Securities & Exchange Organization, Research, Development & Islamic Studies (RDIS)
Journal of Securities and Exchange, Spring 2022, V. 15, No.57, pp. 21-56

Portfolio Optimization According to Variance and Value at Risk Using MOACO, NSGA II and MOABC Algorithms[1]

Reza Aghamohammadi[2], Reza Tehrani[3], Maryam Khademi[4]

Received: 2021/09/23
Accepted: 2022/01/15

Research Paper

Abstract

The portfolio optimization problem is one of the important issues in the field of investment, which has led to the presentation of various models to solve them. These problems are nonlinear and NP-Hard and they are very difficult and time-consuming to solve accurately. Since meta-heuristic methods have a high ability to solve the portfolio optimization problem, this study examines the value criterion at risk from another perspective and presents a new type of mean-value at Risk model. To solve the portfolio optimization problem in Tehran Stock Exchange, we use NSGA II, MOACO, and MOABC algorithms by mean- the percentage of Value at Risk model and the mean-variance model and then compare MOABC algorithms whit both other algorithms AND also compare two models to each other. We show that, at low iterations, the performance of the NSGA II algorithm is better than the MOABC and MOACO algorithms in solving the portfolio optimization problem. As the iteration increases, the performance of the algorithms improves, but the rate of improvement is not the same, in a way, the performance of the MOABC algorithm is better than that of the NSGA II and MOACO algorithms. Then, to compare the mean-percentage of the Value at Risk model and the mean-variance model, we examine both models in the standard mean-variance model and show the mean- the percentage of Value at Risk model compared to the mean-variance model, has better performance in portfolio optimization.

Key Words: Portfolio Optimization, Value at Risk, NSGA II Algorithm, MOACO Algorithm, MOABC Algorithm.
JEL Classification: C61, G11

---

1. DOI: 10.22034/JSE.2021.11296.1507

2. Ph.D. Student, Department of Industrial Management, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. (rezaaghi@gmail.com).
3. Professor, Department of Financial Management and Insurance, Faculty of Management, Tehran University, Tehran, Iran. (Corresponding Author). (rtehrani@ut.ac.ir)
4. Associated Professor, Department of Applied Mathematic, Faculty of Engineering, Tehran South Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. (khademi@azad.ac.ir).

Journal of Securities Exchange

سازمان بورس و اوراق بهادار، مرکز پژوهش، توسعه و مطالعات اسلامی

فصلنامه بورس اوراق بهادار، سال پانزدهم، شماره ۵۷، بهار ۱۴۰۱، صص ۵۶-۲۱

پذیرش رمزارزها به‌عنوان یک روش پرداخت و یا ابزار سرمایه‌گذاری نوین[۱]

رضا آقامحمدی[۲]، رضا تهرانی[۳]، مریم خادمی[۴]

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵

چکیده

مسئله انتخاب و بهینه‌سازی سبد سهام از مباحث مهم در حوزه سرمایه‌گذاری شمرده شده که موجب ارائه مدل‌های مختلفی برای حل آن‌ها شده است. این قبیل مسائل غیرخطی و NP-Hard بوده و حل آن‌ها به روش دقیق بسیار مشکل و زمان‌بر است. با توجه به اینکه روش‌های فرا ابتکاری قابلیت بالایی در حل مسئله بهینه‌سازی سبد سهام داشته، ازاین‌رو در این پژوهش با نمایش مدل میانگین —واریانس و نوعی از مدل میانگین – ارزش در معرض ریسک که در آن موضوع ارزش در معرض ریسک از منظری دیگر بررسی می‌شود و نگرش محدودیت‌های دنیای واقعی، به حل مسئله بهینه‌سازی سبد سهام در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II، کلونی مورچگان چندهدفه و کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه پرداخته و در همین راستا عملکرد الگوریتم‌ها و مدل‌های مورد پژوهش، مقایسه و بررسی شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، در تکرار پایین در اجرای الگوریتم‌های مورد بررسی، عملکرد الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II بهتر از الگوریتم‌های کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه و کلونی مورچگان چندهدفه است. با افزایش تکرار، عملکرد الگوریتم‌ها بهبودیافته، اما نرخ بهبود عملکرد آن‌ها یکسان نیست، به‌نوعی که عملکرد الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه از دو الگوریتم دیگر مورد پژوهش بهتر بوده است. برای مقایسه کارکرد مدل‌های مورد پژوهش، هر دو مدل در الگوی استاندارد میانگین– واریانس مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج آن نشانگر کارآمدی بالاتر معیار ارزش در معرض ریسک به نسبت معیار واریانس در بهینه‌سازی سبد سهام است.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی سبد سهام،ارزش در معرض ریسک، الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه، الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II ، الگوریتم کلونی مورچگان چندهدفه.

طبقه بندی موضوعی: C61, G11

---

۱. DOI: 10.22034/JSE.2021.11296.1507

۲. دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (rezaaghi@gmail.com).

۳. استاد، گروه مدیریت مالی و بیمه، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول). (rtehrani@ut.ac.ir).

۴. دانشیار، گروه ریاضی کاربردی، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (khademi@azad.ac.ir).

مقدمه

یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های سرمایه‌گذاران در بازار سرمایه، انتخاب سبد سهام بهینه از دیدگاه سودآوری است. به همین منظور گوناگونی روش‌های انتخاب سبد سهام در سرمایه‌گذاری و پیچیدگی‌های تصمیم‌گیری‌های کنونی به‌شدت گسترش یافته است (فلاح شمس و همکاران، ۱۳۹۲). در چند دهه گذشته، مسئله بهینه‌سازی سبد سهام به‌عنوان یک مسئله جالب و پر چالش در مباحث مالی گفته شده و انتخاب زیرمجموعه‌ای از سرمایه‌ها با وزن‌های بهینه همسان، چالش کلیدی در بهینه‌سازی سبد سهام است(میشرا و همکاران[1]، ۲۰۰۹).

پس از شناسایی مدل میانگین- واریانس توسط مارکوویتز در سال ۱۹۵۲، چندین پژوهش از سوی پژوهشگران مالی به‌منظور گسترش و به پایان رساندن مدل‌های بهینه‌سازی سبد سهام و راه‌حل‌های مختلف برای حل چنین مدل‌هایی نشان داده شده است. به‌عنوان‌مثال، مدل‌هایی که معیارهای دیگری برای اندازه‌گیری ریسک سبد سهام را شامل می‌شوند، مانند نیمه واریانس، ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی است (زنجیردار[2]، ۲۰۲۰).

مدل مارکویتز برای نخستین بار توانست آمیزه بیشینه‌سازی نرخ بازده و کمینه‌سازی ریسک را نمایش دهد، ولی در برخورد با برخی تنگناهای دنیای واقعی مانند تعداد دارایی‌های موجود در سبد سهام، یا حداقلی برای میزان سرمایه‌گذاری در دارایی‌های تعیین شده، مدل اولیه مارکویتز قادر به حل مسئله نخواهد بود (مانسینی و همکاران[3]، ۲۰۱۴). علاوه بر این، جست‌وجوی مرز کارا به کمک روش‌های دقیق ریاضی با مقدار اندک دارایی، در زمان مناسب امکان‌پذیر است. ولی با افزایش تعداد دارایی‌های سبد و نگرش محدودیت‌های دنیای واقعی، حل مدل با استفاده از روش‌های قطعی مانند برنامه‌ریزی درجه دوم، در مسئله مقید بهینه‌سازی سبد سهام بر اساس محدودیت‌های مطرح‌شده، کارایی زیادی ندارند. نقاط ضعف مدل مارکویتز سبب شد که این مدل از کارایی لازم برخوردار نباشد و بنابراین برای حل این مشکل الگوریتم‌های فرا ابتکاری موردتوجه قرارگرفتند. این رویکردها برخلاف روش‌های دقیق بهینه‌سازی به دنبال نقاطی هستند که تا حد ممکن به بهینه سراسری نزدیک باشند، طوری که نظر تصمیم‌گیرنده را تا سطح قابل قبولی برآورده سازند(محمدی و همکاران، ۱۳۹۵).

---

1. Mishra et al
2. Zanjirdar
3. Mansini et al

به روش‌های فرا ابتکاری، در اصطلاح روش‌های «غیردقیق» نیز گفته می‌شود، زیرا سازوکارهای تصادفی در ایجاد ساختار آن‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند. به‌طورکلی مبنای این رویکردها بر اساس نظم یا قواعد موجود در ارگانیسم‌های طبیعی است. ازاین‌رو با توجه به اهمیت و کارایی این روش‌ها در حل چالشهای پیچیده محاسباتی، در سال‌های اخیر از آن‌ها برای حل چالش بهینه‌سازی سبد سهام استفاده فراوانی شده و عملکرد مناسبی از خود نشان داده‌اند.

چالش انتخاب سبد سهام، مسئله تخصیص سرمایه بین گزینه‌های مختلف سهام است. به همین دلیل انتخاب یک سبد سهام با نرخ بازدهی بالا و ریسک کنترل‌شده یکی از موضوع‌هایی است که موردتوجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. پیچیدگی‌های موجود در حل مدل مارکویتز و مشابه آن با روش دقیق، به استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای حل چالش بهینه‌سازی سبد سهام کشیده می‌شود. از جمله الگوریتم‌های کارآمد در بحث بهینه‌سازی چندهدفه سبد سهام الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II[1] که دارای انعطاف‌پذیری بالایی بوده، ساده و قابل‌درک است و تحت تأثیر جواب‌های موضعی قرار نمی‌گیرد، الگوریتم‌های مورچگان چندهدفه[2] و کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه[3] که همگی در زمره الگوریتم‌های هوش جمعی شمرده شده است و در دام جواب‌های محلی گرفتار نمی‌شوند، ازاین‌رو در این پژوهش، چالش بهینه‌سازی سبد سهام در دو مدل میانگین- واریانس و میانگین- درصد دارایی در معرض ریسک که به موضوع ارزش در معرض ریسک از منظری تازه پرداخته، با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II، کلونی مورچگان چندهدفه و کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه حل و عملکرد هر یک از مدل‌ها و هریک از الگوریتم‌ها در حل مسئله بهینه‌سازی سبد سهام موردبررسی و مقایسه قرار گرفته است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مبانی نظری

بهینه‌سازی

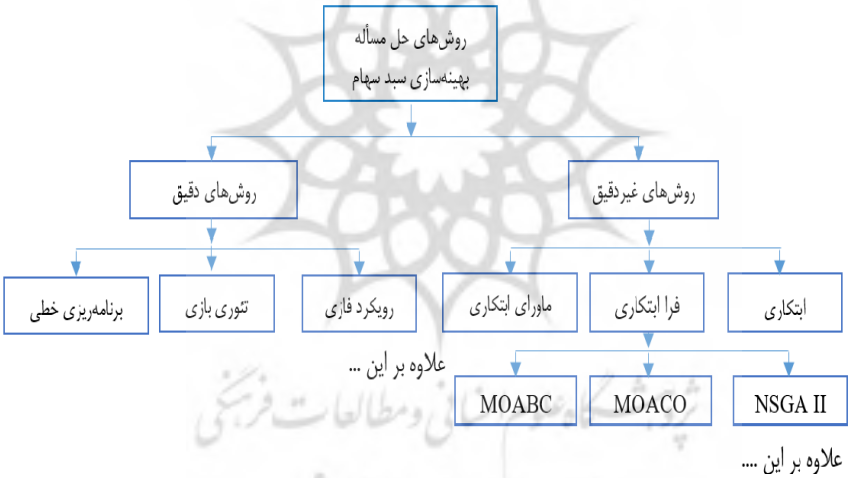
دستیابی به بهترین نتیجه در شرایط داده‌شده را بهینه‌سازی گویند. بسته به حوزه کاری که بهینه‌سازی در آن انجام می‌شود، هدف بهینه‌سازی هم می‌تواند متفاوت باشد. این هدف

1. Non Dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA II)
2. Multi Objective Ant Colony Optimization (MOACO)
3. Multi Objective Artificial Bee Colony Algorithm (MOABC)

می‌تواند کمینه کردن (مانند کمینه کردن هزینه ساخت یا ریسک یک سرمایه‌گذاری) و یا بیشینه کردن (مانند بیشینه کردن سود موردنظر و یا قابلیت اطمینان) باشد(دب، ۱۳۸۷).

