Journal of Decisions & Operations Research

Volume 5, Issue 4, Winter 2020

Journal of Decisions and Operational Research

www.journal-dmor.ir

Journal of Decisions & Operations Research, Volume 5, Issue 4, Winter 2020, Page: 426-445

Predicting the Optimal Stock Portfolio Approach of Meta-Heuristic Algorithm and Markov Decision Process

Samiran Khajehzadeh[1], Shadi Shahverdiani[2,*], Amir Daneshvar[3], Mahdi Madanchi Zaj[4]

[1]PhD student in Financial Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
[2]Assistant Professor in Department of Business Management, Shahr-e-Qods Branch , Islamic Azad University, Tehran, Iran.
[3]Assistant Professor in Department of Information Technology Management, Management Faculty, Electronic Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
[4]Assistant Professor in Department of Financial Management, Management Faculty, Electronic Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract

One of the most attractive areas for decision-making in the face of uncertainty is optimal stock portfolio. In decision making for investment, two factors are very important and are the basis of investment. These two factors are risk and return, and in this regard, the study and study of investors to select the best investment portfolio is done according to the amount of risk and its return. A portfolio is a combination of assets formed by an investor to invest. The process of selecting a stock portfolio is one of the issues that have been the focus of many researchers. The aim of this study is to create an optimal stock portfolio using the predicted data. The statistical sample of the research includes the financial data of Iranian stock exchange companies during the years 1390 to 1397. In this study, using stock regression algorithm to predict stock returns, and finally using Markov method and spectral clustering algorithm, the necessary filter to select the appropriate initial data was performed and cultural meta-processing method with prediction data, It provided the optimal portfolio of stocks for the investor group with risk-taking as well as risk-averse. The research results show that the cultural transcendental algorithm, according to Sharp's method, has the ability to create an optimal stock portfolio using predicted data using the Marquis method for venture capitalists and risk averse investors.

Keywords: Optimal stock portfolio, Stock return, Meta-heuristic metacognitive algorithm, Spectral clustering algorithm, Markov method.

Original-Application Paper

Receive: 08/10/2020 Review: 20/10/2020 Revise: 08/11/2020 Accept: 16/12/2020

Citation:

Khajehzadeh, S., Shahverdiani, Sh., Daneshvar, A., & Madanchi Zaj, M. (2020). Predicting the optimal stock portfolio approach of meta-heuristic algorithm and Markov decision process. *Decisions & operations research*, *5*(4), 426-445.

*** Corresponding Author**

Email Address: shshahverdiani@gmail.com

DOI: 10.22105/dmor.2020.239616.1183

نشریه علمی
تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات
Journal of Decisions and Operational Research
دوره ۵، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹

پیش‌بینی سبد بهینه سهام رویکرد الگوریتم فراابتکاری و فرآیند تصمیم مارکوف

سامیران خواجه زاده[۱]، شادی شاهوردیانی[۲،*]، امیر دانشور[۳]، مهدی معدنچی زاج[۴]

[۱]دانشجوی دکتری مهندسی مالی، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

[۲]استادیار گروه مدیریت بازرگانی، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

[۳]استادیار گروه مدیریت فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت، واحد الکترونیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

[۴]استادیار گروه مدیریت مالی، دانشکده مدیریت، واحد الکترونیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

www.journal-dmor.ir

چکیده

یکی از جذاب‌ترین حوزه‌های تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان بهینه‌سازی پرتفوی سهام است. در تصمیم‌گیری به‌منظور سرمایه‌گذاری، دو عامل از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و مبنای سرمایه‌گذاری می‌باشد. این دو عامل ریسک و بازده هستند و در این رابطه، بررسی و مطالعه سرمایه‌گذاران در جهت انتخاب بهترین سبد سرمایه‌گذاری با توجه به میزان ریسك و بازده آن انجام می‌شود. پرتفوی به ترکیبی از دارایی‌ها گفته می‌شود که توسط یک سرمایه‌گذار برای سرمایه‌گذاری تشکیل می‌شود. فرآیند انتخاب سبد سهام یکی از مسائلی است که موردتوجه محققین زیادی بوده است. هدف این تحقیق ایجاد سبد بهینه سهام با استفاده از داده‌های پیش‌بینی‌شده می‌باشد. نمونه آماری تحقیق شامل داده‌های مالی شرکت‌های بورس ایران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم رگرسیون لبه اقدام به پیش‌بینی بازده سهام شده است و درنهایت با استفاده از روش مارکوف و الگوریتم خوشه‌بندی طیفی فیلتر لازم جهت انتخاب داده‌های اولیه مناسب انجام شد و روش فراابتکاری فرهنگی با داده‌های پیش‌بینی، سبد بهینه سهام را برای گروه سرمایه‌گذار با تمایلات ریسک‌پذیر و همچنین ریسک گریز ارائه کرد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که الگوریتم فراابتکاری فرهنگی با توجه به روش شارپ توانایی ایجاد سبد بهینه سهام با استفاده از داده‌های پیش‌بینی‌شده را با روش مارکویتز برای سرمایه‌گذاران ریسک‌پذیر و ریسک گریز دارد.

واژه‌های کلیدی: سبد بهینه سهام، بازده سهام، الگوریتم فراابتکاری، الگوریتم خوشه‌بندی طیفی، روش مارکوف.

پژوهشی-کاربردی

دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۷ داوری: ۱۳۹۹/۰۷/۲۹ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۸/۱۸ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۶

۱- مقدمه

اوراق بهادار مالی بر اساس تحمل ریسک سرمایه‌گذار در پرتفوی قرار می‌گیرد (الیو[۱] و همکاران، ۲۰۲۰). بهینه‌سازی پرتفوی با مقاله اصلی مارکویتز (۱۹۵۲) مطرح شد. چارچوب میانگین - واریانس اولیه، بیشتر موردتوجه قرار گرفته است زیرا از نقطه‌نظر محاسباتی بسیار کارآمد است. بااین‌حال، ازآنجایی‌که می‌تواند منجر به پرتفوی‌هایی شود که از دیدگاه مالی بهینه نیستند، یک شکست ایجادشده است، بااین‌حال، مدل‌های بسیار کمی در ارائه راه‌حل جایگزین برای مدل مارکویتز موفق شده‌اند. دلیل اصلی در این واقعیت نهفته است که اکثر

[۱] Aliu

* نویسنده مسئول

آدرس رایانامه: shshahverdiani@gmail.com

شناسه دیجیتال:10.22105/dmor.2020.239616.1183

مدل‌های بهینه‌سازی پرتفوی دانشگاهی در زندگی واقعی غیرقابل‌حل هستند، گرچه نظریه‌های مستحکمی ارائه می‌کنند. منظور از حل نشدنی این است که می‌توان آن‌ها را برای یک جهان سرمایه‌گذاری با تعداد کمی دارایی با استفاده از منابع و مهارت‌های محاسباتی زیادی اجرا کرد، اما قادر به مدیریت یک جهان با ده‌ها یا صدها دارایی نیستند. بااین‌حال، ظهور و توسعه سریع مشاوران به این معنی است که باید به بهینه‌سازی پرتفوی و فراتر از رویکرد بهینه‌سازی میانگین-واریانس توجه شود. صنعت و شاخه‌های علوم دیگر با مسائل مشابهی در رابطه با مشکلات بهینه‌سازی بزرگ مواجه شده است. یادگیری ماشینی و آمار کاربردی از دیرباز با مدل‌های رگرسیون خطی و لجستیک همراه بوده است. دلیل آن ناتوانی الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای حل مسائل صنعتی با ابعاد بالابود. بااین‌وجود، پایان دهه ۱۹۹۰ با توسعه و کشف مجدد چندین روش که از آن زمان نتایج چشمگیری داشته‌اند، نقطه عطف مهمی است (پرین و رونکالی[۱]، ۲۰۱۹). انتخاب سبد یکی از رایج‌ترین مسائلی است که سرمایه‌گذاران گوناگون با سطح متفاوتی از سرمایه همواره با آن مواجه هستند و این مسئله می‌تواند از سبدهای نسبتاً کوچک با تعداد کمی سهام، املاک و ... که توسط سرمایه‌گذاران معمولی مدیریت می‌شوند تا سبدهای بسیار بزرگی که شامل انواع گوناگونی از دارایی‌ها هستند و توسط سرمایه‌گذاران حرفه‌ای اداره می‌شوند را در برگیرد. مسئله‌ی کلیدی در انتخاب سبد دارایی، انتخاب بهترین ترکیب ممکن از دارایی‌ها و تعیین وزن مناسب هر یک است (میشرا و همکاران[۲]، ۲۰۱٦). انتخاب سبد بهینه به دو دلیل اصلی، مسئله‌ای دشوار به شمار می‌آید. نخست آنکه، سرمایه‌گذاران مجبورند تا ضمن حداکثر کردن بازده سبد دارایی خود، با ریسک موجود در دارایی‌های انتخاب‌شده مواجه شوند (میشرا و همکاران، ۲۰۱٦) به‌علاوه هر سرمایه‌گذاری در فرآیند انتخاب سبد، می‌بایست الزامات مختلفی را در تصمیمات سرمایه‌گذاری خود مدنظر قرار دهد که در مدل ارائه توسط مارکویتز به آن‌ها اشاره‌ای نشده است، بنابراین در طی سال‌های گذشته، محدودیت‌های عملی گوناگونی به مدل اصلی مارکویتز اضافه شده است تا مدل وی را به یک مدل مناسب برای مسائل دنیای واقعی تبدیل نمایند، مرسوم‌ترین این محدودیت‌ها عبارت‌اند از حداقل و حداکثر سرمایه‌گذاری در هر دارایی، محدودیت در تعداد دارایی‌های موجود در سبد و اندازه بسته‌های خریداری‌شده از یک دارایی خاص (کومار و میشرا[۳]، ۲۰۱۷). مسئله بهینه‌سازی پرتفوی یکی از مهم‌ترین مسائل در سرمایه‌گذاری می‌باشد. همچنین با توجه به گسترش و پیچیدگی روزافزون بازارهای مالی، روش‌های پیش‌بینی یکی از عوامل مهم در سود و زیان سرمایه‌گذاران می‌باشد (رضایی و همکاران[٤]، ۲۰۱۹). یک رویکرد اطلاعاتی برای بهینه‌سازی سبد سهام شامل مجموعه داده مالی همیشه یک کار بسیار جذاب بوده است، زیرا باید عوامل مختلفی در نظر گرفته شود. ازاین‌رو، بسیاری از روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی در دهه‌های گذشته برای حل مسئله بهینه‌سازی پرتفوی توسعه یافته‌اند (چان و همکاران[٥]، ۲۰۲۰). مفاهیم بهینه‌سازی سبد سهام و تنوع‌بخشی به‌مثابه ابزاری در راستای توسعه و فهم بازارهای مالی و تصمیم‌گیری می‌باشند. از زمانی که مارکویتز مدل خود را منتشر کرد، این مدل تغییرات و بهبودهای فراوانی را در شیوه نگرش مردم به سرمایه‌گذاری و سبد سهام ایجاد کرد و به‌عنوان ابزاری کارا برای بهینه‌سازی سبد سهام به کار گرفته شد (بحری‌ثالث و همکاران[٦]، ۲۰۱۸). بهینه‌سازی پرتفوی، یک هدف اصلی در مدیریت ریسک قلمداد می‌شود. همچنین بازده‌های مورد انتظار و ریسک، مهم‌ترین متغیرها در مسئله بهینه‌سازی پرتفوی می‌باشند. عموماً سرمایه‌گذاران ترجیح می‌دهند که بازده را بیشینه و ریسک را کمینه نمایند. بااین‌وجود، بازده‌های بالا معمولاً ریسک بالایی هم دارند (دنگ و همکاران[۷]، ۲۰۱۲). برای تشکیل پرتفوی اوراق بهادار، تعداد زیادي سهام وجود دارد که آن‌ها را با ترکیب‌های گوناگون می‌توان کنار یکدیگر قرار داد. پس از ارائه نظریه هری مارکویتز (۱۹۵۲) برای انتخاب پرتفوی بهینه و بسط مفاهیم آن، صاحب‌نظران مالی روش‌ها و مدل‌های مختلفی را برای انتخاب پرتفوی بهینه ارائه دادند. حال این سؤال مطرح است که آیا می‌توانیم با مدل مارکویتز و پیش‌بینی بازده سهام، پرتفوی آینده را با مطلوبیت مناسب تشکیل دهیم یا خیر؟ نتایج این تحقیق می‌تواند برای شرکت‌های سرمایه‌گذاری، مدیران ارشد، تحلیل گران مالی، صندوق‌های سرمایه‌گذاری و پژوهشگران در حوزه مالی و به‌طورکلی سرمایه‌گذاران کاربرد مؤثری داشته باشد. آن‌ها می‌توانند از مدل پیشنهادی در جهت انتخاب سبد سرمایه‌گذاری مطلوب و اندازه‌گیری ریسک آن، در کارایی هرچه بهتر تصمیمات سرمایه‌گذاری و به‌تبع آن توسعه بازار سرمایه ایران نقش مهمی ایفا نمایند.

