Applied Theories of Economics, Vol. 11, No. 2, Summer 2024

Determining the optimal portfolio of bank facilities with the Markowitz approach and meta-heuristic algorithms (Case study of Sina Bank)

Iman Dadfar[1]
Roya Seyfipour[2]
Azadeh Mehrabiyan[3]
Narciss Aminrashti[4]

Abstract

Banks face credit risk in the process of providing facilities based on the amount of resources provided. In the meantime, facility portfolio management can be effective in reducing credit risk by optimally allocating resources to economic sectors. In this research, the portfolio of Sina Bank's facilities is determined by using the Markowitz modern portfolio model and meta-heuristic algorithms of genetics and firefly. Comparing the performance of the models indicates the greatest efficiency of the genetic algorithm model in optimizing the bank's facilities portfolio. the results of the estimation of this model show that the service & commercial, housing & construction sectors have the largest share in the optimal portfolio of the bank's facilities. Industry & mining, agriculture & water sectors are considered risky assets of Sina Bank. the process of granting facilities has not been optimal. To reduce the credit risk of that bank's facilities, 52.4% should be allocated to the service & commercial sector, 40.7% to the housing & construction sector, 3.5% to the industry & mining sector, 3.4% to be allocated to agriculture & water sector.

Keywords: *Optimization, Markowitz modern portfolio model, Genetic algorithm, Firefly algorithm*
JEL Classification: *C58, G11, G21, G32.*

[1] Department of Economics, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. iman.dadfar@yahoo.com
[2] Department of Economics, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. roy.seyfipour@iauctb.ac.ir
[3] Department of Economics, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
[4] Department of Economics, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Introduction

Banks, as the main part of the financial system, always face credit risk when providing facilities. The weakness of credit risk management is the most important reason for the decrease in profitability, which can ultimately lead to the bankruptcy of banks.A significant volume of non-current claims of the country's banking network indicates the lack of appropriate risk management models. Proper management of resources and their optimal allocation to economic sectors is a method that banks can use to manage and control credit risk. Therefore, managing the facility portfolio in the country's banking system has been raised as an important issue. So, bank managers can control and manage credit risk by properly managing resources and optimally allocating them to economic sectors. From this point of view, this research aims to determine the optimal composition of Bank Sina's facilities in economic sectors. For this purpose, Markowitz's approach and meta-heuristic algorithms of genetics and firefly have been used to optimize the investment portfolio.

A group of researchers such as (Bargi,2024) (Eghtesad & Mohammadi, 2023) (Kazan, 2014) have analyzed the optimal composition of the portfolio of selected banks' facilities with the Markowitz model and another group such as (Gunjan & Bhattacharya. 2024), (Soltani et al.,2023), (Wang et al., 2022) using meta-heuristic algorithms in the form of economic sectors. Some researchers, such as (Jahanian et al., 2022), (and Dubinskas & Urbsiene, 2017), have determined the performance of selected optimization models by using the evaluation criteria of Sharpe, Trainor, etc., or through a return to risk ratio. (Nobakht et al., 2019) The facility portfolio of the selected bank was compared with its optimal portfolio by using a sample t-tech test, and it was concluded that the facility portfolio was not optimal.

Methodology

To determine the optimal combination of Sina Bank's facilities, the return rate of economic sectors (the ratio of income obtained from the granting of facilities to the total facilities granted to each economic sector) and the risk of economic sectors (return variance of economic sectors) has been extracted using seasonal data from 1386 to 1402 and selected as a statistical sample. The descriptive statistics section collects research data in Excel and is normalized in SPS26. The genetic algorithm and firefly models are programmed using Python3 and implemented in the collab program. The mathematical programming model is estimated using the solver tool in Excel. The share of economic sectors in the bank's facility portfolio is evaluated at three levels (high risk, medium risk, and low risk). The optimal portfolio is the most efficient model based on the return to risk ratio and

performance evaluation criteria, such as Sharpe, Treynor, and Sortino. The existing portfolio is examined to investigate the optimality of Sina Bank's facility portfolio. It is compared with the efficient frontier curve obtained from the efficient model (optimal portfolio), and the hypothesis of their difference is tested using the one-sample t-test.

Results and Discussion

One of the effective factors in reducing the banks' claims is the correct management of resources and their optimal allocation to economic sectors. This research tried to determine the optimal portfolio of Sina Bank's facilities. The results of evaluating the efficiency of the mentioned models in optimizing the facility portfolio by using the performance evaluation criteria and return to risk ratio indicate that the genetic algorithm model is more efficient than the other two models. The comparison of the existing portfolio with the efficient frontier obtained from the genetic algorithm model and the one-sample t-test have shown that the share of economic sectors from Sina Bank's portfolio was not optimal during the years 1386 to 1402. To reduce the credit risk, 52.4% should be allocated to the service & commercial sector, 40.7% to the housing & construction sector, 3.5% to the industry & mining sector, and 3.4% to the agriculture & water sector. In this case, the portfolio's risk and return are placed on the efficient frontier and optimized according to the amount of risk aversion of the bank. Sina Bank has established a risk management department in recent years, although its studies and measures have reduced non-current claims and better performance in credit risk management compared to a selection of private banks such as Eghtesadnovin, Saman, and Karafarin. However, considering the 15% rate of non-current claims of Sina Bank in 1402, its effects on achieving the optimal portfolio of facilities have not yet been favorable. Therefore, Sina Bank should apply an effective risk management system to reduce the facility's credit risk. Therefore, it is necessary to design and establish the software system of the genetic algorithm model to predict the credit risk of economic sectors and connect it to the database to optimize Sina Bank's facility portfolio.

فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد/ سال یازدهم/ شماره ۲/ تابستان ۱۴۰۳/ صفحات ۱۹۸-۱۶۷

تعیین پرتفوی بهینه تسهیلات بانک با رویکرد مارکویتز و الگوریتم‌های فراابتکاری (مطالعه موردی بانک سینا) [1]

ایمان دادفر
گروه اقتصاد، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، iman.dadfar@yahoo.com
رویا سیفی‌پور*
گروه اقتصاد، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، roy.seyfipour@iauctb.ac.ir
آزاده محرابیان
گروه اقتصاد، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،aza.mehrabiyan@iauctb.ac.ir
نارسیس امین‌رشتی
گروه اقتصاد، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،narciss.aminrashti@iauctb.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۱

چکیده

بانک‌ها در فرایند اعطاء تسهیلات که براساس میزان منابع تجهیز شده صورت می‌پذیرد با ریسک اعتباری مواجه می‌باشند. دراین بین مدیریت پرتفوی تسهیلات می‌تواند با تخصیص بهینه منابع به بخش‌های اقتصادی از طریق به حداقل رساندن ریسک سرمایه‌گذاری در سطح معینی از بازده مورد انتظار بر کاهش ریسک اعتباری تأثیرگذار باشد.دراین پژوهش پرتفوی تسهیلات بانک سینا در بخش‌های اقتصادی طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۲ با استفاده از مدل پرتفوی مدرن مارکویتز و الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک و کرم شب تاب بهینه‌سازی و مرز کارا تعیین می‌شود. مقایسه عملکرد مدل‌ها حاکی از کارایی بیشتر مدل الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی پرتفوی تسهیلات بانک می‌باشد و نتایج حاصل از برآورد این مدل نشان می‌دهد، بخش‌های خدمات و بازرگانی، مسکن و ساختمان بیشترین سهم را در پرتفوی بهینه تسهیلات بانک دارند و بخش‌های صنعت و معدن، کشاورزی و آب دارایی‌های ریسکی بانک سینا محسوب می‌شوند. طی دوره مورد بررسی، روند اعطای تسهیلات بانک سینا بهینه نبوده است و درراستای کاهش ریسک اعتباری تسهیلات آن بانک می‌بایست ۵۲٪/۴ به بخش خدمات و بازرگانی، ۴۰/۷٪ به بخش مسکن و ساختمان، ۳/۵٪ به بخش صنعت و معدن و ۳/۴٪ به بخش کشاورزی و آب اختصاص یابد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، مدل پرتفوی مدرن مارکویتز، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کرم شب تاب.
طبقه‌بندی JEL: G11،C58 ،G21،G32.

---

[1] این مقاله مستخرج از رساله دکترای نویسنده اول در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی است.

* نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

بانک‌ها با تخصیص منابع مالی به بخش‌های مختلف اقتصادی، نقش مهمی در توسعه اقتصادی کشور برعهده دارند. براین اساس، یکی از فعالیت‌های مهم بانک‌ها اعطای تسهیلات است. تسهیلات اعطایی، از دارایی‌های مهم و با ارزش بانک‌ها محسوب می‌شوند و بخش عمده‌ای از درآمد بانک‌ها از طریق اعطای تسهیلات حاصل می‌گردد. بانک‌ها با نسبت اهرم مالی بالا فعالیت می‌نمایند لذا زیان ناشی از عملکرد، به راحتی آنها را در معرض ورشکستگی قرار می‌دهد و به همین دلیل بایستی تلاطم سودآوری خود را کنترل نمایند. اما سود بانک‌ها تا اندازه زیادی متأثر از ریسک اعتباری است زیرا افزایش اندک مطالبات غیرجاری ناشی از افزایش ریسک اعتباری به سادگی می‌تواند سود بالای بانک را تبدیل به زیان نماید. بانک‌ها به عنوان بخش اصلی نظام مالی در اعطاء تسهیلات همواره با ریسک اعتباری مواجه هستند. ریسک اعتباری مهمترین ریسک تأثیرگذار بر سودآوری بانک‌ها است. در واقع، ضعف مدیریت ریسک اعتباری مهمترین دلیل کاهش سودآوری است که در نهایت می‌تواند منجر به ورشکستگی بانک‌ها شود.

حجم قابل ملاحظه‌ای از مطالبات غیرجاری شبکه بانکی کشور، گویای فقدان مدل‌های مناسب مدیریت ریسک است. مدیریت صحیح منابع و تخصیص بهینه آنها به بخش‌های اقتصادی روشی است که بانک‌ها می‌توانند جهت مدیریت و کنترل ریسک اعتباری از آن بهره‌گیری نمایند، ریسک اعتباری موجود در پرتفوی تسهیلات را شناسایی و به طور مستمر مدیریت نمایند و مطمئن شوند که به کمک روش‌های مناسب مدیریت ریسک و کنترل‌های کافی تحت بررسی قرار گرفته است. بانک‌ها می‌توانند با ایجاد سیستم‌های اطلاعاتی مناسب، ابزاری را در اختیار مدیریت جهت شناسایی تمرکز دارایی‌ها در پرتفوی تسهیلات و کنترل ترکیب کلی و کیفیت آن قرار دهند (کمیته بازل[1]، ۲۰۰۰).

از این رو ضرورت و نیاز به مدیریت پرتفوی تسهیلات[2] در سیستم بانکی کشور به عنوان یک مسأله مهم مطرح شده است. با توجه به اینکه اساس و پایه علم اقتصاد، تخصیص بهینه منابع کمیاب به فعالیت‌های اقتصادی است لذا مدیران بانک‌ها می‌توانند با

---

[1] Basel Committee
[2] Loan Portfolio Management

مدیریت صحیح منابع و تخصیص بهینه آنها به بخش‌های اقتصادی، ریسک اعتباری را کنترل و مدیریت نمایند. به استناد اصل ۱۱ دستورالعمل مدیریت ریسک اعتباری صادره بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، بانک‌ها باید سیستم‌های اطلاعات و روش-هایی برای تجزیه و تحلیل داشته باشند به نحوی که مدیریت به کمک آنها بتواند ریسک اعتباری موجود در کلیه فعالیت‌ها و محصولات بانک را اندازه‌گیری نماید. سیستم اطلاعات مدیریت باید اطلاعات کافی را در مورد ترکیب پرتفوی اعتباری ارائه نموده و هرگونه ریسک تمرکز را شناسایی نماید. طبق اصل ۱۲ از دستورالعمل مذکور، بانک‌ها باید سیستمی را برای مراقبت از ترکیب کلی و کیفیت پرتفوی اعتباری خود ایجاد نمایند (رنجبر مطلق[1]، ۱۳۸۴). بانک‌ها منابع حاصل از سپرده‌گذاری مشتریان را از طریق اعطاء تسهیلات در بخش‌های اقتصادی سرمایه‌گذاری می‌نمایند و درراستای کاهش مطالبات غیرجاری حاصل از آن می‌توانند ریسک اعتباری تسهیلات را از طریق انتخاب پرتفوی بهینه آن مدیریت نمایند. از این منظر، هدف از انجام تحقیق حاضر، تعیین ترکیب بهینه تسهیلات بانک سینا در بخش‌های اقتصادی است. برای این منظور از رویکرد مارکویتز[2] و الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک و کرم شب تاب که در بهینه-سازی[3] سبد سرمایه‌گذاری کاربرد دارند، استفاده شده است.

بخش‌های مختلف مقاله به صورت زیر تقسیم‌بندی شده است: در بخش دوم، مبانی نظری بهینه‌سازی پرتفوی و مطالعات صورت گرفته در داخل و خارج ارائه می‌شود. بخش سوم، روش‌شناسی تحقیق شامل معرفی مدل پرتفوی مدرن مارکویتز و الگوریتم-های فراابتکاری می‌باشد. در بخش چهارم، آمار توصیفی داده‌های تحقیق ارائه و پس از برآورد مدل‌های بهینه‌سازی، کارایی آنها ارزیابی و مدل کاراتر انتخاب و نتایج اعتبارسنجی می‌شوند. در بخش پنجم، جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

۲- ادبیات موضوع

بهینه‌سازی انتخاب بهترین ترکیب از دارایی‌های مالی است به گونه‌ای که سبب شود بازده پرتفوی سرمایه‌گذاری تا حد ممکن حداکثر شود و ریسک پرتفوی به حداقل برسد. مسئله اصلی، انتخاب بهینه دارایی‌ها است که با مقدار مشخصی سرمایه می‌توان

---

[1] Ranjbar Motlagh (2005)
[2] Markowitz Modern Portfolio Model
[3] Optimization

تهیه نمود. مروری بر ترازنامه بانک سینا در سال ۱۴۰۲ نشان می‌دهد که از کل تسهیلات اعطایی به مبلغ ۹۰۰ هزار میلیارد تومان، ۶۳٪ به بخش خدمات و بازرگانی، ۱۰٪ به بخش مسکن وساختمان، ۲۱٪ به بخش صنعت و معدن و ۶٪ به بخش کشاورزی و آب اختصاص یافته است و با در نظر گرفتن فعالیت۱۳ بانک‌خصوصی در کشور، مبلغ مذکور ۶ درصد از کل تسهیلات اعطائی بانک‌های خصوصی می‌باشد. همچنین در سال ۱۴۰۲، ۶۶ درصد از کل دارائی بانک سینا در قالب تسهیلات پرداخت شده است که ۱۵ درصد از آن به دلیل عدم بازپرداخت به سرفصل مطالبات غیرجاری انتقال یافته است. مطالبات غیرجاری بانک سینا طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۲ از روندی نزولی برخوردار بوده و از ۳۰٪ در سال ۱۳۸۶ به ۱۵٪ در سال ۱۴۰۲ کاهش یافته است، علت این امر را می‌توان در تغییر وضعیت آن از موسسه اعتباری به بانک در سال ۱۳۸۷ و متعاقب آن تشکیل دپارتمان مدیریت ریسک دانست. بنابراین یکی از مباحث مهمی که بانک‌ها جهت کاهش ریسک اعتباری در سرمایه‌گذاری با آن مواجه می‌باشند، ارزیابی ریسک و بازده بخش‌های اقتصادی درراستای انتخاب سبد سرمایه‌گذاری بهینه است و این مهم با استفاده از دو دیدگاه مجزا صورت می‌پذیرد که در ادامه تشریح می‌شوند.

۲-۱- تئوری مدرن پرتفوی

در دیدگاه اول که مارکویتز آن را با عنوان میانگین-واریانس مطرح و با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی به حل مسائل بهینه‌سازی پرداخت، کل تغییر پذیری بازده حول میانگین، ریسک تلقی و با واریانس اندازه‌گیری می‌شود. مفروضات این تئوری به شرح ذیل می‌باشد: (راعی و سعیدی[1]، ۱۴۰۱)

۱-توزیع بازدهی نرمال می‌باشد.

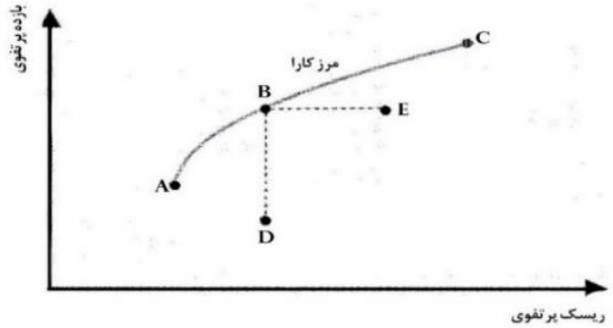
۲- واریانس بازدهی، شاخص مناسبی برای اندازه‌گیری ریسک می‌باشد.

انتشار نظریه پرتفوی مدرن مارکویتز، اصلی‌ترین و مهمترین موفقیت در این راستا بود و این مدل تغییرات و بهبود فراوانی را در شیوه نگرش مردم به سرمایه‌گذاری ایجاد کرد و به عنوان ابزاری کارا برای بهینه‌سازی پرتفوی به کار گرفته شده است. این نظریه توسط وی در مجله مالی در سال ۱۹۵۲ منتشر شد. مارکویتز به همراه مرتون میلر و ویلیام

[1] Raei & Saeedi (2022)

شارپ به خاطر پیشگامی در نظریه مدرن پرتفوی موفق به دریافت جایزه نوبل اقتصاد در سال ۱۹۹۰ شدند (ایناک و لبسچان[1]، ۲۰۱۴).

نظریه پرتفوی مدرن بیان می‌نماید که در هر سطح از بازدهی، پرتفویی وجود دارد که دارای کم‌ترین ریسک است و برای هر سطح ریسک نیز پرتقویی وجود دارد که بالاترین بازدهی را به سرمایه‌گذار می‌دهد. با ترسیم این دو ترکیب بر روی یک نمودار می‌توان به مرز کارا[2] رسید. طبق نمودار ۱، این مرز از نقاط A، B و C می‌گذرد. پرتفوهای بالاتر از مرز در دسترس نیستند و پرتفوهایی که زیر مرز کارا قرار می‌گیرند (پرتفوی D) بهینه نیستند زیرا بازدهی کافی برای این سطح از ریسک فراهم نمی‌نمایند و می‌توان پرتفوهایی همانند پرتفوی B یافت که با همین سطح از ریسک، بازده بالاتری ایجاد نمایند.



نمودار (۱): منحنی مرز کارا

منبع: یافته‌های تحقیق

ریسک و بازدهی با یکدیگر رابطه مستقیم دارند، با افزایش ریسک، بازدهی افزایش و با کاهش آن بازدهی کاهش می‌یابد. نقطه A، حداقل واریانس نام‌گذاری شده است زیرا پایین‌تر از این نقطه دیگر پرتفویی وجود ندارد که در ازاء بازده کمتر، ریسک کمتری داشته باشد. مرزکارا برای هر سرمایه‌گذار می‌تواند متناسب با ریسک‌پذیری و بازده مورد انتظارش شکل متفاوتی داشته باشد. سرمایه‌گذار می‌تواند متناسب با ویژگی‌های مورد نظرش، مرز کارای مخصوص به خود را داشته باشد و سپس پرتفویی که قصد تشکیل آن را دارد با این مرز مقایسه نماید و متوجه شود که آیا یک سرمایه‌گذاری بهینه انجام

[1] Enoch & Labuschagne
[2] Efficient Frontier

داده است و یا می‌تواند با تغییر برخی از عوامل پرتفوی خود را بهینه‌تر نماید (مارکویتز[1]، ۱۹۵۹).

مدل مدرن پرتفوی که تا امروز به طور گسترده در بهینه‌سازی دارایی‌ها به کارگرفته شده از جهاتی مورد انتقاد قرار گرفته است. در این مدل مقادیر بازده انواع دارایی‌ها به عنوان متغیرهای تصادفی نرمال در نظر گرفته می‌شوند اما فرض نرمال بودن مقادیر بازده در بسیاری از بازارها مورد تردید قرار گرفته است لذا این مدل تا حدود زیادی کارایی خود را از دست می‌دهد. در این صورت دیگر حتی واریانس بازدهی نیز نمی‌تواند شاخص خوبی از ریسک باشد. استفاده از مقادیر آماری گذشته در برآورد ماتریس واریانس- کواریانس و فرض بر ثبات آن در آینده و وابستگی شدید پرتفوی بهینه به مقادیر ورودی و داده‌های پرت از دیگر اشکالاتی است که در ارتباط با نظریه مدرن پرتفو مطرح است (خندان[2]، ۱۴۰۲).

از اینرو افراد زیادی سعی در توسعه و اصلاح آن داشته‌اند، دراین میان استفاده از تئوری فرامدرن پرتفوی که بتواند معایب مذکور را مرتفع نماید به عنوان ضرورتی مهم در مبانی نظری سرمایه‌گذاری مطرح می‌شود.

۲-۲- تئوری فرامدرن پرتفوی

در این دیدگاه، سه پیشرفت اساسی نسبت به تئوری مدرن پرتفوی مطرح شده است. در بهینه‌سازی پرتفوی بجای مدل برنامه‌ریزی ریاضی از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده می‌نماید. برای ارزیابی ریسک از شاخص ریسک نامطلوب به جای انحراف معیار استفاده می‌شود و توزیع‌های بازدهی غیرنرمال را نیز در برمی‌گیرد.

نرخ بازدهی هدف، حداقل بازدهی قابل قبول می‌باشد و بازدهی‌های کمتر از آن، ریسک نامطلوب و بازدهی‌های بالای آن عدم اطمینان محسوب می‌شود. به طور خلاصه می‌توان گفت که نظریه مدرن پرتفوی براساس رابطه بازدهی و ریسک محاسبه شده از طریق انحراف معیار و مدل برنامه‌ریزی ریاضی تبیین می‌شود لیکن نظریه فرامدرن پرتفوی براساس رابطه بازدهی و ریسک نامطلوب و الگوریتم‌های فراابتکاری به تبیین رفتار سرمایه‌گذار و انتخاب پرتفوی بهینه می‌پردازد (استرادا[3]، ۲۰۰۰).

---

[1] Markowitz
[2] Khandan (2023)
[3] Estrada

بارگی[1] (۲۰۲۴)، با استفاده از مدل‌های مارکویتز و بلک‌لیترمن، سهام منتخب ۲۰ شرکت در بازار سرمایه را بهینه‌سازی و کارایی آنها را با استفاده از معیار شارپ مقایسه نموده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل مارکویتز صرفاً متکی به داده‌ها است، انعطاف‌پذیری کمی برای ترکیب دیدگاه‌های ذهنی سرمایه‌گذاران دارد، بر تنوع پرتفوی برای کاهش ریسک تأکید دارد و ممکن است در بازارهای پویا که دارای نوسان می‌باشند دچار مشکل شود. از طرفی مدل بلک‌لیترمن داده‌ها را با دیدگاه سرمایه‌گذاران ترکیب می‌نماید و استراتژی‌های مدیریت ریسک را شامل می‌شود و سازگاری بیشتری با پویایی بازار در حال تغییر و نامطمئن دارد لذا کارایی آن در بهینه‌سازی پرتفوی نسبت به مدل مارکویتز بیشتر بوده است.

گونجان و باتاچاریا[2] (۲۰۲۴)، پرتفوی سهام BSE، NASDAQ و DOW JONES را با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری کوانتوم، ژنتیک، ازدحام ذرات و کولنی مورچگان بهینه‌سازی نموده‌اند. مقایسه عملکرد الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه‌سازی سهام حاکی از آن است که الگوریتم کوانتوم از کارایی بیشتری نسبت به سایر الگوریتم‌های فراابتکاری برخوردار بوده است.

هی و نایو[3] (۲۰۲۲) در پژوهشی به مقایسه ویژگی‌های الگوریتم ژنتیک و مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی در بهینه‌سازی پرتفوی دارایی پرداخته‌اند. نتایج نشان داده است که عملکرد الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی پرتفوی، سریع‌تر، راحت‌تر و کارآمدتر می‌باشد و پیچیدگی حل مسائل را کاهش می‌دهد.

وانگ و همکاران[4] (۲۰۲۲) یک رویکرد جامع برای استفاده از مدل الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی پرتفوی اعتباری برای به حداقل رساندن ریسک در سطح معینی از بازده مورد انتظار ایجاد نموده‌اند که پیشرفت‌های قابل توجهی را نسبت به روش‌های سنتی به ویژه در بازارهای مالی نوظهور با پیچیدگی و پویایی بالا ارائه می‌دهد.

دوبینسکاس و اوربیسن[5] (۲۰۱۷) پرتفوی بهینه ۴ شرکت منتخب در کشور لیتوانی را با استفاده از مدل‌های الگوریتم ژنتیک و مدل‌های برنامه‌ریزی قطعی و تصادفی مورد

---

[1] Bargi
[2] Gunjan & Bhattacharyya
[3] He & Naiyu
[4] Wang et al.
[5] Dubinskas & Urbsiene

بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان داده است که پرتفوی بهینه مبتنی بر الگوریتم ژنتیک از نسبت بازده به ریسک بهتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است.

کازان[1] (۲۰۱۴) پرتفوی بهینه تسهیلات بانک‌های کشور ترکیه را در بخش‌های مختلف اقتصادی طی دوره ۳۵ ماهه با استفاده از مدل مارکویتز بررسی نموده‌اند. یافته‌ها نشان داده است که بانک‌های ترکیه بایستی برای دستیابی به حداقل ریسک و بازدهی مشخص در بخش‌های مختلف اقتصادی به نحوی سرمایه‌گذاری نماید که ۲۲ درصد تسهیلات به بخش عمده فروشی و خرده فروشی، ۲ درصد به بخش نساجی، ۷۶ درصد به بخش ساختمان اختصاص یابد.

آگارانا و همکاران[2] (۲۰۱۴) با اشاره به این مهم که مدیریت پرتفوی تسهیلات یکی از جنبه‌های مهم بانکداری است، موفقیت هر بانک را در گرو مدیریت بهینه پرتفوی تسهیلات دانسته‌اند و از مدل بهینه‌سازی چند هدفه برای تحقق آن در یک بانک منتخب از کشور نیجریه استفاده نموده‌اند. نتایج نشان داده است که بهینه‌سازی پرتفوی تسهیلات بانک منتخب از طریق کاهش ریسک اعتباری بر کاهش مطالبات غیرجاری آن بانک موثر بوده است.

سلطانی و همکاران[3] (۱۴۰۲) درراستای بهینه‌سازی تجهیز و تخصیص منابع مالی در سیستم بانکی، به منظور کاهش هزینه‌های جمع‌آوری مالی و نیز افزایش درآمد ناشی از توزیع این منابع مالی در قالب انواع تسهیلات، الگوریتم‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک، ازدحام ذرات و فاخته را برآورد نموده‌اند، سپس کارایی آنها را براساس چهار شاخص میانگین فاصله نقاط پارتو از جواب ایده‌آل، بهترین جواب بدست آمده، میانگین جواب‌های پارتویی و زمان محاسبه نسبت به یکدیگر مقایسه نموده‌اند. نتایج ارزیابی الگوریتم‌ها حاکی از برتری کارایی الگوریتم ازدحام ذرات نسبت به دو الگوریتم دیگر است.

اقتصاد و محمدی[4] (۱۴۰۲) نظر به اهمیت بهینه‌سازی پرتفوی سرمایه‌گذاری که در جهان امروز به صورت فزاینده‌ای مورد توجه محققین قرار گرفته است، با استفاده از

---

[1] Kazan
[2] Agarana et al.
[3] Soltani et al. (2023)
[4] Eghtesad & Mohammadi (2023)

مدل‌های میانگین واریانس، یادگیری ماشین و یادگیری عمیق به بهینه‌سازی پرتفوی سرمایه‌گذاری در ۵ صنعت بانکی، خودرویی، دارویی، فلزی و نفتی طی سال‌های۱۳۹۶ الی ۱۴۰۱پرداخته‌اند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که مدل میانگین واریانس در مقایسه با سایر مدل‌های مورد استفاده از کارایی بیشتری برخوردار بوده است.

کریم پور و آقاسی[1] (۱۴۰۱) در تحقیقی به بررسی و تحلیل استفاده از الگوریتم فراابتکاری گرده‌افشانی گل‌ها و مقایسه آن با مدل مارکویتز جهت انتخاب سبد بهینه سهام شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران پرداخته‌اند. سپس کارایی مدل‌ها را براساس نسبت بازدهی به سرمایه با یکدیگر مقایسه نموده‌اند. مقایسه نتایج حاصله نشان داده است که الگوریتم گرده‌افشانی گل‌ها کارایی بیشتری در مقایسه با مدل مارکویتز داشته است.

جهانیان و همکاران[2] (۱۴۰۱) در پژوهشی کارایی پرتفوی بهینه‌سازی شده با مدل مارکویتز را با پرتفوی بازار براساس معیار شارپ مقایسه نموده‌اند. جامعه آماری تحقیق، شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران برای دوره زمانی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ بوده و نمونه آماری با استفاده از روش حذف سیستماتیک انتخاب شده است. ابتدا مدل بهینه سرمایه‌گذاری براساس مدل مارکویتز ارائه و سپس با پرتفوی بازار مقایسه شده است. نتایج پژوهش حاکی از آن است که کارایی پرتفوی بهینه تشکیل شده با مدل مارکویتز بیشتر از کارایی پرتفوی بازار می‌باشد.

نحوی و همکاران[3] (۱۴۰۰)، ترکیب بهینه پرتفوی بانک کشاورزی را با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب بررسی نموده‌اند. نتایج پژوهش نشان داده است که الگوی بهینه بدست آمده از الگوریتم کرم شب‌تاب متفاوت از الگوی فعلی توزیع اعتبارات است و بایستی به بخش گلخانه سهم بیشتری از اعتبارات اختصاص یابد.

نوبخت‌و همکاران[4] (۱۳۹۸)، بهینه‌سازی سبد اعتباری بانک ملی طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ را با استفاده از روش حداقل نمودن ریسک بازدهی مورد انتظار بررسی نموده‌اند. نتایج آزمون t تک نمونه‌ای نشان می‌دهد که پرتفوی تسهیلات بانک ملی طی دوره مورد بررسی بهینه نبوده است و می‌بایست در پرتفوی تسهیلات اعطایی بانک ملی، ۴۲

---

[1] Karimpoor & Aghasi (2022)
[2] Jahanian et al. (2022)
[3] Nahvi et al. (2021)
[4] Nobakht et al. (2019)

درصد به بخش صنعت، ۳۱ درصد به بخش خدمات و ۲۷ درصد به بخش ساختمان اختصاص یابد.

یکتا[1] (۱۳۹۴)، کمرئی[2] (۱۳۹۰)، مهرآرا و صادقیان[3] (۱۳۸۷)، در تحقیقاتی ترکیب بهینه پرتفوی تسهیلات بانک‌های ملی، آینده، سپه و سامان را در قالب بخش‌های اقتصادی با استفاده از مدل مارکویتز بررسی نموده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد پرتفوی تسهیلات بانک‌های منتخب طی دوره‌های مورد بررسی بهینه نبوده است.

رهنما و موسوی[4] (۱۳۹۲)، یحیی‌زاده فر و همکاران[5] (۱۳۸۹)، در تحقیقاتی عملکرد منتخبی از پرتفوهای سرمایه‌گذاری را با استفاده از معیارهای ارزیابی شارپ، ترینر و غیره مقایسه و پرتفوی کاراتر را تعیین نموده‌اند.

با توجه به تحقیقات صورت پذیرفته ملاحظه می‌شود، امروزه یکی از چالش‌های عمده محققین در حوزه بهینه‌سازی، انتخاب پرتفوی بهینه با کارایی، سرعت بالا و در میان حجم زیادی از اطلاعات و داده‌ها است. به خصوص زمانی که تنوع سرمایه‌گذاری در پرتفوی افزایش می‌یابد، تصمیم‌گیری بهینه با توجه به محدودیت‌های بازده مورد انتظار، سطح ریسک و نقدینگی دارایی‌ها بسیار حائز اهمیت است. براین اساس رویکردهای متفاوتی برای حل مسائل بهینه سازی ارائه گردیده که هر کدام دارای مزایا و معایبی می باشند لذا بایستی کارایی آنها در نمونه آماری مورد مقایسه قرار گیرد.

۳- روش‌شناسی تحقیق

بهینه‌سازی یک مسئله ریاضی و کلی است که از قرن ها پیش مطرح بوده است و در حال حاضر هم یک مسئله و موضوع در دست بررسی و پژوهش است. در موارد محدودی که تابع هدف کاملا مشخص ومعین است و ویژگی مشتق‌پذیری دارند به صورت دقیق توسط مدل برنامه‌ریزی ریاضی قابل حل می‌باشند. در بعضی از مسائل که دارای ابعاد بزرگ و پیچیدگی هستند، انجام محاسبات مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای دستیابی به جواب نهایی زمانبر است و بایستی از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شود.

---

[1] Yekta (2015)
[2] Kamarei (2011)
[3] Mehrara & Sadeghiyan (2008)
[4] Rahnama & Moosavi (2013)
[5] Yahyazadehfar et al. (2010)

با این حال هنوز برای بعضی از مسائل بهینه‌سازی راه حل معقول و مشخصی ابداع نشده است. چالشی که در حل مسائل بهینه‌سازی با آن روبرو هستیم این است که یک مسئله دارای بینهایت پاسخ می‌باشد و ما باید بهترین پاسخ را در بین آنها پیدا کنیم. در واقع عمل جستجو و بهینه‌سازی در این مسائل بکار برده می‌شوند که درراستای هم می‌باشند و مدل‌هایی کاربردی‌تر هستند که بخش عمده پاسخ‌ها را بررسی نموده و در بین آنها به جواب نهایی برسند. دو گروه از مدل‌ها شامل مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی و الگوریتم-های فراابتکاری در حل مسائل بهینه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱-۳- مدل برنامه‌ریزی ریاضی[1]

مارکویتز، الگوی حل مسئله انتخاب مجموعه بهینه دارایی‌ها (نظریه میانگین-واریانس) را به صورت برنامه‌ریزی درجه دوم با هدف کمینه‌سازی واریانس مجموعه دارایی‌ها با این شرط مطرح نمود که بازده مورد انتظار با مقدار ثابتی برابر باشد. مدل مارکویتز بر مبنای مفروضات زیر بیان شده است:

۱-سرمایه گذاران ریسک گریزند و دارای مطلوبیت مورد انتظار افزایشی می‌باشند و منحنی مطلوبیت نهایی ثروت آنها کاهنده است.

۲- سرمایه‌گذاران سبد سرمایه خود را برمبنای میانگین-واریانس مورد انتظار بازدهی انتخاب می‌نمایند. بنابراین منحنی‌های بی‌تفاوتی آنها تابعی از نرخ بازده و واریانس مورد انتظار می‌باشد.

۳- هرگزینه سرمایه‌گذاری تا بی‌نهایت بار قابل تقسیم است. سرمایه‌گذاران افق زمانی (یک دوره‌ای) داشته و این برای همه سرمایه‌گذاران مشابه است. سرمایه‌گذاران در یک سطح مشخصی از ریسک، بازده بالاتری را ترجیح می‌دهند و بالعکس. سرمایه‌گذاران در انتخاب خود به دو عامل بازده مورد انتظار بالا که عامل مطلوب و عدم اطمینان بازده که عامل نامطلوب است، توجه می‌نمایند.

این مسئله محدودیت کارکردی دیگری نیز دارد که براساس آن، مجموع اوزان دارایی‌ها باید برابر با یک شود و وزن هر یک از دارایی‌های پرتفو باید عددی حقیقی و غیرمنفی باشد. شکل استاندارد مدل پرتفوی مدرن مارکویتز که یک مدل برنامه‌ریزی خطی است و به صورت زیر است (چانگ و همکاران[2]، ۲۰۰۹).

---

[1] Mathematical Programming Model
[2] Chang et al.

$$\text{Min } Z=\delta_p^2 \quad , \quad \delta_p^2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} w_i \cdot w_j \cdot cov(r_i \cdot r_j)$$
$$\text{St: } r_p = \sum_{i=1}^{n} w_i \cdot r_i$$
$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1 \qquad w_i > 0 \qquad (۱)$$

که در آن w_i وزن مربوط به بخش i در پرتفوی، r_p بازدهی مورد انتظار پرتفوی، r_i بازدهی سهم i، σ_p^2 واریانس بازدهی پرتفوی است. بنابراین همانطور که مشخص است، رابطه ۱ یک برنامه‌ریزی خطی است که تابع هدف آن ریسک بازدهی تسهیلات می‌باشد و باید در مقایسه با قید بازدهی سبد تسهیلات حداقل شود، ضمن اینکه متغیر تصمیم نیز اوزان بخش‌های اقتصادی در پرتفوی تسهیلات بانک سینا است و پس از تعیین ریسک و بازدهی پرتفوی بهینه تسهیلات، اوزان بهینه بخش‌های اقتصادی جهت سرمایه‌گذاری مشخص می‌شوند.

۲-۳-الگوریتم‌های فراابتکاری[۱]

الگوریتم‌های فراابتکاری بر پایه روش‌های تکامل و بهینه‌سازی مبتنی بر جمعیت عمل می‌نمایند. این الگوریتم‌ها شامل دو مرحله اصلی هستند. در مرحله اول، جمعیت اولیه تصادفی از راه حل‌ها تولید می‌شود سپس در مرحله بهبود با استفاده از عملگرهای تکاملی، راه حل‌ها بهبود می‌یابد تا به یک جواب بهینه نزدیک شود. از الگوریتم‌های فراابتکاری ابداع شده می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود که برای حل مسائل پیچیده و چند بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱-۲-۳- الگوریتم ژنتیک[۲]

یک الگوریتم فراابتکاری است که اصول اولیه آن توسط هالند و همکارانش[۳] در دانشگاه میشیگان در سال ۱۹۶۲ ارائه شد. الگوریتم ژنتیک یکی از تکنیک‌های بهینه‌سازی است که بر اساس اصول و قواعد وراثت موجودات زنده به حل مسائل مختلف می‌پردازد (راندی و سو[۴]، ۲۰۰۴). الگوریتم ژنتیک از مجموعه‌ای از راه حل‌های اولیه به صورت تصادفی با نام جمعیت کروموزوم‌ها[۵] کار خود را آغاز می‌نماید. الگوریتم‌های ژنتیک مجموعه‌ای از متغیرهای طراحی را توسط رشته‌هایی کدگذاری می‌نمایند که این رشته-

[1] Metaheuristic Algorithms
[2] Genetic Algorithm
[3] Holland et al.
[4] Randy & Sue
[5] Chromosome

ها کروموزوم نامیده می‌شوند. کروموزوم از اجزایی به نام ژن[1] تشکیل شده است که بسته به نوع مسئله تعداد ژن‌های تشکیل دهنده آن متفاوت هستند. به عبارت دیگر هر کروموزوم نشانگر یک پاسخ و هر ژن در کروموزوم نشانگر یک متغیر پاسخ است که معمولاً از چند بیت صفر و یک (مبنای دو) تشکیل شده است. الگوریتم ژنتیک یک فرآیند تکراری است و هر تکرار آن یک نسل[2] نامیده می‌شود. کروموزوم‌ها یا به عبارتی تقریب‌های جاری جواب بهینه مسئله، پس از خارج شدن از نمایش کدگذاری شده کارایی یا درجه برازش‌شان باید مورد ارزیابی قرار گیرد که این عمل توسط تابع بهینگی[3]صورت می‌پذیرد. تابع بهینگی، تابعی برای ارزیابی یک جواب است که یک مقدار عددی به هر جواب نسبت می‌دهد و هدف، بهینه‌سازی آن می‌باشد. تابع بهینگی معیاری برای رتبه‌بندی جواب‌ها است و در انتخاب جواب‌های برتر برای تولید نسل بعدی جمعیت مورد استفاده قرار می‌گیرد. جمعیت موجود با محاسبه تابع بهینگی بر روی کروموزوم‌ها در هر نسل ارزیابی می‌شود. نسل بعد با تولید کروموزوم‌های جدید (فرزندان) به وسیله عملگرهایی ایجاد می‌شوند. پس از ایجاد جمعیت جدید، این جمعیت جایگزین جمعیت قبلی شده و این روند به صورت یک چرخه ادامه می‌یابد تا زمانی که بهترین پاسخ بهینه حاصل و شرایط توقف[4] برآورده شود (Mathworks, 2004).

۲-۲-۳- الگوریتم کرم شب‌تاب[5]

یک الگوریتم فراابتکاری است که برای اولین بار در سال ۲۰۰۷ توسط یانگ برای حل مسائل بهینه‌سازی در دانشگاه کمبریج معرفی شد. این الگوریتم از طبیعت الهام گرفته و پرتفوی را براساس ویژگی‌های کرم شب‌تاب بهینه‌سازی می‌نماید. میزان جاذبه هر کرم شب‌تاب به میزان روشنایی آن بستگی دارد به این صورت که کرم شب‌تاب کم نورتر به سمت کرم شب‌تاب پرنورتر حرکت می‌نماید و اگر هیچکدام نسبت به دیگری برتری در روشنایی نداشته باشد به صورت تصادفی حرکت می‌نمایند. روشنایی یک کرم شب‌تاب

[1] Gene
[2] Generation
[3] Fitness
[4] Stopping Criteria
[5] Firefly Algorithm

توسط تابع هدف یا بطور تصادفی تعیین می‌شود. الگوریتم کرم شب‌تاب با استفاده از قواعد زیر به بهینه‌سازی پرتفوی می‌پردازد:

۱- فاصله بین دو کرم شب‌تاب i و j که در مکان‌های x_i و x_j قرار دارند با فاصله دکارتی محاسبه می‌شود.

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \qquad (۲)$$

۲- جذابیت کرم شب‌تاب متناسب با روشنایی دیده شده توسط کرم شب‌تاب مجاور است. میزان جذابیت هر کرم از رابطه زیر بدست می‌آید (β_O جذابیت در r_O و γ ضریب جذب نور است).

$$\beta = \beta_O e^{-\gamma r^2} \qquad (۳)$$

۳- حرکت کرم شب‌تاب i به سمت کرم شب‌تاب با روشنایی بیشتر j از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$x_i = x_j + \beta_O e^{-\gamma r^2}(x_j - x_i) + \alpha\, \varepsilon_i \qquad (۴)$$

جمله دوم معادله فوق بیانگر میزان جذب شدن یک کرم شب‌تاب به طرف کرم دیگر است و میزان تصادفی بودن حرکت کرم با جمله سوم و بوسیله α که پارامتر تصادفی بودن است محاسبه می‌شود. پارامتر γ میزان جاذبه و درنتیجه سرعت همگرایی را مشخص می‌نماید. قبل از پیاده‌سازی بایستی مقادیر α ، β و γ معین شوند.

الگوریتم کرم شب‌تاب با درنظرگرفتن میزان نور کرم به صورت تصادفی یک جمعیت اولیه از کرم های شب تاب به تعداد f عدد تولید می‌نماید. بعد از تولید جمعیت کرم‌های شب‌تاب، مقدار شایستگی هر کرم شب‌تاب بر مبنای فاصله کمتر به کرم‌های همسایه محاسبه می‌شود و سپس کرم‌ها براساس شایستگی(کرم هایی که فاصله کمتری دارند) به صورت یک روند نزولی مرتب می‌شوند. این الگوریتم پس از چندین بار تکرار و انتخاب بهترین کرم شب‌تاب پایان می‌یابد (یانگ[1]، ۲۰۱۰).

با توجه به اینکه بهینه‌سازی تسهیلات بانک یک مسئله چندوجهی و دارای انتخاب‌های زیاد است و مدل‌های الگوریتم ژنتیک و کرم شب‌تاب مدل‌های غیرخطی، هوشمند و کارآمدی برای بهینه‌سازی می‌باشند بنابراین به علت برخورداری از قابلیت کشف، جستجوی بالا و همگرایی لازم جهت انتخاب بهینه در این تحقیق مورد استفاده قرار

[1] Yang

گرفته و با استفاده از نرم‌افزار پایتون[1] برنامه‌نویسی می‌شوند سپس با اجرای نتایج حاصل در برنامه کولب[2] و برآورد مدل برنامه‌ریزی ریاضی (مدل‌خطی) از طریق ابزار سالور[3] در نرم‌افزار اکسل[4]، سهم بخش‌های اقتصادی در پرتفوی تسهیلات بانک در سه سطح (ریسک زیاد، ریسک متوسط و ریسک کم) برآورد می‌شود، سپس کارایی مدل-های برآوردی براساس نسبت بازدهی به ریسک و معیارهای ارزیابی عملکرد نظیر شارپ، ترینر و سورتینو مقایسه و پرتفوی تسهیلات مدل کاراتر به عنوان پرتفوی بهینه انتخاب می‌گردد. در ادامه تحقیق، درراستای بررسی بهینگی پرتفوی تسهیلات بانک سینا ابتدا پرتفوی موجود بررسی و سپس با منحنی مرزکارای حاصل از مدل کاراتر (پرتفوی بهینه) مقایسه می‌شود و فرضیه تفاوت آنها با استفاده از آزمون t تک نمونه‌ای آزمون می‌شود.

۴- یافته‌های پژوهش

در این بخش از تحقیق، پرنفوی تسهیلات بانک سینا با استفاده از مدل پرتفوی مدرن مارکویتز، الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک و کرم شب‌تاب بهینه‌سازی و سه پرتفوی بهینه در طول مرز کارا تعیین و سهم بخش‌های اقتصادی در پرتفوهای ریسک زیاد، ریسک متوسط و ریسک کم ارائه می‌شود. در اکثر روش‌های بهینه‌سازی، جواب بهینه و دقت آن وابستگی زیادی به داده‌ها دارد تا جایی که انتخاب مناسب‌تر و دقیق‌تر متغیرهای ورودی در بهینه‌سازی پرتفوی بسیار حائز اهمیت است. براین اساس استفاده حداکثری از داده‌ها امکان دستیابی به نتایج دقیق‌تر و قابل اتکاءتر را فراهم می‌نماید لذا با عنایت به راه‌اندازی سیستم متمرکز فعلی بانک‌سینا از سال ۱۳۸۶، نرخ بازدهی بخش‌های اقتصادی (نسبت درآمد به دست آمده از اعطاء تسهیلات به کل تسهیلات اعطایی به هر بخش اقتصادی) و ریسک بخش‌های اقتصادی(واریانس بازدهی بخش‌های اقتصادی) با استفاده از داده‌های فصلی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۲استخراج و به عنوان نمونه آماری انتخاب شده است.

---

[1] Python Software
[2] https://colab.research.google.com
[3] Solver Tools
[4] Excel Software

۴-۱- آمار توصیفی

در این بخش، آمار توصیفی متغیرهای پژوهش (بازده بخش‌های اقتصادی) ارائه شده است. باتوجه به اینکه توزیع نرمال داده‌ها باعث اجتناب از کاهش سرعت و دقت مدل‌ها و یکسان بودن ارزش داده‌ها می‌شود لذا درراستای آماده‌سازی آنها قبل از برآورد مدل‌ها و آزمون فروض بااستفاده از نرم‌افزار SPSS 26 نرمال‌سازی شده‌اند.

جدول (۱): آزمون توزیع نرمال بازده بخش های اقتصادی

آماره / بخش اقتصادی	میانگین	میانه	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	آزمون شاپیرو ویلک	آزمون کلوموگورف اسمیرنوف	تعداد مشاهدات
صنعت و معدن	۰/۱۸۴	۰/۱۸۴	۲/۵۳	-۲/۱۶	۱/۰۳	۰/۹۹۷	۰/۰۱۴	۶۷
کشاورزی و آب	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۱/۲۲	-۱/۲۱	۰/۵۶	۰/۹۹۷	۰/۰۱۴	۶۷
خدمات و بازرگانی	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۸۶	-۰/۷	۰/۳۶	۰/۹۹۷	۰/۰۱۴	۶۷
مسکن و ساختمان	۰/۰۵۱	۰/۰۵۱	۰/۸۱	-۰/۷۱	۰/۳۵	۰/۹۹۷	۰/۰۱۴	۶۷

منبع: یافته‌های تحقیق

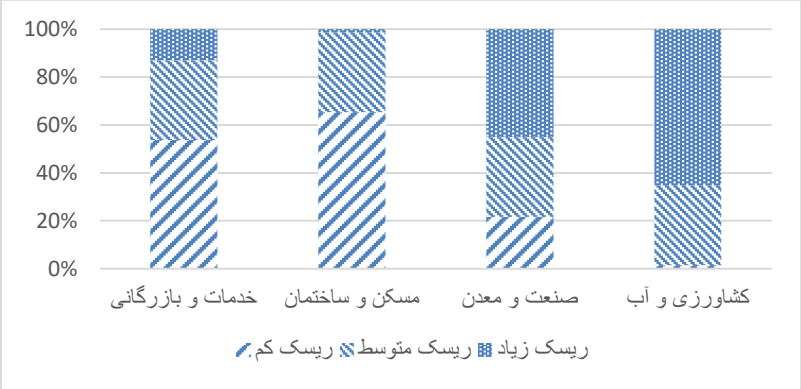
۴-۲- برآورد مدل

به کمک الگوریتم ژنتیک از جمعیت اولیه‌ای به تعداد ۱۰۰ کروموزوم استفاده و الگوریتم برای ۱۰۰۰ نسل با روش چرخ گردان اجرا شده است. در هر نسل ۸۰ درصد کروموزوم-ها برای تقاطع انتخاب شدند و بر روی بقیه عملگر جهش اجرا گردید. با اجرای نتایج حاصل، کروموزوم‌هایی که به جواب اصلی مسأله نزدیک‌تر هستند انتخاب شدند. اجرای الگوریتم بعد از ۱۰۰۰ نسل باعث همگرایی مناسب شد، نتایج در نمودار زیر ارائه شده است.

نمودار (۲): اوزان بهینه بخش‌های اقتصادی در مدل الگوریتم ژنتیک

منبع: یافته‌های تحقیق

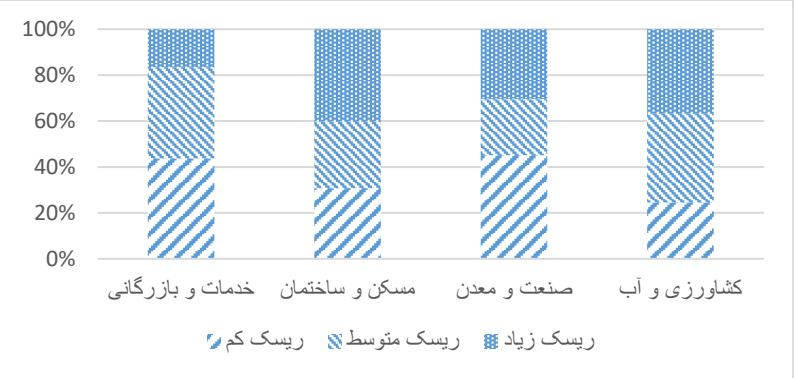
با حل مدل برنامه‌ریزی ریاضی مارکویتز، ماکزیمم و مینیمم ریسک و بازدهی پرتفوی تسهیلات و نقاط بین آنها تعیین و اوزان بخش‌های اقتصادی در هریک از سطوح ریسک مشخص و نتایج در نمودار زیر ارائه شده است.



نمودار (۳): اوزان بهینه بخش‌های اقتصادی در مدل مارکویتز

منبع: یافته‌های تحقیق

با استفاده از الگوریتم کرم شب تاب، تعداد ۱۰۰ کرم شب تاب در نظر گرفته شده است. هر کرم یک ماتریس ۴*۱ است که شامل ۴ بخش اقتصادی است. با توجه به مراحل اجرای الگوریتم و ریسک و بازده مربوط به هر بخش اقتصادی، میزان فاصله و جذابیت هر کرم با کرم دیگر طبق فرمول های شماره ۲ و ۳ محاسبه شده و کرم i به سمت جذاب‌ترین کرم j که دارای ریسک کمتر است، حرکت می‌کند و در هر بار فرایند تکرار الگوریتم که در این پژوهش ۱۰۰۰ تکرار می‌باشد به وزن‌های بهینه پرتفوی بانک نزدیک‌تر شده‌ایم و درنهایت از ۳ کرم شب‌تاب انتخابی، کرم شب‌تابی که دارای بهترین تابع هدف بوده بعنوان پرتفوی کم ریسک انتخاب گردیده و سایر کرم‌ها بعنوان پرتفوهای با ریسک متوسط و زیاد رتبه‌بندی و نتایج در نمودار زیر ارائه شده است.



نمودار (۴): اوزان بهینه بخش‌های اقتصادی در مدل الگوریتم کرم شب‌تاب

منبع: یافته‌های تحقیق

طبق نمودارهای ۲ و ۳، در مدل‌های الگوریتم ژنتیک و مارکویتز ملاحظه می‌شود در پرتفوی با ریسک زیاد، سهم بخش‌های مسکن و ساختمان، خدمات و بازرگانی کاهش و در مقابل سهم بخش‌های کشاورزی و آب، صنعت و معدن افزایش می‌یابد به عبارت دیگر در پرریسک‌ترین پرتفوی، سهم بخش‌های کشاورزی و آب، صنعت و معدن به حداکثر و سهم بخش‌های مسکن و ساختمان، خدمات و بازرگانی به حداقل مقادیرشان رسیده است. در بالاترین درجه ریسک‌گریزی، انتظار می‌رود سهم بخش‌های مسکن و ساختمان، خدمات و بازرگانی به بالاترین حد و سهم بخش‌های کشاورزی و آب، صنعت و معدن به حداقل ممکن برسد. تسهیلات اعطایی به بخش‌های کشاورزی و آب، صنعت و معدن از جمله دارایی‌های ریسکی برای بانک سینا محسوب می‌شوند. طبق نتایج مدل کرم شب تاب (نمودار۴)، در پرتفوی با ریسک زیاد، سهم بخش‌های صنعت و معدن، خدمات و بازرگانی کاهش و در مقابل سهم بخش‌های کشاورزی و آب، مسکن و ساختمان افزایش می‌یابد به عبارت دیگر در بالاترین درجه ریسک‌گریزی، انتظار می‌رود سهم بخش‌های صنعت و معدن، خدمات و بازرگانی به بالاترین حد و سهم بخش‌های کشاورزی و آب، مسکن و ساختمان به حداقل ممکن برسد.

۳-۴- الگوی بهینه پرتفوی تسهیلات بانک سینا

در این بخش از تحقیق، عملکرد مدل‌ها در بهینه‌سازی پرتفوی تسهیلات بانک سینا از طریق دو روش معیارهای ارزیابی عملکرد و نسبت بازدهی به ریسک ارزیابی، مقایسه و مدل کاراتر درراستای ارائه الگوی بهینه پرتفوی تسهیلات بانک، انتخاب می‌شود.

۱-۳-۴- معیارهای ارزیابی عملکرد مدل

در این تحقیق پس از برآورد مدل‌های مارکویتز، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم کرم شب-تاب از معیارهای شارپ[۱]، ترینر[۲] و سورتینو[۳] برای ارزیابی عملکرد آنها در بهینه‌سازی پرتفوی تسهیلات استفاده شده است. معیارهای مذکور بیانگر مازاد بازده کسب شده به ازاء هر واحد ریسک می‌باشند و تفاوت آنها در معیار ریسکی است که برای محاسبه بازده تعدیل شده با ریسک در نظر می‌گیرند. در معیار شارپ مازاد بازده کسب شده به ازاء هر واحد ریسک کل[۴]، در معیار ترینر به ازاء هر واحد ریسک سیستماتیک[۵] و در معیار سورتینو به ازاء هر واحد ریسک نامطلوب[۶] سنجیده و به صورت زیر محاسبه می-شوند. مدل بهینه‌سازی که مقادیر معیارهای آن در مقایسه با سایر مدل ها بیشتر باشد، کاراتر است (یحیی‌زاده فر و همکاران، ۱۳۸۹).

معیار شارپ = $\frac{R_p - R_f}{STD\ (TR)}$

معیار ترینر = $\frac{R_p - R_f}{\beta_p}$ $\beta_p = \frac{COV(M,I)}{varM}$

معیار سورتینو = $\frac{R_p - R_f}{STD\ (DR)}$

R_f= بازده بدون ریسک[۷]، R_p= بازده پرتفوی، TR= دیسک کل، DR= ریسک نامطلوب، M = بازده بازار و I= بازده سهام

جدول (۲): مقادیر معیارهای ارزیابی کارایی مدل‌های بهینه سازی

مدل / معیار	الگوریتم ژنتیک	الگوریتم کرم شب تاب	مارکویتز
شارپ	۱/۹۸	۱/۸۵	۱/۶۴
ترینر	۳/۳۱	۲/۷	۲/۷۹
سورتینو	۲/۱۱	۱/۹۳	۱/۷۴

منبع: یافته‌های تحقیق

[1] Sharpe Index
[2] Treynor Index
[3] Sortino Index

[۴] انحراف بازده های پرتفوی از بازده میانگین پرتفوی است.

[۵] ریسکی است که ناشی از تحولات کلی بازار و اقتصاد است و پیش بینی و حذف آن امکان پذیر نمی باشد

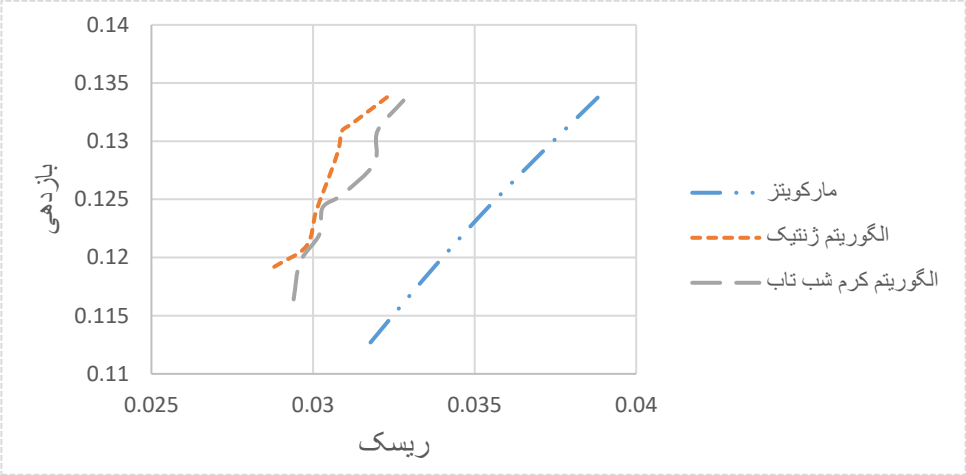
[۶] انحرافات منفی در نوسانات بازدهی می باشد

[۷] نرخ بازده تضمین شده اوراق مشارکت به عنوان بازده بدون ریسک از نماگرهای اقتصادی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران استخراج شده است.

نتایج حاصل از محاسبه معیارهای ارزیابی عملکرد مدل‌ها در جدول فوق نشان می‌دهد که مقادیر معیارهای شارپ، ترینر و سورتینو در مدل الگوریتم ژنتیک در مقایسه با سایر مدل‌ها بیشتر است بنابراین مدل الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی پرتفوی تسهیلات بانک کاراتر عمل نموده است.

۲-۳-۴- نسبت بازدهی به ریسک

ترسیم منحنی مرز کارای مدل‌های بهینه‌سازی در نمودار ۵ نشان می‌دهد که مدل الگوریتم ژنتیک از نسبت بازدهی به ریسک بیشتری نسبت به سایر مدل‌های بهینه-سازی برخوردار است همچنین مدل مذکور درسطح معینی از بازده، ریسک کمتری را در مقایسه با سایر مدل‌ها ایجاد می‌نماید بنابراین این نتیجه‌گیری با یافته‌های حاصل از مقایسه کارایی مدل‌ها براساس معیارهای ارزیابی عملکرد همخوانی دارد و آنرا تأیید می‌نماید.



نمودار (۲): منحنی مرز کارای مدل‌های بهینه‌سازی

منبع: یافته‌های تحقیق

بنابراین کارایی مدل الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی پرتفوی بیشتر از کارایی سایر مدل-ها می‌باشد و براساس این مدل، الگوی بهینه پرتفوی تسهیلات بانک سینا در سه سطح ریسک کم (مینیمم ریسک پرتفوی)، ریسک متوسط و ریسک زیاد (ماکزیمم ریسک پرتفوی) در جدول زیر ارائه شده است.

جدول (۳): الگوی بهینه پرتفوی تسهیلات بانک سینا براساس مدل الگوریتم ژنتیک

پرتفوی / بخش اقتصادی	پرتفوی ۱		پرتفوی ۲		پرتفوی ۳	
	بازدهی کم	ریسک کم	بازدهی متوسط	ریسک متوسط	بازدهی زیاد	ریسک زیاد
	۰/۱۱۹	۰/۰۲۹	۰/۱۲۶	۰/۰۳۱	۰/۱۳۳	۰/۰۳۳
خدمات و بازرگانی	۰/۵۲۴		۰/۳۱۳		۰/۱۵۸	
مسکن و ساختمان	۰/۴۰۷		۰/۵۷۳		۰/۵۰۳	
صنعت و معدن	۰/۰۳۵		۰/۰۵۲		۰/۱۵۹	
کشاورزی و آب	۰/۰۳۴		۰/۰۶۲		۰/۱۸	

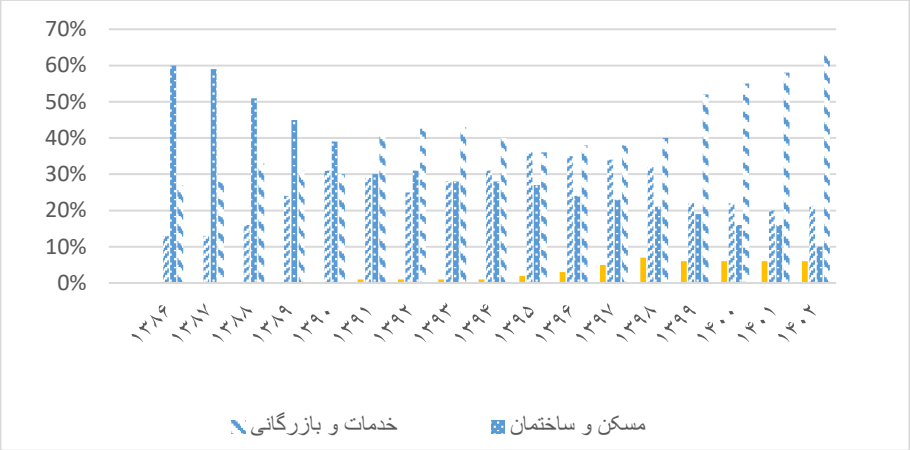
منبع: یافته‌های تحقیق

بر طبق جدول فوق با افزایش ریسک، سهم بخش خدمات و بازرگانی کاهش و در مقابل سهم بخش‌های صنعت و معدن ، کشاورزی و آب افزایش یافته است و بیشترین سهم از پرتفوی‌های بهینه با ریسک متوسط و زیاد به بخش مسکن و ساختمان اختصاص دارد.

۴-۴- بررسی پرتفوی تسهیلات بانک سینا

اعطاء تسهیلات در بانک سینا طی دوره مورد بررسی (۱۳۸۶ تا ۱۴۰۲) روند افزایشی داشته است و از ۱۶ هزار میلیارد ریال در سال ۱۳۸۶ به ۹۰۰ هزار میلیارد ریال در سال ۱۴۰۲ افزایش یافته و به طور متوسط ۵.۵۲۶٪ رشد داشته است. بررسی سهم بخش-های اقتصادی از تسهیلات اعطایی نشان می‌دهد که به طور متوسط۴۱٪ به بخش خدمات و بازرگانی، ۳۱٪ به بخش مسکن و ساختمان، ۲۵/۴٪ به بخش صنعت و معدن و ۲/۶٪ به بخش کشاورزی و آب اختصاص یافته است. بنابراین بیشترین سهم از سرمایه‌گذاری به بخش‌های خدمات و بازرگانی و مسکن و ساختمان با مجموع ۰/۷۲ اختصاص یافته است (تراز دفتر کل بانک سینا[1]، ۱۴۰۲).

[1] Bank Sina’s General Ledger Balance (2023)



نمودار (۶): پرتفوی تسهیلات بانک سینا

منبع: تراز دفتر کل بانک سینا

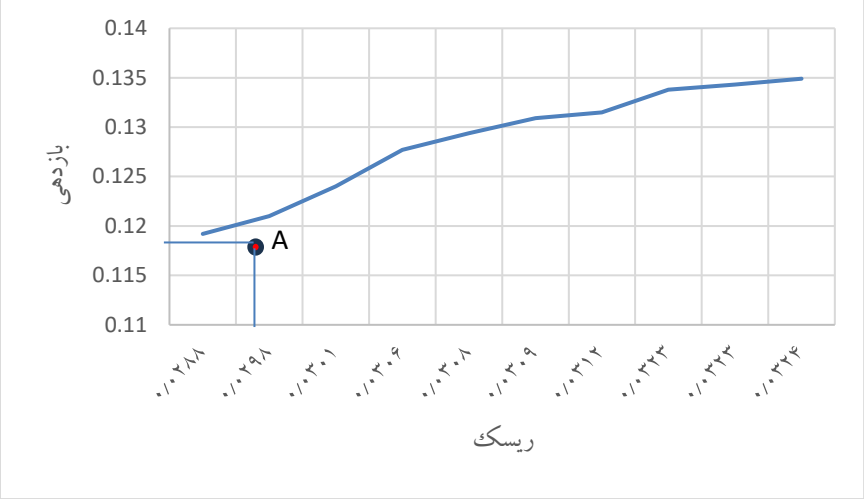
مروری بر ترازنامه سه بانک خصوصی منتخب (اقتصادنوین، سامان و کارآفرین) که از نظر میزان سرمایه مشابه بانک سینا می‌باشند نشان می‌دهد که طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۲به طور متوسط ۷۰٪ از کل دارائی آنها در قالب تسهیلات پرداخت شده است که ۲۵/۵٪ از آن به دلیل عدم بازپرداخت به سرفصل مطالبات انتقال یافته است. با توجه به اینکه متوسط نرخ مطالبات بانک سینا طی دوره مذکور۲۱٪ بوده است لذا از عملکرد مطلوب‌تری در مدیریت ریسک اعتباری در مقایسه با بانک‌های منتخب برخوردار بوده است. همچنین در سه بانک منتخب طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۲ به طور متوسط ۶۲٪ از کل تسهیلات اعطایی به بخش‌های خدمات و بازرگانی، مسکن و ساختمان، ۳۴٪ به بخش صنعت و معدن و ۴٪ به بخش کشاورزی و آب اختصاص یافته است لذا در مقایسه با بانک سینا سهم بیشتری از تسهیلات اعطایی را به بخش‌های صنعت و معدن، کشاورزی و آب اختصاص داده‌اند (موسسه عالی آموزش بانکداری ایران، ۱۴۰۲)[1].

۵-۴- اعتبارسنجی یافته‌ها

با توجه به اینکه مرزکارا یک ابزار مالی است که به سرمایه‌گذاران کمک می‌نماید با توجه به میزان ریسک، پرتفویی با بالاترین میزان بازده ایجاد نمایند و برروی آن تمام پرتفوهای بهینه با توجه به نرخ بازدهی‌های انتظاری قرار دارند بنابراین ترسیم مرز

[1] The Higher Institute of Banking Education of Iran (2023)

کارای مدل الگوریتم ژنتیک در نمودار زیر و مقایسه آن با ریسک و بازدهی پرتفوی موجود تسهیلات بانک سینا (نقطه A) که از طریق داده‌های مربوط به اوزان بخش‌های اقتصادی در ابزار بهینه‌سازی[1] از برنامه کولب تعیین شده است، نشان می‌دهد که بانک سینا در انتخاب پرتفوی تسهیلات، ریسک گریز عمل نموده است بنابراین با انتخاب پرتفوی ۱ جدول ۳ (خدمات و بازرگانی۵۲/۴٪ ، مسکن و ساختمان۴۰/۷٪ ، صنعت و معدن ۳/۵٪ و کشاورزی و آب ۳/۴٪) بر روی مرز کارا قرار می‌گیرد.



نمودار (۷): منحنی مرز کارای تسهیلات بانک سینا

منبع: یافته‌های تحقیق

بر طبق نمودار فوق، نقطه A با ریسک ۰/۰۲۹۶ و بازدهی ۰/۱۱۹ بر روی مرز کارا قرار نگرفته است بنابراین پرتفوی موجود تسهیلات بانک سینا بهینه نمی‌باشد. برای تغییر وضعیت پرتفوی موجود به پرتفوی بهینه می‌بایست ریسک و بازدهی به ترتیب به مقادیر (۰/۰۲۸۸ و ۰/۱۱۷۷) کاهش یابند.

در این مرحله از تحقیق درراستای آزمون این فرضیه که پرتفوی تسهیلات بانک سینا با پرتفوی بهینه آن تفاوت معناداری دارد، سهم بخش‌های اقتصادی در پرتفوی بهینه و موجود مقایسه شده‌اند. عمده تسهیلات بانک سینا طی دوره مورد بررسی در چهار بخش اقتصادی مسکن و ساختمان، خدمات و بازرگانی، کشاورزی و آب، صنعت و معدن اعطاء شده است. بر این اساس فرضیه مذکور به تفکیک هریک از آن بخش‌ها با آزمون t

[1] Fitness Function Tools

تک نمونه‌ای در نسخه ۲۶ نرم افزار اس‌پی‌اس‌اس آزمون و نتایج در جدول ۴ ارائه شده است.

متغیر	مقدار آزمون	فراوانی	میانگین	آماره t	سطح معناداری
سهم بخش مسکن و ساختمان	۴۰/۷: μ=.H ۴۰/۷H_1: μ≠	۶۸	۰/۳۱	-۵/۴۸	۰/۰۰۰
سهم بخش خدمات و بازرگانی	۵۲/۴: μ= .H ۵۲/۴H_1: μ≠	۶۸	۰/۴۱	-۹/۱۳۳	۰/۰۰۰
سهم بخش کشاورزی و آب	۳/۴: μ=. H ۳/۴H_1: μ≠	۶۸	۰/۰۲۶	-۲/۳۵	۰/۰۲۲
سهم بخش صنعت و معدن	۳/۵: μ=.H ۳/۵H_1: μ≠	۶۸	۰/۲۵۴	۲۵/۰۱	۰/۰۰۰

منبع: یافته‌های تحقیق

طبق جدول فوق، باتوجه به اینکه سطح معناداری آزمون کمتر از ۰/۰۵ است، فرضیه H_0 مبنی بر عدم وجود تفاوت معنادار پرتفوی تسهیلات بانک سینا با پرتفوی بهینه آن در سطح اطمینان ۹۵ درصد تأیید نمی‌شود. بنابراین سهم بخش‌های اقتصادی از سبد تسهیلات بانک طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۲ بهینه نبوده است.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

از عوامل موثر در کاهش میزان مطالبات بانک‌ها مدیریت صحیح منابع و تخصیص بهینه آنها به بخش‌های اقتصادی است. در این تحقیق سعی شد الگوی بهینه پرتفوی تسهیلات بانک سینا ارائه شود. در این راستا مدل پرتفوی مدرن مارکویتز و الگوریتم های فراابتکاری ژنتیک و کرم شب‌تاب به دلیل قابلیتی که در بهینه‌سازی سبد اعتباری بانک دارند مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج ارزیابی کارایی مدل‌های مذکور در بهینه-سازی پرتفوی تسهیلات با استفاده از معیارهای ارزیابی عملکرد و نسبت بازدهی به ریسک، حاکی از کارایی بیشتر مدل الگوریتم ژنتیک در مقایسه با دو مدل دیگر است. مقایسه پرتفوی موجود با مرزکارای حاصل از مدل الگوریتم ژنتیک و آزمون t تک نمونه‌ای نشان داده‌اند که سهم بخش‌های اقتصادی از سبد تسهیلات بانک سینا طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۲ بهینه نبوده است. درراستای کاهش ریسک اعتباری تسهیلات

آن بانک می‌بایست ۵۲/۴٪ به بخش خدمات و بازرگانی، ۴۰/۷٪ به بخش مسکن و ساختمان، ۳/۵٪ به بخش صنعت و معدن و ۳/۴٪ به بخش کشاورزی و آب اختصاص یابد، دراین‌صورت ریسک و بازده پرتفوی با توجه به مقدار ریسک‌گریزی بانک برروی مرزکارا قرار گرفته و بهینه می‌شود.

بانک سینا اقدام به تشکیل دپارتمان مدیریت ریسک در سال‌های اخیر نموده است و اگرچه مطالعات و اقدامات آن موجب کاهش مطالبات غیرجاری و عملکرد مطلوب‌تر آن بانک در مدیریت ریسک اعتباری نسبت به منتخبی از بانک‌های خصوصی نظیر اقتصادنوین، سامان و کارآفرین شده است ولی با توجه به نرخ ۱۵ درصدی مطالبات غیرجاری بانک سینا در سال ۱۴۰۲، هنوز اثرات آن بر دستیابی به پرتفوی بهینه تسهیلات مطلوب نبوده است. بنابراین بانک سینا می‌بایست درراستای کاهش ریسک اعتباری تسهیلات نسبت به بکارگیری سیستم مدیریت کارای ریسک اقدام نماید. براین اساس طراحی و برقراری سیستم نرم‌افزاری مدل الگوریتم ژنتیک در پیش‌بینی ریسک اعتباری بخش‌های اقتصادی و اتصال آن به پایگاه اطلاعاتی برای بهینه‌سازی پرتفوی تسهیلات بانک سینا ضروری می‌باشد.

تضاد منافع

نویسندگان نبود تضاد منافع را اعلام می‌دارند.

فهرست منابع

۱- اقتصاد، امیرعلی و محمدی، عمران (۱۴۰۲). بهینه سازی سبد سرمایه‌گذاری به کمک پیش بینی بازده مورد انتظار با استفاده از روش های شبکه عصبی، جنگل تصادفی و ARIMA. *چشم انداز مدیریت مالی*، (۴۳)۱۳، ۲۸-۹.

۲- بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران (۱۳۸۴). *اصول مدیریت ریسک اعتباری*. رنجبرمطلق، لیدا.

۳- بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، موسسه عالی آموزش بانکداری ایران، گزارش عملکرد بانک‌های کشور.

۴- جهانیان، فهیمه، متقی، علی‌اصغر و محمدی، احمد (۱۴۰۱). بهینه‌سازی پرتفوی با استفاده از مدل مارکویتز تعدیل شده مبتنی بر مدلسازی CO-GARCH در قیاس با بازار. *نشریه اقتصاد با ثبات*، (۲)۷، ۸۴-۷۰.

۵- خندان، عباس (۱۴۰۲). مقایسه عملکرد میانگین با میانه و دیگر شاخص‌های ریسک در بهینه‌سازی سبد سهام. *فصلنامه اقتصاد مقداری*، (۲۰)۱، ۱۳۸-۹۹.

۶- راعی، رضا و سعیدی، علی (۱۴۰۱). *مبانی مهندسی مالی و مدیریت ریسک*. سازمان مطالعه و تدوین کتب دانشگاهی در علوم اسلامی و انسانی (سمت)، پژوهشکده تحقیق و توسعه علوم انسانی، ۱۳۸۳.

۷- رهنمای رودپشتی، فریدون و موسوی انزهایی، مجید (۱۳۹۲). مقایسه عملکرد پرتفوهای حاصل از گروه‌بندی سهام بوسیله مدل شبکه مبتنی بر متغیرهای نوین و سنتی با استفاده از شاخص‌های شارپ و ترینر. *فصلنامه دانش سرمایه‌گذاری*، (۲)۷، ۲۱۲-۱۹۳.

۸- سلطانی، عزیزاله، احتشام راثی، رضا و عابدی، صادق (۱۴۰۲). ارائه مدل ریاضی چند هدفه برای بهینه‌سازی تجهیز و تخصیص منابع مالی سیستم بانکی. *فصلنامه مدیریت صنعتی*، (۱۵)۲، ۲۹۸-۲۷۲.

۹- کریم پور، اکرم و آقاسی، سعید (۱۴۰۱). انتخاب سبد بهینه سهام با استفاده از الگوریتم فراابتکاری گرده‌افشانی گل‌ها و مقایسه نتایج با الگوی سنتی مارکویتز. *مجله مهندسی مدیریت نوین*، ۲۸، ۱۱۰-۷۹.

۱۰- کمرئی، مریم (۱۳۹۰). بررسی پرتفوی تسهیلات اعطایی بانک سپه و تعیین ترکیب بهینه آن. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

۱۱- مهرآرا، محسن و صادقیان، صغری (۱۳۸۷). تعیین ترکیب بهینه وام در بخش‌های اقتصادی (مطالعه موردی بانک سامان). *فصلنامه اقتصاد مالی*، (۲)۵، ۱۳۴-۱۱۶.

۱۲- نحوی، ابوذر، قربانی، محمد، صبوحی، محمود و دوراندیش، آرش (۱۴۰۰). بررسی ترکیب بهینه پرتفوی اعتبارات با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب (مطالعه موردی بانک کشاورزی). *فصلنامه مطالعات اقتصادی ایران*، (۳۷)۱۰، ۹۷-۵۳.

۱۳- نوبخت، جواد، احمدی، محمدمهدی، غلامی، الهام و ابراهیمی، مهرداد (۱۳۹۸). بهینه‌یابی سبد اعتباری بانک ملی با رویکرد کاهش قیمت تمام شده تسهیلات اعطایی. *فصلنامه مطالعات مالی و بانکداری اسلامی*، ۵(۱۲)، ۱۰۲-۸۱.

۱۴- یحیی‌زاده فر، محمود، شمس، شهاب الدین و رضازاده، مرتضی (۱۳۸۹). ارزیابی عملکرد مدیریت پرتفوی شرکت‌های سرمایه گذاری در بورس اوراق بهادار تهران. *پژوهشنامه مدیریت اجرایی*، ۱۰(۲)، ۱۷۸-۱۵۷.

۱۵- یکتا، علی (۱۳۹۴). تعیین ترکیب بهینه پرتفوی اعتباری بانک آینده براساس مدل ناهمسانی واریانس شرطی تعمیم یافته (GARCH). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه.

1. Agarana, M. C., Bishop, S. A., & Odetunmibi, O. A. (2014). Optimization of banks loan portfolio management using goal programming technique. *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences*, *2*(8), 43-52.

2. Bargi, A. N. (2024). Stock portfolio optimization: Comparing the Markowitz Model with the Black Litterman Model. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 5(3), 3388-3393.

3. Central Bank of the Islamic Republic of Iran (2005). Principles of credit risk management. Ranjbar Motlaq, Lida (In Persion).

4. Central Bank of the Islamic Republic of Iran, the Higher Institute of Banking Education of Iran, the performance report of the country's banks, https://www.ibi.ac.ir (In Persion).

5. Chang, T. J., Yang, S. C., & Chang, K. J. (2009). Portfolio optimization problems in different risk measures using genetic algorithm. *Expert Systems with applications*, *36*(7), 10529-10537.

6. Dubinskas, P., & Urbšienė, L. (2017). Investment portfolio optimization by applying a genetic algorithm-based approach. *Ekonomika*, *96*(2), 66-78.

7. Eghtesad, A., & Mohammadi, Ů. (2023). Portfolio optimization with return prediction using LSTM, Random forest, and ARIMA. *Financial Management Perspective*, *13*(43), 9-28.
8. Enoch, C. N., & Labuschagne, L. (2014). Towards a theoretical foundation for project portfolio management. Project Management Institute.
9. Estrada, J. (2000). The cost of equity in emerging markets: a downside risk approach.
10.Gunjan, A., & Bhattacharyya, S. (2024). Quantum-inspired meta-heuristic approaches for a constrained portfolio optimization problem. *Evolutionary Intelligence*, 1-40.
11.Li, H., & Shi, N. (2022). Application of genetic optimization algorithm in financial portfolio problem. *Computational Intelligence and Neuroscience*, *2022*(1), 5246309.
12.Jahanian, F., Motaghi, A. A., & Mohammadi, A. (2022). Portfolio optimization using the modified Markowitz model based on CO-GARCH modeling in comparison with the market. *Journal of Stable Economics*, (2)7, 70-84 (In Persion).
13.Kamarei, M. (2011). *Examining Sepeh Bank's loan portfolio and determining its optimal combination.* Master's Thesis, University of Tehran (In Persion).
14.Karimpour, A., & Agassi, S. (2022). Choosing the optimal stock portfolio using the meta-heuristic algorithm of flower pollination and comparing the results with the traditional Markowitz model. *Journal of Modern Management Engineering*, *2*8, 79-110 (In Persion).
15.Kazan, H., & Uludag, K. (2014). Credit portfolio selection according to sectors in risky environments: Markowitz practice. *Asian Economic and Financial Review*, *4*(9), 1208.
16.Khandan, A. (2023). Comparison of average performance with median and other risk indicators in stock portfolio optimization. *Quarterly Journal of Quantitative Economics*, (20)1, 99-138 (In Persion).
17.Markowitz, H. M. (1959). Portfolio Selection, Cowles Foundation Monograph 16. *New York, New York: JohnWiley and Sons, 1959MarkowitzPortfolio Selection: Cowles Foundation Monograph*, *161959*.
18.Mathworks, N. (2004). Genetic algorithm and direct search toolbox for use with MATLAB.
19.Mehrara, M., & Sadeghian, S. (2008). Determining the optimal composition of loans in economic sectors (case study of Saman Bank). *Financial Economics Quarterly*, (2) 5, 116-134 (In Persion).
20.Nahvi, A., Ghorbani, M., Sabohi, M., & Durandish, A. (2021). Examining the optimal composition of the credit portfolio using the worm

algorithm (case study of Agricultural Bank). *Iranian Economic Studies Quarterly*, (37) 10, 53-97 (In Persion).
21.Nobakht J., Ahmadi, M. M., Gholami, E., & Ebrahimi, M. (2019), Optimizing the National Bank's credit portfolio with the approach of reducing the cost of granted facilities. *Financial Studies and Islamic Banking Quarterly,* 5(12), 81-102 (In Persion).
22.Raei, R., & Saeedi, A. (2022). *Fundamentals of Financial Engineering and Risk Management.* Organization for the Study and Compilation of Academic Books in Islamic and Human Sciences (Samt), Humanities Research and Development Institute, 2013 (In Persion).
23.Rahnama Roudposhti, F., & Moosavi Enzahai, M. (2013). Comparison of performance of portfolios resulting from stock grouping by network model based on modern and traditional variables using Sharpe and Trainor indices. *Investment Knowledge Quarterly,* (2)7, 193-212 (In Persion).
24.Haupt, R. L. & Haupt,S. E. (2004). *Practical genetic algorithms.*
25.Soltani, A., Ehtsham Rathi, R., & Abedi, S. (2023). Providing a multi-objective mathematical model for optimizing the equipment and allocation of financial resources of the banking system. *Journal of Industrial Management,* (15)2, 272-298 (In Persion).
26.Yahyazadeh Far, M., Shams, Sh., & Rezazadeh, M. (2010), Evaluation of portfolio management performance of investment companies in Tehran Stock Exchange. *Executive Management Research Journal,* 10(2), 157-178 (In Persion).
27.Yang, X. S. (2010). *Nature-inspired metaheuristic algorithms*. Luniver press.
28.Yekta, A. (2015). *Determining the optimal composition of the future bank's credit portfolio based on the generalized conditional variance heteroskedasticity model (GARCH).* Master's thesis, Islamic Azad University, Firuzkoh branch (In Persion).
29.Wang, Z., Zhang, X., Zhang, Z., & Sheng, D. (2022). Credit portfolio optimization: a multi-objective genetic algorithm approach. *Borsa Istanbul Review, 22*(1), 69-76.