بهینه‌سازی سبد سهام

الگوریتم‌های موجود برای حل مشکلات بهینه‌سازی را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: الگوریتم‌های دقیق و الگوریتم‌های تقریبی. الگوریتم‌های دقیق قادر به یافتن راه‌حل‌های بهینه با دقت هستند، اما الگوریتم‌های تقریبی قادر به یافتن راه‌حل‌های کم و بیش بهینه برای مشکلات بهینه‌سازی دشوار ایجادشده و به سه دسته ابتکاری، فرا-ابتکاری و بیش-ابتکاری تقسیم می‌شوند. دو مشکل اصلی الگوریتم‌های ابتکاری، بهینه بودن محلی آن‌ها و ناتوانایی آن‌ها، در به کار بردن برای مسائل مختلف است. الگوریتم‌های فرا ابتکاری، انواع مختلفی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی است که دارای راه‌حل‌های بهینه‌سازی محلی بوده که برای طیف گسترده‌ای از چالشها قابل‌استفاده است (زنجیردار، ۲۰۲۰).



شکل ۱. روش‌های بهینه‌سازی سبد سهام

بهینه‌سازی چندهدفه

در بسیاری از مسائل دنیای واقعی، لازم است هم‌زمان بیش از یک تابع هدف در مسائل بهینه شود. ممکن است هریک از توابع هدف، در ناهمسانی با بقیه باشند (توکلی و همکاران، ۱۳۹۲). در بهینه‌سازی دوهدفه، مرز کارا بدست می‌آید که نشان‌دهنده مجموعه سبد سهامی است که

بیشترین نرخ بازده را برای هر سطح از ریسک دارا هستند یا کمترین ریسک را برای هر سطح از بازده به دست می‌آورند. هر سبد سهامی که در مرز کارا قرار گیرد نرخ بازده بالاتری برای ریسک مساوی یا ریسک کمتری برای یک نرخ بازده مساوی دارد (رایلی و براون، ۱۳۹۶).

ریسک

نخستین بار، هری مارکویتز[1] در سال ۱۹۵۲ بر اساس تعریف‌های کمی ارائه‌شده، شاخص عددی[2] برای ریسک معرفی کرد. وی ریسک را انحراف معیار چند دوره‌ای یک متغیر تعریف کرد. دیدگاه دیگری در خصوص تعریف ریسک وجود دارد که تنها به جنبه منفی نوسان‌ها توجه دارد(راعی و سعیدی، ۱۳۹۶). با توجه به موارد بالا در این پژوهش، دو معیار واریانس و درصد دارایی در معرض ریسک که به معیار ارزش در معرض ریسک از منظری دیگر می‌پردازد، به‌عنوان سنجه‌های ریسک مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

واریانس

از لحاظ آماری واریانس، پراکندگی بازده یک سهم پیرامون مقدار مورد انتظار آن را مشخص می‌کند. هرچه پراکندگی بازده بیشتر باشد، واریانس یا به عبارتی ریسک آن بزرگ‌تر است. واریانس از طریق رابطه ۱ محاسبه می‌شود(راعی و سعیدی، ۱۳۹۶).

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(X_i-\bar{X})^2}{\mathrm{n}-1} \qquad (۱)$$

درصد دارایی در معرض ریسک

ارزش فراروی ریسک نیز، از خانواده معیارهای اندازه نامطلوب ریسک است و مبلغی از ارزش پرتفوی را که انتظار می‌رود ظرف یک دوره زمانی مشخص و با میزان احتمال معین از دست برود، مشخص می‌کند. روش‌های محاسبه ارزش در معرض ریسک، به دو نوع پارامتریک و نا پارامتریک تقسیم می‌شود (راعی و سعیدی، ۱۳۹۶). در این پژوهش برای محاسبه ارزش در معرض ریسک از روش پارامتریک استفاده شده که به شرح رابطه ۲ ارائه می‌شود.

$$VaR_p = M(Z_\alpha * \sigma - r_p) \qquad (۲)$$

1. Harry Max Markowitz
2. Numerical Index

با توجه به موارد یادشده، می‌توان از نگاهی دیگر معیار ارزش در معرض ریسک را مورد بررسی قرار داد. همان‌گونه که بیان شد ارزش در معرض ریسک، حداکثر زیان احتمالی را در یک دوره زمانی مشخص بابیان کمی و از دیدگاه ارزش، نشان می‌دهد که نسبت مستقیم با میزان سرمایه‌گذاری دارد. پس می‌توان بیان کرد که ارزش در معرض ریسک از دو بخش تشکیل‌شده است. بخش اول، میزان سرمایه‌گذاری M و دیگری درصد حداکثری زیان احتمالی در یک دوره زمانی، که به شرح رابطه ۳ بیان شده است.

$$pVaR = Z_\alpha * \sigma - r_p \qquad (۳)$$

بنابراین مفهوم بالا، بیانگر حداکثر درصد دارایی از دست‌رفته در یک دوره مشخص و با سطح اطمینان خاصی است که سرمایه‌گذار در فرآیند سرمایه‌گذاری سازگار خواهد شد و بیانگر درصد دارایی در معرض ریسک است.

شایان بیان است، روش انتخاب ارزش یا قیمت دارایی در مدل میانگین- ارزش در معرض ریسک، چالش‌برانگیز است. به‌نحوی‌که ارزش دارایی را می‌توان آخرین قیمت دوره پژوهش، میانگین ماه آخر، میانگین سال آخر و یا حتی میانگین کل دوره در نظر گرفت. روشن است انتخاب هر یک، در تجزیه‌وتحلیل و انتخاب سبد سهام تأثیرگذار است. ولی مدل میانگین- درصد دارایی در معرض ریسک، ارزش دارایی را در نظر نگرفته و تنها به درصد دارایی‌ای که در معرض است، می‌پردازد. بنابراین، ازاین‌جهت می‌توان آن را برتری مدل مورد پژوهش دانست.

بازده

بازده، پاداشی است که سرمایه‌گذار به دست می‌آورد. هر سرمایه‌گذار در فرایند سرمایه‌گذاری در بازار سرمایه، بازده را از دو محلِ تغییر قیمت دارایی و سودِ دریافتنی به دست می‌آورد (جونز، ۱۳۹۲).

الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه

در دهه گذشته، الگوریتم تکاملی چندهدفه[1] متعددی پیشنهاد شده است. دلیل اصلی این چالش توانایی آن‌ها در یافتن راه‌حل‌های بهینه پارتو[2] متعدد، در یک‌بار اجرا است. در یک چالش چندهدفه

1. Multi-Objective Evolutionary Algorithms
2. Pareto

وجود یک راه‌حل واحد که به‌طور هم‌زمان همه اهداف را بهینه کند، امکان‌پذیر نیست. ازاین‌رو الگوریتمی که تعداد زیادی راه‌حل جایگزین در جبهه بهینه پارتو یا نزدیک آن ارائه دهد، از ارزش عملی زیادی برخوردار است (Deb, 2001). در این پژوهش، برای حل چالش بهینه‌سازی سبد سهام، از الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II، الگوریتم کلونی مورچگان چندهدفه و الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه استفاده شده که به شرح مختصری از آن‌ها می‌پردازیم.

الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه MOABC

الگوریتم کلونی زنبورهای مصنوعی[1](ABC) توسط کارابوگا[2] در سال ۲۰۰۵ برای بهینه‌سازی واقعی پارامترها پدیدار شده است. این الگوریتم یک الگوریتم بهینه‌سازی است که از رفتار کاوشی طبیعی زنبورعسل، برای پیدا کردن راه‌حل بهینه الهام شده است (یقینی و اخوان کاظم‌زاده، ۱۳۸۹). در این الگوریتم متغیرهای چالش به‌عنوان موقعیت منبع غذایی در نظر گرفته می‌شود، مقدار شهد منبع غذایی، نشان‌دهنده احتمال و یا برازندگی راه‌حل است. این الگوریتم از سه گروه زنبورهای کارگر، تماشاگر و پیشاهنگ تشکیل شده است. در ابتدا مجموعه‌ای از منابع غذایی به‌طور تصادفی انتخاب می‌شوند. زنبورهای کارگر به منابع مراجعه کرده و میزان شهد آن‌ها را محاسبه می‌کنند. سپس این زنبورها به کندو بازگشته و اطلاعات خود را با دیگر زنبورها (تماشاگران) به اشتراک می‌گذارند. در مرحله دوم بعد از جابجایی اطلاعات هر زنبور کارگر با توجه به رنگ و نوع گل تصمیم می‌گیرد که به همان منبع قبلی برود و یا منبع جدیدی انتخاب کند. در مرحله سوم تماشاگران با توجه به اطلاعاتی که از زنبورهای کارگر در محل رقص گرفته‌اند یک محدوده منبع غذایی را بر مبنای شهد آن برتری می‌دهند. زمانی که یک منبع پایان پذیرد یا ترک شود، یک منبع جدید که به‌طور تصادفی توسط پیشاهنگان یافت شده است، جایگزین می‌شود این چرخه تا برآورده شدن نیازها تکرار خواهد شد (رحمانی و همکاران، ۱۳۹۹).

الگوریتم کلونی، الگوریتم زنبور مصنوعی چندهدفه از الگوریتم زنبور مصنوعی سرچشمه گرفته‌شده و از مفهوم تسلط پارتو برای تعیین جهت پرواز یک زنبورعسل استفاده می‌کند و بردار راه‌حل‌های نامغلوب را که در بایگانی خارجی پیداشده‌اند، حفظ می‌کند. این الگوریتم با

1. Artificial Bee Colony Algorithm
2. Dervis Karaboga

استفاده از آزمون استاندارد اعتبارسنجی می‌شود و نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که می‌تواند به‌عنوان روشی مناسب و کارآمد برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه در نظر گرفته شود(زو و همکاران[1]، ۲۰۱۱).

الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه کلونی مورچه‌ها MOACO

روش بهینه‌سازی الگوریتم مورچگان[2]ACO یک روش فرا ابتکاری جمعیت محور است که در سال ۱۹۹۲ توسط مارکو دوریگو[3] مطرح‌شده و روش جست‌وجوی تصادفی و سازوکار یادگیری را باهم می‌آمیزند. الگوریتم مورچه‌ها، از رفتار مورچه‌های طبیعی که در مجموعه‌ها در کنار هم به زندگی خود ادامه می‌دهند، الهام گرفته شده است. (توکلی و همکاران، ۱۳۹۲). الگوریتم مورچه‌ها، یک مثال بارز از هوش جمعی است که در آن عامل‌هایی که قابلیت چندان بالایی ندارند، در کنار هم و با همکاری یکدیگر می‌توانند نتایج بسیار خوبی به دست دهند. این الگوریتم برای حل و بررسی بسیاری از چالش‌های بهینه‌سازی کاربرد دارد (توکلی و همکاران، ۱۳۹۲). هدف از الگوریتم نخست، یافتن یک مسیر بهینه در یک نمودار بر اساس رفتار کلونی مورچه در جستجوی مسیری بین لانه و منبع غذا بود (قاسمی و سروه، ۱۳۹۸). مورچه‌ها اطلاعات غذایی را با فرومون‌هایی[4] که در طول مسیر ترشح می‌کنند مبادله می‌کنند. یک مورچه با یافتن منبع غذایی به لانه برمی‌گردد. هنگامی‌که مورچه‌ها در مسیری کوتاه‌تر به لانه بازمی‌گردند، فرومون‌های بیشتر و یک مسیر کوتاه‌تر باقی می‌ماند (دمیگوئل و همکاران[5]، ۲۰۱۶).

الگوریتم کلونی مورچگان چندهدفه، برگرفته از الگوریتم کلونی مورچگان بوده که برای حل چالش‌های بهینه‌سازی چندهدفه ارائه‌شده که از اصل بهینه پارتو استفاده کرده و خروجی آن به‌جای یک راه‌حل، به مجموعه‌ای از بهینه پارتو تبدیل می‌شود (لوپز و استاتزل[6]، ۲۰۱۲). کلونی مورچگان دارای ویژگی‌هایی مانند انعطاف‌پذیری[7]، قابلیت اعتماد[8] و خودسازمان‌دهی[9]

---

1. Zou et al.,
2. Ant Colony Optimization
3. Marco Dorigo
4. pheromone
5. DeMiguel et al.,
6. López and Stützle
7. flexibility
8. Robustness
9. Self organization

هستند. این الگوریتم شامل سه فرایند اصلی ساخت جواب‌ها توسط مورچه‌ها، به‌روزرسانی فرومون و فعالیت‌های کمکی است (رحمانی و همکاران، ۱۳۹۹)

الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب NSGA II

الگوریتم ژنتیک: جان هالند[1] در سال ۱۹۷۵ بر اساس نقش ژنتیک در طبیعت و تکامل[2] طبیعی موجودات زنده، نوع خاصی از الگوریتم تکاملی را در اوایل دهه ۷۰ میلادی به نام الگوریتم ژنتیک [3] استاندارد، نشان داد. الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ریاضی است که با استفاده از الگوی عملیاتی داروینی در مورد فزونی بقای نسل برتر و بر اساس فرایند طبیعی ژنتیک، مجموعه‌ای (جمعیتی) از اشیای منفرد ریاضی (بیشتر رشته‌های کاراکتری با طول ثابت به‌عنوان رشته کروموزوم‌ها) با میزان برابرسنجی خاصی به جمعیت جدیدی (برای مثال نسل بعد) تبدیل می‌کند(توکلی و همکاران، ۱۳۹۲). الگوریتم ژنتیک، با جمعیت اولیه که به‌طور تصادفی ایجاد می‌کند، شروع به عمل کرده، و هماره افرادی را انتخاب می‌کند که به‌عنوان والدین برازندگی بهتری دارند. این الگوریتم از دو عملگر جهش[4] و تقاطع[5] برای تولید فرزندانی با ویژگی‌های متفاوت والدین بهره می‌جوید.جهش، عبارت است از تغییر یک ژن به ژنی دیگر، در الگوریتم ژنتیک جهش تغییر کوچکی در خصوصیات یک راه‌حل ایجاد می‌کند و موجب می‌شود گوناگونی جمعیت حفظ‌شده و ساختار ژنتیکی جدیدی در جمعیت به وجود آید و از به دام افتادن در بهینه محلی جلوگیری می‌کند (رحمانی و همکاران، ۱۳۹۹).