---

[۱] Perrin & Roncalli
[۲] Mishra et al.
[۳] Kumar & Mishra
[٤] Rezaei et al.
[٥] Chen et al.
[٦] Bahri Sales et al.
[۷] Deng et al.

۲- ادبیات نظری

پورتفولیوی سهام نوعی سرمایه‌گذاری است که از چندین سهام تشکیل‌شده است. هدف از یک پورتفولیوی سهام به حداقل رساندن ریسک سرمایه‌گذاری و به حداکثر رساندن بازده سرمایه‌گذاری است. برای ساخت پورتفولیوی بهینه سهام، فرد به یک استراتژی انتخاب سهام نیاز دارد و باید درصد سرمایه‌گذاری را در هر سهام انتخاب کند (وسیانی[۱] و همکاران، ۲۰۲۰). میزان ریسک و بازده دارایی‌های مالی، دو مؤلفه مهم در تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری در بازارهای مالی است. سرمایه‌گذاران به‌طور عقلایی به دنبال حداکثر نمودن بازدهی خود در سطح معینی از ریسک و با کمینه نمودن ریسک در سطح معینی از بازده هستند، بهینه‌سازی پرتفوی عبارت است از انتخاب بهترین ترکیب از دارایی‌های مالی به‌نحوی‌که باعث شود تا حد ممکن بازده پرتفوی سرمایه -گذاری مطلوب و ریسک پرتفوی کمینه شود. برای تعیین سبد بهینه در ادبیات اقتصاد مالی، می‌توان از دو تئوری مدرن پرتفوی و تئوری تعیین پرتفوی بهینه مبتنی بر سنجه‌های ریسک نامطلوب استفاده نمود. در نظریه مدرن پرتفوی تخصیص بهینه دارایی‌ها و شناخت پرتفوی بهینه بر اساس بهینه‌سازی مبتنی بر میانگین و واریانس بازده صورت می‌پذیرد، در نظریه دیگر، تخصیص بهینه دارایی‌ها و شناخت پرتفوی بهینه بر اساس رابطه بازده و معیارهای ریسک نامطلوب انجام می‌گیرد (پایتختی اسکویی و همکاران[۲]، ۲۰۱۹). ازلحاظ نظری، موضوع انتخاب سبد سهام در حالت حداقل نمودن ریسك در صورت ثابت در نظر داشتن بازده، با استفاده از فرمول‌های ریاضی و از طریق یك معادله درجه دوم حل‌شدنی است، اما در عمل و در دنیای واقعی نیازمند محاسبات و برنامه‌ریزی گسترده‌ای است، دراین‌بین، ریسک سرمایه‌گذاری به‌عنوان یکی از بااهمیت‌ترین مسائلی که سرمایه‌گذار در بورس با آن روبرو است، مطرح می‌شود. به‌طور عام سرمایه‌گذار به دنبال نگهداری سهامی است که بازده بالا و ریسک پایین دارند. انتخاب سهام مناسب برای خریدوفروش جهت کسب عایدات بیشتر موضوع مهمی برای سرمایه‌گذاران در بازار بورس اوراق بهادار می‌باشد (تقی‌زاده و همکاران[۳]، ۲۰۱۵). سرمایه‌گذاران منطقی به دنبال سبد بهینه کارا می‌باشند، زیرا این نوع پرتفوی‌ها باعث حداکثر شدن بازده مورد انتظار برای سطح معینی از ریسک، با حداقل ریسک برای بازده مورد انتظار معینی می‌شوند (برخورداری و رضایی[۴]، ۲۰۱۵). الیو و همکاران، (۲۰۲۰) به بررسی مدل‌سازی پرتفوی سهام، (موردمطالعه بزرگ‌ترین بورس سهام اروپا) پرداختند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که وقتی پرتفوی‌های ۴۷ سهم به پرتفوی‌های ۲۸۷ سهام تغییر می‌کنند، ریسک تنوع به‌طور مداوم کاهش می‌یابد. میانگین بازدهی وزنی در سبد سهام با تعداد سهام بالاتر افزایش می‌یابد که این مغایر با نظریه‌های استاندارد پرتفوی است. نتایج این مطالعه پیامدهای مدیریتی را برای سرمایه‌گذاران مالی نشان می‌دهد که منحصراً بر بزرگ‌ترین بورس‌های سهام اروپا متمرکزشده‌اند. محمود[۵] (۲۰۲۰) ساخت پورتفولیوی بهینه با استفاده از مدل تک شاخص شارپ: شواهدی از بورس اوراق بهادار چیتاگونگ را موردمطالعه و بررسی قرار داد به این منظور داده‌های مربوط به بسته شدن روزانه ۱۲۲ دارایی نمونه و نیز مقدار شاخص بسته شدن روزانه شاخص بازار معیار، *CASPI*، مورداستفاده قرارگرفته است. مدل شارپ بر روی فرآیند پیچیده ساختار پورتفولیو با پیشنهاد یک عدد منحصربه‌فرد، به نام «نرخ قطع»، برای اندازه‌گیری میزان مطلوبیت امنیت در هر یک از پورتفولیوی نهایی تأکید می‌کند. در این تحقیق، ۳۸ اوراق بهادار واجد شرایط بخشی از پورتفولیوی نهایی هستند درنتیجه وزن بهینه سرمایه‌گذاری برای هرکدام از آن‌ها محاسبه می‌شود. نتایج نشان داد که میزان قابل‌توجهی از خطر سیستماتیک وجود ندارد. ارزیابی از پارامترهای پورتفولیو صریحاً نشان می‌دهد که عملکرد بهتری نسبت به هر نمونه امنیتی و همچنین شاخص بازار، در ارائه بهترین ترکیبات بازده ریسک، با اختلاف زیاد وجود دارد؛ بنابراین، این مطالعه نشان داد که مدل شارپ در بهینه‌سازی ریسک و بازده در زمینه بورس سهام چیتاگونگ بسیار مؤثر است. لاموریکس و ژانگ[۶] (۲۰۱۸) در بررسی "ارزیابی ویژگی‌ها و مشخصات سبد بهینه" بیان می‌کنند که محاسبه وزن نمونه‌ها به ویژگی‌های قابل‌اندازه‌گیری می‌تواند بهبود اقتصادی و قابل‌توجهی در عملکرد تلفیقی نامتقارن بی‌نظیری را نسبت به معیارهای استاندارد ایجاد کند. این اثرات خوش‌بینی با ریسک ابتلا به تخمین زنی به دست می‌آید و دوم از طریق تکمیل شدن در میان ویژگی‌های چندگانه – به‌ویژه: حرکت، نوسانات فردی و اندازه شرکت می‌باشد. میانگین مشابه یک ماه با این ویژگی‌ها ترکیب‌شده و باعث افزایش قابل‌توجهی از معیارهای مطمئن برای

[۱] Vasiani et al.
[۲] Paytakhti oskooe et al.
[۳] Taghizadeh Yazdi et al.
[۴] Barkhordari & Rezaei
[۵] Mahmud
[۶] Lamoureux & Zhang

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۵، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، صفحه: ۴۲۵-۴۲۶

عملکردهای ازدست‌رفته می‌شود. تمام پرتفوی‌های (سبد سهام) مطلوب تحت تأثیر قرار گرفتن در معرض *HML* قرار دارند، اما بین ۴۵ تا ۷۰ درصد واریانس بازگشتی آن‌ها به عوامل فاما-فرانسوی-کارهارت تقسیم می‌شود. کریزانوسکی و همکاران[۱] (۲۰۱۸) در مقاله خود به بررسی "مصون‌سازی نرخ ارز از پرتفوی اوراق قرضه بین‌المللی: اثرات سیاست پولی غیرمتعارف" می‌پردازند. آن‌ها تأثیر کاهش کمیت را بر اثربخشی و عملکرد اوراق بهادار بین‌المللی اوراق قرضه بررسی می‌کنند در طول دوره کاهش کمیت، اوراق قرضه اوراق بهادار به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بازده‌ها و واریانس‌های بیشتر را پایین می‌آورد و بازده و حساسیت واریانس بیش‌ازحد آن‌ها با دارایی‌های بانک مرکزی فدرال مثبت و منفی است و با دارایی‌های خزانه‌داری بانک فدرال کمتر مثبت و منفی است. اثربخشی و عملکرد برای مقررات بهینه در مقابل هدر دادن کامل در طول دوره کاهش سهم نسبت به قبل کاهش‌یافته و برای پرتفوی‌ها از کشورهای توسعه‌یافته و در حال ظهور متفاوت است. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از سایر اثربخشی‌های مؤثر و عملکرد و حذف کشورها با کم کردن تعدیل خود، ارتباطی قوی دارند.

تهرانی و همکاران[۲] (۲۰۱۸) بهینه‌سازی سبد سهام به کمک الگوریتم فراابتکاری دسته‌های میگو با استفاده از معیارهای مختلف از ریسک در بورس اوراق بهادار تهران را انجام دادند. یافته‌هابیانگر این موضوع است که در ابتدا مرزهای کارای پرتفوهای بهینه بر اساس معیارهای ریسک واریانس، نیم‌واریانس و ریزش مورد انتظار رسم شده است. شباهت تقریبی سه مرز کارا، نشان از ثبات الگوریتم در یافتن آن دارد. سپس نسبت‌های شارپ به دست آمده از روش دسته‌های میگو با روش‌های رقابت استعماری و تجمعی ذرات مقایسه شده و مشاهده می‌شود که نسبت به آن‌ها ارجحیت دارد. لعل سجادی و همکاران[۳] (۲۰۱۹) به طراحی سیستم سبد گردان خودکار با استفاده از مفهوم واگرایی در تحلیل تکنیکال پرداختند. در دوره آموزش با استفاده از الگوریتم ژنتیک مقادیر پارامترهای مدل برآورد شده و سپس با استفاده از قسمت دوم داده‌ها، عملکرد مدل معاملاتی طراحی‌شده مورد آزمون و ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که این مدل قابلیت پیش‌بینی را بهبود بخشیده و در مقایسه با استراتژی‌های خرید و نگهداری و خرید تصادفی به‌مراتب بهتر عمل می‌نماید. رضایی و همکاران (۲۰۱۹) به مقایسه شبکه عصبی، سیستم فازی عصبی و مدل *AR* در پیش بینی بازده اوراق بهادار و الگوریتم جستجوی موجودات همزیست با ممتیک آن در بهینه‌سازی پرتفوی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم ممتیک جستجوی موجودات همزیست برخلاف استفاده از زمان بیشتر، توانسته عملکرد بهتری را به نمایش بگذارد و همچنین، مقایسه روش‌های پیش‌بینی بازده مورد انتظار نشان می‌دهد که سیستم فازی عصبی توانسته با خطای کمتری بازده مورد انتظار را پیش‌بینی نماید. درنهایت، با مقایسه مرزکارای پیش‌بینی شده و مرزکارای واقعی، به این نتیجه می‌رسیم که مدل پیش‌بینی مورد نظر در ریسک‌های کمتر پیش‌بینی بهتری انجام داده است که در آن ناحیه می‌توان با اطمینان بیشتری نسبت به تخصیص دارایی‌ها اقدام نمود. رحمانی و همکاران[۴] (۲۰۲۰) انتخاب سبد سهام با بکارگیری الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور و مقایسه‌ی آن با الگوریتم‌های ژنتیک و مورچگان را انجام دادند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد معیار شارپ سبدسهام تشکیل‌شده از طریق الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور نسبت به الگوریتم‌های ژنتیک و مورچگان عملکرد بهتری دارد، اما هرچند معیار ترینر و ریسک نامطلوب سبد سهام تشکیل‌شده از طریق الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عملکرد بهتری داشته، ولی ازلحاظ آماری این اختلاف معنادار نبوده است. وسیانی و همکاران (۲۰۲۰) بهینه‌سازی پرتفوی با استفاده از شاخص اولویت و الگوریتم ژنتیک انجام دادند. نتایج نشان داد که افزایش ارزش پارامترهای مقیاس همیشه باعث افزایش میانگین بازده نمی‌شود. علاوه بر این، انتخاب سهام با یک پارامتر ایجاد ثروت بازده متوسط بالاتری نسبت به پارامتر ایجاد ثروت دارد. انتخاب سهام با استفاده از داده‌های روزانه بازده متوسط بالاتری نسبت به داده‌های سالانه دارد. نتایج همچنین نشان داد که این روش دارای یک دوره بهینه حداکثر تا پنج ماه برای تصمیم‌گیری در زمینه سرمایه‌گذاری است. کومار و میشرا (۲۰۱۷) الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورهای جدید به نام کلونی مصنوعی زنبورهای چندهدفه‌ی مبتنی بر کوواریانس (*M-CABC*) را برای حل مسئله‌ی بهینه‌سازی چندهدفه با محدودیت تعداد سهام در سبد معرفی کرده‌اند.

