسک، به‌همراه محدودیت بودجهٔ سرمایه‌گذاری، در قالب برنامه‌ریزی درجه دو استفاده کرده است. مارکویتز بعدها(۱۹۵۹ و ۱۹۹۱)، نیم واریانس را جایگزین واریانس کرد. نیم واریانس، درواقع ارزش مورد انتظار مجذور انحراف منفی

1. Markowitz, H.

نتایج ممکن از بازده مورد انتظار را نشان می‌دهد که نشانگر انحراف پایین نرخ بازده مورد انتظار است. بنابراین، واریانس، هر انحرافی را از بازدهٔ مورد انتظار نشان می‌دهد، درحالی‌که نیم واریانس، فقط نمایانگر انحراف منفی و پایین از بازدهٔ مورد انتظار است. از این رو، سرمایه‌گذاران، نیم واریانس را نسبت به واریانس بیشتر ترجیح می‌دهند.

کونو[1] و یامازاکی[2](۱۹۹۱)، انحراف مطلق را برای اندازه‌گیری ریسک و راه‌حلِ ساده‌ای برای مسئلهٔ انتخاب پرتفوی با کمک برنامه‌ریزی خطی پیشنهاد دادند. درواقع، آنها توانستند مدلی قابل‌حل ازطریق برنامه‌ریزی خطی برای بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری برمبنای مقیاس اندازه‌گیری ریسک به‌طور کامل ارائه دهند. این مدل، نیازی به کوواریانس نداشت. از این رو، به کاهش زمان حلِّ مسئله منجر می‌شد. پژوهش‌های آنان، حاکی از آن است که انحراف مطلق از میانگین بازده تحت شرایط خاص، مانند واریانس، معیاری برای اندازه‌گیری ریسک است.

اسپرانزا[3](۱۹۹۵)، مدلی از برنامه‌ریزی مختلط را با خصوصیات واقعی، مثل هزینه‌های معاملات و حداقل واحدهای معاملات ارائه داد. وی بعد از طراحی مدل مذکور، آن را برای بازار سهام میلان ایتالیا به‌کار گرفت.

فیرینگ[4]و لی[5](۱۹۹۶)، انتخاب سبد سهام استاندارد، با محدودیت احتمالی را بنا کردند. تانگ[6] و همکاران(۲۰۰۱)، محدودیت احتمالی مسئلهٔ انتخاب سبد سهام را فرموله کردند و مقدار برابر قطعی آن را تخمین زدند. آنها توانستند روشِ جدیدی برای حلِّ مسئله ارائه دهند و نمونه‌ای از بازار سرمایهٔ مربوط به مدل را به نمایش بگذارند.

پیاریستودولو[7] و داتزور[8](۲۰۰۴)، با نوشتن مقاله‌ای به‌نام «پرتفوی‌های بهینه بااستفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی»، مدل‌های برنامه‌ریزی خطی در این زمینه را بیان کرد و سپس با نمونه‌های تجربی به مقایسهٔ سبدهای سهام به‌دست‌آمده از هر مدل پرداخت. نتایج حاصل از کار وی، مشخص کرد که یک شخص می‌تواند، کارهای بیشتری از آنچه فکر می‌کند، با مدل برنامه‌ریزی خطی انجام دهد. او با کنارگذاشتن خصوصیات واقعی مدل اسپرانزا، آن را به یک مدل خطی تبدیل، و فواید چنین مدلی را عنوان کرد.

کانداسمی[9](۲۰۰۸)، در پایان‌نامهٔ خود، تحت عنوان «انتخاب پرتفوی تحت سنجه‌های ریسک گوناگون»، مدل‌های برنامه‌ریزی غیرخطی و خطی را برای اندازه‌گیری ریسک و مسئلهٔ انتخاب پرتفوی بیان داشت. وی به‌علاوه، کاربرد برنامه‌ریزی ریاضی در مسائل تک‌زمانه و چندزمانهٔ انتخاب پرتفوی بهینه، همراه با بازده پرتفوی قطعی و احتمالی را به‌صورت بسیار هنرمندانه نشان داد.

انتخاب سبد سهام، تحت معیارِ ریسکِ نامطلوب، در سال‌های اخیر، عمومیت و شهرت بسیاری به‌دست آورده است. این روش، درپی بیانِ این موضوع ساده است که سرمایه‌گذار، زمانی از سرمایه‌گذاری خود راضی است که یک سود پیش‌بینی‌نشده را به‌دست آورد و نه در زمانی که زیان ببیند.

جانگ‌ـفنگ[10] و همکاران(۲۰۱۳)، در مقالهٔ خود با عنوان «انتخاب پرتفوی سهام براساس مدل مارکویتز»، به این نتیجه رسیدند که الگوریتم حرکات ذرات، نسبت به الگوریتم ژنتیک، دارای توانایی و عملکرد بهتری در انتخاب پرتفوی سهام است. یانگ[11] و همکاران(۲۰۱۳) در مقالهٔ خود، با عنوان «انتخاب یک مدل بهینه‌سازی چند دوره‌ای پرتفوی، با به‌کاربردن تحلیل فاصله بااستفاده از تئوری تصمیم‌گیری فازی و روش برنامه‌نویسی چندهدفه»، مدلی ارائه دادند که نسبت به الگوریتم حرکات ذرات بهبودیافته، برای نشان‌دادن پرتفوی بهینه، مؤثرتر است.

لیوی[12] و لیوی[13](۲۰۱۴)، در مقالهٔ خود، با عنوان «مزایای محدودیت براساس واریانس ـ دیفرانسیل در بهینه‌سازی

1. Konno, H.
2. Yamazaki, H.
3. Speranza, M. Grazia
4. Feiring, B. R.
5. Lee, S. W.
6. Tang, W.
7. Papahristodoulou, C.
8. Dotzauer, E.
9. Kandasamy, Hari
10. Guang-Feng, Deng
11. Yong, L.
12. Levy, H.
13. Levy, M.