یکی از کارآمدترین و مشهورترین الگوریتم‌های بهینه یابی چندهدفه، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب II است که توسط (دب و همکاران، ۲۰۰۲) نشان داده شد. این الگوریتم یکی از سریع‌ترین و توانمندترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی است که نسبت به سایر روش‌ها، از پیچیدگی عملیاتی کمتری برخوردار بوده و با استفاده از اصل نبود تسلط، غلبه نکردن و محاسبه فاصله ازدحام، نقاط بهینه پارتو را به دست می‌آورد که از گستردگی مطلوبی در حوزه تغییرات توابع اهداف برخوردارند و به طراح، آزادی انتخاب طراحی موردنظر خود را از میان طراحی‌های بهینه‌شده، می‌دهد (دب، ۲۰۰۱).

---

1. John Henry Holland
2. Evolution
3. Genetic Algorthm (GA)
4. Mutation
5. Crossover

مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده

میلان توبا و همکاران[1]، با در نظر گرفتن واریانس به‌عنوان معیار ریسک، الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی را با الگوریتم ژنتیک، جستجوی ممنوعه، تبرید شبیه‌سازی‌شده و تجمع ذرات را در حل چالش بهینه‌سازی سبد سهام مقایسه کرده و بیان می‌کنند که الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی، به‌عنوان یک بهینه‌ساز کارآمد و قوی شناخته‌شده است. ویی چن[2]، نیم قدر مطلق انحراف را به‌عنوان معیار ریسک در پژوهش‌های خود مدنظر قرار داده و بیان می‌کند که محدودیت‌های دنیای واقعی بر روی راهبرد سرمایه‌گذاری مطلوب، تأثیر می‌گذارد و الگوریتم زنبور پیشرفته کرده، دارای عملکرد بهتر از الگوریتم زنبور استاندارد و دیگر الگوریتم‌های اکتشافی مانند ژنتیک، تبرید شبیه‌سازی‌شده[3]، تجمع ذرات[4] و تکاملی تفاضلی[5] است. کان بی. کالایچی[6]، از مدل میانگین- واریانس بهره جسته و با استفاده از الگوریتم زنبورعسل مصنوعی، به حل چالش بهینه‌سازی سبد سهام پرداخته و ابراز می‌دارد که الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی برای حل چالش‌های بهینه‌سازی سبد سهام با محدودیت‌های کاردینال مناسب بوده و نتایج محاسباتی، امیدوارکننده است. کائوچیچ و همکاران[7]، سه راهبرد نیمه واریانس، ارزش در معرض ریسک شرطی و ترکیبی از هر دو معیار ریسک را برای انتخاب سبد سهام برای سرمایه‌گذاران ریسک‌پذیر با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب و تکاملی مبتنی بر قوت پارتو، مورد تجزیه‌وتحلیل قرارداد و اذعان داشتند، نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که الگوریتم‌های یادشده، عملکرد مطلوبی در بهینه‌سازی سبد سهام داشته و حتی در مواردی که همه رویکردهای دیگر شکست می‌خورند، رویکرد مورد پژوهش قادر به نمایاندن جبهه پارتو، قابل‌قبول است. ژایی و همکاران[8]، در پژوهش خود یک مدل بهینه‌سازی سبد سهام تحت تسلط تصادفی مرتبه دوم[9] و چندین محدودیت واقع‌گرایانه بر اساس داده‌های سهام شاخص FTSE100[10] را پیشنهاد داده و اقدام به بهینه سازی آن با استفاده از الگوریتم وال کردند.

---

1. Tuba et al., 2013
2. Chen, 2015
3. Simulated Annealing (SA)
4. Particle Swarm Optimization (PSO)
5. Differential Evolutuion (DE)
6. Kalayci, 2016
7. Kaucic et al, 2019
8. Zhai et al., 2020
9. Second-order Stochastic Dominance (SSD)
10. Financial Times Stock Exchange Index

آن‌ها از نسبت شارپ[1]، سورتینو[2]، استار[3] و ارتباطات[4] برای اندازه‌گیری مقدار ریسک نسبی استفاده کرده و عملکرد الگوریتم وال را با الگوریتم‌های گرگ خاکستری[5]، مگس میوه[6]، کرم شب‌تاب[7] و تجمع ذرات مقایسه کردند. نتایج پژوهش آن‌ها حاکی از آن است که سبدهای سهام به‌دست‌آمده توسط الگوریتم وال از ارزش ریسک نسبی بهتری برخوردار است و توانایی جستجوی کارآمد برای یافتن سبدهای سهام مطلوب و هم سو با محدودیت‌ها را داشته و دارای اثر همگرایی خوب و توانایی جستجوی محلی، قوی است.

سینایی و زمانی (۱۳۹۳)، نسبت به حل چالش بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم ژنتیک و زنبورعسل اقدام و نتیجه‌گیری کردند که سبدهای سهام تشکیل‌شده به‌وسیله الگوریتم زنبورعسل به سبدهای سهام بهینه واقع بر نمودار مرز کارا که از حل مدل مارکویتز بدست آمده‌اند، نزدیک‌تر هستند. اسلامی بیدگلی و طیبی ثانی (۱۳۹۳)، مدلی نشان دادند که در آن کمینه‌سازی ارزش در معرض ریسک به‌عنوان هدف و حداقل بازده مورد انتظار و ممنوعیت فروش استقراضی، محدودیت آن بوده که به کمک الگوریتم مورچگان، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترکیبی ژنتیک و مورچگان چالش بهینه‌سازی سبد سهام را حل کردند. آن‌ها اذعان می‌کنند که الگوریتم ترکیبی برای پرتفوی شکل گرفته از ۱۰ دارایی در سطح بازدهی مشخص، پرتفوی‌های با ارزش در معرض ریسک کمتر را نسبت به الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد. از طرف دیگر ازآنجاکه ارزش در معرض ریسک، تنها نوسان‌های نامطلوب را برای ارزیابی ریسک در نظر می‌گیرد، ازاین‌جهت نسبت به واریانس، برتری دارد. نصرالله زاده کپری (۱۳۹۴)، با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری و کلونی زنبورعسل مصنوعی اقدام به بهینه‌سازی سبد سهام کرد. او از معیار ارزش در معرض ریسک به‌عنوان سنجه ریسک بهره جسته و مدلی ارائه کرد که در آن هدف حداقل سازی ریسک بر اساس بازده معین و محدودیت بودجه‌بندی سرمایه‌ای بیان شد. و نتیجه‌گیری کرد که الگوریتم رقابت استعماری از کارایی، دقت و سرعت بیشتری نسبت به الگوریتم کلونی زنبورعسل برخوردار است. داودی و صدری(۱۳۹۷)، مدلی

1. Sharpe
2. Sortino
3. STARR
4. Information Ratio(IR)
5. Gray Wolf Optimization (GWO)
6. Fruit Fly Optimization Algorithm (FOA)
7. Firefly Algorithm (FA)

نمایاندند که در آن محدودیت ممنوعیت فروش استقراضی و باوجود هزینه‌های معاملاتی با استفاده از معیار کمینه‌سازی مجموع ارزش در معرض ریسک دوره‌ها، دیده شده و با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیوسته و تجمعی ذرات، نسبت به بهینه‌سازی سبد سهام اقدام کردند. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که در شرایط برابر از دید تعداد تکرار و تعداد جمعیت، کارایی الگوریتم بهینه‌سازی تجمعی ذرات، در حل مدل سبد سهام چند دوره‌ای بر اساس مجموع ارزش در معرض ریسک دوره‌ها از الگوریتم ژنتیک پیوسته بیشتر است. نشاطی‌زاده (۱۳۹۷)، در چارچوب الگوهای میانگین – نیم واریانس با مؤلفه‌های مقید، میانگین – انحرافات مطلق و میانگین – ارزش در معرض ریسک شرطی، با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک، توده ذرات، ترکیبی ژنتیک و توده ذرات، کرم شب‌تاب و الگوریتم رقابت استعماری[1] به حل چالش بهینه‌سازی سبد سهام پرداختند. نتایج این پژوهش، حاکی از آن است که الگوریتم‌های متاهیوریستیک برگزیده در بهینه‌سازی مقید پرتفوی سهام، عملکرد موفقی دارند. همچنین در الگوریتم توده ذرات، مدل میانگین - ارزش در معرض ریسک، نسبت به سایر مدل‌ها از دقت بهینه‌سازی بالاتری برخوردار است. کریمی و گودرزی دهریزی (۱۳۹۹)، اقدام به بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری با استفاده از معیار ارزش در معرض خطر مشروط مورد بررسی قرار داده و با استفاده از داده‌های ۸۰۰ روز از ۱۲ شرکت پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران به تشکیل سبد پرداخته و برای تخمین ارزش در معرض خطر مشروط از دو الگوریتم رقابت استعماری و ازدحام ذرات استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها گویای آن است که ریسک و بازدهی دو الگوریتم ازنظر آماری تفاوت معناداری ندارند، اما الگوریتم رقابت استعماری در زمان کوتاه‌تری به جواب بهینه می‌رسد. حیدری و همکاران (۱۴۰۰)، در پژوهش خود مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار بر مبنای معیار شارپ را به‌عنوان مدل پایه انتخاب کرده و ۱۵ چالش معین و با ابعاد مختلف توسط دو الگوریتم جهش قورباغه[2] مخلوط شده و ژنتیک که توسط روش تاگوچی[3] در بهینه‌ترین حالت خود قرارگرفته‌اند، حل کردند. نتایج آن‌ها حاکی از کارایی بالای هر دو الگوریتم در حل چالش بهینه‌سازی سبد سهام است، از نظر آماری تفاوت معناداری در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین دو الگوریتم یافت نشد اما با توجه به روش تاپسیس و روش آنتروپی، الگوریتم ژنتیک به‌عنوان الگوریتم برتر انتخاب شد.

---

1. Imperialist Competitive Algorithm
2. Shuffled Frog Leading Algorithm (SFLA)
3. Taguchi

مدل‌های پژوهش

در این پژوهش برای حل چالش بهینه‌سازی سبد سهام، از مدل پایه مارکویتز بهره جسته و دو مدل میانگین –واریانس و میانگین – درصد دارایی در معرض، ارائه و مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. تابع هدف در نظر گرفته‌شده در دو مدل، تابع دوهدفه کمینه‌سازی ریسک و بیشینه‌سازی بازده بوده و محدودیت‌های بودجه سرمایه‌ای، تعداد سهام (در این پژوهش برابر ۳۰ در نظر گرفته‌شده)، کران (در این پژوهش حداقل در صد سهام در سبد سهام برابر ۱ درصد نظر گرفته‌شده است)، حداقل درجه نقد شوندگی (در این پژوهش ۲۵ درصد در نظر گرفته‌شده) و محدودیت عدم وجود فروش استقراضی، بیان شده است.