---

[۱] Kryzanowski et al.
[۲] Tehrani et al.
[۳] Lale Sajjadi et al.
[۴] Rahmani et al.

لیو[۱] و لیو (۲۰۱٤) در مقاله خود با عنوان "مزایای محدودیت بر اساس واریانس-دیفرانسیل در بهینه‌سازی پرتفوی" نشان دادند که بر اساس معیار شارپ مدل بیز توانایی بالایی در انتخاب پرتفوی سهام دارد. دنگ و همکاران[۲] (۲۰۱۳) در مقاله خود با عنوان "انتخاب پرتفوی سهام بر اساس مدل مارکوویتز" به این نتیجه رسیدند که الگوریتم حرکات ذرات نسبت به الگوریتم ژنتیک از توانایی و عملکرد بهتری در انتخاب پرتفوی سهام دارد. اژدری و همکاران[۳] (۲۰۱۹) انتخاب پرتفوی سهام جهت سرمایه‌گذاری و شناسایی شرکت‌های برتر با روش محدودیت ال و با استفاده از روش یادگیری ماشین را انجام دادند. نتایج تحقیق آن‌ها که الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات به‌صورت سالانه و همچنین به‌صورت یکجا در دوره موردبررسی قادر به انتخاب شرکت‌های برتر با استفاده از مدل حداقل واریانس است. راموز و همکاران[٤] (۲۰۲۰) انتخاب پرتفوی بهینه با استفاده از مدل برنامه‌ریزی توافقی در بورس اوراق بهادار تهران را انجام دادند. معصوم علیشاهی و اعظمی[٥] (۲۰۱۸) پژوهشی با عنوان بهینه‌سازی سبد سهام بر اساس مدل مارکویتز انجام دادند. نتایج پژوهش نشان داد که استفاده از روش‌های ابتکاری، عملکرد سبدهای تشکیلی و افزایش ارزش اطلاعات ورودی تشکیل سبد، شرکت را به سمت سرمایه‌گذاری سوق می‌دهد که در ایجاد بازده برای شرکت مؤثر است. بهنامیان و مشرفی[٦] (۲۰۱۷) در پژوهش خود با عنوان ارائه الگوریتم ترکیبی برای بهینه‌سازی چند هدفه سبد سهام به‌وسیله برنامه‌ریزی فازی با در نظر گرفتن مفاهیم فازی در بحث بهینه‌سازی سبد سهام، عدم قطعیت موجود در این مسئله مدل‌سازی کردند.

با تحلیل پیشینه پژوهش می‌توان بیان کرد که با وجودی که در زمینه پرتفوی سهام پژوهش‌های ارزشمندی انجام شده است اما خلأ در این زمینه احساس شده است که به‌عنوان نوآوری پژوهش در نظر گرفته شد. در پژوهش حاضر اقدام به استفاده از فیلتر مارکوف جهت حذف شرکت‌های نامناسب جهت تصمیم‌گیری بهتر شده است و همچنین پرتفوی ارائه‌شده در این پژوهش بر اساس رویکرد پیش‌بینی و استفاده از داده‌های آتی بوده است و درنهایت ارائه پرتفوی برای گروه مختلف سرمایه‌گذاران شامل سرمایه‌گذاران ریسک‌پذیر و ریسک گریز نیز ارائه‌شده است که در پژوهش‌های قبلی این موارد مغفول مانده‌اند. همچنین از الگوریتم فراابتکاری فرهنگی به‌عنوان نوآوری در پژوهش یاد می‌شود که علت استفاده از آن این موضوع می‌باشد که الگوریتم بهینه‌سازی فرهنگی یکی از روش‌های مناسب برای حل مسائل تکاملی چند هدفه است. از آنجاکه مدل مارکویتز بر اساس شاخصه‌های بازده منتظره و ریسک اوراق بهادار و متنوع سازی سبد اوراق بهادار بنا نهاده شده است و همچنین از طرفی، بر اساس نظریه مارکویتز، سبد سرمایه‌گذاری کارا سبدی است که دارای بیشترین بازده و کمترین ریسک باشد، بنابراین، مدل مارکویتز یک مسئله بهینه‌سازی چند هدفه است و حفظ تنوع توزیع در آن اهمیت دارد به همین علت الگوریتم فرهنگی به‌عنوان الگوریتم بهینه‌سازی انتخاب شده است.

---

[۱] Levy & Levy
[۲] Deng et al.
[۳] Ajdari et al.
[٤] Ramooz et al.
[٥] Masom Alishahi & Azimi
[٦] Behnamian & Moshrefi

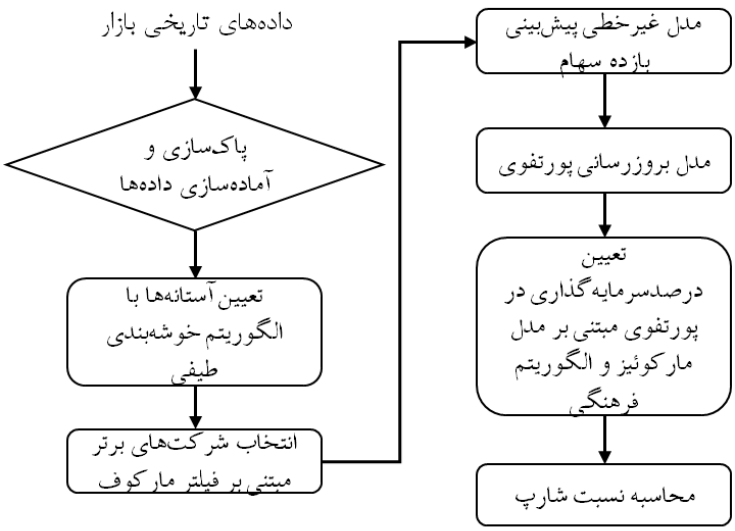
جدول ۱- خلاصه پژوهش‌های پیشین.

Table 1- Summary of previous research.

عنوان تحقیق	نتیجه
الیو و همکاران (۲۰۲۰) بررسی مدل‌سازی پرتفوی سهام، (موردمطالعه بزرگ‌ترین بورس سهام اروپا).	وقتی پرتفوی‌های ۴۷ سهم به پرتفوی‌های ۲۸۷ سهام تغییر می‌کنند، ریسک تنوع به‌طور مداوم کاهش می‌یابد. میانگین بازدهی وزنی در سبد سهام با تعداد سهام بالاتر افزایش می‌یابد که این مغایر با نظریه‌های استاندارد پرتفوی است. نتایج این مطالعه پیامدهای مدیریتی را برای سرمایه‌گذاران مالی نشان می‌دهد که منحصراً بر بزرگ‌ترین بورس‌های سهام اروپا متمرکزشده‌اند.
محمود (۲۰۲۰) ساخت پورتفولیوی بهینه با استفاده از مدل تک شاخص شارپ: شواهدی از بورس اوراق بهادار چیتاگونگ.	میزان قابل‌توجهی از خطر سیستماتیک وجود ندارد. ارزیابی از پارامترهای پورتفولیو صریحاً نشان می‌دهد که عملکرد بهتری نسبت به هر نمونه امنیتی و همچنین شاخص بازار، در ارائه بهترین ترکیبات بازده ریسک، با اختلاف زیاد وجود دارد؛ بنابراین، این مطالعه نشان داد که مدل شارپ در بهینه‌سازی ریسک و بازده در زمینه بورس سهام چیتاگونگ بسیار مؤثر است.
لاموریکس و ژانگ (۲۰۱۸) بررسی ارزیابی ویژگی‌ها و مشخصات سبد بهینه.	محاسبه وزن نمونه‌ها به ویژگی‌های قابل‌اندازه‌گیری می‌تواند بهبود اقتصادی و قابل‌توجهی در عملکرد تلفیقی نامتقارن بی‌نظیری را نسبت به معیارهای استاندارد ایجاد کند. این اثرات خوش‌بینی با ریسک ابتلا به تخمین زنی به دست می‌آید و دوم از طریق تکمیل شدن در میان ویژگی‌های چندگانه – به‌ویژه: حرکت، نوسانات فردی و اندازه شرکت می‌باشد. میانگین مشابه یک ماه با این ویژگی‌ها ترکیب‌شده و باعث افزایش قابل‌توجهی از معیارهای مطمئن برای عملکردهای ازدست‌رفته می‌شود. تمام پرتفوی‌های (سبد سهام) مطلوب تحت تاثیر قرار گرفتن در معرض HML قرار دارند، اما بین ۴۵ تا ۷۰ درصد واریانس بازگشتی آن‌ها به عوامل فاما–فرانسوی–کارهارت تقسیم می‌شود.
کریزانوسکی و همکاران (۲۰۱۸) بررسی مصون‌سازی نرخ ارز از پرتفوی اوراق قرضه بین‌المللی: اثرات سیاست پولی غیر متعارف.	در طول دوره کاهش کمیت، اوراق قرضه اوراق بهادار به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بازده‌ها و واریانس های بیشتر را پایین می آورد و بازده و حساسیت واریانس بیش‌ازحد آن‌ها با دارایی‌های بانک مرکزی فدرال مثبت و منفی است و با دارایی‌های خزانه‌داری بانک فدرال کمتر مثبت و منفی است. اثربخشی و عملکرد برای مقررات بهینه در مقابل هدر دادن کامل در طول دوره کاهش سهم نسبت به قبل کاهش یافته و برای پرتفوی‌ها از کشورهای توسعه یافته و در حال ظهور متفاوت است. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از سایر اثربخشی‌های مؤثر و عملکرد و حذف کشورها با کم کردن تعدیل خود، ارتباطی قوی دارند.
تهرانی و همکاران (۲۰۱۸) بهینه‌سازی سبد سهام به کمک الگوریتم فراابتکاری دسته‌های میگو با استفاده از معیارهای مختلف از ریسک.	در ابتدا مرزهای کارای پرتفوهای بهینه بر اساس معیارهای ریسک واریانس، نیم–واریانس و ریزش مورد انتظار رسم شده است. شباهت تقریبی سه مرز کارا، نشان از ثبات الگوریتم در یافتن آن دارد. سپس نسبت‌های شارپ به دست آمده از روش دسته‌های میگو با روش‌های رقابت استعماری و تجمعی ذرات مقایسه شده و مشاهده می‌شود که نسبت به آن ها ارجحیت دارد.
لعل سجادی و همکاران (۲۰۱۹) به طراحی سیستم سبد گردان خودکار با استفاده از مفهوم واگرایی در تحلیل تکنیکال.	این مدل قابلیت پیش‌بینی را بهبود بخشیده و در مقایسه با استراتژی‌های خرید و نگهداری و خرید تصادفی به‌مراتب بهتر عمل می‌نماید.
رضایی و همکاران (۲۰۱۹) به مقایسه شبکه عصبی، سیستم فازی عصبی و مدل AR در پیش‌بینی بازده اوراق بهادار و الگوریتم جستجوی موجودات همزیست با ممتیک آن در بهینه‌سازی پرتفوی.	الگوریتم ممتیک جستجوی موجودات همزیست برخلاف استفاده از زمان بیشتر، توانسته عملکرد بهتری را به نمایش بگذارد و همچنین، مقایسه روش های پیش‌بینی بازده مورد انتظار می‌دهد که سیستم فازی عصبی توانسته با خطای کمتری بازده مورد انتظار را پیش‌بینی نماید. درنهایت، با مقایسه مرزکارای پیش‌بینی شده و مرزکارای واقعی، به این نتیجه می‌رسیم که مدل پیش‌بینی مورد نظر در ریسک‌های کمتر پیش‌بینی بهتری انجام داده است که در آن ناحیه می‌توان با اطمینان بیشتری نسبت به تخصیص دارایی‌ها اقدام نمود.
رحمانی و همکاران (۲۰۲۰) انتخاب سبد سهام با بکارگیری الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور و مقایسه‌ی آن با الگوریتم های ژنتیک و مورچگان.	معیار شارپ سبدسهام تشکیل‌شده از طریق الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور نسبت به الگوریتم های ژنتیک و مورچگان عملکرد بهتری دارد، اما هرچند معیار ترینر و ریسک نامطلوب سبد سهام تشکیل‌شده از طریق الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عملکرد بهتری داشته، ولی ازلحاظ آماری این اختلاف معنادار نبوده است.
راموز و همکاران (۲۰۲۰) انتخاب پرتفوی بهینه با استفاده از مدل برنامه‌ریزی توافقی.	پرتفوی‌های حاصل از به کارگیری مدل برنامه‌ریزی توافقی، پرتفوی‌های مناسبتری برای سرمایه‌گذاران می‌باشند.