پرتفوی»، نشان دادند که براساس معیار شارپ، مدل بیز توانایی بالایی در انتخاب پرتفوی سهام دارد.

کارابای[1] و همکاران(۲۰۱۶)، در مقالهٔ خود، با عنوان «رویکرد خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی به انتخاب سبد سهام» که در آن، به بررسی انتخاب سبد سهام در بورس استانبول پرداخته‌اند، نشان می‌دهند که الگوریتم خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، توانایی تشکیل سبد سهام در بورس اوراق بهادار استانبول بااستفاده از متغیر ریسک و بازده را دارد.

اسلامی بیدگلی و طیبی ثانی(۱۳۹۳)، در پژوهش خود، با عنوان «بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری، براساس ارزش در معرض ریسک بااستفاده از الگوریتم کلونی مورچگان»، نشان دادند که الگوریتم ترکیبی مورچگان و ژنتیک در این پژوهش، نتایج بهتری از نتایج به‌دست‌آمده ازطریق الگوریتم ژنتیک به‌تنهایی دارد.

افشارکاظم و همکاران(۱۳۹۳)، در مقالهٔ خود، با عنوان «تدوین مدلی جدید برای بهینه‌سازی پرتفوی بورس بااستفاده از روش مارکویتز و اصلاح آن ازطریق مدل کسینوس‌ها و حلِّ آن ازطریق الگوریتم ژنتیک» که بااستفاده از داده‌های مالی ۵۰ شرکت برتر در سال ۱۳۸۹ انجام شد، نشان دادند که همیشه پر گونه‌سازی پرتفوی به‌نفع سرمایه‌گذار نیست و از یک جایی به بعد، بهتر است، متنوع‌سازی را متوقف کنیم.

یوسف‌وند و جهانشاد(۱۳۹۴)، نشان دادند که بازدهٔ مورد انتظار پرتفوی‌های مرتب‌شده براساس اهرم مالی، تفاوت معناداری با بازدهٔ واقعی این پرتفوها دارد. به‌علاوه، تغییرات اهرم، اثر منفی بر بازدهٔ پرتفوها دارد و شدت تأثیر منفی تغییرات اهرم در سطوح بالای اهرم، بیشتر از سطوح پایین تغییرات اهرم است. شدت تأثیر منفی تغییرات اهرم در سطوح بالای اهرم و سلامت پایین‌تر، بیشتر از سطوح پایین تغییرات اهرم و سلامت مالی بالاتر است.

امیرحسینی و قبادی(۱۳۹۵)، نشان دادند که سبد سهام پیشنهادی شرکت خدمات انفورماتیک، دارای بالاترین عملکرد و بانک پارسیان، دارای ضعیف‌ترین عملکرد است.

۳. روش پژوهش

در این مقاله، برای انتخاب سبد بهینهٔ سهام، از الگوریتم تکامل تفاضلی $(\mu+\lambda)$ مقید بهبودیافته[1] ($(\mu+\lambda)$-ICDE) استفاده می‌شود. در زمینه‌های مهندسی و علوم، تعداد زیادی مسائل بهینه‌سازی مقید[2] (COPs) وجود دارند. در حالت کلی، یک COPs را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

$$\begin{aligned} &\text{minimize} \quad f(\vec{X}) \\ &\textit{subject to} \;\; g_i(X) \le 0,\;\; j = 1,\ldots,l \\ &\qquad\qquad\quad h_j(\vec{X}) = 0,\;\; j = l+1,\ldots,p \end{aligned} \qquad (۱)$$

که در آن: $\vec{X} = (X_1, X_2, \ldots, X_n) \in \Omega \subseteq S$ یک بردار تصمیم n بعدی است، $f(\vec{X})$ تابع هدف، $g_i(\vec{X})$ iامین قید نامساوی است؛ $h_i(\vec{X})$ iامین قید مساوی، Ω ناحیه شدنی تعریف‌شده ازطریق l قیود نامساوی و $(p-l)$ قیود مساوی است و S فضای جست‌وجوی مستطیلی n بعدی در $\Re$ که ازطریق قیود مرزی زیر تعریف شده‌اند:

$$L_i \le X_i \le U_i, \quad 1 \le i \le n \qquad (۲)$$

که در آن: L_i و U_i، به‌ترتیب، کران‌های پایین و بالا برای iامین متغیر تصمیم هستند.

برای COPها، اگر $\vec{X} \in \Omega$ ، $\vec{X}$ باشد، یک راه‌حلِّ شدنی است و در غیر این صورت، راه‌حلی نشدنی است. یک قید نامساوی $g_i(\vec{X})\ (j \in \{1,\ldots,l\})$ در راه‌حلِّ $\vec{X} \in \Omega$ به‌صورت فعال درنظر گرفته می‌شود، اگر $g_i(\vec{X}) = 0$ در $\vec{X}$ باشد. همهٔ قیود مساوی $h_i(\vec{X})\ (j = l+1,\ldots,p)$ در همهٔ راه‌حل‌های Ω ، فعال درنظر گرفته می‌شوند.