مدل میانگین – واریانس

مدل دوهدفه میانگین –واریانس مورد استفاده در این پژوهش به دنبال کمینه کردن واریانس و بیشینه کردن میانگین بازده با نمایش محدودیت‌های یادشده به شرح زیر است.

$$\text{Min } \sigma_p^2 = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} x_i x_j \sigma_i \sigma_j \rho_{ij} = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} x_i x_j \sigma_{ij} \quad (۴)$$

$$\text{Max } \bar{r}_p = \sum x_j r_j \quad (۵)$$

$$st: \quad \sum x_i = 1 \quad (۶)$$

$$\sum z_i = 30 \quad (۷)$$

$$1\% \le x_i \le 99\% \quad (۸)$$

$$L_i \ge 25\% \quad (۹)$$

$$x_i \ge 0 \quad i = 1.2 \dots . n \quad (۱۰)$$

مدل میانگین – درصد دارایی در معرض ریسک

مدل دوهدفه میانگین – درصد دارایی در معرض ریسک مورد بررسی در این پژوهش که به دنبال بیشینه کردن میانگین بازدهی و کمینه کردن درصد دارایی در معرض ریسک به‌عنوان سنجه ریسک است، به شرح زیر نشان داده می‌شود.

$$pVaR_p = Z_\alpha * \sigma_p - r_p \quad (۱۱)$$

که با قرار دادن فرمول واریانس سبد در رابطه بالا خواهیم داشت.

$$pVaR_p = Z_\alpha \sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 \sigma_i^2 + 2 * \sum_{i=1}^{n} \sum_{j<i}^{m} x_i x_j \rho_{ij}\, \sigma_i\, \sigma_j} \; - \sum x_j r_j \qquad (۱۲)$$

$$pVaR_p = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i \sigma_i Z_\alpha)^2 + 2 * \sum_{i=1}^{n} \sum_{j<i}^{m} x_i x_j \rho_{ij}\, \sigma_i\, \sigma_j (Z_\alpha)^2} - \sum x_j r_j \qquad (۱۳)$$

با توجه به‌مراتب بالا مدل سوم به‌صورت زیر نشان داده می‌شود.

$$Min\ pVaR_p = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 (pVaR_i + r_i)^2 + 2 * \sum_{i=1}^{n} \sum_{j<i}^{n} x_i x_j (pVar_i + r_i) * (pVar_j + r_j) \rho_{ij}} - \sum_{i=1}^{n} x_i r_i \qquad (۱۴)$$

$$Max\ \bar{r}_p = \sum x_j r_j \qquad (۱۵)$$

$$st: \quad \sum x_i = 1 \qquad (۱۶)$$

$$\sum z_i = 30 \qquad (۱۷)$$

$$1\% \le x_i \le 99\% \qquad (۱۸)$$

$$L_i \ge 25 \qquad (۱۹)$$

$$x_i \ge 0 \quad i = 1.2 \ldots . n \qquad (۲۰)$$

که در آن:

σ_p^2: واریانس سبد

$\bar{r}_p$: بازده سبد

x_i : وزن دارایی iام

$pVaR_p$: درصد دارایی در معرض ریسک سبد

x_j: وزن دارایی jام

$pVaR_i$: درصد دارایی در معرض ریسک دارایی i ام

σ_i: واریانس دارایی i ام

$pVaR_j$: درصد دارایی در معرض ریسک دارایی jام

σ_j : واریانس دارایی jام

α : سطح اطمینان که در این پژوهش ۹۵ درصد در نظر گرفته‌شده

ρ_{ij}: ضریب همبستگی دارایی i ام و دارایی jام

L_i : ضریب نقد شوندگی دارایی i ام

σ_{ij}: کوواریانس دارایی i ام و دارایی jام

روش پژوهش

در این پژوهش ابتدا داده‌های ماهانه کلیه شرکت‌های پذیرفته‌شده در بازار اول بورس اوراق بهادار تهران بین سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۸ از نرم‌افزار نوین ره‌آورد بورس اوراق بهادار تهران گرفته شد. سپس از میان شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران که بین سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۸ فعالیت داشته‌اند، ۵۰ شرکت به شرح زیر انتخاب شدند:

- ابتدا وزن هر صنعت که از حاصل تقسیم تعداد شرکت‌های فعال در آن صنعت به‌کل شرکت‌های فعال در بورس اوراق بهادار تهران در سال ۱۳۹۱ است، محاسبه و در ادامه با توجه به وزن هر صنعت، تعداد شرکت‌های منتخب آن صنعت که می‌بایست موردبررسی قرار گیرند، از طریق رابطه (۲۱) تعیین شده است.

(۲۱) تعداد شرکت های منتخب هر صنعت = وزن صنعت *۵۰

- در مرحله بعد، با توجه به تعیین تعداد شرکت‌های منتخب هر صنعت، اقدام به انتخاب شرکت‌ها از میان صنایع مختلف به‌صورت تصادفی شد (شرط پذیرش شرکت‌ها به نحوی تعیین شد که حداکثر عدم وجود داده‌های ماهانه بیش از ۴ ماه متوالی نباشد).

لازم به بیان است روش انتخاب نمونه بالا به دلیل ایجاد تنوع لازم در سبد سهام انتخاب شده، به‌نحوی‌که امکان انتخاب سهام شرکت‌های فعال در صنایع مختلف وجود داشته باشد.

در ادامه به‌منظور بهینه‌سازی سبد سهام بر اساس هریک از مدل‌های میانگین - واریانس و میانگین – درصد دارایی در معرض ریسک توضیح داده‌شده، از الگوریتم‌های ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II، کلونی مورچگان چندهدفه و کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه که کد نویسی آن‌ها در محیط نرم‌افزار متلب[1] انجام‌شده، استفاده شد. همچنین برای تحلیل‌های آماری فرضیه‌های مورد پژوهش از نرم‌افزار SPSS[2] و برای سایر تجزیه‌وتحلیل‌ها نیز از نرم‌افزار اکسل استفاده‌شده است.

1. MATLAB
2. Statistical Package for Social Science (SPSS)

با توجه به اینکه جواب‌های حاصل از اجرای الگوریتم‌های فرا ابتکاری جواب دقیق نبوده، بنابراین در اجراهای مختلف جواب‌های مختلف حاصل می‌شود. پس اجرای چندین مرتبه هر الگوریتم به‌منظور یافتن بهترین جواب، امری ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی با افزایش تکرار در اجرای الگوریتم‌های فرا ابتکاری، پراکندگی جواب‌ها کمتر و همگرایی آن‌ها بیشتر می‌شود. بنابراین برای یافتن نتایج بهینه در هر مدل، هر یک از الگوریتم‌ها به تعداد ۵ مرتبه با تکرار ۱۰۰۰ و یک‌بار با تکرار ۵۰۰۰ اجرا، با یکدیگر مقایسه شده است.

با توجه به‌مراتب یادشده، یافتن بهترین جواب و یا بهترین اجرا از اهمیت به سزایی برخوردار است. ازاین‌رو در این پژوهش به منظور یافتن بهترین جواب یا بهترین اجرا از روش زیر استفاده شد:

بدین منظور میانگین نسبت شارپ به‌دست‌آمده از اجرای هر الگوریتم با معیارهای مقایسه‌ای الگوریتم‌های فرا ابتکاری در هر اجرا مورد مقایسه قرار گرفت. برای یافتن بهترین اجرا ناشی از معیارهای مقایسه‌ای الگوریتم‌های فرا ابتکاری، از روش تاپسیس با اوزان مساوی برای معیارهای یادشده (Time, NOS, MID, MD ,spacing) بهره‌جویی شد (تخصیص اوزان مساوی برای انتخاب بهترین اجرا به این دلیل است که جواب‌های حاصله کم و بیش همگرا بوده و به یکدیگر بسیار نزدیک هستند). بدین منظور بهترین اجرا حاصل از اجرای روش تاپسیس با بهترین اجرا حاصل از در نظر گرفتن بالاترین میانگین نسبت شارپ سبدهای پیشنهادی مورد مقایسه قرار گرفته و پارتویی که دارای بیشترین نرخ بازدهی به ازای مقدار مشخصی از ریسک باشد، انتخاب شده است.

به‌طورکلی برخلاف بهینه‌سازی تک‌هدفه، دو معیار اصلی شامل حفظ تنوع در بین جواب‌های پارتو و همگرایی به مجموعه جواب‌های پارتو را برای بهینه‌سازی چندهدفه می‌توان در نظر گرفت(دب[1]، ۲۰۰۱). بنابراین ۵ معیار مقایسه جهت ارزیابی الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه گفته می‌شود که عبارت‌اند از :

بیشترین گسترش[2]: این معیار که توسط زیتزلر[3] (۱۹۹۸) نشان داده شده و برابر با فاصله‌اقلیدسی بین دو جواب مرزی در فضای هدف است. هر چه این معیار بزرگ‌تر باشد، بهتر است.

فاصله‌گذاری[4] :این معیار که توسط اسکات[5](۱۹۹۵) نشان داده شده، بیان‌کننده میزان فاصله نسبی جواب‌های متوالی است. فاصله اندازه‌گیری شده برابر با کمترین مقدار مجموعه قدر مطلق

1. Deb
2. Maximum Spread or Diversity (MD)
3. Zitzler
۴ Spacing
5. Schott

تفاضل در مقادیر توابع هدف بین جواب iام و جواب‌های واقع در مجموعه نامغلوب نهایی است. این معیار هر چه کمتر باشد، پسندیده‌تر است.

تعداد جواب‌های پارتو[1] : این معیار نشان‌دهنده تعداد جواب‌های بهینه پارتو هستند که در هر الگوریتم می‌توان یافت. این معیار هر چه بیشتر باشد، مطلوب‌تر است(رحمتی[2]، ۲۰۱۳).

فاصله از جواب ایده آل[3] : این معیار نزدیک بودن راه‌حل‌های جبهه پارتو به یک نقطه ایده آل را که بیشتر نقطه$(0,0)$ نظر گرفته می‌شود، ارزیابی می‌کند. این معیار هر چه کمتر باشد مطلوب‌تر است(رحمتی، ۲۰۱۳).

زمان اجرا[4] : زمان اجرای الگوریتم یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در کارایی هر الگوریتم فرا ابتکاری است. هر چه این معیار کمتر باشد، مطلوب‌تر است.

از سوی دیگر نسبت شارپ[5] برای هر یک از سبدهای پیشنهادی در جبهه پارتو حاصل از اجرای هر الگوریتم با استفاده از رابطه ۲۲ محاسبه شد. در این پژوهش بازده بدون ریسک برابر ۱۸ درصد در سال در نظر گرفته شده است.

$$\text{نسبت شارپ} = \frac{\text{بازده سبد - بازده بدون ریسک}}{\text{انحراف معیار سبد}} \qquad (۲۲)$$

لازم به یادآوری است محاسبه نسبت شارپ برای سبدهای پیشنهادی در مدل میانگین واریانس به دلیل استفاده و مشخص بودن مقدار واریانس در این مدل، به‌راحتی قابل‌اندازه‌گیری بوده ولی به دست آوردن نسبت شارپ برای سبدهای پیشنهادی مدل میانگین – درصد دارایی در معرض ریسک پیشنهادی به دلیل مشخص نبودن مقدار واریانس هر سبد به‌راحتی قابل‌اندازه‌گیری نبود. بدین منظور ابتدا با توجه به درصد سرمایه‌گذاری مشخص‌شده هر سهم در هر سبد(x_i) های حاصل از اجرای هر الگوریتم و فرمول محاسبه واریانس (رابطه ۲۳)، واریانس سبد محاسبه شد.

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} x_i x_j \sigma_{ij} \qquad (۲۳)$$

با توجه به حجم بالای محاسبه واریانس سبدهای ۳۰ سهمی و پیچیدگی‌های محاسباتی آن، برای نیل به این مقصود از کد نویسی در محیط نرم‌افزار متلب استفاده شد. پس از محاسبه واریانس هر سبد، اقدام به محاسبه نسبت شارپ آن سبد شد.

---

1. Number of Solution (NOS)
2. Rahmati
3. Mean Ideal Distance (MID)
4. Time
5. Sharpe Ratio

تعیین پارامترهای الگوریتم‌های موردمطالعه

بدین منظور جواب‌های به‌دست‌آمده از اجرای چندین مرتبه الگوریتم‌های مورد پژوهش در شرایط تنظیم پارامتر مختلف، مورد بررسی قرارگرفته و درنهایت پارامترهایی که موجب ایجاد مطلوب‌ترین جواب شد، به‌عنوان پارامترهای نهایی هر یک از الگوریتم‌های ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II، کلونی مورچگان چندهدفه و کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه تعیین شده است.

پارامترهای الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II: اندازه جمعیت مورداستفاده در این پژوهش ۲۰۰ و تعداد نسل‌های در نظر گرفته‌شده برابر ۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ است. نرخ عملگر ضربدری ۰/۸ و نرخ نخبه‌گرایی و مهاجرت ۲٪ در نظر گرفته شده است.

پارامترهای الگوریتم کلونی مورچگان چندهدفه: تعداد مورچه‌ها برابر ۲۰۰ قرار داده می‌شود. ماکزیمم تعداد نسل‌ها برابر ۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ در نظر گرفته‌شده است. توان اثر فرومون در معادله تعیین احتمال انتخاب سهم بعدی است، ۱ قرار داده‌شده است. میزان نرخ تبخیر[1] برابر ۸٪ در نظر گرفته شده است.

پارامترهای الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه: تعداد منابع غذایی که با تعداد زنبورهای کارگر یا زنبورهای ناظر برابر ۲۰۰ در نظر گرفته شده است . حداکثر تعداد نسل‌ها[2] برابر ۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ قرار داده شده است. مقدار حد[3] برابر ۵ درصد تعداد نسل‌ها[4] در نظر گرفته شده است.