در نظریه نوین پرتفوی سرمایه‌گذاری، تمرکز اصلی حداکثر سازی بازده مورد انتظار پرتفوی برای سطح معینی از ریسک پرتفوی است و یا هم‌زمانی حداقل سازی ریسک پرتفوی برای سطح معینی از بازده مورد انتظار و از طریق انتخاب دقیق میزان سرمایه‌گذاری اوراق مختلف. مارکویتز بازده را به‌صورت میانگین و ریسک را به‌صورت واریانسی از پرتفوی اوراق بهادار کمی کرد؛ بنابراین اهداف دوگانه سرمایه‌گذاران یعنی حداکثر سازی سود و حداقل سازی ریسک کمی شد. گرچه این تئوری به‌وسیله محققان متعدد پذیرفته شد ولی در چند سال اخیر موردانتقاد شدید قرار گرفت. اگرچه همه محققان سعی کردند کارایی در مدل‌های پرتفولیو بیاورند ولی بسط یک پرتفوی مؤثر خصوصاً در محیط پویای نامطمئن خیلی سخت است. به‌عنوان یک نتیجه، نرخ رشد فزاینده در به‌کارگیری هوش مصنوعی و تکنیک‌های نرم‌افزاری در انتخاب سهام و تشکیل پرتفوی موردتوجه قرار گرفت. برخی از محققان از شبکه‌های عصبی مصنوعی و برخی دیگر از تئوری فازی برای انتخاب سهام و تشکیل پرتفوی بهره بردند. در این پژوهش با رویکرد پیش‌بینی و استفاده از الگوریتم رگرسیون لبه کرنلی و خوشه‌بندی طیفی و روش فیلتر مارکوف و درنهایت الگوریتم فراابتکاری فرهنگی اقدام به تشکیل پرتفوی سهام آتی شده است.

به‌طور کلی، شرایط و موقعیت‌های اقتصادی مدام در حال تغییر است. ازاین‌رو، تغییر ترکیب پرتفوی به‌موازات این تغییرات می‌تواند موجب افزایش مطلوبیت مورد انتظار سرمایه‌گذار شود. از طرف دیگر، رفتار غیرمنطقی بازار سبب پیدایش موقعیت‌های مناسبی جهت سودآوری می‌شود. ازآنجا که تحلیل پیش‌بینی بازار می‌تواند چنین موقعیت‌های را شناسایی کند، استراتژی پیشنهادی این تحقیق، افق سرمایه‌گذاری را به زیر دوره‌های کوتاه‌تری تقسیم کرده و پرتفوی را در ابتدای هر زیر دوره با در نظر گرفتن پیش‌بینی بازار به‌روزرسانی می‌کند. در **شکل ۱** استراتژی پیشنهادی به‌منظور پیش‌بینی و انتخاب پرتفوی نشان داده شده است.



شکل ۱- استراتژی پیشنهادی برای تعیین پرتفوی.
Figure 1- The proposed strategy for the portfolio.

۳- روش پژوهش

۳-۱- جامعه و نمونه آماری پژوهش

این مطالعه از داده‌های مربوط به سهام ماهانه ۲۵۳ شرکت‌های تولیدی فعال در بورس اوراق بهادار تهران استفاده شده است و شرکت‌های لیزینگ، سرمایه‌گذاری، بانک‌ها در زمره جامعه آماری این پژوهش نمی‌باشد. این شرکت‌ها با توجه به میزان

فعالیتشان در دوره موردنظر از گروه‌های مختلف صنعت، انتخاب‌شده‌اند. درادامه با توجه به فیلترهای تعریف شده نمونه مورد نظر انتخاب‌شده است. برای پیاده‌سازی و اجرای مدل، یک دوره ۹٦ ماهه از تاریخ ۱ فروردین سال ۱۳۹۰ تا ۲۹ اسفند سال ۱۳۹۷ در نظر گرفته شده است. بازار در این مدت هم‌دوره‌های صعودی و هم‌دوره‌های نزولی را طی می‌کند. ازاین‌رو، این دوره برای آزمایشِ مدل مناسب است. علاوه بر این، بازار در این دوره شرایط سیاسی و اجتماعی مختلفی ازجمله انتخابات ریاست جمهوری، انتخابات مجلس و تحریم کامل نفت ایران را تجربه می‌کند که تأثیرهای روانی قابل‌توجهی بر قیمت‌ها دارد، بنابراین، انتخاب این دوره از این دیدگاه نیز می‌تواند جذاب باشد، چراکه نشان‌دهنده واکنش مدل به شرایط گوناگون (هم مساعد و هم نامساعد) روانی در بازار است.

۲-۳- مدل و الگوریتم‌های پژوهش

الگوریتم فرهنگی: این الگوریتم از تکامل فرهنگ انسان‌ها و تأثیرپذیری افراد یک جامعه از آن و اثر آن در ایجاد نسل‌های آینده الهام گرفته‌شده است. الگوریتم فرهنگی دارای پنج جزء اصلی است که عبارت‌اند از ۱) فضای جمعیت، ۲) فضای باور، ۳) تابع پذیرش، ٤) تابع تنظیم و ٥) تابع تأثیر که در ادامه به معرفی مختصر آن‌ها پرداخته می‌شود.

فضای جمعیت: این فضا درواقع فضای اصلی جمعیت است و با مقداردهی اولیه کار خود را شروع کرده و استخراج فرهنگ و ذخیره آن در فضای باور در این قسمت انجام می‌گیرد (هو و لین[1]، ۲۰۱۲).

فضای باور: در فضای باور، تجربیات عمومی شده افراد موفق از فضای جمعیتی، به‌دست‌آمده و این تجارب در سراسر نسل و نسل‌های بعدی شکل‌گرفته و ذخیره می‌شود. به‌طورکلی، فضای باور شامل حداقل دو جزء دانش است: ۱) دانش موقعیتی که بهترین راه‌حل‌های موجود در هر نسل را ذخیره می‌کند و ۲) دانش معیاری که استانداردهای رفتار فردی را فراهم می‌کند، به‌عنوان دستورالعمل برای تنظیمات جهش به افراد استفاده می‌شود. اگر فقط این دو مؤلفه دانش مورداستفاده قرار گیرد، فضای باور به‌عنوان چندتایی به شکل زیر نمایش داده می‌شود.

$$B(t)=(S(t),N(t)). \quad (۱)$$

وقتی $S(t)$ که نشان‌دهنده مؤلفه دانش وضعیتی است و وقتی $N(t)$ که نشان‌دهنده مؤلفه دانش موقعیتی است. مؤلفه موقعیت مجموعه‌ای از بهترین راه‌حل‌ها است:

$$S(t)=\{\hat{y}_l(t):1,\ldots,n_s\}. \quad (۲)$$

و عنصر معیاری به فرم زیر نمایش داده می‌شوند:

$$N(t)=\{X_1(t),X_2(t),\ldots,X_{n_x}(t)\}. \quad (۳)$$

وقتی، برای هر بعد، اطلاعات زیر ذخیره می‌شود:

$$X_j(t)=\{I_j(t),L_j(t),\ldots,U_j(t)\}. \quad (٤)$$

[1] Ho & Lin

$I_j(t)$ یک بازه بسته به فرم $I_j(t)=[x_{min,j}(t),x_{max,j}(t)]$ باشد. $L_j(t)$ و $U_j(t)$ به ترتیب امتیاز کران بالا و کران پایین باشند.

تابع پذیرش: تابع پذیرش تعیین می‌کند که کدام افراد از جمعیت جاری برای ایجاد باورها برای کل جمعیت استفاده می‌شود. این تابع بر اساس مقدار شایستگی افراد، $n\%$ از افراد جمعیت را انتخاب می‌کند. این انتخاب می‌تواند توسط الگوریتم چرخ رولت انجام می‌شود که تعداد ثابتی فرد را همواره انتخاب کند و یا به‌صورت متغیر این انتخاب را انجام دهد.

تابع تنظیم: اگر تعداد افراد انتخاب‌شده با $n_B(t)$ نشان داده شود، مؤلفه‌های دانش به‌صورت زیر به‌روزرسانی می‌شوند:

– ***دانش موقعیت:*** *اگر فرض شود تنها یک عنصر در این فضا ذخیره شود، آنگاه*

$$S(t+1)=\{\hat{y}(t+1)\}. \quad (۵)$$

$$\hat{y}(t+1)=\begin{cases}\min\limits_{l=1,2,\ldots,n_B(t)}\{x_l(t)\} & if f\left(\min\limits_{l=1,2,\ldots,n_B(t)}\{x_l(t)\}\right)<f(\hat{y}(t)) \\ \hat{y}(t) & otherwise\end{cases}. \quad (٦)$$

– ***دانش معیاری:*** *برای تغییر مؤلفه دانش هنجاری، بازه‌ها به‌صورت تدریجی باریک می‌شوند و رویکرد محافظه‌کارانه‌ای دنبال می‌شود تا در اکتشاف زودهنگام تأخیر انداخته می‌شود. به این صورت که بازه به‌صورت زیر برای هر $l=1,2,\ldots,n_B(t)$,$x_l(t)$ تغییر داده می‌شود:*

$$x_{min,j}(t+1)=\begin{cases}x_{lj}(t) & if\ x_{lj}(t)\le x_{min,j}(t)\ or f(x_l(t))<L_j(t). \\ x_{min,j}(t) & otherwise\end{cases} \quad (۷)$$

$$x_{max,j}(t+1)=\begin{cases}x_{lj}(t) & if\ x_{lj}(t)\ge x_{max,j}(t)\ or f(x_l(t))<U_j(t) \\ x_{max,j}(t) & otherwise\end{cases}. \quad (۸)$$

$$L_j(t+1)=\begin{cases}f(x_{lj}(t)) & if\ x_{lj}(t)\le x_{min,j}(t)\ or f(x_l(t))<L_j(t). \\ L_j(t) & otherwise\end{cases} \quad (۹)$$

$$U_j(t+1)=\begin{cases}f(x_{lj}(t)) & if\ x_{lj}(t)\ge x_{max,j}(t)\ or f(x_l(t))<U_j(t). \\ U_j(t) & otherwise\end{cases} \quad (۱۰)$$

فضای جستجو رفته‌رفته کوچک‌تر و به ناحیه‌های خوب نزدیک‌تر می‌شود.