هنگام حلِّ COPها، قیود مساوی معمولاً به قیود نامساوی به‌صورت زیر تبدیل می‌شوند:

$$|h_j(\vec{X})| - \delta \le 0 \qquad (۳)$$

که در آن: $(j = l+1,\ldots,p)$ و δ مقدار خطا[3] برای قیود مساوی است. درمجموع، درجهٔ نقض قیود برای یک راه‌حل

1. Improved (μ+λ)-Constrained Differential Evolution

2. Constrainted Optimization Problems

3. Tolerance

$\vec{X}$ بر روی j امین قید به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$G_j(\vec{X}) = \begin{cases} \max\{0, g_j(\vec{X})\}, & 1 \le j \le l \\ \max\{0, h_j(\vec{X})\}, & l+1 \le j \le p \end{cases} \quad (۴)$$

به‌دلیل حضور انواع مختلف قیود، تابع هدف چندمدله و ناحیهٔ شدنی مقعر، حلِّ مسئلهٔ COPs، معمولاً مشکل است. روش‌های بهینه‌سازی قدیمی به‌راحتی در بهینه محلی گیر می‌کنند؛ یا اینکه هزینهٔ محاسباتی بالایی برای حلِّ مسئلهٔ COPs نیاز دارند. الگوریتم‌های تکاملی(EAs)[1]، یک ابزار بهینه‌سازی قوی است که به‌راحتی قابل پیاده سازیCOPs است. به‌دلیل این مزایا، EAs در دههٔ گذشته، برای حلِّ مسئلهٔ COPs، بسیار مورد توجه قرار گرفته است؛ درحالی‌که تکنیک‌های مدیریت قیود نیز توسعه یافته‌اند. با ترکیب تکنیک‌های مدیریت قیود با EAs، الگوریتم‌های بهینه‌سازی مقید(COAs) ارائه شده‌اند.

در این مقاله، از (μ+λ)-ICDE که ازسوی Jia و همکارانش در سال ۲۰۱۳ ارائه شده است، برای انتخاب سبد بهینهٔ سهام استفاده شده است. ICDE، اصولاً شامل یک IDE و یک مدل تبادلی مبتنی بر ذخیره‌سازی(ArATM)[2] است که IDE به‌عنوان موتور جستوجو و ArATM برای مدیریت قیود به‌کار گرفته می‌شود. ICDE به‌صورت زیر کار می‌کند:

مرحلهٔ ۱: قراردادن $t=0$ و $A=\phi$ که t نشان‌دهندهٔ شمارهٔ نسل و A نشان‌دهندهٔ لیست ذخیره است.

مرحلهٔ ۲: μ نمونهٔ تصادفی و یکنواخت از فضای جست‌وجوی S که برای جمعیت اولیه$P_0 = \{\vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_\mu\}$ تولید می‌شود.

مرحلهٔ ۳: محاسبهٔ نقص‌های قید برای همهٔ افراد در P_0.
باتوجه به تفاوت بین نقص‌های قیود، یک معیار برای محاسبهٔ درجهٔ نقص قید هریک از افراد، در طی تکامل تعیین می‌شود.

مرحلهٔ ۴: محاسبهٔ مقدار تابع $f(\vec{x}_i)$و درجهٔ نقص $G(\vec{x}_i)$ برای هر فرد در جمعیت P_0.

مرحلهٔ ۵: تولید λ فرزند، با اجرای IDE بر روی تمامی افراد در P_t. این λ فرزند، یک جمعیت فرزند Q_t را تشکیل می‌دهند.

مرحلهٔ ۶: محاسبهٔ مقدار تابع هدف و درجهٔ نقض قید هریک از افراد در Q_t.

مرحلهٔ ۷: ترکیب P_t با Q_t، برای به‌دست‌آوردن جمعیت ترکیبی H_t(یعنی $H_t = P_t \cup Q_t$).

مرحلهٔ ۸: انتخاب μ فرد بالقوه از H_t، برای ساخت نسل بعدی P_{t+1} ازطریق $ArATM$.

مرحلهٔ ۹: قراردادن $t = t + 1$.

مرحلهٔ ۱۰: درصورتی‌که شرط خاتمه برقرار نباشد، به مرحلهٔ ۵ برود و در غیر این صورت، متوقف شود و خروجی، بهترین فرد $\vec{x}_{best}$ در P_t است.

برای تشکیل پرتفوی(سبد بهینهٔ سهام)، از مدل میانگین ـ واریانس با محدودیت کاردینال(MVCCPO)[3] در این پژوهش استفاده می‌شود؛ که معادلهٔ آن به‌شکل زیر است:

$$\min \quad \lambda \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} w_i w_j \sigma_{ij} - (1-\lambda)\sum_{i=1}^{N} w_i \mu_i \quad (۵)$$

$$Subject\ to \quad \sum_{i=1}^{N} z_i = K \quad (۶)$$

$$\sum_{i=1}^{N} w_i = 1 \quad (۷)$$

$$\varepsilon_i z_i \le w_i \le \delta_i z_i, \qquad i = 1, \cdots, N \quad (۸)$$

$$z_i \in \{0,1\} \qquad i = 1, \cdots, N \quad (۹)$$

$$0 \le \lambda \le 1 \quad (۱۰)$$

که در آن: N تعداد دارایی‌های موردنظر برای سرمایه‌گذاری، و w_i متغیر تصمیم دربارهٔ سرمایه‌گذاری است

1. Evalutionary Algorithms
2. Archiving-based adaptive tradeoff model
3. Mean-Variance Cardinality Constrained Portfolio Optimization

که نشان‌دهندهٔ درصد سرمایه‌گذاری برای دارایی i ام است.

در رابطهٔ ۵، در حالتی که $\lambda=0$ باشد، بیان‌کنندهٔ امید ریاضی بازدهٔ سهام، با صرف‌نظر از ریسک(کوواریانس σ_{ij}) است و راه‌حلِ بهینه، فقط دارایی‌هایی با حداکثر بازدهٔ سهام است، درحالی‌که اگر $\lambda=1$ باشد، بیان‌کنندهٔ حداقل ریسک، بدون درنظرگرفتن بازدهٔ سهام است. مقدار λ می‌تواند $0 \le \lambda \le 1$ باشد و درواقع λ، یک پارامتر تنظیم سبد سرمایه‌گذاری سهام(پرتفوی سهام) است که یک معاوضهٔ بین بازدهٔ سهام و ریسک است.

بنابراین، با تغییر مقدار λ، می‌توان جواب‌های متفاوتی را بنا به سلیقهٔ سرمایه‌گذار تولید کرد. در فاصلهٔ بین ۰ و ۱، سبدهایی درنظر گرفته می‌شود که هر دو فاکتور ریسک و بازدهٔ سهام را بهینه می‌کند. به‌علاوه، مقدار σ_{ij}، بااستفاده از رابطهٔ $\sigma_{ij}=\rho_{ij}s_i s_j$ تعیین می‌شود که در آن: ρ_{ij} همبستگی[1] بین دارایی i ام و دارایی j ام $(-1 \le \rho_{ij} \le +1)$ و s_i و s_j انحراف از معیار در بازدهٔ سهام در دارایی i ام است.

در رابطهٔ ۶، K تعداد دارایی‌های مجاز در پرتفو است و $z_i \in \{0,1\}$ نشان‌دهندهٔ حضور یا عدم حضور دارایی i ام در سبد سرمایه‌گذاری است و دقیقاً باید K دارایی در سبد سرمایه‌گذاری قرار گیرد.

به رابطهٔ ۷، محدودیت بودجه می‌گویند و این محدودیت، تضمین می‌کند که مجموع سرمایه‌گذاری روی دارایی‌های انتخاب‌شدهٔ سبد سهام، بیشتر از ۱۰۰% نشود.

رابطهٔ ۸، بیانگر این است که درصد سرمایه‌گذاری دارایی‌هایی که در سبد قرار گرفته‌اند ($z_i=1$) می‌تواند برای دارایی i ام، حداقل ε_i و δ_i حداکثر باشد. مقادیر ε_i و δ_i ازطریق سرمایه‌گذار تعیین می‌شود. برای مثال، می‌تواند برای همهٔ دارایی‌ها ثابت باشد، یا برای هر دارایی جداگانه تعیین شود. به زبان ساده‌تر، هرکدام از قیود عمل‌های زیر را کنترل می‌کنند:

محدودیت اول: دقیقاً k دارایی در سبد سرمایه‌گذاری قرار گرفته است.

محدودیت دوم: مجموع وزن سرمایه‌گذاری، برابر یک باشد.

محدودیت سوم تا آخر: اگر دارایی در سبد قرارگرفته شده باشد، $z_i=1$ و وزن آن باید بین ε_i و δ_i باشد و اگر دارایی در سبد قرار نگرفته باشد، $z_i=0$ خواهد بود و وزن آن صفر است.

ما از نمایش هیبریدی برای مدل‌کردن مسئلهٔ ۵ تا ۱۰ استفاده کردیم. در نمایش هیبریدی، دو بردار برای تعریف یک سند بهادار(سبد بهینهٔ سهام) استفاده می‌شود:

بردار اول (Z): یک بردار با مقادیر حقیقی است که مشخص می‌کند کدام k شرکت در سبد سرمایه‌گذاری حضور دارند.

بردار دوم (X): یک بردار با مقادیر حقیقی[2] است که برای محاسبهٔ سهم‌های بودجهٔ سرمایه‌گذاری‌شده در دارایی‌ها استفاده می‌شود.

$$Z=\{z_1,\dots,z_n\},\ z_i \in R,\ i=1,\dots,n. \qquad (۱۱)$$

$$W=\{w_1,\dots,w_k\},\ 0 \le x_i \le 1,\ i=1,\dots,k \qquad (۱۲)$$

برای کدکردن مسئله و ورود آن به الگوریتم $(\mu+\lambda)$-ICDE، معادلات ۵ تا ۱۲ به‌صورت زیر تغییر داده شدند:

$$\min\ \tilde{\lambda}\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{k} w_i w_j \sigma_{ind(i),ind(j)} - (1-\tilde{\lambda})\sum_{i=1}^{k} w_i \tilde{\mu}_{ind(i)} \qquad (۱۳)$$

$$Subject\ to \qquad \sum_{i=1}^{N} s_i = k \qquad (۱۴)$$

$$\sum_{i=1}^{k} w_i = 1 \qquad (۱۵)$$

$$\varepsilon_i s_i \le w_i \le \partial_i s_i, \qquad i=1,\cdots,k \qquad (۱۶)$$

$$s_i \in \{0,1\} \qquad i=1,\cdots,N \qquad (۱۷)$$

1. Correlation
2. Real-Valued

$$0 \le \tilde{\lambda} \le 1 \qquad (۱۸)$$

$$s_i = \begin{cases} 1 & z_i \in top\ k\ element\ in\ Z \\ 0 & otherwise \end{cases} \qquad (۱۹)$$

که در روابط بالا، بردار تصمیم الگوریتم $(\mu+\lambda)$-ICDE، یک بردار با $n+k$ تصمیم است که N، تعداد کلِّ شرکت‌ها و k تعداد شرکت‌های موجود در سبد سهام است. بردار تصمیم الگوریتم $(\mu+\lambda)$ –ICDE به‌صورت $X = [Z, W]$ است که Z و W در روابط ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده‌اند.

درواقع w_i، $i= 1,\ldots,k$ برای تعیین میزان سرمایه‌گذاری در شرکت i ام موجود در سبد سهام kتایی است و براساس رابطهٔ ۱۵، باید مجموع w_iها، برابر یک شود و علاوه بر آن، حداقل و حداکثر سرمایه‌گذاری باید براساس رابطهٔ ۱۶، دارای حداقل و حداکثر باشد که رابطهٔ ۱۵ را به‌عنوان یک قید مساوی، به $(\mu+\lambda)$-ICDE اعمال می‌کنیم و رابطهٔ ۱۶ را به‌عنوان کران‌های متغیر هر متغیر تصمیم را به‌عنوان ورودی کران‌ها در $(\mu+\lambda)$-ICDE وارد می‌کنیم.

در هر بردار، تصمیم قسمت Z، k مقدار حقیقی بزرگ‌تر را پیدا می‌کند و s_iهای نظیر آنها را ۱ و بقیه را صفر می‌کنیم. این کار در رابطهٔ ۱۹ انجام می‌گیرد و با این عمل، از قیود ۱۴، ۱۷ و ۱۹ ارضا می‌شوند این قیود درحین فرایند جست‌وجوی $(\mu+\lambda)$-ICDE، همیشه به‌صورت یک قید فعال در ناحیهٔ شدنی قرار می‌گیرد و دیگر لازم به واردکردن این قیود در الگوریتم $(\mu+\lambda)$-ICDE نیست.

پس درمجموع، می‌توان گفت که W در بردار تصمیم، نمایانگرِ میزان سرمایه‌گذاری روی k شرکت موجود در سبد سهام و Z در کنار محاسبهٔ S، نشان‌دهندهٔ نحوهٔ انتخاب و حضور شرکت‌ها در سبد سهام است. پس الگوریتم $(\mu+\lambda)$-ICDE، با تابع هدف ۱۳ و تک قید مساوی ۱۵ و دو قید نامساوی رابطهٔ ۱۶ با بردار تصمیم X مدل شده است.

ضمناً منظور از $ind(.)$ در رابطهٔ ۱۳، ایندکس شرکت انتخابی در سبد سهام است. به‌علاوه، به‌منظور اشتباه‌نشدن سمبل‌های λ و μ در $(\mu+\lambda)$-ICDE، در رابطهٔ ۱۳ $\tilde{\lambda}$ و $\tilde{\mu}$ که نشان‌دهندهٔ میانگین و پارامتر ورودی برای تنظیم بین ریسک و بازدهٔ سهام است، به این صورت نشان داده شده‌اند.

۴. نتایج الگوریتم

جامعهٔ مورد آزمایش در مسئلهٔ حاضر، از بین شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران انتخاب شده است. داده‌های مالی ۳۲ شرکت دارویی و ۲۸ شرکت سرمایه‌گذاری به‌صورت ماهیانه، با متغیر مستقل بازدهٔ مورد انتظار، از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳ از نرم‌افزار ره‌آورد نوین گردآوری شد. در شبیه‌سازی، بالاترین تعداد دارایی‌های مجاز در اسناد بهادار ۱۰ درنظر گرفته شد $(K = 10)$. برای وزن‌های سهام w_i، حدهای بالا و پایین به‌ترتیب: ۱ و ۱۰۰% بودند؛ یعنی: $i = 1,\ldots,k$ ، $\partial_i = 1$ ، $\varepsilon_i = 0.01$. اینها پارامترهای محدودیت معمولی استفاده‌شده در بیشتر پژوهش‌ها هستند. برای اجرای الگوریتم $(\mu+\lambda)$-ICDE پارامترهای ورودی الگوریتم $(\mu+\lambda)$-ICDE در جدول ۱ نشان داده شده است.

برای به‌کارگیری سلایق مختلف، مقدار پارامتر λ در سه حالتِ ۰، ۰/۵ و ۱ بررسی شد. در حالتی که $\tilde{\lambda} = 0$ باشد، بیان‌کنندهٔ امید ریاضی بازدهٔ سهام، با صرف‌نظر از ریسک(کوواریانس σ_{ij}) است و راه‌حلِ بهینه، فقط دارایی‌هایی با حداکثر بازدهٔ سهام است، درحالی‌که اگر $\tilde{\lambda} = 1$ باشد، بیان‌کنندهٔ حداقل ریسک، بدون درنظرگرفتن بازدهٔ سهام است. مقدار $\tilde{\lambda}$ می‌تواند $0 \le \tilde{\lambda} \le 1$ باشد و درواقع $\tilde{\lambda}$، یک پارامتر تنظیم سبد سرمایه‌گذاری سهام(پرتفوی سهام) است که یک معاوضه بین بازدهٔ سهام و ریسک است. بنابراین، با تغییر مقدار $\tilde{\lambda}$ می‌توان جواب‌های متفاوتی را بنا به سلیقهٔ سرمایه‌گذار تولید کرد. با انتخاب پارامترهای جدول ۱ و اجرای الگوریتم شرکت‌های انتخاب‌شده، به‌عنوان k، شرکت موجود در سبد سهام در جدول ۲ و ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱. پارامترهای الگوریتم ICDE-(μ+λ) در تعیین پرتفو

نام	گروه دارویی	گروه سرمایه‌گذاری	توضیحات
μ	۲۰	۲۰	جمعیت والدین
λ	۶۰	۶۰	جمعیت فرزندان
MAX_FES	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	حداکثر تعداد ارزیابی تابع ارزیاب
δ	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	مقدار خطا در قیود مساوی tolerance value
r	۰/۶	۰/۶	پارامتر آستانه
ϵ_i	۰/۰۱	۰/۰۱	کران پایین از پارامترهای بهینه‌سازی
∂_i	۱	۱	کران بالا از پارامترهای بهینه‌سازی
N	۳۲	۲۸	تعداد کلِّ شرکت‌ها
k	۵	۵	تعداد شرکت‌های موجود در سبد سهام

جدول۲. پرتفوی انتخاب‌شده ازطریق الگوریتم ICDE-(μ+λ) در شرکت‌های دارویی

شرکت	$\tilde{\lambda}$ برابر ۰			$\tilde{\lambda}$ برابر ۰/۵			$\tilde{\lambda}$ برابر ۱		
	وزن	ریسک	بازده	وزن	ریسک	بازده	وزن	ریسک	بازده
البرز دارو	۰/۱۸۴	۰/۶۱	۰/۴۲						
سینا دارو	۰/۱۹۶	۰/۶۳	۰/۴۱						
کیمیدارو	۰/۲۰۴	۰/۵۶	۰/۵۴						
دارو ابوریحان	۰/۲۰۶	۰/۵۵	۰/۴۶						
دارو اسوه	۰/۲۱	۰/۵۶	۰/۴۸						
تهران دارو				۰/۲۰۳	۰/۴۱	۰/۲۱			
دارو زهراوی				۰/۱۹۸	۰/۳۲	۰/۱۸			
دارو لقمان				۰/۱۸۱	۰/۳۰	۰/۱۹	۰/۲۱۰	۰/۲۸	۰/۱۹
دارو پخش				۰/۲۱۱	۰/۴۴	۰/۱۶			
داروسازی کوثر				۰/۲۰۷	۰/۳۸	۰/۲۲			
دارو رازک							۰/۱۹۸	۰/۱۸	۰/۱۱
سبحان دارو							۰/۱۹۳	۰/۲۱	۰/۰۸
دارو عبیدی							۰/۱۹۱	۰/۲۲	−۰/۰۳
دارو فارابی							۰/۲۰۸	۰/۱۹	۰/۱۲

نتایج مزبور، بیانگر توانایی الگوریتم به‌کار گرفته‌شده در تعیین سبد بهینهٔ سهام است. براساس مطالب پیش‌گفته، مقدار $\tilde{\lambda}$ می‌تواند $0 \le \tilde{\lambda} \le 1$ باشد و درواقع $\tilde{\lambda}$ ، یک پارامتر تنظیم سبد سرمایه‌گذاری سهام(پرتفوی سهام) است. درواقع مقدار $\tilde{\lambda}$ تعامل بین بازدهٔ سهام و ریسک است. در حالتی که $\tilde{\lambda} = 0$ باشد، با صرف‌نظر از ریسک سهام مختلف، صرفاً حداکثر بازدهٔ سهام برای تعیین پرتفوی درنظر گرفته شده است. در چنین شرایطی، سهامی وارد پرتفوی می‌شود که

بالاترین مقدار بازده را به‌همراه داشته باشد. درحالی‌که اگر $\tilde{\lambda} = 1$ باشد، تنها معیار برای تعیین پرتفوی، ریسک سهام، بدون درنظرگرفتن بازدهٔ آن است. در چنین شرایطی، سهامی وارد پرتفوی می‌شود که کمترین مقدار ریسک را داشته باشد. باتوجه به موارد مزبور، در شرایطی که $\tilde{\lambda} = 0.5$ باشد، بازدهٔ سهام و ریسک به یک اندازه در تعیین پرتفوی حایز اهمیت هستند. نتایج کاربرد الگوریتم مورد بحث، برای گروه شرکت‌های سرمایه‌گذاری به شرح زیر است:

جدول۳. پرتفوی انتخاب‌شده ازطریق الگوریتم ICDE-(μ+λ) در شرکت‌های سرمایه‌گذاری

شرکت	$\tilde{\lambda}$ برابر ۰			$\tilde{\lambda}$ برابر ۰/۵			$\tilde{\lambda}$ برابر ۱		
	وزن	ریسک	بازده	وزن	ریسک	بازده	وزن	ریسک	بازده
سرمایه‌گذاری آتیه دماوند	۰/۱۷۸	۰/۶۸	۰/۴۳						
سرمایه‌گذاری اقتصاد نوین	۰/۱۸۳	۰/۷۳	۰/۴۴						
سرمایه‌گذاری خوارزمی	۰/۲۱۲	۰/۷۷	۰/۳۸						
سرمایه‌گذاری صنعت و معدن	۰/۱۹۶	۰/۸۱	۰/۴۳						
سرمایه‌گذاری ملت	۰/۲۳۱	۰/۷۴	۰/۴۶						
سرمایه‌گذاری بوعلی				۰/۱۸۸	۰/۴۵	۰/۲۲			
سرمایه‌گذاری توسعهٔ شمال				۰/۱۹۶	۰/۵۱	۰/۱۸			
سرمایه‌گذاری توسعهٔ ملی				۰/۲۰۲	۰/۵۴	۰/۱۵			
سرمایه‌گذاری سایپا				۰/۱۹۹	۰/۴۹	۰/۱۷			
سرمایه‌گذاری سپه				۰/۲۱۵	۰/۴۴	۰/۲۰			
سرمایه‌گذاری فلات ایرانیان							۰/۱۹۶	۰/۲۸	۰/۱۲
سرمایه‌گذاری اعتلای البرز							۰/۱۹۴	۰/۲۶	۰/۱۴
سرمایه‌گذاری بهمن							۰/۲۰۳	۰/۳۲	−۰/۰۱
سرمایه‌گذاری بانک مسکن							۰/۱۹۹	۰/۳۴	−۰/۰۷
سرمایه‌گذاری صنعت بیمه							۰/۲۰۸	۰/۳۱	۰/۱۵

درادامه، عملکرد سبدهای بهینهٔ متشکل از سهام را ارزیابی می‌کنیم. به عبارتی، آخرین مرحله در فرایند سرمایه‌گذاری، ارزیابی عملکرد سبد سرمایه‌گذاری است. برای ارزیابی عملکرد سبدهای بهینه از نسبت پاداش به تغییرپذیری[1] (معیار شارپ) استفاده شده است. این نسبت، معیاری ترکیبی از عملکرد پرتفوی است که بر پایهٔ نظریهٔ بازار سرمایه استوار است. معیار شارپ از شاخص مبنایی براساس خط بازار سرمایهٔ تاریخی، به‌عنوان معیار ریسک استفاده می‌کند. این معیار به‌صورت زیر تعریف می‌شود(رهنمای رودپشتی و همکاران، ۱۳۹۰):

$$RVAR = SR_p = \frac{\bar{r}p - \bar{r}f}{\sigma p} \qquad (۲۰)$$

که در این معادله، داریم:

rp = متوسط بازده کل پرتفوی

rf = متوسط نرخ بازده بدون ریسک

σP = انحراف معیار بازده پرتفوی

rp−rf = بازده مازاد(صرف ریسک) پرتفوی

صورت معادلهٔ قبل بازده مازاد پرتفوی، یا بازده بالاتر از نرخ بدون ریسک را اندازه‌گیری می‌کند که به آن «صرف ریسک» نیز اطلاق می‌شود. به‌علاوه، درمورد معیار شارپ، باید موارد زیر را درنظر داشت:

۱. بازده مازاد هر واحد از ریسک کل را اندازه‌گیری می‌کند.

۲. هرچه میزان معیار شارپ بیشتر باشد، عملکرد پرتفوی

1. Reward-to-Variability Ratio (RVAR)

به همان اندازه بهتر خواهد بود.

نکتهٔ دیگری‌که از نسبت شارپ می‌توان استخراج کرد، به‌صرفه‌بودن سرمایه‌گذاری انجام‌شده در مقایسه باسرمایه‌گذاری بدون ریسک در اوراق مشارکت است. هر اندازه میزان این معیار بالاتر باشد، نشان می‌دهد که بازدهی به‌دست‌آمده، با تقبل ریسک کمتری بوده است. به این معنا کـه منفـی‌بـودن نسـبت شارپ نشان می‌دهد که بازده انتظاری مورد نظر از بازده بدون ریسک اوراق مشارکت کمتـر است و از این رو، سرمایه‌گذاری مزبور توجه‌پذیر به‌نظر نمی‌رسد. نتایج حاصل از آزمون شارپ برای گروه شرکت‌های دارویی و سرمایه‌گذاری به‌صورت جدول ۴ است:

جدول٤. معیار شارپ

گروه	$\lambda = 0$	$\lambda = 0.5$	$\lambda = 1$
گروه شرکت‌های دارویی	۱/۰۱۵	۰/۹۹۱	۰/۸۶۹
گروه شرکت‌های سرمایه‌گذاری	۰/۸۱۲	۰/۷۹۹	۰/۷۱۵

براساس نتایج مکتسبه از آزمون شارپ، در مقایسه با پرتفوی شرکت‌های سرمایه‌گذاری، بازدهی حاصل از تشکیل پرتفوی شرکت‌های دارویی، با تقبل ریسک کمتری به‌دست آمده است. از این رو، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تشکیل پرتفوی سهام شرکت‌های دارویی، نسبت به پرتفوی سهام شرکت‌های سرمایه‌گذاری، بهینه‌تر است.

۵. نتیجه‌گیری

در امر سرمایه‌گذاری سهام، انتخاب سبد بهینهٔ سهام ازجمله مهم‌ترین موارد قابل‌توجه است. در این رابطه، ایجاد مدل‌هایی که بتواند به انتخاب بهترین سبد سهام منجر شود، دارای اهمیت حایز توجه‌ای است. مدل‌های مزبور باید در ایجاد سبد بهینهٔ سهام، توانایی لحاظ‌کردن شخصیت ریسک‌پذیری اشخاص را نیز داشته باشند. الگوریتم تکامل تفاضلی مقید بهبودیافته، ازجملهٔ این مدل‌ها است.

هدف این پژوهش، ایجاد مدلی هوشمند برای انتخاب سبد بهینهٔ سهام، بااستفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی مقید بهبودیافته در شرکت‌های دارویی و سرمایه‌گذاری است. باتوجه به هدف پژوهش، بااستفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی مقید بهبودیافته و با درنظرگرفتنِ ریسک و بازده مورد انتظار ۳۲ شرکت دارویی و ۲۸ شرکت سرمایه‌گذاری پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران، طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳، بهترین سبد سهام باتوجه به تعاملات بین ریسک و بازده مشخص شده است.

نتایج حاصل، بیانگر آن است که الگوریتم تکامل تفاضلی مقید بهبود یافته، توانسته است مدلی هوشمند برای انتخاب ترکیب بهینهٔ سبد سهام فراهم سازد. علاوه بر این، نتایج حاصل از آزمون شارپ، حاکی از بهینه‌تربودن سرمایه‌گذاری در شرکت‌های دارویی، در مقایسه با سرمایه‌گذاری در شرکت‌های سرمایه‌گذاری است.

از این رو، براساس نتایج پژوهش حاضر، به‌نظر می‌رسد، الگوریتم تکامل تفاضلی مقید بهبودیافته، دارای توانایی مناسبی برای تعیین سبد بهینهٔ سهام در پارامترهای متفاوت و با درنظرگرفتن وضعیت تقبل ریسک سرمایه‌گذار باشد.

نتایج بررسی‌های انجام‌شده، پیرامون پژوهش‌های پیشین، نمایانگرِ آن است که تاکنون از الگوریتم تکامل تفاضلی مقید بهبودیافته برای ایجاد مدل بهینه‌سازی سبد سهام استفاده نشده است. در سایر پژوهش‌های انجام‌شده، جانگ‌ـفنگ و همکاران(۲۰۱۳)، با استفاده از الگوریتم حرکات ذرات مدلی برای انتخاب پرتفوی سهام ایجاد کردند.

در پژوهش دیگری، یانگ و همکاران(۲۰۱۳)، با استفاده از تئوری تصمیم‌گیری فازی و روش برنامه‌نویسی چندهدفه، مدلی ارائه دادند که نسبت به الگوریتم حرکات ذرات بهبودیافته برای نشان‌دادن پرتفوی بهینه، مؤثرتر بود. لیوی و لیوی(۲۰۱۴) نیز نشان دادند که براساس معیار شارپ، مدل بیز توانایی بالایی در انتخاب پرتفوی سهام دارد.

اسلامی بیدگلی و طیبی ثانی(۱۳۹۳) نیز ثابت کردند که الگوریتم ترکیبی مورچگان و ژنتیک، نتایجی بهتر از الگوریتم ژنتیک به‌تنهایی دارد.

۶. پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی

برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود، از سایر الگوریتم‌های هوشمند استفاده شود و با مقایسهٔ نتایج بین الگوریتم‌های مختلف، الگوریتمی که با لحاظ‌کردن ریسک، سبد سهامی با بیشترین بازده را برای سرمایه‌گذاران به ارمغان می‌آورد، مشخص شود. به‌علاوه، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، از تمام معیارهای ارزیابی عملکرد مالی و اقتصادی و تمام ریسک‌های مالی و تجاری برای تشکیل پرتفوی سهام استفاده شود. نتایج این پژوهش، به‌علاوه، می‌تواند مورد استفادهٔ شرکت‌های سرمایه‌گذاری و کارگزاری‌های سهام قرار گیرد.

مرجع‌ها

آذر، عادل و معماریانی، عزیزالله. ۱۳۷۶. «برنامه‌ریزی شولا، تکنیکی نوین برای برنامه‌ریزان»، *نشریهٔ علمی دانشگاه شاهد*، ش ۹ و۱۰.

اسلامی بیدگلی، غلامرضا و طیبی ثانی، احسان. ۱۳۹۳. «بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری براساس ارزش درمعرض ریسک»، مجلهٔ *مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار*، ش ۱۸/ بهار، ص۱۸۳-۱۶۳.

افشارکاظم، محمدعلی؛ میرفیض فلاح، شمس؛ کارگر، مرضیه. ۱۳۹۳. «تدوین مدلی جدید برای بهینه‌سازی پرتفوی بورس، بااستفاده از روش مارکویتز و اصلاح آن توسط مدل کسینوس‌ها و حلّ آن توسط الگوریتم ژنتیک»، مجلهٔ مهندسی *مالی و مدیریت اوراق بهادار*، ش ۱۸/بهار، ص ۱۰۴-۸۰.

امیرحسینی، زهرا و قبادی، معصومه. ۱۳۹۵. «ارزیابی و انتخاب سبد سهام، بااستفاده از تئوری فازی و تصمیم‌گیری چند معیار»، مجلهٔ *مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار*، شمارهٔ بیست و هفتم/تابستان، ص ۲۵-۱.

رهنمای رودپشتی، فریدون؛ نیکومرام، هاشم؛ شاهوردیانی، شادی. ۱۳۹۰. *مدیریت مالی راهبردی(ارزش‌آفرینی)*. نشر حکیم‌باشی.

سن جو، شی زوا؛ فوشی می، تامی او و فوجی تا، سی ایچی (۱۳۷۸)، تحلیل بهره وری و سودآوری، ترجمه سید عباس جوادی، چاپ اول، تهران انتشارات نوادر.

عباس نژاد، علی اکبر(۱۳۸۰). ارزیابی مالی شرکتهای پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران بر اساس فرایند تحلیل سلسله مراتبی، دانشگاه امام صادق.

یوسف‌وند، طاهره و جهانشاد، آزیتا. ۱۳۹۴. «نقش اهرم بر تحلیل پرتفوی سهام باتوجه به سلامت مالی شرکت‌ها»، مجلهٔ *حسابداری مدیریت*، دورهٔ ۸، ش ۲۷/زمستان، ص ۵۶ـ۳۷.

Feiring, B. R. & Lee, S. W. 1996. “A Chance-Constrained Approach to Stock Selection in Hong Kong”, *International Journal of Systems Science* 27(1), 3341.

Guang-Feng, Deng; Woo-Tsong, Lin; Chih-Chung, Lo. 2013. “Markowitz-based Portfolio Selection with Cardinality Constraints Using Improved Particle Swarm Optimization”, *Expert Systems with Applications* 40(2), 4558-4566.

Kandasamy, Hari. 2008. *Portfolio Selection under Unequal Prioritized Downside Risk*(Advisor: Kostreva, Michael M., The Degree Doctor of Philosophy Mathematical Sciences), Department of Mathematical Science, Clemson University.

Karabayır, Mehmet Emin; Doganay, Murat; Barak, Osman. 2016. “Hierarchical Clustering Approach to Portfolio Selection: The Case of Istanbul Stock Exchange(March 14, 2016), *Akhmed Yassawi IKTU Bulletin* 1(76), p. 408-413, Available at SSRN: http://ssrn.com/abstract=2747348

Konno, H. & Yamazaki, H. 1991. “Mean-absolute Deviation Portfolio Optimization Model and Its Applications to Tokyo Stock Market”, *Management Science* 37(5), 519-531.

Levy, H. & Levy, M. 2014. “The Benefits of Differential Variance-based Constraints in Portfolio Optimization”, *European Journal of Operational Research* 234(2), 372-381.

Markowitz, H. 1952. “Portfolio Selection”, *Journal of Finance* 7(1), 7-91.

Markowitz, H. 1959. *Portfolio Allocation: E_cient Diversication of Investments.* New York: A Cowles Foundation Monograph, John Wiley & Sons, Inc.

Markowitz, H. 1991. Foundations of Portfolio Theory”, *Journal of Finance* 46(2), 469-477.

Papahristodoulou, C. & Dotzauer, E. 2004. “Optimal Portfolios Using Linear Programming Problems”, *Journal of the Operations Research Society* 55(11), 1169-1177.

Speranza, M. Grazia. 1995. “A Heuristics Algorithm for A Portfolio Optimization Model Applied to the Milan Stock Market”, *Computer and Ops Res.* 5(4), 433-441.

Tang, W.; Han, Q.; Li, G. 2001. “The Portfolio Selection Problems with Chance-constrained”, in: *Systems, Man, and Cybernetics IEEE International Conference* 4(12), 2674-2679.

Yong, L.; Zhang, W.; Zhang, P. 2013. “A Multi-period Portfolio Selection Optimization Model by Using Interval Analysis”, Economic Modeling 33, 113-119.