فرضیه‌های پژوهش

در این پژوهش با استفاده از میانگین نسبت شارپ که بیانگر بازدهی سبد سهام بوده، فرضیه‌های زیر گفته شد.

۱. بین میانگین نسبت شارپ سرمایه‌گذاری سبدهای سهام تشکیل‌شده بر مبنای الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه نسبت به سبدهای سهام تشکیل‌شده بر مبنای الگوریتم کلونی مورچگان چندهدفه تفاوت معنی‌داری وجود دارد.

---

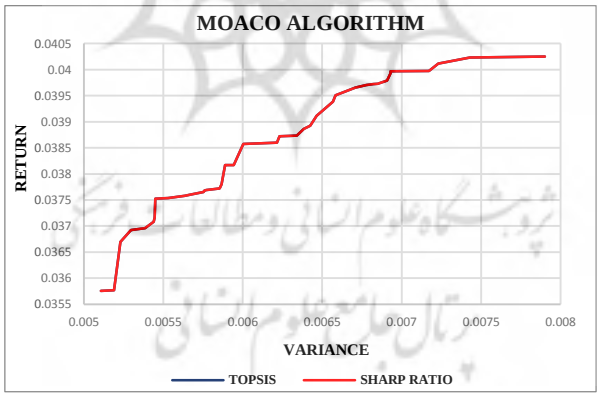
1. Evaporation Rate
2. Generation
3. Limith
4. Iteration

۲. بین میانگین نسبت شارپ سرمایه‌گذاری سبدهای سهام تشکیل‌شده بر مبنای الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه نسبت به سبدهای سهام تشکیل‌شده بر مبنای الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II تفاوت معنی‌داری وجود دارد.

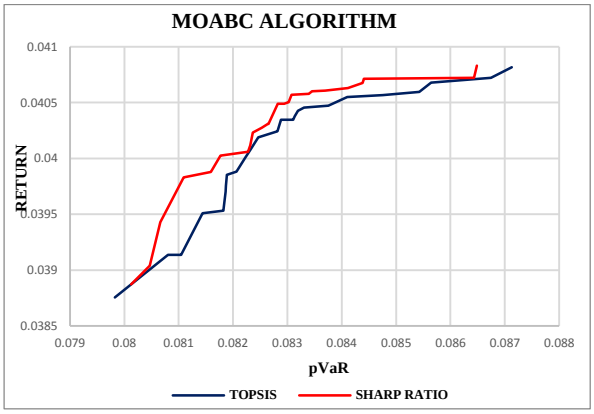
علاوه بر فرضیه‌های بالا به این پرسش که کدام‌یک از دو مدل میانگین- واریانس و میانگین- درصد دارایی در معرض ریسک در حل مسئله بهینه‌سازی سبد سهام دارای عملکرد بهتر هستند نیز، پاسخ داده شده است.

یافته‌های پژوهش

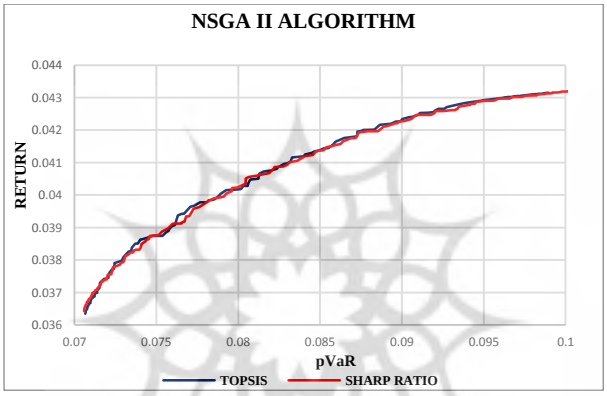
در این بخش از پژوهش ابتدا اقدام به انتخاب بهترین اجرا از میان تمامی اجراهای انجام‌شده هر الگوریتم در مدل‌های مورد پژوهش شده است. بدین منظور بهترین اجرا، حاصل از اجرای روش تاپسیس با بهترین اجرا حاصل از در نظر گرفتن بالاترین میانگین نسبت شارپ سبدهای پیشنهادی، مورد مقایسه قرارگرفته و پارتویی که دارای بیشترین نرخ بازدهی به ازای مقدار مشخصی از ریسک باشد، انتخاب می‌شود. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌های مورد پژوهش در دو مدل میانگین - واریانس و میانگین - درصد دارایی در معرض ریسک با تکرار ۱۰۰۰، در نمودارهای ۱ تا ۶ نشان داده شده است.



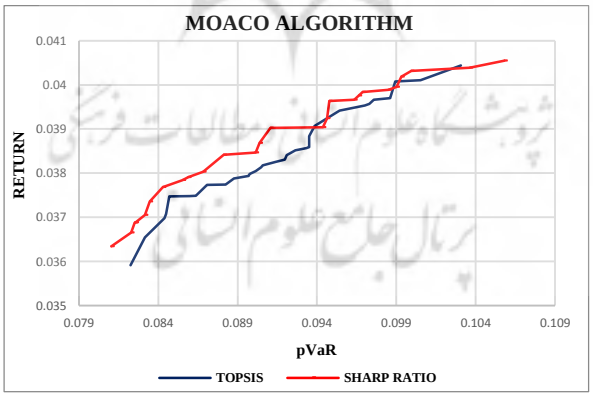
***نمودار ۱. مقایسه منحنی پارتو بهترین انتخاب ناشی از روش* TOPSIS *و نسبت شارپ در مدل* mean - var *با استفاده از الگوریتم* MOACO**



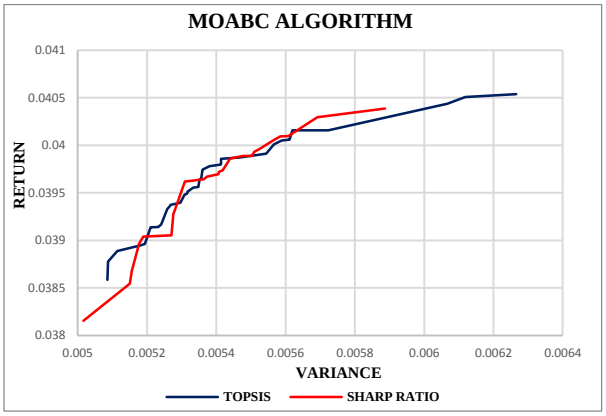
نمودار۲ . مقایسه منحنی پارتو بهترین انتخاب ناشی از روش **TOPSIS** ***و نسبت شارپ در مدل*** **mean - var** ***با استفاده از الگوریتم*** **MOABC**



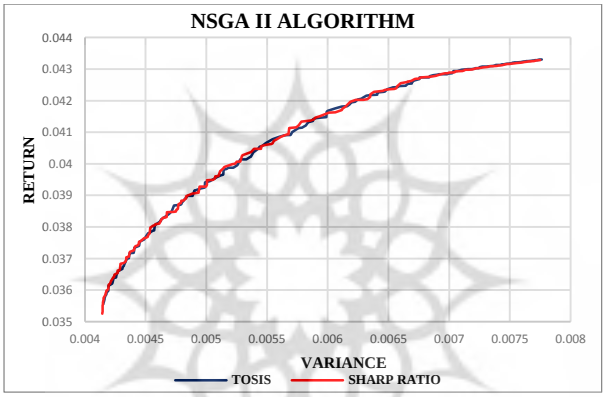
نمودار۳ . مقایسه منحنی پارتو بهترین انتخاب ناشی از روش **TOPSIS** ***و نسبت شارپ در مدل*** **mean - var** ***با استفاده از الگوریتم*** **NSGA II**



نمودار ٤. مقایسه منحنی پارتو بهترین انتخاب ناشی از روش **TOPSIS** ***و نسبت شارپ در مدل*** **mean - pVarR** ***با استفاده از الگوریتم*** **MOACO**



نمودار ٥ . مقایسه منحنی پارتو بهترین انتخاب ناشی از روش TOPSIS و نسبت شارپ در مدل mean - pVaR با استفاده از الگوریتم MOABC



نمودار ٦. مقایسه منحنی پارتو بهترین انتخاب ناشی از روش TOPSIS و نسبت شارپ در مدل mean - pVaR با استفاده از الگوریتم NSGA II

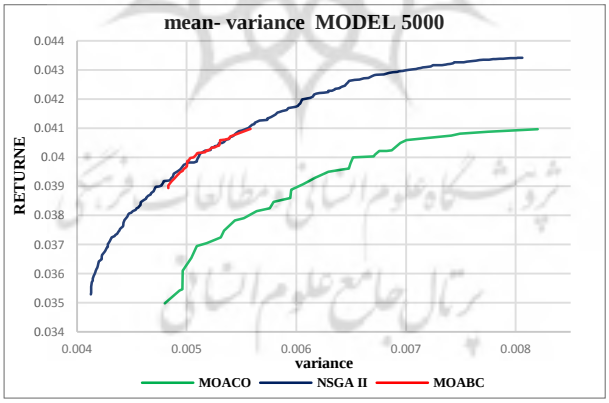
از بررسی نمودارهای ۱ تا ۶ می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد، انتخاب با نگرش برخورداری از بالاترین میانگین نسبت شارپ نسبت به انتخاب به روش تاپسیس با اوزان مساوی روی معیارهای مقایسه‌ای الگوریتم‌های فرا ابتکاری، به دلیل اینکه در غالب حالات دارای سطح زیر منحنی بالاتر در محدوده ریسک معین بوده و به ازای مقدار مشخصی از ریسک از بازده بالاتری برخوردار است، دارای اولویت بالاتری است. بنابراین برای مقایسه عملکرد هر یک از الگوریتم‌ها در مدل‌های مورد پژوهش، از اجرایی که دارای بالاترین میانگین نسبت شارپ است، استفاده می‌کنیم.

جدول ۱. سطح زیر منحنی پارتو انتخاب بهترین اجرا به روش تاپسیس و میانگین نسبت شارپ

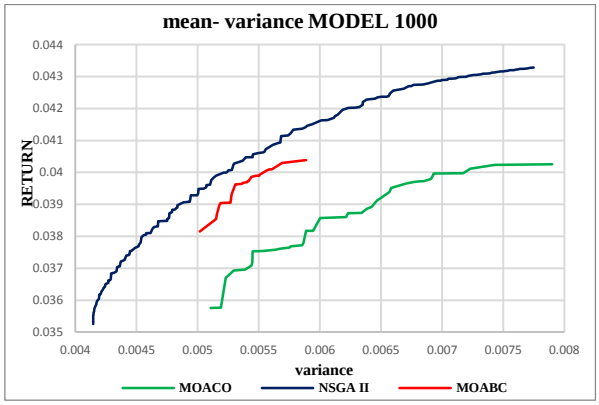
مدل	الگوریتم	میانگین نسبت شارپ	تاپسیس
میانگین-واریانس	الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II	۰/۰۰۰۱۴۷۴	۰/۰۰۰۱۴۷۴
	الگوریتم کلونی مورچگان چندهدفه	۰/۰۰۰۱۰۹	۰/۰۰۰۱۰۹
	الگوریتم و زنبور مصنوعی چندهدفه	۰/۰۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۰۲۶
میانگین-درصد دارایی در معرض ریسک	الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II	۰/۰۰۰۱۲۹	۰۰۰۱۲۸
	الگوریتم کلونی مورچگان چندهدفه	۰/۰۰۰۸۷۸	۰/۰۰۰۸۰۱
	الگوریتم و زنبور مصنوعی چندهدفه	۰/۰۰۰۲۶	۰/۰۰۰۲۳

مقایسه عملکرد الگوریتم‌های موردمطالعه در مدل میانگین- واریانس

به‌منظور بررسی و تجزیه‌وتحلیل عملکرد الگوریتم‌های مورد پژوهش در مدل میانگین-واریانس، ابتدا اقدام به‌رسم جبهه پارتو بهترین اجرا حاصل از انتخاب با لحاظ معیار میانگین نسبت شارپ در میان اجراهای هر یک از الگوریتم‌های یادشده در بالا در تکرار ۱۰۰۰ و اجرای هریک از الگوریتم‌های مورد پژوهش در تکرار ۵۰۰۰ در مدل یادشده به شرح نمودارهای ۷ و ۸ شد.