تابع تأثیر: باورها در فضای باور برای تغییر دادن افراد و نزدیک کردن آن‌ها به باور سراسری (بهینه کل) به‌کاربرده می‌شوند که این تغییرات با استفاده از تابع تأثیر، تحقق می‌یابد. فضای باور با استفاده از عملگر جهش بر روی فضای جمعیت تأثیر می گذارد، این تأثیر از دو راه ممکن است یکی اندازه جهش و دیگری جهت جهش می‌باشد. با توجه به دانش معیاری تابع تأثیر استخراج شد. این جهش طبق رابطه زیر انجام می‌شود:

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۵، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، صفحه: ۴۲۵-۴۲۶

$$x_{ij}(t)=\begin{cases} x_{ij}(t)+\left|size\left(I_j(t)\right)N_{ij}(0,1)\right| & if\ x_{ij}(t)<x_{min,j}(t) \\ x_{ij}(t)-\left|size\left(I_j(t)\right)N_{ij}(0,1)\right| & if\ x_{ij}(t)>x_{max,j}(t). \\ x_{ij}(t)+\beta size\left(I_j(t)\right)N_{ij}(0,1) & otherwise \end{cases} \quad (۱۱)$$

۳-۳- رگرسیون لبه کرنلی

مسئله رگرسیون لبه در حالت خطی به‌صورت زیر می‌باشد.

$$\min_{w} \lambda\|w\|^2 \sum_{i=1}^{L}\left(y_i - g\left(x_i\right)\right)^2 \qquad \min_{w} \lambda\|w\|^2 \sum_{i=1}^{L}\xi_i^{\,2}$$
$$s.t.\ g\left(x\right)=w^T x \qquad s.t.\ \xi_i = y_i - \left\langle w, x_i \right\rangle \quad . \quad (۱۲)$$

و در حالت غیرخطی این مسئله به فرم زیر درمی‌آید:

$$\min_{f\ H} \sum_{i=1}^{N}\left(y_i - \left\langle f, \phi\left(x_i\right)\right\rangle_H\right)^2 + \lambda\|f\|_H^2 . \quad (۱۳)$$

که در آن H نشان‌دهنده فضای هیلبرت و f ضرایب به‌دست‌آمده در فضای هیلبرت و φ تابع نگاشت از فضای ورودی به فضای ویژگی

$$f\left(x\right)=\left\langle w, x\right\rangle=\left\langle f, \varphi(X)\right\rangle_H = y^T\left(K+\lambda I_N\right)^{-1}k\left(x\right). \quad (۱٤)$$

هیلبرت است. اگر ضرایب را به شکل دوگانه $f=\sum_{i=1}^{N} c_j\varphi\left(x_j\right)$ نوشته شود و از حقه کرنل $K(x_i, x_j)=\varphi(x_i)^T\varphi(x_j)$ استفاده نماییم، آنگاه تابع خروجی مسئله به شکل زیر محاسبه می‌گردد که در آن k کرنل گوسی است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$MSE=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i-d_i\right)^2. \quad (۱۵)$$

$$MAE=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|y_i-d_i\right|. \quad (۱٦)$$

برای پیش‌بینی متغیر وابسته بازده سهام از الگوریتم رگرسیون لبه کرنلی استفاده شده است. برای ارزیابی مدل از دو معیار ارزیابی با نام‌های میانگین قدر مطلق خطا[۱] (*MAE*)، میانگین مربعات خطا[۲] (*MSE*) استفاده‌شده است که با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌گردند.

[۱] Mean Absolute Error
[۲] Mean Squared Error

که در روابط بالا y_i و d_i به ترتیب متغیر وابسته واقعی و متغیر وابسته پیش‌بینی‌شده توسط الگوریتم رگرسیون لبه کرنلی برای شرکت-سال iام است و n تعداد شرکت-سال‌ها (در مرحله یادگیری یا مرحله ارزیابی) $\bar{y}$ و $\bar{d}$ میانگین متغیر وابسته واقعی و پیش‌بینی‌شده را به ترتیب نشان می‌دهد.

مدل میانگین-واریانس با محدودیت کاردینال: مدل میانگین-واریانس سرآغاز تئوری نوین پرتفوی به‌حساب می‌آید و درواقع بسیاری از تئوری‌های مهم اقتصاد مالی بر اساس همین مدل پایه‌ریزی شده است. این مدل، پرتفوی را به‌گونه‌ای انتخاب می‌کند که ریسکِ آن برای سطح مطلوبی از بازده، کمینه شود یا به‌طور مشابه برای میزان قابل قبولی از ریسک، بازده پرتفوی را بیشینه می‌کند. برای تشکیل پرتفوی (سبد بهینه سهام)، از مدل میانگین-واریانس با محدودیت کاردینال [۱] *(MVCCPO)* مدل برنامه‌ریزی غیرخطی آن به‌صورت زیر است:

$$\min \quad \lambda\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} w_i w_j \sigma_{ij} - (1-\lambda)\sum_{i=1}^{N} w_i \mu_i \,. \qquad (۱۷)$$

$$Subject\ to\ \sum_{i=1}^{N} z_i = K. \qquad (۱۸)$$

$$\sum_{i=1}^{N} w_i = 1, \qquad (۱۹)$$

$$\varepsilon_i z_i \le w_i \le \partial_i z_i \,,\ \ i=1,\ldots. \qquad (۲۰)$$

$$z_i \in \{0,1\} \qquad i=1,\cdots,N \qquad (۲۱)$$

$$0 \le \alpha \le 1, \qquad (۲۲)$$

که در آن N تعداد دارایی‌های موردنظر برای سرمایه‌گذاری، wi متغیر تصمیم در مورد سرمایه‌گذاری است که نشان‌دهنده درصد سرمایه‌گذاری برای دارایی iام است. در **رابطه (۱۷)** در حالتی که $\alpha = 0$ باشد بیان‌کننده امید ریاضی بازده بازگشتی با صرف‌نظر از ریسک (کوواریانس σ_{ij}) است و راه‌حل بهینه تنها دارایی‌هایی با حداکثربازده بازگشتی است، درحالی‌که اگر $\alpha = 1$ باشد، بیان‌کننده حداقل ریسک بدون در نظر گرفتن سود بازگشتی است. مقدار λ می‌تواند $0 \le \alpha \le 10$ باشد و درواقع λ یک پارامتر تنظیم سبد سرمایه‌گذاری سهام (پورتفویی سهام) است که یک معاوضه بین سود بازگشتی و ریسک می‌باشد، بنابراین با تغییر مقدار λ می‌توان جواب‌های متفاوتی را بنا به سلیقه سرمایه‌گذار تولید نمود. در فاصله بین ۰ و ۱ سبدهایی در نظر گرفته می‌شود که هر دو فاکتور ریسک و سود بازگشتی را بهینه می‌نماید. بعلاوه، مقدار σ_{ij} با استفاده از رابطه $\sigma_{ij} = \rho_{ij} S_i S_j$ تعیین می‌گردد که در آن ρ_{ij} همبستگی [۲] بین دارایی iام و دارایی jام ($-1 \le \rho_{ij} \le +1$) و si و sj انحراف از معیار در سود بازگشتی در دارایی i ام است. در **رابطه (۱۸)** K تعداد دارایی‌های مجاز در پرتفوی می‌باشد و $z_i \in \{0,1\}$ نشان‌دهنده حضور یا عدم حضور دارایی iام در سبد سرمایه‌گذاری است و دقیقاً باید K دارایی در سبد سرمایه‌گذاری قرار گیرد. به **رابطه (۱۹)** محدودیت بودجه می‌گویند و این محدودیت تضمین می‌کند که مجموع سرمایه‌گذاری روی دارایی‌های انتخاب‌شده سبد سهام، بیشتر از ۱۰۰% نگردد. **رابطه (۲۰)** بیانگر این است که درصد سرمایه‌گذاری دارایی‌هایی که در سبد قرارگرفته‌اند ($z_i = 1$) می‌تواند برای دارایی iام حداقل ε_i و δ_i حداکثر باشد. مقادیر ε_i و δ_i توسط سرمایه‌گذار تعیین می‌گردد، مثلاً می‌تواند برای همه دارایی‌ها ثابت باشد یا برای هر دارایی جداگانه تعیین گردد. به زبان ساده‌تر هرکدام از قیود عمل‌های زیر را کنترل می‌کنند. محدودیت اول، دقیقاً k دارایی در سبد سرمایه‌گذاری قرارگرفته است. محدودیت دوم،

[۱] Mean–Variance Cardinality Constrained Portfolio Optimization
[۲] Correlation

مجموع وزن سرمایه‌گذاری برابر یک باشد. محدودیت سوم تا آخر، اگر دارایی در سبد قرارگرفته‌شده 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 می‌باشد.

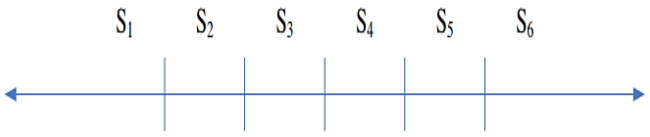
انتخاب دارایی‌های شاخص‌تر: بازده سهام عبارت است از نسبت میان کل عایدی (یا زیان) حاصل از سرمایه‌گذاری و میزان سرمایه‌ای که به‌منظور کسب عایدی در یک دوره معین مصرف گردیده است. این دوره می‌تواند یک روز، یک ماه، یک سال و... باشد. جهت ارزیابی عملکرد واحدهای تجاری تاکنون معیارهای مختلفی ارائه‌شده است که ازجمله معمولی‌ترین و مهم‌ترین معیار ارزیابی عملکرد و سودآوری مؤسسات در حال حاضر نرخ بازده سهام است که نقش کلیدی در سرمایه‌گذاری دارد. این معیار به‌تنهایی دارای محتوای اطلاعاتی برای سرمایه‌گذاران بوده است و برای ارزیابی عملکرد و عملیات یک واحد تجاری مورداستفاده قرارمی‌گیرد. وقتی این معیار کاهش یابد زنگ خطری برای شرکت است و نشانه این است که عملکرد شرکت مناسب نیست. بازده واقعی (کل) عبارت است از مجموع مزایایی که در طول سال به سهم تعلق می‌گیرد. این مزایا شامل:

- *سود نقدی ناخالص هر سهم طبق مصوبه مجموع عمومی صاحبان سهام.*
- *مزایای ناشی از حق تقدم خرید سهام.*
- *مزایای ناشی از سود سهم یا سهام جایزه.*
- *افزایش قیمت سهام در انتهای دوره موردنظر نسبت به ابتدای دوره.*

$$\text{بازده عادی سهام} = \frac{\text{افزایش سرمایه از محل آورده نقدی و مطالبات} - \text{سود سهام مصوب} + \text{ارزش بازار شرکت در ابتدای سال} - \text{ارزش بازار شرکت در پایان سال}}{\text{ارزش بازار شرکت در ابتدای سال}}$$

- *قیمت سهام در ابتدای سال × تعداد سهام در ابتدای سال = ارزش بازار شرکت در ابتدای سال.*
- *نسبت سهام در انتهای سال × تعداد سهام در انتهای سال = ارزش بازار شرکت در انتهای سال.*
- *تعداد سهام در تاریخ مجمع × سود نقدی هر سهم = سود سهام مصوب.*
- *درصد افزایش سرمایه از محل آورده نقدی × (سرمایه اول دوره - سرمایه پایان دوره) = افزایش سرمایه از محل آورده نقدی و مطالبات.*

بعد از محاسبه بازده سهام در هر دوره، عملیات پاک‌سازی انجام می‌شود. این عملیات عبارت است از حذف شرکت‌هایی که بیشتر از ٤ ماه در یک سال دارای بازده سهام برابر صفر باشند. با اعمال این فیلتر، تعداد ۱۷۷ شرکت حذف شدند و درمجموع تعداد ٧٦ شرکت به‌عنوان جامعه آماری انتخاب گردید. به‌منظور استفاده از فیلتر فرآیند تصمیم مارکوف[1] برای تعیین شرکت‌های شاخص‌تر، ابتدا باید آستانه‌های بازده سهام تعیین شود. مشابه فیلتر فرآیند تصمیم مارکوف تعداد ٥ آستانه برای تقسیم‌بندی به شش متغیر حالت S_1 تا S_6 استفاده‌شده است. در **شکل ۲** محور افقی بازده سهام است. در این تحقیق به‌منظور تعیین مقدار آستانه‌ها از روش الگوریتم‌های خوشه‌بندی طیفی[2] استفاده‌شده است.