نمودار ۷. مقایسه منحنی پارتو حاصل از بهترین اجرای الگوریتم MOABC، MOACO و NSGA II در مدل mean - var در تکرار ۱۰۰۰



نمودار ۸. مقایسه منحنی پارتو حاصل از بهترین اجرای الگوریتم MOABC، MOACO، NSGA II در مدل mean - var در تکرار ۵۰۰۰

همان‌گونه که در نمودار ۷ مشخص است، جبهه پارتو حاصل از اجرای الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه به جبهه پارتو الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II نزدیک بوده ولی با جبهه پارتو حاصل از اجرای الگوریتم کلونی مورچگان چندهدفه فاصله دارد. به عبارتی میانگین بازدهی سبدهای سهام حاصل از اجرای الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه اندکی کمتر از میانگین بازدهی سبدهای سهام حاصل الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II در تکرار ۱۰۰۰ بوده و به نسبت از میانگین بازدهی سبدهای سهام حاصل از اجرای الگوریتم کلونی مورچگان چندهدفه بیشتر است. اما با بررسی نمودار ۸ چنین مشخص است که جبهه پارتو حاصل از اجرای الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه بر جبهه پارتو الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II در تکرار ۵۰۰۰ کم و بیش بر هم منطبق بوده، اما با جبهه پارتو حاصل از اجرای الگوریتم کلونی مورچگان چندهدفه در همین تکرار فاصله دارد به عبارتی میانگین بازدهی سبدهای سهام حاصل از اجرای الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه با میانگین بازدهی سبدهای سهام حاصل الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II در تکرار ۵۰۰۰ کمابیش برابر بوده و از میانگین بازدهی سبدهای سهام حاصل از اجرای الگوریتم کلونی مورچگان چندهدفه بیشتر است.

با توجه به اینکه در این پژوهش چالش بهینه‌سازی سبد سهام در دو تکرار ۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ حل شده است، پس فرضیه‌های پژوهش در هردو تکرار مورد آزمون قرار می‌گیرد.

جدول ۲. نتایج آزمون T در مدل میانگین- واریانس

شرح	MOABC		NSGA II		MOACO		سطح معناداری آزمون لون	سطح معناداری
	میانگین نسبت شارپ	تعداد	میانگین نسبت شارپ	تعداد	میانگین نسبت شارپ	تعداد		
سبدهای سهام حاصل از اجرای الگوریتم MOABC و NSGA II (تکرار ۱۰۰۰)	۰/۳۴۹۵	۲۶	۰/۳۵۰۹	۱۹۸	–	–	۰/۰۰۰	۰/۱۰۰
سبدهای سهام حاصل از اجرای الگوریتم MOABC و MOACO (تکرار ۱۰۰۰)	۰/۳۴۹۵	۲۶	–	–	۰/۳۱۲۷	۳۸	۰/۲۵۴	۰/۰۰۰
سبدهای سهام حاصل از اجرای الگوریتم MOABC و NSGA II (تکرار ۵۰۰۰)	۰/۳۶۵۵	۵۱	۰/۳۵۴۷	۱۹۷	–	–	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
سبدهای سهام حاصل از اجرای الگوریتم MOABC و MOACO (تکرار ۵۰۰۰)	۰/۳۶۵۵	۵۱	-	-	۰/۳۱۸۱	۳۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

با بررسی و تجزیه‌وتحلیل جدول ۲ می‌توان اذعان کرد، با توجه به اینکه سطح معناداری آزمون لون[1] کمتر از ۵ درصد بوده، درنتیجه فرض برابری واریانس‌ها دو جامعه رد می‌شود. از طرفی درصورتی‌که سطح معناداری آزمون تساوی میانگین با فرض نبود تساوی، کمتر از ۵ درصد باشد، حاکی از وجود تفاوت معنادار بین میانگین دو جامعه است و در غیر این صورت، بین میانگین دو جامعه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (مؤمنی و قیومی،۱۳۹۴) (آذر و مؤمنی، ۱۳۷۹).

بنابراین با توجه به سطح معناداری حاصله، در ارتباط با فرضیه اول در تکرارهای ۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ می‌توان بیان کرد که فرض H0 در سطح خطای ۵٪ پذیرفته می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، در مدل میانگین-واریانس، بین میانگین نسبت شارپ سرمایه‌گذاری سبدهای سهام تشکیل‌شده بر مبنای الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه نسبت به سبدهای سهام تشکیل‌شده بر مبنای الگوریتم کلونی مورچگان چندهدفه، در هر دو تکرار ۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ و در سطح خطای ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین در ارتباط با فرضیه دوم می‌توان بیان کرد، در تکرار ۱۰۰۰ فرض H0 در سطح خطای ۵٪ پذیرفته نشده ولی در تکرار ۵۰۰۰ فرض H0 پذیرفته می‌شود. به‌عبارت‌دیگر در مدل میانگین-واریانس، در سطح خطای ۵٪، در تکرار ۱۰۰۰ بین میانگین نسبت شارپ سرمایه‌گذاری سبدهای سهام تشکیل‌شده بر مبنای الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه نسبت به سبدهای سهام تشکیل‌شده بر مبنای الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، ولی در تکرار ۵۰۰۰ تفاوت معنی‌داری وجود دارد.

با توجه به موارد بالا می‌توان اذعان داشت بهبود عملکرد الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه به نسبت دو الگوریتم دیگر در قبال افزایش تکرار از نرخ بالاتری برخوردار است. از طرفی با این که میانگین نسبت شارپ سبدهای سهام حاصل از اجرای الگوریتم زنبور مصنوعی چندهدفه با یک تفاوت معنی‌دار بیشتر از میانگین نسبت شارپ سبدهای سهام حاصل از الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II در تکرار ۵۰۰۰ است، ولی منحنی پارتو آن‌ها کمابیش بر هم منطبق است که این امر می‌تواند ناشی از

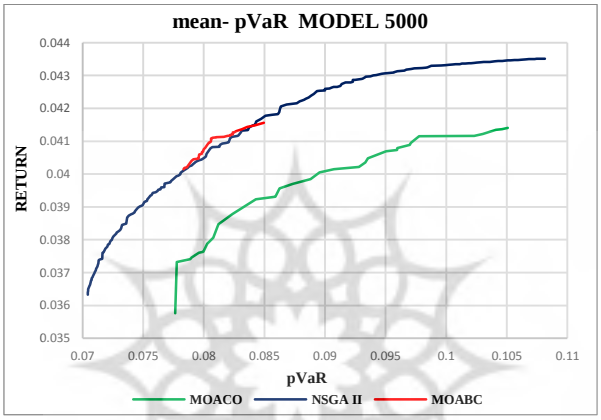
---

۱ Levene's Test

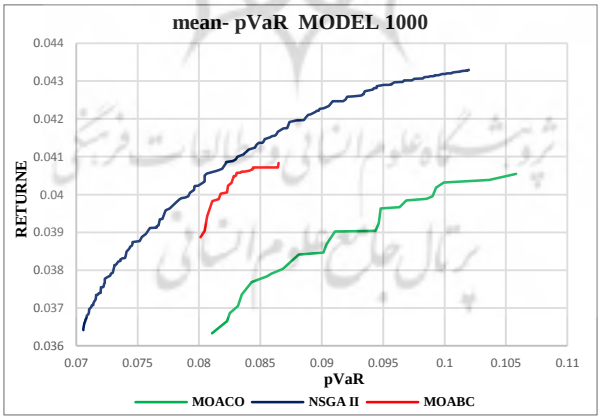
افزایش تورم و رشد سریع قیمت سهام و تغییرات احتمالی نرخ بهره بدون ریسک در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ باشد. به‌عبارت‌دیگر انتخاب دوره پژوهش می‌تواند بر نتایج حاصل از بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری تأثیرگذار باشد.

مقایسه عملکرد الگوریتم‌های موردمطالعه در مدل میانگین- درصد دارایی در معرض ریسک

به همین ترتیب به‌منظور بررسی جامع‌تر، عملیات بالا برای مدل میانگین – درصد دارایی در معرض ریسک انجام گرفت. ابتدا نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌های مورد پژوهش در دو تکرار ۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ به شرح در نمودارهای ۹ و ۱۰، سپس نتایج حاصل از آزمون فرض خروجی نرم‌افزار SPSS به شرح جدول ۳ تا ۹ نشان داده شده است.



نمودار ۹. مقایسه منحنی پارتو حاصل از بهترین اجرای الگوریتم* NSGA II، MOACO و MOABC *در مدل* mean - pVaR *در تکرار ۱۰۰۰



نمودار ۱۰. مقایسه منحنی پارتو حاصل از بهترین اجرای الگوریتم* NSGA II، MOACO و MOABC *در مدل* mean - pVaR *در تکرار ۵۰۰۰

نتایج حاصل از بررسی نمودار ۹ و ۱۰ که دربرگیرنده جبهه پارتو حاصل از اجرای الگوریتم‌های مورد پژوهش در مدل میانگین- درصد دارایی در معرض ریسک در تکرار ۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ است، به درستی مشابه با نتایج اجرای الگوریتم‌های بالا در مدل میانگین- واریانس در تکرارهای یادشده بوده و حاکی از آن است که در تکرار ۱۰۰۰، به ازای یک مقدار ثابت ریسک، میانگین بازدهی سبد سهام حاصل از اجرای الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه از میانگین بازدهی سبد سهام حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II اندکی کمتر و به نسبت از میانگین بازدهی سبد سهام حاصل از اجرای الگوریتم کلونی مورچگان چندهدفه بیشتر است و با افزایش تکرار و رسیدن به تکرار ۵۰۰۰، میانگین بازدهی سبد سهام حاصل از اجرای الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه، کمابیش مساوی و گاهی بیشتر از میانگین بازدهی سبد سهام حاصل الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II بیشتر است و این در حالی است که میانگین بازدهی سبد سهام حاصل از اجرای الگوریتم کلونی مورچگان چندهدفه از دو الگوریتم دیگر کمتر است.

جدول ۳. نتایج آزمون T در مدل میانگین- درصد دارایی در معرض ریسک

شرح	MOABC		NSGA II		MOACO		سطح معناداری آزمون لون	سطح معناداری
	میانگین نسبت شارپ	تعداد	میانگین نسبت شارپ	تعداد	میانگین نسبت شارپ	تعداد		
سبدهای سهام حاصل از اجرای الگوریتم MOABC و NSGA II (تکرار ۱۰۰۰)	۰/۳۵۳۱	۲۴	۰/۳۵۱۹	۱۹۱	–	–	۰/۰۰۰	۰/۱۵۲
سبدهای سهام حاصل از اجرای الگوریتم MOABC و MOACO (تکرار ۱۰۰۰)	۰/۳۵۳۱	۲۴	–	–	۰/۳۱۴۶	۲۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰
سبدهای سهام حاصل از اجرای الگوریتم MOABC و NSGA II (تکرار ۵۰۰۰)	۰/۳۶۶۲	۴۲	۰/۳۵۴۲	۱۹۷	–	–	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
سبدهای سهام حاصل از اجرای الگوریتم MOABC و MOACO (تکرار ۵۰۰۰)	۰/۳۶۶۲	۴۲	-	-	۰/۳۲۷۴	۳۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

نتایج آزمون فرض فرضیه‌های پژوهش در مدل میانگین- درصد دارایی در معرض ریسک کاملاً مشابه مدل میانگین- واریانس بوده و حاکی از آن‌است که در مدل یادشده نیز بین میانگین نسبت شارپ سرمایه‌گذاری سبدهای سهام تشکیل‌شده بر مبنای الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه نسبت به سبدهای سهام تشکیل‌شده بر مبنای الگوریتم کلونی مورچگان چندهدفه، در هر دو تکرار ۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ و در سطح خطای ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین در سطح خطای ۵٪، در تکرار ۵۰۰۰

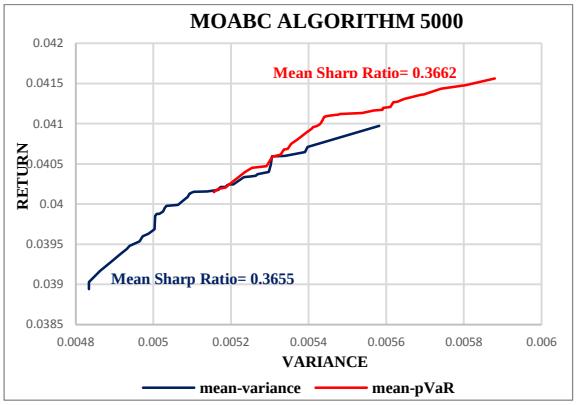
بین میانگین نسبت شارپ سرمایه‌گذاری سبدهای سهام تشکیل‌شده بر مبنای الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه نسبت به سبدهای سهام تشکیل‌شده بر مبنای الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II تفاوت معنی‌داری وجود داشته، لیکن در تکرار ۱۰۰ این تفاوت معنی‌دار است.