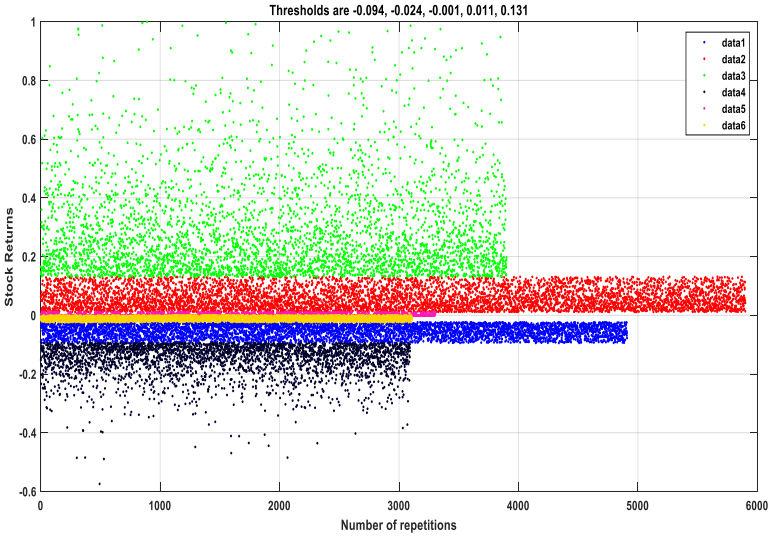


شکل ۲- نمایش متغیرهای حالت S در فرآیند تصمیم مارکوف.
Figure 2- Display of S-state variables in the Markov decision process.

الگوریتم خوشه‌بندی طیفی: علت استفاده از این الگوریتم این است که الگوریتم‌های خوشه‌بندی طیفی در مقابل الگوریتم‌های خوشه‌بندی مرسوم مانند *K-means* یا *Linkage* مزایای زیادی دارند. در اغلب موارد نتایج این الگوریتم‌ها بسیار بهتر از روش‌های

[1] Markov decision process
[2] Spectral clustring

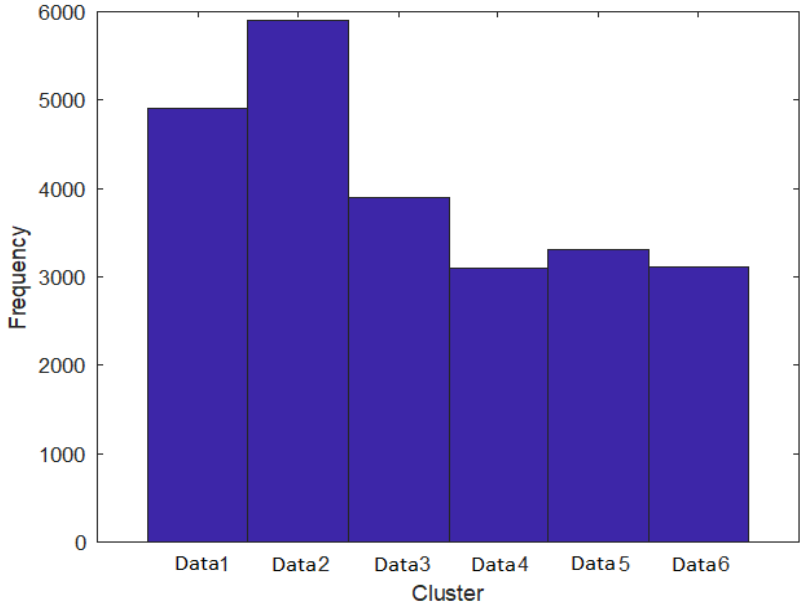
مرسوم می‌باشد. علاوه بر این، اجرا و پیاده‌سازی ساده‌تری داشته و با نظریه طیفی گراف رابطه تنگاتنگی دارند. همچنین با استفاده از روش‌های جبر خطی به‌خوبی قابل تفسیر و حل می‌باشند. در خوشه‌بندی طیفی، با توجه به اینکه برای مجموعه داده $X=\{x_i,i=1,\ldots,N\}$ یک ماتریس شباهت $N \times N$ تشکیل می‌شود و بردارهای ویژه این ماتریس نشان‌دهنده ویژگی‌ها در فضای جدید می‌باشند، بنابراین تعداد N ویژگی خواهیم داشت. این الگوریتم ابتدا یک ماتریس وابستگی[1] می‌سازد و با ساخت این ماتریس وابستگی، درواقع مسئله‌ی ما به یک گراف تبدیل می‌شود که اجزای به هم متصل گراف تشکیل یک خوشه را با هم می‌دهند. درواقع در این گراف، یال‌هایی که در یک عناصر آن‌ها در یک خوشه هستند وزن زیادی دارند و برعکس یال‌هایی که عناصر آن‌ها در یک خوشه نیستند، وزن کمتری را دارند. بعدازآن لاپلاسینِ گراف را ایجاد کرده بردارهای ویژه را برای آن انتخاب می‌شود. در آخر با الگوریتمی مانند *KMeans* از میانِ بردارهای ویژه می‌توان به خوشه‌بندی‌های موردنظر دست پیدا کرد. به‌منظور محاسبه ۵ آستانه ذکرشده و اجتناب از تعیین آستانه‌ها به‌صورت کوتاه‌مدت و دوری از نوسانات غیرواقعی بازار، نرخ بازده ماهیانه سهام شش سال متوالی (فروردین ۱۳۹۰ الی اسفند ۱۳۹۵) به الگوریتم خوشه‌بندی طیفی داده می‌شود. این الگوریتم دارایی‌ها را به خوشه تقسیم می‌نماید و مرز مشترک بین خوشه‌ها به‌عنوان آستانه برگردانده می‌شود. نتیجه این خوشه‌بندی در **شکل ۳** نمایش داده‌شده است. محور عمودی بیان‌کننده نرخ بازده سهام و محور افقی تعداد مشاهده نرخ بازده هر دارایی در هر خوشه است. هر نقطه در شکل بیان یک شرکت-ماه است. لازم به ذکر است که بازده سهام ۷٦ شرکت در ٦ سال به‌صورت ماهیانه است که درمجموع ٥٤٧٢ نمونه است. در بالای **شکل ۳** آستانه به‌دست آمده بین هر خوشه نشان داده شده است. در **شکل ۳** هر خوشه با برچسب *data1* تا *data6* نشان داده شده است و در **شکل ٤** اعداد نمونه‌های هر برچسب **شکل ۳** نشان داده‌شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود حدوداً تعداد نمونه‌ها غیر از *data1* و *data2* یکنواخت است.



شکل ۳- نتیجه خوشه‌بندی طیفی و تعیین پنج آستانه.

Figure 3- The result of spectral clustering and determination of five thresholds.

[1] Affinity matrix



شکل ٤- تعداد نمونه‌های هر خوشه شکل ۳ که در برچسب شکل نشان داده شده است.

Figure 4- Number of samples per cluster Figure 3 shown in the figure label.

پس از به دست آوردن آستانه، از آن‌ها در فیلتر فرآیند تصمیم مارکوف استفاده می‌شود. ابتدا برای هر یک از ۷٦ شرکت ماتریس زمانی مهاجرت[1] نرخ بازده سهام محاسبه می‌شود. به‌عنوان نمونه در **جدول ۲**، با توجه به آستانه‌های تعیین‌شده، ماتریس زمانی مهاجرت نرخ بازده سهام شرکت "افست" محاسبه می‌شود. مثلاً، مهاجرت این شرکت در دو ماه متوالی از حالت *S2* به *S4* تنها یک‌بار اتفاق افتاده است، این شرکت در ۵ مرتبه درگذر به ماه بعد در *S2* باقیمانده است و مهاجرت از *S5* به *S6* تنها یک‌مرتبه اتفاق افتاده است.

جدول ۲- نمونه‌ای از ماتریس زمانی مهاجرت نرخ بازده سهام برای یک شرکت.

Table 2- An example of a time return migration rate matrix for a company.

	S1	**S2**	**S3**	**S4**	**S5**	**S6**
S1	3	6	0	2	7	1
S2	3	5	0	1	7	0
S3	0	0	0	0	0	0
S4	2	1	0	0	4	0
S5	10	3	0	4	9	1
S6	1	0	0	0	1	0

در مرحله بعدی برای شرکت "افست" ماتریس احتمال مهاجرت مشابه **جدول ۳** انجام شده است. به‌عنوان نمونه، احتمال مهاجرت از *S4* به *S1* با استفاده از رابطه$\frac{2}{2+1+4}$=0.2857≈0.286 است.

[1] Migration Times Matrix

جدول ۳- ماتریس احتمال مهاجرت نرخ بازده سهام.
Table 3- Probability migration matrix of stock returns.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S1	0.158	0.316	0.000	0.105	0.368	0.053
S2	0.188	0.313	0.000	0.063	0.438	0.000
S3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S4	0.286	0.143	0.000	0.000	0.571	0.000
S5	0.370	0.111	0.000	0.148	0.333	0.037
S6	0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000

حال برای ماه جدید ابتدا حالتی که شرکت در آن قرارگرفته است، محاسبه می‌شود. اگر احتمال صعود این شرکت بیشتر از احتمال نزول باشد. این شرکت انتخاب می‌گردد زیرا در این مثال شرکت افست در حالت $S5$ قرار می‌گیرد و احتمال نزول برابر ۰٫۳۷۰٤ و احتمال صعود برابر ۰٫٦۲۹٦ است. پس از اجرای این فیلتر در این ماه تعداد ۷۲ام شرکت انتخاب شده است. این شرکت‌ها برای ادامه کار انتخاب شدند. داده‌هایی که به مرحله بعد می‌روند از فرودین ۱۳۹۲ تا اسفندماه ۱۳۹۷، یعنی ٦ سال، می‌باشد. داده‌های سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ کنار گذاشته می‌شوند.

۴- یافته‌های پژوهش

پس از پیشنهاد سبد سهام توسط الگوریتم *KRR*، وزن سرمایه‌گذاری در هر یک از دارایی‌های پرتفوی بسته به خصوصیات و سلیقه سرمایه‌گذار است. به همین منظور سه نوع سرمایه‌گذار در این تحقیق موردمطالعه قرار داده شده است.

الف) سرمایه‌گذار ریسک‌پذیر: *در این حالت مقدار α برابر ۰٫۲ درنظر گرفته شده است و سرمایه‌گذار ۸۰٪ به سود بازگشتی و ۲۰٪ به کاهش ریسک توجه می‌کند.*

ب) سرمایه‌گذار متعادل: *مقدار α برابر ۰٫۵ است و سرمایه‌گذار به ریسک و سود بازگشتی توجه یکسانی دارد.*

ج) سرمایه‌گذاری غیر ریسک‌پذیر: *مقدار α در این حالت برابر ۰٫۸ است و سرمایه‌گذار ۲۰٪ به سود بازگشتی و ۸۰٪ به کاهش ریسک توجه می کند.*

لازم به ذکر است که در این مقاله، دارایی‌های انتخاب‌شده در پرتفوی توسط الگوریتم *KRR* انتخاب شده است و در این مرحله با استفاده از ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی فرهنگی و مدل میانگین-واریانس مارکوئیز وزن‌های دارایی‌ها در هر پرتفوی تعیین می‌گردد. بنابراین، وزن‌های سرمایه‌گذاری، فقط، به سلیقه سرمایه‌گذار تعیین می‌شود و نه دارایی‌های انتخاب‌شده. این مکانیزم، به‌نوعی احساسات در تصمیم‌گیری سرمایه‌گذار را کاهش می‌دهد. همچنین، با توجه به استفاده از مدل میانگین-واریانس مارکوئیز به‌عنوان تابع ارزیاب الگوریتم بهینه‌سازی فرهنگی، در سبد پرتفوی به‌عنوان فیلتر دوم ممکن است برخی دارایی‌ها وزن برابر تقریباً صفر بگیرند و از سبد سهام حذف شوند. سبد پرتفوی با استفاده استراتژی پیشنهادی برای ۳٦ ماه، بین بازه زمانی فروردین‌ماه سال ۱۳۹۵ تا اسفندماه ۱۳۹۷ به‌صورت ماهیانه به‌دست آمده است. در هرماه پیشنهاد یک سبد سهام محاسبه و پیشنهاد شده است که در اینجا با توجه زیاد بودن تعداد نتایج چند نمونه بررسی می‌گردد. در **شکل ۵** پرتفوی آبان ۹۷ نشان داده شده است. در هرکدام از این شکل‌ها پیشنهاد دارایی‌های پرتفوی توسط الگوریتم *KRR* و انتخاب وزن‌های سرمایه‌گذاری با استفاده از مدل میانگین-واریانس مارکویتز و الگوریتم بهینه‌سازی فرهنگی محاسبه شده است. همچنین، هر سطر نشان‌دهنده یک نوع سرمایه‌گذار است، یعنی، سرمایه‌گذار ریسک‌پذیر، سرمایه‌گذار متعادل و سرمایه‌گذاری غیر ریسک‌پذیر. مجموع سرمایه‌گذاری برابر ۱۰۰٪ است و میزان بازده بازگشتی و مقدار ریسک در هر پرتفوی به‌صورت مجموع و به تفکیک شرکت‌ها نشان داده شده است. برخی شرکت‌ها وزن تقریباً برابر با صفر در پرتفوی به دست آورند و درواقع از پرتفوی حذف شدند و صرفاً برای اطلاع از حذف دارایی در این مرحله نمایش داده شده‌اند. بسته به خصوصیت سرمایه‌گذار ممکن شرکت حذف‌شده، برای سایر سرمایه‌گذاران با خصوصیت دیگر در سبد سهام قرار گیرد مشابه پرتفوی

جداول ٤-٦ توزیع درصد سرمایه‌گذاری هر دارایی به‌صورت نمودار میله‌ای در شکل‌ها در ستون سمت راست نشان داده شده است که بسته خصوصیت سرمایه‌گذار درصد سرمایه‌گذاری تغییر می‌کند.

جدول ٤- پرتفوی انتخاب‌شده برای آبان ماه ۲۰۱۸ با دیدگاه‌های مختلف نسبت به ریسک سرمایه‌گذار.
Table 4- Selected portfolio for November 2018 with different views on investor risk.

شرکت	وزن	ریسک	بازده
آهنگری تراکتور	20.77	.00197	.1245
شیشه و گاز	9.75	.00049	.0342
پتروشیمی خلیج فارس	21.99	.00083	.0736
بهنوش	4.15	.00015	.0122
گلوکوزان	14.96	.00058	.0432
سرامیک اردکان	7.1	.00038	.0186
افست	3.39	.00012	.0084
کشت و صنعت پیاذر	7.46	.00019	.0183
دارو عبیدی	10.41	.00028	.0255
کاشی تکسرام	.0	.0	.0
مجموع	100	.00502	.3586

α=02

شرکت	وزن	ریسک	بازده
آهنگری تراکتور	14.76	.00094	.0885
شیشه و گاز	8.9	.00045	.0312
پتروشیمی خلیج فارس	18.95	.00069	.0635
بهنوش	7.77	.00033	.0228
گلوکوزان	16.76	.00076	.0484
سرامیک اردکان	5.27	.00026	.0138
افست	2.4	.0008	.0060
کشت و صنعت پیاذر	12.63	.00041	.0310
دارو عبیدی	12.56	.00043	.0307
کاشی تکسرام	.0	.0	.0
مجموع	100	.00437	.3359

α=.5

شرکت	وزن	ریسک	بازده
آهنگری تراکتور	11.66	.00056	.0699
شیشه و گاز	7.94	.00045	.0279
پتروشیمی خلیج فارس	15.09	.00055	.0505
بهنوش	6.3	.00027	.0185
گلوکوزان	14.63	.00057	.0422
سرامیک اردکان	8.17	.00048	.0214
افست	4.69	.0002	.0117
کشت و صنعت پیاذر	19.81	.00083	.0486
دارو عبیدی	1.69	.00039	.0286
کاشی تکسرام	0.	.0	.0
مجموع	100	.0043	.3193

α=.8

جدول ۵- پرتفوی انتخاب شده برای تیر ماه ۲۰۱۷ با دیدگاه‌های مختلف نسبت به ریسک سرمایه‌گذار.
Table 5- Portfolio selected for July 2017 with different views on investor risk.

شرکت	وزن	ریسک	بازده
قند شیرین خراسان	13.06	.00093	.0660
ایران تایر	18.85	.00096	.0915
کاشی تکسرام	11.58	.00070	.0451
معادن بافق	10.64	.00030	.0242
نورد آلومینیوم	7.57	.00029	.0164
تایدواتر خاورمیانه	6.27	.0001	.0086
تأمین مواد اولیه فولاد صبانور	0	0	0
معدنی دماوند	13.05	.00001	.0146
صنایع ریخته گری ایران	8.35	.00043	.0076
سخت آژند	10.64	.00003	.0088
مجموع	100	.00372	.02828

α=.2

شرکت	وزن	ریسک	بازده
قند شیرین خراسان	6.99	.00028	.0353
ایران تایر	12.69	.00047	.0616
کاشی تکسرام	4.81	.00018	.0188
معادن بافق	8.86	.00025	.0201
نورد آلومینیوم	7.28	.00020	.0157
تایدواتر خاورمیانه	11.69	.00023	.0114
تأمین مواد اولیه فولاد صبانور	8.84	.00032	.0114
معدنی دماوند	15.24	.00002	.0171
صنایع ریخته گری ایران	4.21	.00015	.0038
سخت آژند	19.39	.00032	.0160
مجموع	100	.00241	.2159

α=.5

شرکت	وزن	ریسک	بازده
قند شیرین خراسان	5.06	.00013	.0256
ایران تایر	12.07	.0004	.0586
کاشی تکسرام	1.62	.00004	.0063
معادن بافق	9.11	.00031	.0207
نورد آلومینیوم	9.28	.00036	.0201
تایدواتر خاورمیانه	14.59	.00029	.0199
تأمین مواد اولیه فولاد صبانور	9.65	.00031	.0124
معدنی دماوند	17.86	.00006	.0200
صنایع ریخته گری ایران	2.11	.00006	.0019
سخت آژند	18.65	.00026	.0154
مجموع	100	.0022	.2010

α=.8

جدول ٦- پرتفوی انتخاب شده برای آبان ماه ۲۰۱۸ با با دیدگاه های مختلف نسبت به ریسک سرمایه‌گذار.

Table 6- Selected portfolio for November 2018 with different views on investor risk.

شرکت	وزن	ریسک	بازده
صنایع ریخته‌گری ایران	3.47	.00033	.0126
پارس الکتریک	14.77	.00098	.0502
دارو عبیدی	24.67	.00093	.0662
قند شیرین خراسان	6.25	.00034	.0120
ساپیا شیشه	5.57	.00043	.0085
گشت و صنعت چین چین	8.53	.00039	.0121
ایران تایر	0	0	0
رادیاتور ایران	12.15	.00073	.0158
آسان پرداخت پرشین	15.75	.00022	.0144
کویرتایر	8.85	.00050	.0074
مجموع	100	.00494	.1992

α=.2

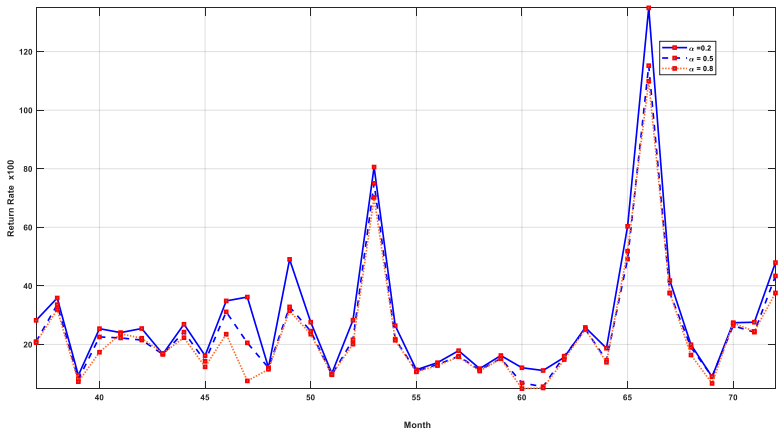
شرکت	وزن	ریسک	بازده
صنایع ریخته گری ایران	5	.00046	.0182
پارس الکتریک	9.1	.00055	.0309
دارو عبیدی	24.67	.00094	.0662
قند شیرین خراسان	5.21	.00021	.0100
ساپیا شیشه	.01	0	0
کشت و صنعت چین چین	14.19	.00065	.0201
ایران تایر	6.67	.00034	.090
رادیاتور ایران	10.68	.00060	.0139
آسان پرداخت پرشین	15.90	.00034	.0146
کویرتایر	8.55	.00046	.0071
مجموع	100	.00455	.1901

α=.5

شرکت	وزن	ریسک	بازده
صنایع ریخته‌گری ایران	6.22	.00059	.0226
پارس الکتریک	2.84	.00017	.0096
دارو عبیدی	16.08	.0002	.0431
قند شیرین خراسان	5.15	.00022	.0099
ساپیا شیشه	1.97	.00014	.0030
کشت و صنعت چین چین	13.26	.00063	.0188
ایران تایر	5.8	.00032	.0079
رادیاتور ایران	13.66	.00089	.0178
آسان پرداخت پرشین	24.88	.00048	.0228
کویرتایر	10.14	.00063	.0058
مجموع	100	.00427	.01640

α=.2

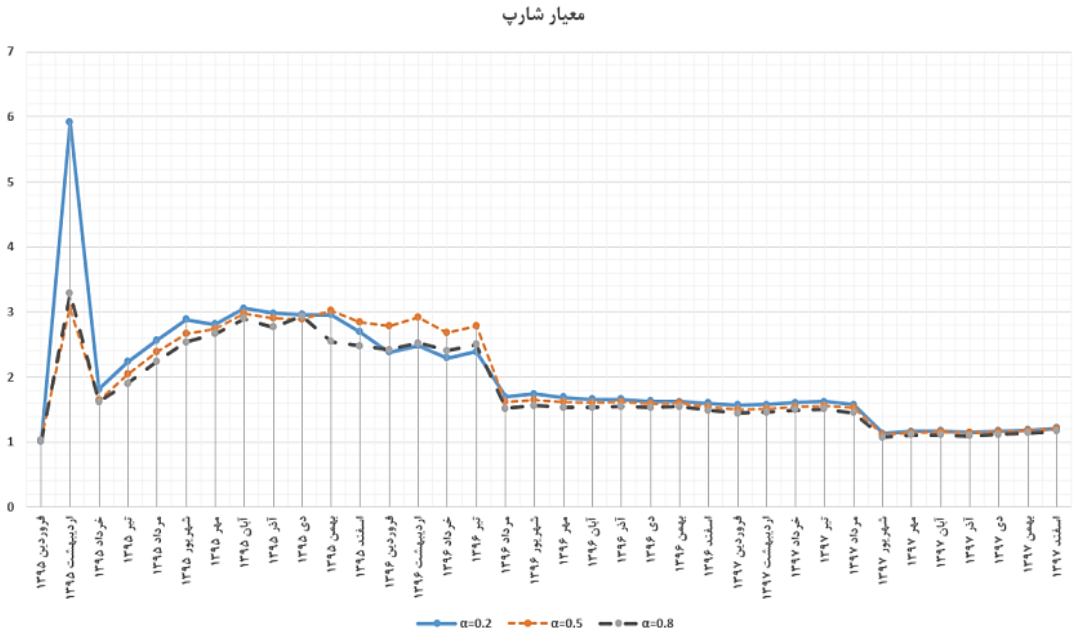
به‌منظور عملکرد پورتفوی در سه سال ۹۵، ۹۶ و ۹۷ از شاخص‌های نرخ بازده و نرخ شارپ استفاده شده است. در **شکل ۵** نرخ بازده برای ۳۶ پورتفوی به‌دست‌آمده نشان داده‌شده است. محور افقی از عدد ۳۶ شروع و به عدد ۷۲ ختم می‌شود که به ترتیب هر رقم به یك ماه اشاره می‌کند. عدد ۳۶ یعنی فروردین ماه ۱۳۹۵، ۳۷ یعنی اردیبهشت ۱۳۹۵، ... و ۷۲ یعنی اسفندماه ۱۳۹۷. به‌منظور مشاهده بهتر بازده محور عمودی در عدد ۱۰۰ ضرب شده است. سه نمودار به ازای خصوصیت‌های مختلف سرمایه‌گذار نشان داده شده است که توسط α نشان داده‌شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش α مقدار بازده بازگشتی کاهش می‌یابد.



شکل ۵- نرخ بازده بازگشتی پرتفوی بین فروردین ۱۳۹۵ تا اسفند ۱۳۹۷.

Figure 5- Return rate of portfolio between April 2016 to March 2018.

در **شکل ٦** نرخ شارپ به ازای خصوصیت‌های سرمایه‌گذار نشان داده‌شده است. هر چه مقدار نرخ شارپ بیشتر باشد سبد پرتفوی به‌دست‌آمده بهتر بوده است.



شکل ۶- نرخ شارپ پرتفوی بین فروردین ۱۳۹۵ تا اسفند سال ۱۳۹۷.

Figure 6- Sharp portfolio rate between April 2016 to March 2018.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در امر سرمایه‌گذاری سهام، انتخاب سبد بهینه سهام ازجمله مهم‌ترین موارد قابل‌توجه است. در این رابطه ایجاد مدل‌هایی که بتواند به انتخاب بهترین سبد سهام منجر شود از اهمیت حائز توجه‌ای برخوردار است. مدل‌های مزبور می‌بایست در ایجاد سبد بهینه سهام توانایی لحاظ کردن شخصیت ریسک‌پذیری اشخاص را نیز داشته باشند. تلاش در جهت بهبود روش‌های تجزیه‌وتحلیل سبد سرمایه‌گذاری، به‌ویژه در بازارهایی که تعداد سهام در آن‌ها بسیار بالاست، منجر به پدید آمدن روش‌های نوینی گردیده که در کنار روش‌های گذشته درصدد یافتن پاسخی برای میل به بیشینه نمودن سود سرمایه‌گذار در بازارهای مالی می‌باشند. در این تحقیق با استفاده از الگوریتم فراابتکاری فرهنگی با در نظر گرفتن بازده پیش‌بینی‌شده توسط الگوریتم رگرسیون لبه اقدام به ارائه پرتفوی سهام ماهانه برای گروه سرمایه‌گذار ریسک‌پذیر و ریسک‌گریز شده است. در این پژوهش برای حاصل شدن نتایج بهتر از فیلتر مارکوف و الگوریتم خوشه‌بندی طیفی جهت انتخاب اولیه مناسب شرکت‌ها بهره برده شد که با بررسی‌های به عمل آمده بخشی از نوآوری‌های پژوهش می‌باشد. در حقیقت با استفاده از روش مارکوف و الگوریتم خوشه‌بندی طیفی، فیلتر لازم جهت انتخاب داده‌های مناسب اولیه انجام شد و روش فراابتکاری فرهنگی با داده‌های پیش‌بینی به‌وسیله الگوریتم رگرسیون لبه، سبد بهینه سهام را برای گروه سرمایه‌گذار با تمایلات ریسک‌پذیر و همچنین ریسک‌گریز ارائه شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که الگوریتم فراابتکاری فرهنگی با توجه به روش شارپ توانایی ایجاد سبد بهینه سهام با استفاده از داده‌های پیش‌بینی‌شده را با روش مارکویتز برای سرمایه‌گذاران ریسک‌پذیر و ریسک گریز دارد. یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین موضوعات در حوزه سرمایه‌گذاری انتخاب پرتفوی سهام می‌باشد. سرمایه‌گذار در این حالت با گزینه‌های متعدد و گوناگونی مواجه می‌شود. تصمیم‌گیری در این خصوص که کدام سهم در مقایسه با سهام دیگر وضعیت بهتری دارد و شایستگی انتخاب شدن و قرار گرفتن در پرتفوی سرمایه‌گذاری را دارد و نحوه تخصیص سرمایه بین این اوراق مباحث پیچیده‌ای می‌باشد. پژوهش حاضر این قدرت را به سرمایه‌گذاران می‌دهد که با استفاده از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و فیلتر مارکوف سبد بهینه سهام آتی را با توجه به میزان ریسک مدنظر خود ایجاد نمایند. به‌منظور پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد از سایر معیارهای ریسک موجود در زمینه بهینه‌سازی پرتفوی و همچنین سایر الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده گردد. همچنین محققان می‌توانند با واردکردن محدودیت‌های مانند هزینه معاملات و ریسک ورشکستگی و همچنین حداقل و حداکثر تعداد سهام مجاز در پرتفوی مدل را توسعه دهند.

منابع

Ajdari, F., Rahnamay roodposhti, F., Hamidian, M., Jafari, S., & Baghani, A. (2019). Select a stock portfolio to invest and identify top companies with the limitations of L and using the machine learning method. *Financial management strategy*. (**In Persian**). https://dx.doi.org/10.22051/jfm.2019.24505.1968

Aliu, F., Nuhiu, A., Krasniqi, B., & Aliu, F. (2020). Modeling the optimal portfolio: the case of the largest European stock exchanges. *Comparative economic research. Central and eastern Europe*, *23*(2), 41-51.

Bahri Sales, J., Pakmaram, A., & Valizadeh, M. (2018). Selection and portfolio optimization by Mean–Variance Markowitz model and using the different algorithms. *Financial knowledge of securities analysis*, *11*(37), 43-53. (**In Persian**). http://jfksa.srbiau.ac.ir/article_11512.html

Barkhordari, M. H., & Rezaei, M. (2015). Optimal portfolio determination of stuck efficient industry using cover analysis of data from the perspective of institutional investors (case study: Ansar Bank). *Journal of development in monetary and banking management*, *2*(5), 53-72. (**In Persian**). https://journal.ansarbank.ir/article_14109.html

Behnamian, J., & Moshrefi, M. (2017). Hybrid meta-heuristic algorithm for multi-objective portfolio optimization by fuzzy programming. *Financial engeneering and portfolio management*, *8*(30), 33-53. (**In Persian**). http://fej.iauctb.ac.ir/article_529579.html

Chen, C. H., Lu, C. Y., & Lin, C. B. (2020). An intelligence approach for group stock portfolio optimization with a trading mechanism. *Knowledge and information systems*, *62*(1), 287-316.

Deng, G. F., Lin, W. T., & Lo, C. C. (2012). Markowitz-based portfolio selection with cardinality constraints using improved particle swarm optimization. *Expert systems with applications*, *39*(4), 4558-4566.

Ho, C. H., & Lin, C. J. (2012). Large-scale linear support vector regression. *The journal of machine learning research*, *13*(1), 3323-3348.

Kryzanowski, L., Zhang, J., & Zhong, R. (2018). Currency hedging of international bond portfolios: effects of unconventional monetary policy regimes. *Available at SSRN 3123960*: https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3123960

Kumar, D., & Mishra, K. K. (2017). Portfolio optimization using novel co-variance guided Artificial Bee Colony algorithm. *Swarm and evolutionary computation*, *33*, 119-130.

Lale Sajjadi, S., Vakili, S., & Ebrahimi, S. (2019). Designing automatic re-balancing model using technical analysis concept of divergence. *Financial knowledge of securities analysis*, *12*(41), 45-56. (**In Persian**). http://jfksa.srbiau.ac.ir/article_13976.html

Lamoureux, C. G., & Zhang, H. (2018). An empirical assessment of characteristics and optimal portfolios. *Available at SSRN 3018499*: https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3018499

Levy, H., & Levy, M. (2014). The benefits of differential variance-based constraints in portfolio optimization. *European journal of operational research*, *234*(2), 372-381.
Mahmud, I. (2020). Optimal portfolio construction using Sharpe's single-index model: evidence from Chittagong stock exchange. *International journal of commerce and finance*, *6*(1), 127-142.
Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *Journal of finance*, 7(1), 7-91.
Masom Alishahi, P., & Azimi, M. (2018). Stock portfolio optimization based on the Markowitz model. *The first international conference on management, accounting and knowledge- based economics*. (**In Persian**). https://civilica.com/doc/773470/
Mishra, S. K., Panda, G., & Majhi, B. (2016). Prediction based mean-variance model for constrained portfolio assets selection using multiobjective evolutionary algorithms. *Swarm and evolutionary computation*, *28*, 117-130.
Paytakhti oskooe, S., Hadipour, H., & Aghamiry, H. (2019). The stock optimal portfolio using value at risk: Evidence from Tehran Stock Exchange. *Empirical studies in financial accounting*, *15*(61), 157-178. (**In Persian**). https://dx.doi.org/10.22054/qjma.2019.43203.2012
Rahmani, M., Khalili Araghi, M., & Nikoomaram, H. (2020). Portfolio selection by means of artificial bee colony algorithm and its comparison with genetic algorithm and ant colony algorithm. *Financial knowledge of securities analysis*, *13*(45), 31-46. (**In Persian**). http://jfksa.srbiau.ac.ir/article_15408.html
Ramooz, N., Akbari ,Agmashhadi, Z., & Atefatdoost, A. (2020). Optimal portfolio selection using the compromise-programming model in the Tehran stock exchange. *Financial management strategy*, *8*(1), 21-37. (**In Persian**). https://dx.doi.org/10.22051/jfm.2019.14649.1322
Rezaei, S., Baghjari, M., & Mazaherifar, P. (2019). The comparison of neural network, ANFIS and AR model in expected return prediction and comparison of memetic and symbiotic organism search in constrained portfolio optimization. *Financial knowledge of securities analysis*, *12*(43), 109-119. **(In Persian)**. http://jfksa.srbiau.ac.ir/article_14612.html
Taghizadeh Yazdi, M. A., Alavi, S. A., & Zare Nasi Abedi, M., M. (2015). Ranking of companies listed on the Tehran Stock Exchange using VIKOR and ANP decision-making techniques. *International conference on management, economics and industrial engineering*. https://doi.org/10.48084/etasr.1252
Tehrani, R., Fallah Tafti, S., & Asefi, S. (2018). Portfolio optimization using krill herd metaheuristic algorithm considering different measures of risk in Tehran stock exchange. *Financial research journal*, *20*(4), 409-426. (**In Persian**). https://dx.doi.org/10.22059/frj.2019.244004.1006538
Vasiani, V. D., Handari, B. D., & Hertono, G. F. (2020). Stock portfolio optimization using priority index and genetic algorithm. *Journal of physics: conference series*, *1442*(1), 1-5.

Licensee Decisions & Operations Research. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).