بنابراین با توجه به موارد یادشده، با افزایش تکرار در اجرای الگوریتم زنبور مصنوعی چندهدفه میانگین بازدهی سبدهای سهام تشکیل‌شده حاصل از اجرای این الگوریتم با سبدهای سهام، با الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II هم‌خوانی داشته و گاهی در پاره‌ای از موارد نیز بیشتر است. از طرفی جبهه پارتو حاصل از الگوریتم زنبور مصنوعی چندهدفه به نسبت الگوریتم کلونی مورچگان چندهدفه و الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II، با توجه به ساختار هر الگوریتم، دامنه محدودتری از ریسک را در بر می‌گیرد. به عبارتی می‌توان نتیجه‌گیری کرد انتخاب و بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم زنبور مصنوعی چندهدفه، عملکرد قابل قبولی داشته و با افزایش تکرار این الگوریتم، عملکرد آن نیز افزایش‌یافته و در دامنه مشابهی از ریسک دارای نتایج بهینه‌تری نسبت به الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II خواهد بود. ولی در تکرارهای پایین عملکرد الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II مطلوب‌تر و قابل‌قبول‌تر است.

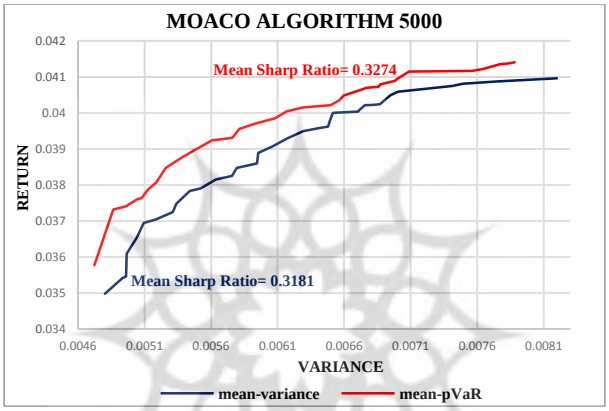
مقایسه معیارهای واریانس و درصد دارایی در معرض ریسک

در ادامه به بررسی کارایی دو معیار متفاوت واریانس و درصد دارایی در معرض ریسک به‌عنوان سنجه‌های ریسک مورد پژوهش پرداخته، بدین منظور میانگین نسبت شارپ سبدهای سهام حاصل از اجرای الگوریتم‌های مورد پژوهش در هر دو مدل میانگین- واریانس و میانگین-درصد دارایی در معرض ریسک در تکرارهای ۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ با یکدیگر مقایسه شده است.

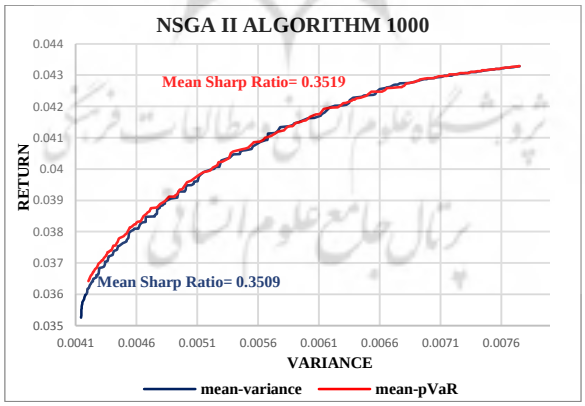
با توجه به اینکه معیار ریسک در دو مدل بالا یکسان نبوده، از این رو ابتدا واریانس مشابه نقاط بهینه هر یک از سبدهای سهام حاصل از اجرای الگوریتم‌های موردمطالعه در مدل میانگین-درصد دارایی در معرض ریسک از رابطه ۲۲ محاسبه می‌شود (همان‌گونه که بیان شد برای این منظور از کد نویسی در محیط نرم‌افزار متلب استفاده شد). سپس با توجه به واریانس محاسبه‌شده نقاط نظیر pVaRهای به‌دست‌آمده از اجرای هر یک از الگوریتم‌ها در تکرار ۱۰۰۰ و ۵۰۰۰، اقدام به رسم جبهه پارتو در الگوی استاندارد میانگین- واریانس در هر یک از الگوریتم‌های موردبررسی به شرح نمودارهای ۱۱ تا ۱۶ شد.



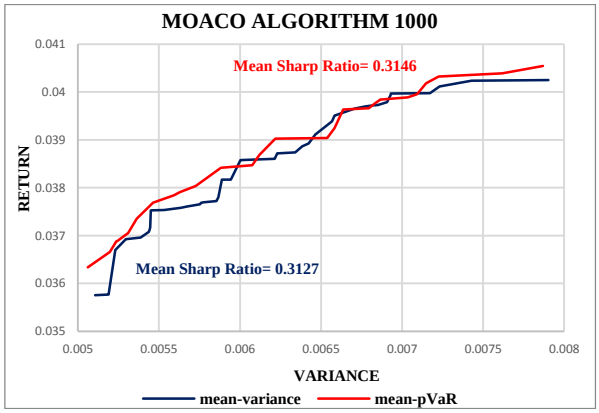
نمودار ۱۱. مقایسه میانگین بازدهی حاصل ازاستفاده مدل mean – var و mean – pVaR در الگوریتم MOABC در تکرار ۱۰۰۰



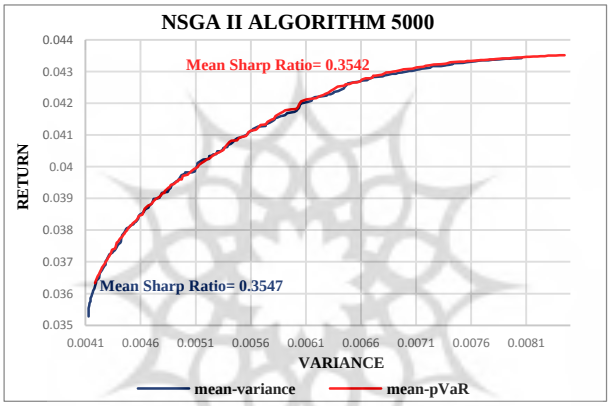
نمودار ۱۲. مقایسه میانگین بازدهی حاصل ازاستفاده مدل mean – var و mean – pVaR در الگوریتم MOACO در تکرار ۱۰۰۰



نمودار ۱۳. مقایسه میانگین بازدهی حاصل ازاستفاده مدل mean – var و mean – pVaR در الگوریتم NSGA II در تکرار ۱۰۰۰



نمودار ۱۵. مقایسه میانگین بازدهی حاصل ازاستفاده مدل mean – var و mean – pVaR در الگوریتم MOBCO در تکرار ۵۰۰۰



نمودار ۱۶. مقایسه میانگین بازدهی حاصل ازاستفاده مدل mean – var و mean – pVaR در الگوریتم NSGA II در تکرار ۵۰۰۰

با بررسی منحنی‌های (۱۱) تا (۱۶) می‌توان نتیجه‌گیری کرد که جبهه پارتو حاصل از مدل میانگین- درصد دارایی در معرض ریسک بر جبهه پارتو حاصل از مدل میانگین- واریانس در هر سه الگوریتم مورد پژوهش و در هر دو تکرار، چیرگی دارد. به عبارتی، استفاده از معیار درصد دارایی در معرض ریسک در مقایسه با واریانس در بهینه‌سازی سبدهای سهام در هر دو تکرار موردبررسی با استفاده از الگوریتم‌های مورد پژوهش به دلیل دارا بودن میانگین بازدهی بالاتر به ازای ریسک معین و نسبت شارپ بالاتر، از مطلوبیت بالاتری برخوردار است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به حل چالش بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II، کلونی مورچگان چندهدفه و زنبور مصنوعی چندهدفه پرداخته و ضمن بررسی مدل میانگین واریانس به موضوع ارزش در معرض ریسک از منظری دیگر پرداخته و مدل میانگین – درصد دارایی در معرض ریسک که در آن محدودیت‌های کاردینالیتی و محدودیت تعداد سهام، محدودیت کران و محدودیت حداقل درجه نقد شوندگی لحاظ شده، نشان داده شد. در ادامه عملکرد الگوریتم مورد پژوهش در دو تکرار ۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. سپس به بررسی عملکرد معیارهای واریانس و درصد دارایی در معرض ریسک به‌عنوان سنجه‌های مختلف ریسک در بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم‌های مورد پژوهش پرداخته، که نتایج آن به شرح زیر است.

در تکرار ۱۰۰۰، عملکرد الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II نسبت به الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه در حل مسئله بهینه‌سازی سبد سهام در هر دو مدل میانگین- واریانس و میانگین- درصد دارایی در معرض ریسک به دلیل برخورداری بازده بیشتر به ازای یک مقدار معین ریسک و میانگین نسبت شارپ بالاتر، بهتر است و در همین راستا عملکرد الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه نسبت به الگوریتم کلونی مورچگان چندهدفه در حل مسئله بهینه‌سازی سبد سهام در هر دو مدل مورد پژوهش بهتر است. به‌عبارت‌دیگر در حل چالش بهینه‌سازی سبد سهام و در تکرار پایین استفاده از الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II به نسبت الگوریتم‌های کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه و کلونی مورچگان چندهدفه از شایستگی بالاتری برخوردار است. با افزایش تکرار در اجرای هریک از الگوریتم‌های مورد پژوهش و رسیدن به تکرار ۵۰۰۰، عملکرد آن‌ها بهبودیافته، ولی نرخ افزایش بهبود آن‌ها یکسان نبوده، به‌نحوی‌که جبهه پارتو حاصل از اجرای الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه به نسبت جبهه پارتو حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II به ازای ریسک مشخص در سطح برابر و گاهی بالاتر از بازده قرار دارد. از طرفی میانگین نسبت شارپ سبدهای سهام حاصل از اجرای الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه با یک تفاوت معنادار بیشتر از میانگین نسبت شارپ سبدهای سهام حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II است و این بیانگر آن است که در تکرار بالا، استفاده از الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه به نسبت الگوریتم‌های ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II و کلونی مورچگان چندهدفه از شایستگی بالاتری برخوردار است.

به‌عبارت‌دیگر برتری الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه نسبت به الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II در حل مسئله بهینه‌سازی سبد سهام وابسته به تعداد تکرار در اجرای الگوریتم بوده و رابطه مستقیم با تعداد اجرای الگوریتم دارد.

در انتخاب بهترین اجرا از میان اجراهای مختلف الگوریتم‌های فرا ابتکاری (به‌دلیل عدم دقت جواب‌های حاصل از الگوریتم‌های فرا ابتکاری)، استفاده از معیار نسبت شارپ به نسبت استفاده از روش تاپسیس با اوزان مساوی روی معیارهای ارزیابی مقایسه‌ای الگوریتم‌های فرا ابتکاری در بهینه سازی سبد سهام از مطلوبیت بالاتری برخوردار است

سبدهای سهام تشکیل‌شده حاصل از اجرای الگوریتم‌های ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب II، کلونی مورچگان چندهدفه و کلونی زنبور مصنوعی چندهدفه در مدل میانگین- درصد دارایی در معرض ریسک در مقایسه با مدل میانگین- واریانس، به دلیل به برخورداری از میانگین بازدهی بالاتر به ازای ریسک معین و میانگین نسبت شارپ بالاتر، از شایستگی بالاتری برخوردار است. که نمایانگر برتری استفاده از معیار درصد دارایی در معرض ریسک نسبت به واریانس در بهینه‌سازی سبد سهام دارد.

پیشنهادهای پژوهش

موارد زیر برای استفاده پژوهشگران در پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌شود:

- ✓ بررسی اثر انتخاب دوره پژوهش بر حل چالش بهینه‌سازی سبد سهام بر اساس معیار متفاوت ریسک با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری؛
- ✓ استفاده از سایر معیارهای ارزیابی سبد سهام مانند سورتینو، ترینر و ... و بررسی و مقایسه آن‌ها با یکدیگر با استفاده از الگوریت‌های فرا ابتکاری؛
- ✓ استفاده از سری‌های زمانی برای پیش‌بینی بازده هر سهم جهت جایگزینی با میانگین بازدهی در مدل‌های مختلف بهینه‌سازی سبد سهام و مقایسه پرتفوی به‌دست‌آمده با پرتفوی حاصل از مدل‌های بهینه‌سازی سبد سهام که در آن‌ها از میانگین بازدهی استفاده شده است.

منابع

آذر، عادل؛ مؤمنی، منصور. (۱۳۷۹)، *آمار و کاربرد آن در مدیریت(تحلیل آماری)*، جلد دوم، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).

اسلامی بیدگلی، غلامرضا؛ طیبی ثانی، احسان. (۱۳۹۳)، «بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری بر اساس ارزش در معرض ریسک با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان» . *فصلنامه دانش سرمایه‌گذاری*، ۳(۱۰)، ۱۲۲-۱۰۱.

توکلی، رضا؛ نوروزی، نرگس؛ کلامی، مصطفی؛ سلامت بخش، علیرضا. (۱۳۹۲)، *الگوریتم‌های فرا ابتکاری مبانی نظری و پیاده‌سازی در متلب*. تهران : انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی- تهران جنوب.

جونز، چارلز. پی. (۱۳۹۲)، *مدیریت سرمایه‌گذاری*، ترجمه و اقتباس رضا تهرانی و عسگر نوربخش، تهران: نشر نگاه دانش. چاپ یازدهم.

حیدری، محمد سعید؛ ولیدی، جواد؛ ابراهیمی، سید بابک. (۱۴۰۰)، «بهینه‌سازی سبد سهام مبتنی بر مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و جهش قورباغه مخلوط‌شده»، *فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار*، ۱۲(۴۷)، ۵۸۶-۵۶۴.

داودی، سید محمدرضا؛ صدری، ابوالفضل. (۱۳۹۷)، «مقایسه الگوریتم‌های فرا ابتکاری در ارائه مدل بهینه سبد سهام چند دوره‌ای بر اساس معیار ارزش در معرض ریسک» ، *فصلنامه بورس اوراق بهادار*، ۱۱(۴۱)، ۱۵۲-۱۲۱.

دب،ک. (۱۳۸۷)، *الگوریتم‌های ژنتیک با رویکرد بهینه یابی چندهدفه*، ترجمه جعفر رضایی و منصور داودی منفرد، چاپ اول، انتشارات پلک.

راعی، رضا؛ علی، سعیدی. (۱۳۹۶)، *مبانی مهندسی مالی و مدیریت ریسک*، تهران، انتشارات سروشگان.

رایلی، فرانک کی؛ براون، کیت. (۱۳۹۶)، *تجزیه‌وتحلیل سرمایه‌گذاری و مدیریت سبد سهام*، ترجمه غلامرضا اسلامی بیدگلی، فرشاد هیبتی، فریدون رهنمای رودپشتی، چاپ اول، تهران، انتشارات پژوهشکده امور اقتصادی.

رحمانی، محمود؛ خلیلی عراقی، مریم؛ نیکومرام، هاشم. (۱۳۹۹)، «انتخاب سبد سهام با بکارگیری الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور و مقایسه‌ی آن با الگوریتم های ژنتیک و مورچگان»، *دانش مالی تحلیل اوراق بهادار*، ۳(۴۵)، ۴۶-۳۱.

سینایی، حسنعلی؛ زمانی، سعید. (۱۳۹۳).، «تصمیم‌گیری برای انتخاب سبد سهام؛ مقایسه‌ی الگوریتم‌های ژنتیک و زنبورعسل»، *پژوهشنامه‌ی مدیریت اجرایی*، ۶(۱۱).

فلاح شمس، میر فیض؛ عبداللهی، احمد؛ مقدسی، مطهره. (۱۳۹۲).، «بررسی عملکرد معیارهای متفاوت ریسک در انتخاب و بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم مورچگان در شرکت‌های

پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران» ، *فصلنامه راهبرد مدیریت مالی دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی*، ۱(۲).

قاسمی، جمال؛ سروه، فرزاد. (۱۳۹۸)، «مروری بر کاربرد الگوریتم‌های فرا ابتکاری در مباحث مالی»، *بررسی‌های بازرگانی*، ۱۷(۹۶)، ۷۷-۵۶.

کریمی، آرزو؛ گودرزی دهریزی، سارا. (۱۳۹۹)، «بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری (ICA) و الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) تحت معیار ریسک ارزش در معرض خطر مشروط (CVaR)»، *فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار*، ۱۱(۴۵)، ۴۴۴-۴۲۳.

محمدی، عمران؛ محمدی، سید عرفان؛ رامتین نیا، شاهین. (۱۳۹۵)، «بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم جست‌وجوی ارگانیسم‌های همزیست»، *فصلنامه تحقیقات مالی دانشکده مدیریت دانشگاه تهران*، ۱۸(۲)، ۳۹۰-۳۶۹.

مؤمنی، منصور؛ فعال قیومی، علی. (۱۳۹۴)، *تحلیل‌های آماری با استفاده از SPSS*. تهران، چاپ گنج شایگان، ویرایش سوم .

نشاطی زاده، لعیا. (۱۳۹۷)، بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم‌های متاهیوریستیک با در نظر گرفتن محدودیت حداقل حداکثر سهام. رساله دکتری (PhD) رشته اقتصاد مالی، *دانشگاه ارومیه، گروه اقتصاد، شهریورماه ۹۷*.

نصرالله زاده کپری، طاهره، (۱۳۹۴)، « بهینه‌سازی سبد سهام به کمک الگوریتم ICA و مدل ارزش در معرض خطر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد- مالی، *دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز ، دانشکده مدیریت گروه مدیریت صنعتی*.

یقینی، مسعود؛ اخوان کاظم‌زاده، محمدرحیم. (۱۳۸۹). *الگوریتم‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری*. تهران، انتشارات جهاد دانشگاهی امیرکبیر.

Azar, Adel., Momeni, Mansour., (2000), Statistics and its application in management (statistical analysis), Volume 2, Organization for the Study and Compilation of University Humanities Books (Position). (In Persian).

Chen, W., (2015) "Artificial bee colony algorithm for constrained possibilistic portfolio optimization problem". *PHYSICA A Statistical Mechanics and its Applications*, Volume 429(C), 125-139, Doi:10.1016/j.physa.2015.02.060.

Davoodi, Seyed Mohammad Reza., Sadri, Abolfazl, (2019), "Comparison of meta-innovative algorithms in presenting the optimal model of multi-cycle stock portfolio based on risk-value criteria", Quarterly Journal of the Stock Exchange, 11 (41), 152 -121. (In Persian).

Deb, K., (2001), *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*, United States, Wiley.

Deb, K., (2008), Genetic algorithms with multi-objective optimization approach, translated by Jafar Rezaei and Mansour Davoodi Monfared, first edition, Palak Publications.

DeMiguel, V., Mei, X., Nogales, F.J., "Multiperiod portfolio optimization with multiple risky assets and general transaction costs", *Journal of Banking & Finance*, 2016, **69**(C), 108-120. Doi:10.1016/j.jbankfin.2016.04.002

Eslami Bidgoli, Gholamreza., Taybi Sani, Ehsan., (2014), "Optimization of investment portfolio based on value at risk using ant colony algorithm". Investment Knowledge Quarterly, 3 (10), 122-101. (In Persian).

Fallah Shams, Mir Feyz., Abdollahi, Ahmad., Moghaddasi, Motahara., (2013)., "Study of the performance of different risk criteria in selecting and optimizing the portfolio using the ant algorithm in companies listed on the Tehran Stock Exchange" , Quarterly Journal of Financial Management Strategy, Faculty of Social and Economic Sciences, 1 (2). (In Persian).

Ghasemi, Jamal., Sarveh, Farzad., (2020), "A review of the application of meta-innovative algorithms in financial discussions", Business Studies, 17 (96), 77-56. (In Persian).

Heidari, Mohammad Saeed., Walidi, Javad., Ebrahimi, Seyed Babak., (2021), "Stock portfolio optimization based on a feasibility-based planning model using genetic algorithms and mixed frog mutation", Quarterly Journal of Financial Engineering and Securities Management, 12 (47), 586-564. (In Persian).

Jones, Charles. P., (2013), Investment Management, Translation and Adaptation by Reza Tehrani and Asgar Nourbakhsh, Tehran: Negah Danesh Publishing. Eleventh edition.

Kalayci, Can B., (2016), "An application of artificial bee colony algorithm to cardinality constrained portfolio optimization problem", *Conference: Proceedings of 76th The IIER International Conference*, At Tokyo, Japan.

Karimi, Arezoo, Goodarzi, Dehrizi, Sara, (2016), "Stock Portfolio Optimization Using Colonial Competition Algorithm (ICA) and Particle Swarm Algorithm (PSO) under Conditional Risk Value (CVaR)" Quarterly Financial Engineering and Securities Management, 11 (45), 444-423. (In Persian).

Kaucic, M., Moradi, M., Mirzazadeh, M., (2019), "Portfolio optimization by improved NSGA-II and SPEA 2 based on different risk measures", *Financial Innovation*, 5(26), DOI:10.1186/s40854-019-0140-6. (In Persian).

López-Ibáñez, Manuel., Stützle, Thomas., (2012), "The Automatic Design of Multi-Objective Ant Colony Optimization Algorithms", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 16(6), 861–875, DOI: 10.1109/TEVC.2011.2182651.

Mansini, R.., Ogrycsak, W., Speranza, M.G., (2014), "Twenty years of linear programming based portfolio optimization", *European Journal of Operational Research*, 234(2), 518-535, Doi:10.1016/j.ejor.2013.08.035.

Markowitz, H., (1952), "Portfolio Selection". *The journal of finance*, 7(1), 77-91, Doi: 10.2307/2975974.

Mohammadi, Imran., Mohammadi, Seyed Erfan., Ramtin Nia, Shahin., (2016), "Optimization of the stock portfolio using the search algorithm of coexisting

organisms", Quarterly Journal of Financial Research, School of Management, University of Tehran, 18 (2), 390 -369. (In Persian).

Momeni, Mansour., Activist Qayyumi, Ali., (2015), Statistical analysis using SPSS. Tehran, Shaygan Treasure Press, Third Edition. (In Persian).

Nasrollahzadeh Kopri, Tahereh, (2015), "Stock portfolio optimization using ICA algorithm and at-risk value model", M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, School of Management, Department of Industrial Management. (In Persian).

Neshatizadeh, Laia, (2019), stock portfolio optimization using metaheuristic algorithms considering the minimum maximum stock limit. PhD Thesis in Financial Economics, Urmia University, Department of Economics, September 1997. (In Persian).

Rahmani, Mahmoud., Khalili Iraqi, Maryam., Nikomram, Hashem., (2020), "Selection of stock portfolio using artificial bee colony algorithm and its comparison with genetic and ant algorithms", Financial Knowledge of Securities Analysis, 3 (45), 46-31. (In Persian).

Rahmati, SH., Zandieh, M., Yazdani, M., (2013), "Developing two multi-objective evolutionary algorithms for the multi-objective flexible job shop scheduling problem", *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, 64(5), 915-932, Doi: 10.1007/s00170-012-4051-1. (In Persian).

Rai, Reza., Ali, Saeedi., (2017), Fundamentals of Financial Engineering and Risk Management, Tehran, Soroushgan Publications. (In Persian).

Riley, Frank K., Brown, Keith, (2017), Investment Analysis and Portfolio Management, Translated by Gholamreza Eslami Bidgoli, Farshad Hibati, Fereydoon Rahnamai Rudpashti, First Edition, Tehran, Research Institute of Economic Affairs.

Schott, JR. (1995), "Fault tolerant design using single and multicriteria genetic algorithms optimization", Master's thesis, *Massachusetts Institute of Technology*, Cambridge, MA, (1995).

Sinaei, Hassan Ali., Zamani, Saeed., (2014)., "Decision to select the stock portfolio; Comparison of Genetic Algorithms and Bees ", Journal of Executive Management, 6 (11). (In Persian).

Tavakoli, Reza., Norouzi, Narges., Kalami, Mostafa., Salamatbakhsh, Alireza., (2013), Ultra-Innovative Algorithms of Theoretical Foundations and Implementation in MATLAB. Tehran: Islamic Azad University Publications - South Tehran. (In Persian).

Tuba, M., Pelevic, B., Bacanin, N., (2013), "Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm for Portfolio Optimization Problem", *Recent Researches in Medicine, Biology and Bioscience*, ISBN: 978-960-474-326-1. (In Persian).

Yaghini, Massoud., Akhavan Kazemzadeh, Mohammad Rahim., (2011). Trans-innovative optimization algorithms. Tehran, Amirkabir University Jihad Publications. (In Persian).

Zanjirdar M., (2020), "Overview of Portfolio Optimization Models", *Advance in mathematical finance*, 5(4), 419-435, Doi: 10.22034/amfa.2020.1897346.1407. (In Persian).

Zhai, Q., Haung, M., Feng, S., Li, H., (2020), "Whale optimization algorithm for multiconstraint second-order stochastic dominance portfolio optimization", *Computational Intelligence and Neuroscience*, Volume 2020, Article ID 8834162, Doi.org/10.1155/2020/8834162.

Zitzler E., (1998), "Thiele L. Multiobjective optimization using evolutionary algorithms a comparative case study, In A.E. Eiben, T. Back, M. Schoenauer and H.P. Schwefel (Eds.)", *Fifth International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (PPSN-V)*, Berlin, Germany, (1998), 292-301.

Zou, W., Zhu, Y., Chen, H. Zhang, B., (2011), "Solving Multiobjective Optimization Problems Using Artificial Bee Colony Algorithm", *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2011(2), Doi:10.1155/2011/569784.

COPYRIGHTS

© 2022 Securities and Exchange Organization, Tehran, Iran.This license lets others remix, tweak, and build upon your work non-commercially, and although their new works must also acknowledge you and be non-commercial, they don't have to license their derivative works on the same terms.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی