Financial Research Journal

Print ISSN: 1024-8153

Online ISSN: 2423-5377

Venture Capital Portfolio Optimization through Hybrid Approach of Agent-Based Modeling and Modified Harmony Search

Seyed Ali Hasheminejad

Ph.D. Candidate, Department of Industrial Engineering, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran**.** E-mail: sa.hasheminejad@gmail.com

Morteza Bagherpour

*Corresponding author, Assistant Prof., Department of Productivity Management, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran**.** E-mail: bagherpour@iust.ac.ir

Abstract

Objective: Increasing the competitiveness of countries in the world can be reached only through innovation and the financial aspect is the most important pillar of a national innovation system. Hence, the role of venture capital in developing knowledge-based institutions is vital. However, startup portfolio selection and venture capital firms' syndication have always been critical challenges in VC industry. Hence, the need for integrated methods, based on sophisticated quantitative techniques, is always being felt. In this research, the simulation of startup portfolio optimization is much more similar to real world and the preferences of startups as decision-makers and the interaction between investees and investors are considered. The results could shed light on which investors regarding their attributes and the startup's attributes should syndicate together and how much is their shares.

Methods: Considering the complexity of the problem, the best-known model to simulate the problem is an agent-based modeling. By applying two different computational engines based on ANFIS and ANFIS tuned by PSO and also through the utilization of modified HS, the optimization procedure is preceded.

Results: The proposed solution method is applied to about four various samples and has been executed five times independently. Regarding analysis, the computational engine based on ANFIS tuned by PSO is more efficient and the optimum portfolio is achieved based on it.

Conclusion: Regarding the assumptions of the problem and the agent's attributes in venture capital, the investors' portfolios and their syndication has been optimized in order to lessen risk and increase return on investment.

Keywords: Venture capital, Agent-based modeling, Harmony search, Particle swarm optimization, Adaptive Network Fuzzy Inference System.

Citation: Hasheminejad, S.A., & Bagherpour, M. (2019). Venture Capital Portfolio Optimization through Hybrid Approach of Agent-Based Modeling and Modified Harmony Search. *Financial Research Journal*, 21(4), 493-516. (*in Persian*)

Financial Research Journal, 2019, Vol. 21, No.4, pp. 493-516

DOI: 10.22059/frj.2019.277295.1006833

Received: March 13, 2019; Accepted: September 01, 2019

© Faculty of Management, University of Tehran

تحقیقات مالی
شاپا چـــاپـــی: ۱۰۲۴-۸۱۵۳
شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۵۳۷۷

تعیین سبد بهینه سرمایه‌گذاران خطرپذیر بر اساس روش ترکیبی مدل‌سازی عامل‌محور و جست‌وجوی هارمونی اصلاح‌شده

سید علی هاشمی نژاد
دانشجوی دکتری، گروه مهندسی سیستم ، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. رایانامه: sa.hasheminejad@gmail.com

مرتضی باقرپور
* نویسنده مسئول، استادیار، گروه مدیریت بهره‌وری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. رایانامه: bagherpour@iust.ac.ir

چکیده

هدف: از آنجا که سرمایه‌گذاری خطرپذیر، بهترین روش تأمین مالی برای ایجاد و رشد شرکت‌های نوپا و دانش‌بنیان است، توجه بسیاری از کشورهای توسعه یافته را به خود جلب کرده است. نحوه انتخاب شرکت‌های نوپا و اتحاد سرمایه‌گذاران، از چالش‌های مهم این صنعت است. از این رو، همواره نیاز به روش‌های یکپارچه‌ای بر اساس رویکردهای تحلیل کمّی احساس می‌شود. در پژوهش حاضر، بهینه‌سازی سبد شرکت‌های نوپا به محیط واقعی نزدیک‌تر شده و ترجیح شرکت‌های نوپا، همانند شرکت‌های سرمایه‌گذاری خطرپذیر، به‌عنوان تصمیم‌گیرنده در نظر گرفته شده است تا نشان داده شود که کدام سرمایه‌گذارها در کدام شرکت‌های نوپا با یکدیگر مشارکت کنند و سهم هر یک چقدر باشد.

روش: با لحاظ کردن پیچیدگی مسئله، نزدیک‌ترین مدل به محیط واقعی، مدل عامل‌محور است. با اتخاذ دو موتور محاسبه‌ای مستقل مبتنی بر سیستم استنتاج تطبیقی فازی ـ عصبی و ترکیب این سیستم با الگوریتم بهینه‌سازی ذرات و در جهت بهبودبخشی، از روش فراابتکاری جست‌وجوی هارمونی اصلاح‌شده، برای شناسایی سبد سرمایه‌گذاری نزدیک به بهینه استفاده شده است.

یافته‌ها: پس از مطرح‌کردن چهار مثال با ابعاد گوناگون، روش حل پیشنهادی برای هر یک ۵ بار به‌صورت مستقل اجرا شد. بر اساس محاسبه‌ها، موتور محاسبه‌ای سیستم استنتاج فازی ـ عصبی تطبیقی تنظیم‌شده توسط الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، کاراتر بود و سبد بهینه مبتنی بر آن به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: بر اساس فرضیه‌های مسئله و مشخصه‌های هر یک از عامل‌ها در سرمایه‌گذاری خطرپذیر، مدیریت ریسک پرتفوی هر یک از سرمایه‌گذاران و سهم هر یک و اتحادهای پیشنهادی مدل مابین سرمایه‌گذاران، بهینه شد.

کلیدواژه‌ها: سرمایه‌گذاری خطرپذیر، مدل‌سازی عامل‌محور، جست‌وجوی هارمونی، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، سیستم استنتاج فازی ــ عصبی تطبیقی.

استناد: هاشمی نژاد، سید علی؛ باقرپور، مرتضی (۱۳۹۸). تعیین سبد بهینه سرمایه گذاران خطرپذیر بر اساس روش ترکیبی مدل‌سازی عامل‌محور و جست‌وجوی هارمونی اصلاح‌شده. *تحقیقات مالی*، ۲۱(۴)، ۴۹۳- ۵۱۶.

تحقیقات مالی، ۱۳۹۸، دوره ۲۱، شماره ۴، صص. ۴۹۳- ۵۱۶
DOI: 10.22059/frj.2019.277295.1006833
دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۲، پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۱۰
© دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

مقدمه

سرمایه‌گذاری خطرپذیر، یعنی تأمین سرمایه لازم برای شرکت‌ها و کسب‌وکارهای نوپا، همراه با کمک‌های مدیریتی که مستعد جهش و رشد ارزش و البته ریسک فراوانی است (آئونی، کلاپینتو و لاتوره[1] ، ۲۰۱۳). سرمایه‌گذارانی که با ارزیابی موشکافانه خود، کمبود نقدینگی شرکت‌های کارآفرین را جبران می‌کنند و در گروه سهام‌داران قرار می‌گیرند، به این شرکت‌ها در مراحل ابتدایی رشد و تکامل اقتصادی توجه کرده و با مدیریت فعالانه، در افزایش قیمت سهام نقش مهمی ایفا می‌کنند. بر اساس نتیجه پژوهش‌های آلپرویچ، هوبنر و لوبت[2] (۲۰۱۵)، درصد موفقیت تجاری شرکت‌های نوپا که از طرف شرکت‌های سرمایه‌گذار خطرپذیر پشتیبانی شده‌اند، بسیار بیشتر از شرکت‌هایی است که از این پشتیبانی بی‌بهره بوده‌اند. در اغلب کشورها، سرمایه‌گذاری نوآورانه تا حدی با دولت‌ها وابستگی محوری دارد. این سازوکارها نمی‌توانند به‌خوبی خلأ موجود در سیستم نوآوری را برای تأمین مالی شرکت‌های نوپا پوشش دهند. در این میان، یکی از اثرگذارترین سازوکارهای تأمین مالی، سرمایه‌گذاری خطرپذیر است. بدیهی است که تأمین سرمایه‌های خطرپذیر بنا به جوهرهٔ اصلی خود، کمک بیشتری به فعالیت‌های نوآورانه می‌کند؛ به‌طوری که ثابت شده است ۱ دلار سرمایه‌گذاری خطرپذیر، در قیاس با ۱ دلار هزینه تحقیق و توسعه، معادل با ۱/۳ برابر اثربخش‌تر است (لرنر[3]، ۲۰۰۲). شرکت‌های سرمایه‌گذار برای انتخاب سبد شرکت‌های نوپا، هم لازم است که مجموعه‌ای از اطلاعات مالی و کمّی را جمع‌آوری کنند و هم باید مجموعه‌ای از اطلاعات کیفی، شامل مهارت و تجربه مدیران، تقاضای بازار در خصوص نوآوری، عوامل محیطی و اقتصاد کلان را که در موفقیت شرکت‌های نوپا مؤثر است، مد نظر قرار دهند (گنون، هوگان و السون[4]، ۲۰۱۵). در این رابطه، پژوهشگران برای حل مسائل تصمیم‌گیری مالی، به روش‌های یکپارچه و پیچیده کمّی نیاز دارند، از این رو، ارتباط بین تئوری‌های مالی و روش‌هایی چون شبیه‌سازی، مدل‌سازی ریاضی و... بیش از گذشته برجسته شده است (زوپونیدیس و دومپس[5]، ۲۰۰۲).

در صنعت سرمایه‌گذاری خطرپذیر، شاید مرحله ارزیابی، به‌دلیل ابهام در داده‌ها، به دقت سایر حرفه‌ها نباشد. در مواقع بسیار، سرمایه‌گذار در انتخاب شرکت سرمایه‌پذیر بیشتر به تجربه و دانش خود تکیه می‌کند؛ زیرا می‌داند که برنامه کسب‌وکار ارائه‌شده، کاملاً ابتدایی و مقدماتی است (ساموت[6]، ۲۰۱۲). به همین دلیل، این موضوع برای تصمیم‌گیرندگان مالی بسیار حیاتی است تا بر اساس مدل‌ها و ابزارهای کمّی، بتوانند سناریوهای ریسک‌دار خود را هدایت کنند. در این پژوهش، شرکت‌های نوپا همراه با قدرت تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده‌اند و علاوه‌بر مشخصه‌های رفتاری و مالی شرکت‌های نوپا، به مشخصه‌های شرکت‌های سرمایه‌گذاری خطرپذیر نیز توجه شده است. با وجود عدم قطعیت و ابهام در داده‌ها و مشخصه‌های رفتاری متنوع در دو گروه سرمایه‌گذاران و سرمایه‌پذیران و تعامل‌های مکرر به این دو طیف و از سوی دیگر، تأثیر جدی محیط کلان اقتصادی بر این صنعت، بر پایه مرور ادبیات صورت‌گرفته می‌توان ادعا کرد که در انتخاب سبد شرکت نوپا، تاکنون هیچ پژوهشی مشخصه‌های رفتاری شرکت‌های سرمایه‌گذار خطرپذیر و نوپا را هم‌زمان

1. Aouni, Colapinto & La Torre
2. Alperovych, Hubner & Lobet
3. Lerner
4. Gannon, Hogan & Olson
5. Zopounidis & Doumpos
6. Sammut

در نظر نگرفته است. با توجه به پیچیدگی مسئله و تعدد تصمیم‌گیران در دو گروه عاملی متفاوت و تعامل مابین آنها، منطبق‌ترین روش برای شبیه‌سازی این مسئله، مدل‌سازی عامل‌محور است که در تعیین سبد بهینه سرمایه‌گذاری برای نخستین بار از آن بهره برده می‌شود. در ادامه، مسئله در دست بررسی، در صنعت سرمایه‌گذاری خطرپذیر به تفصیل بیان شده و عامل‌های مؤثر در این صنعت، در قالب مدل مفهومی عامل‌محور معرفی شده است. در بخش بعد، پیشینه‌های نظری و تجربی و شکاف‌های پژوهشی مشخص و بررسی می‌شوند. سپس در بخش چهارم، روش‌شناسی حل مسئله، اجزا و مراحل آن، شامل مدل‌سازی عامل‌محور و روش بهینه‌سازی جست‌وجوی هارمونی معرفی شده و دو موتور محاسبه‌ای متمایز در مدل‌سازی عامل‌محور اجرا شده است. در پایان، نتایج عددی در تعیین سبد بهینه سرمایه‌گذاری خطرپذیر و اتحاد سرمایه‌گذاران در چهار مثال آورده شده و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی بیان خواهد شد.

تعریف مسئله

در صنعت سرمایه‌گذاری خطرپذیر، شرکت‌های سرمایه‌گذار همواره دغدغه انتخاب مورد سرمایه‌گذاری را دارند و می‌بایست از بین تعداد زیادی از شرکت‌های نوپا، یک یا چند مورد را برگزینند. اما در فضای انتخاب سبد شرکت‌های نوپا با توجه به ریسک فراوان موجود در آن، بسیاری از شرکت‌های خطرپذیر به‌دلیل اشتراک‌گذاری ریسک سرمایه‌گذاری و همچنین استفاده از قوت‌های یکدیگر، اتحادی را شکل می‌دهند (رایت و لاکت[1]، ۲۰۰۳) که محققان بهینه‌سازی کمتر به آن توجه کرده‌اند. از سوی دیگر، در این صنعت، متفاوت با سرمایه‌گذاری در تالار بورس و اوراق بهادار، شرکت‌های نوپا عامل تصمیم‌گیری محسوب می‌شوند و مشخصات رفتاری و عملکردی منحصربه‌فردی دارند؛ به‌طوری که بسیاری از شرکت‌های نوپا زمان زیادی را برای ارزیابی پتانسیل سرمایه‌گذار صرف می‌کنند و تصمیم می‌گیرند که با کدام سرمایه‌گذار همکاری کرده و کدام را رد کنند (درووِر، وود و فاسین[2]، ۲۰۱۴). بنابراین، شناسایی بهترین ترکیب در اتحاد سرمایه‌گذاران و تشخیص سبد بهینه سرمایه‌گذاری هر اتحاد سرمایه‌گذاران خطرپذیر، همواره مطلوب این صنعت و به‌تبع آن، محققان بوده است. به‌منظور شبیه‌سازی محیط سرمایه‌گذاری بر مبنای مدل‌سازی عامل‌محور، شناسایی ویژگی‌های مؤثر در نحوه تعامل شرکت‌های سرمایه‌پذیر و سرمایه‌گذار و همچنین تعیین مهم‌ترین پارامتر محیطی مؤثر بر صنعت سرمایه‌گذاری جسورانه ضروری است. بر اساس پژوهش‌های درووِر (۲۰۱۴) و همچنین مطالعه برخی از این تعاملات در محیط کلان اقتصادی (بلاک و ساندنر[3]، ۲۰۰۹؛ استیمل[4]، ۲۰۱۲) برخی از ضوابط تأثیرگذار در این حوزه، شناسایی و در زیر آمده است:

- هر چه ترس از شکست بیشتر باشد، شرکت نوپا تمایل کمتری به همکاری با شرکت سرمایه‌گذار با سابقه اخلاقی بد دارد؛ زیرا به کاهش نرخ بازگشت سرمایه منجر می‌شود.
- هر چه شدت عواقب رد سرمایه برای شرکت‌های نوپا بیشتر باشد؛ این شرکت‌ها با شرکت‌های سرمایه‌گذار با سابقه اخلاقی بد نیز کنار می‌آیند.

1. Wright & Lockett
2. Drover, Wood & Fassin
3. Block & Sandner
4. Stimel

- در دوران بحران اقتصادی، شرکت‌هایی که در دوره انتهایی هستند و به سرمایه‌گذاری دوم یا بیشتر نیاز دارند، کمتر مورد علاقه شرکت‌های سرمایه‌گذار هستند؛ زیرا این شرکت‌ها در فاز خروج با مشکل مواجه شده و نرخ بازگشت سرمایه مطلوب را نخواهند داشت.
- در خصوص شرکت‌های نوپا که در مرحله آغازین هستند، بحران اقتصادی بی‌اثر بوده و همچنان توسط سرمایه‌گذاران خطرپذیر رغبت وجود دارد.

ویژگی‌های شرکت‌های سرمایه‌گذار خطرپذیر عبارت‌اند از:

- میزان سرمایه: در نظر گرفتن میزان بودجه در دسترس هر شرکت سرمایه‌گذار(آئونی و همکاران، ۲۰۱۳)؛
- میزان ریسک‌پذیری: در واقع میزان پذیرش احتمال از دست‌دادن قسمتی از سرمایه یا حتی تمامی آن (درووِر، ۲۰۱۴)؛
- میزان خدمات دارای ارزش افزوده: بسیاری از شرکت‌های نوپا به این امر اهمیت می‌دهند که شرکت سرمایه‌گذار علاوه بر تزریق نقدینگی، آیا از قابلیت‌هایی همچون کمک‌های مدیریتی، تخصص‌های خاص صنعت و پشتیبانی عملیاتی و... برخوردارند؟ (والری و پیترسون[1]، ۲۰۰۷؛ فرچایلد[2]، ۲۰۱۱)،
- عملکرد گذشته: تابعی از عملکرد پیشین سرمایه‌گذار است. آیا در سرمایه‌گذاری پیشین موفق بوده و به بیان دقیق‌تر، چند بار خروج موفق از سرمایه‌گذاری داشته است؟ (فرچایلد، ۲۰۱۱)،
- میزان اعتبار[3]: میزان رفتار فرصت‌طلبانه و بی‌اخلاقی سرمایه‌گذار در معاملات گذشته است. در این معیار اگر سرمایه‌گذار اخلاق‌مدار نباشد، احتمال بروز هزینه‌های مربوط به تئوری نمایندگی بیشتر خواهد بود و مورد سرمایه‌گذاری بازده مناسب نخواهد داشت.

شرکت‌های نوپا، در اغلب موارد، از همکاری با سرمایه‌گذاران بی‌اعتبار اجتناب می‌کنند (والری و پیترسون، ۲۰۰۷). از سوی دیگر، شرکت‌های سرمایه‌گذار خطرپذیر با تعداد متنابهی از طرح‌های کسب‌وکار شرکت‌های نوپا مواجه هستند.

هر یک از شرکت‌های نوپا ویژگی‌های متمایزی دارند که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:

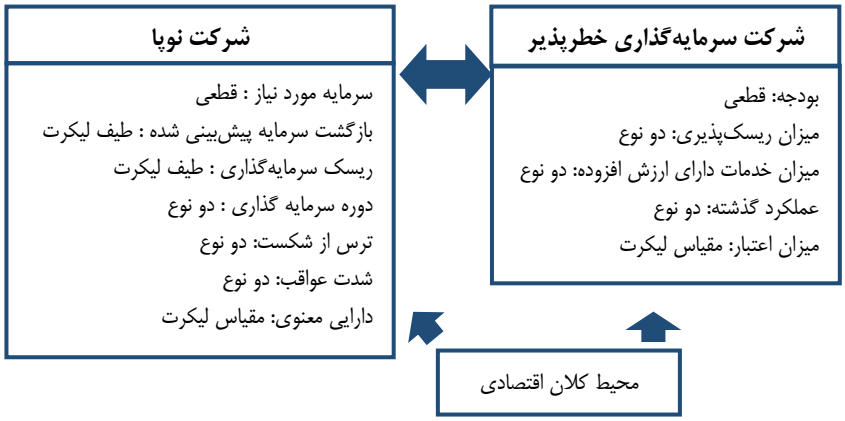
- نرخ بازگشت سرمایه: این معیار از مهم‌ترین عوامل تصمیم‌گیری در پرتفوی شرکت‌های نوپا بوده (افول‌دادزی، ۲۰۱۶) و عبارت است از سود حاصل از سرمایه‌گذاری که در قالب درصدی از سرمایه اولیه محاسبه می‌شود؛
- میزان ریسک: احتمال انحراف بازده واقعی سرمایه‌گذاری از بازده پیش‌بینی شده آن است که از محصول، فناوری و کشوری که در آن سرمایه‌گذاری شده است، نشئت می‌گیرد (کلاپینتو و لاتوره، ۲۰۱۵)؛
- دوره سرمایه‌گذاری: در دوره ابتدایی، معمولاً محصول یا خدمت آماده بوده و در حال ارائه به مشتریان است. ممکن است که بازار در این مرحله به‌صورت پایلوت باشد و استارتاپ به سودآوری نرسیده باشد؛ اما بازخوردهای حاصل از عرضه محصول، سودآوری و جریان مثبت نقدینگی را در آینده پیش‌بینی کرده است. در دوره انتهایی،

1. Valliere & Peterson
2. Fairchild
3. Ethical Reputation

محصول یا خدمت کامل شده و معمولاً به سودآوری رسیده است؛ اما به‌منظور توسعه بـازار و محصـول و کنـار زدن رقبا، نیاز به سرمایه‌گذاری مجدد خواهد داشت. سرمایه مورد نیاز در این مرحله چند برابر مراحـل ابتـدایی خواهد بود.

- میزان ترس از شکست[1]: به‌معنای این است که در صاحبان شرکت نوپا چه مقدار ظرفیت بـرای روبـه‌رویـی بـا عواقب نشئت گرفته از شکست، مانند تحقیر و شرمندگی وجود دارد.
- شدت عواقب[2]: به معنای میزان عواقب نشئت گرفته از عدم پذیرش سرمایه توسط شرکت نوپاست. این سرمایه در ادامه حیات شرکت نوپا چقدر مؤثر است؟ (درووِر، ۲۰۱۴).

در مدل‌سازی عامل محور، شناسایی عامل‌ها و تعامل میان عوامل و محیط بسیار اهمیت دارد. در مدل توسعه یافته، این عوامل، شرکت‌های سرمایه‌گذاری خطرپذیر و شرکت‌های نوپا هستند که ویژگی‌های منحصربه‌فرد دارند و از قدرت تصمیم برخوردارند. با توجه به نقش محیط کلان اقتصادی در پویایی صنعت سرمایه‌گذاری خطرپذیر، این مهم به‌عنوان محیط پیرامون در مدل‌سازی لحاظ شده است.



شکل ۱. مدل مفهومی عامل محور در سرمایه‌گذاری خطرپذیر

در شکل ۱ مدل مفهومی عامل‌محور آمده است. یافتن بهترین سبد سرمایه‌گذاری برای اتحاد شرکت‌های سرمایه‌گذاری خطرپذیر، از بین مجموعه‌ای از شرکت‌های نوپا برای حداکثرسازی بازگشت سرمایه، بسیار حیاتی است. فرضیه‌ها و محدودیت‌های مسئله که به دنیای واقعی این صنعت بسیار نزدیک‌اند، به شرح زیر هستند:

۱. بودجه شرکت‌های سرمایه‌گذاری خطرپذیر ثابت و قطعی است.
۲. سرمایه مورد نیاز شرکت نوپا معین و قطعی بوده و باید به‌صورت کامل اجابت شود؛ از این رو، تأمین تنها بخشی از سرمایه مورد نیاز شرکت نوپا ممکن نیست.

1. Fear of failure
2. Magnitude of Consequences

۳. شرکت‌های سرمایه‌گذاری متحد در نظر گرفته می‌شوند، پس سرمایه‌گذاری چندین شرکت سرمایه‌گذاری روی یک شرکت نوپا امکان‌پذیر است.
۴. سرمایه‌گذاری بخشی از بودجه شرکت سرمایه‌گذار خطرپذیر مجاز است و سرمایه‌گذار می‌تواند همه بودجه خود را مصرف نکند.
۵. سرمایه باقی‌مانده شرکت سرمایه‌گذار بر اساس سود بانکی لحاظ می‌شود. به بیان دیگر، نرخ بازگشت سرمایه مربوط به سرمایه‌ای که در شرکت نوپا سرمایه‌گذاری نشده است، بر اساس نرخ سود بانکی در تابع هدف مدل محاسبه می‌شود.

پیشینه‌های نظری و تجربی

امروزه در محیط سراسر عدم قطعیت، تئوری مالی مدرن همچنان با موجی از موضوع‌های چالشی روبه‌روست (زوپونیدیس و دومپس، ۲۰۱۳). پرداختن به این چالش‌ها نیازمند به‌کارگیری روش‌های یکپارچه و میان‌رشته‌ای است که فرایند تصمیم‌گیری را تسهیل خواهد کرد. در دهه‌های گذشته، توسعه اقتصاد مالی با مفهوم بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری، گسترش چشمگیری یافته است. این مفهوم از نظریه مارکویتز با عنوان انتخاب سبد سرمایه‌گذاری، در ادبیات مالی وارد شد (مارکویتز[1]، ۱۹۵۲). تمام انواع سرمایه‌گذاری‌ها با ریسک همراه‌اند و زمانی ریسک بیشتر پذیرفته می‌شود که در مقابل بازگشت بیشتر سرمایه مورد انتظار باشد. در ادبیات انتخاب سبد سرمایه‌گذاری، ریسک سرمایه‌گذاری در قالب هزینه مربوط به ناپایداری نرخ بازگشت سرمایه تصور می‌شود. مهم‌ترین مزیت استفاده از تئوری مارکویتز، تخصیص متنوع‌تر در سبد سهام است. مدل ریاضی تئوری ماکویتز، سبد بهینه دارایی‌ها را بر اساس موازنه هم‌زمان دو معیار متناقض و ناسازگار، ریسک و بازگشت سرمایه تعیین می‌کند (قدوسی، تهرانی و بشیری، ۱۳۹۴).

در جست‌وجوی صورت‌گرفته میان ژورنال‌های معتبر، در زمینه بهینه‌سازی پرتفوی سرمایه‌گذاری خطرپذیر، حدود ۱۰۰۰ مقاله با کلیدواژه «سرمایه‌گذاری خطرپذیر» از سال ۲۰۰۰ به بعد در پایگاه داده‌های الزویر[2] و اسکوپوس[3] به چاپ رسیده است. برای غربال‌سازی مقاله‌های مرتبط با کلیدواژه‌های «انتخاب» و «بهینه‌سازی»، جست‌وجوی جداگانه‌ای انجام گرفت که از بین تمام مقاله‌ها، در مجموع ۵۵ مقاله یافت شد. پس از بررسی تمام مقاله‌ها، تنها ۱۵ مقاله در مبحث سرمایه‌گذاری خطرپذیر در راستای انتخاب سبد بهینه شرکت‌های نوپا بودند.

به‌عنوان اولین پژوهش، جینا بیم و مورن لوسک[4] (۲۰۰۶) از تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی داده‌ها استفاده کردند. آنها به‌منظور انتخاب بهترین کشور برای سرمایه‌گذاری خطرپذیر، از هفده معیار و نظر خبرگان بهره بردند. ژانگ[5] (۲۰۱۲–الف) عوامل ارزیابی در تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری خطرپذیر را در قالب پنج معیار اصلی و هجده زیر معیار معرفی و با استفاده از مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر فاصله، شرکت نوپا را انتخاب کرد. این محقق وزن هر یک از معیارها را با استفاده

1. Markowitz
2. Elsevier
3. Scopus
4. Beim, & Lévesque
5. Zhang

از روش وزن‌دهی آنتروپی شانون به‌دست آورد. در پژوهشی دیگر، ژانگ (۲۰۱۲– ب) همان معیارها را مدنظر قرار داد و از روش تحلیل رابطه خاکستری برای تعیین الویت‌بندی آلترناتیوها بهره جست.

آئونی و همکارانش (۲۰۱۳) ابزارهای به‌کار گرفته شده در سرمایه‌گذاری خطرپذیر را به سه دسته ۱. روش‌های توصیفی؛ ۲. روش‌های آماری خطی؛ ۳. تکنیک‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، طبقه‌بندی کردند. آنها پس از انتخاب چهار عامل ناسازگار بازگشت سرمایه سبد سرمایه‌گذاری، میزان بقا، سرمایه فکری و ریسک سرمایه‌گذاری برای تصمیم‌گیری، از روش برنامه‌ریزی آرمانی به بهینه‌سازی مسئله اقدام کردند. چهار عامل یاد شده، به‌عنوان توابع هدف مسئله و محدودیت تعداد سرمایه‌گذاری به‌عنوان محدودیت سیستمی مدل در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از میانگین موزون، مسئله را به مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی تک‌هدفه تبدیل کردند. رستم‌زاده، اسماعیل و زاوادکاس[1] (۲۰۱۴) از تصمیم‌گیری چندمعیاره در سرمایه‌گذاری خطرپذیر استفاده کردند. در این پژوهش فرشتگان کسب‌وکار مدنظر بوده و معیارهای تصمیم‌گیری با این فرض شناسایی شده است. آنها پنج معیار اصلی و ۲۹ زیرمعیار را برای ارزیابی شناسایی کردند و از پنج سرمایه‌گذار برای مصاحبه دربارهٔ چهار گزینه در مالزی بهره بردند. آئونی و همکارانش، بار دیگر در سال ۲۰۱۴ چهار عامل ناسازگار را برگزیدند و با توجه به عدم قطعیت موجود در سرمایه‌گذاری خطرپذیر، از مجموعه فازی در برنامه‌ریزی آرمانی بهره بردند (آئونی و همکارانش، ۲۰۱۴). اریک افول دادزی و همکارانش (۲۰۱۵) بررسی‌های خود را بر سرمایه‌گذاری عمومی در کشور غنا متمرکز کردند. آنان در این پژوهش با استفاده رویکرد فازی تاپسیس شهودی، از بین چهار شرکت نوپا بهترین را انتخاب کردند. گنون و همکارانش (۲۰۱۵) ضمن مرور ادبیات معیارهای مؤثر در انتخاب شرکت نوپا، ساختار سلسله‌مراتبی را طراحی کردند که پنج معیار اصلی و ۲۴ زیر معیار را دربردارد. کلاپینتو و لاتوره[2] (۲۰۱۵) با مرور کلی معیارهای ارزیابی، چهار معیار میزان بازگشت سرمایه، میزان بقا، سرمایه فکری و میزان ریسک سرمایه‌گذاری در کشور سرمایه‌گذاری‌شده را به‌عنوان اهداف انتخاب کردند و با استفاده از تابع رضایت و وزن‌دهی، مسئله را به مدل ریاضی تک‌هدفه مبدل ساختند. حتی در حالت قطعی نیز این مدل در کلاس مسائل بهینه‌سازی عدد صحیح مختلط و درجه پیچیدگی آن NP-hard بود (سلیمانی، گلمکانی و سلیمی[3]، ۲۰۰۹). در این مسئله، میزان سرمایه‌گذاری پارامتر ورودی و عدد، ثابت است و مدل ریاضی به‌صورت یک متغیر دودویی، تنها برای سرمایه‌گذاری یا عدم سرمایه‌گذاری تصمیم می‌گیرد. افول دادزی و همکارانش (۲۰۱۵) سرمایه‌گذاری خطرپذیر عمومی را بررسی کردند و از روش پرامیتی فازی بهره بردند. آنان وزن هر یک از معیارهای تصمیم‌گیری و امتیاز هر یک از آلترناتیوها را توسط فازی مثلثی از عبارات کلامی به کمی تبدیل کردند. ویرانتو، لتیفیانتی و ویراوان[4] (۲۰۱۵) معتقدند که معیارهای انتخاب شرکت نوپا بر یکدیگر مؤثر است و این تأثیر می‌تواند مثبت یا منفی باشد. از این رو برای نشان دادن روابط متقابل عوامل بر یکدیگر، از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای استفاده کردند. لی و وو[5] (۲۰۱۶) بر اساس روش‌های آنتروپی متقابل فازی شهودی و تحلیل همبستگی خاکستری، تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره را معرفی کرده است. در این مقاله، تصمیم‌گیرنده، ارزش هر معیار

1. Rostamzadeh, Ismail & Zavaskas
2. Colapinto, & La Torre
3. Soleimani, Golmakani, & Salimi
4. Wiranto, Latiffianti & Wirawan
5. Li & Wu

برای هر آلترناتیو را بر اساس عدد فازی شهودی به‌دست می‌آورد، به این صورت که درجه عضویت و عدم عضویت برای هر آلترناتیو، بر اساس هر معیار مشخص می‌شود. سپس ضریب همبستگی خاکستری برای هر آلترناتیو نسبت به هر معیار محاسبه شده و یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی با هدف حداکثرسازی ضریب همبستگی خاکستری کل توسعه داده شده است تا وزن بهینه هر معیار مشخص شود. یوانجون و زنگوری[1] (۲۰۱۶) ارزیابی و کارایی شرکت‌های سرمایه‌پذیر را با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها بررسی کردند. در این پژوهش، هر شرکت نوپا به‌عنوان یک واحد تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده است. سه عامل ریسک پروژه سرمایه‌گذاری، دوره بازگشت سرمایه و درجه انحراف رفتار منطقی، به‌عنوان شاخص‌های ورودی و عامل ارزش شرکت نوپا به‌عنوان تنها شاخص خروجی انتخاب شده است. افول دادزی و افول دادزی[2] (۲۰۱۶) به‌صورت کلی، شش معیار تصمیم‌گیری را انتخاب و با تکنیک تاپسیس فازی شهودی مسئله انتخاب سبد سرمایه‌گذاری را حل کردند.

در جدول ۱، ساختار پژوهش‌های انجام‌شده و ویژگی‌های هر یک درج شده است. طبق مرور ادبیات، معیارهای تصمیم‌گیری از بخش‌های کیفی و کمّی تشکیل شده‌اند که تعیین دقیق هر یک از آنها بسیار پیچیده است. این موضوع، در روند مقاله‌هایِ این حوزه، کاملاً مشهود است. می‌توان ادعا کرد که فضای کار پژوهشی در حوزه بهینه‌سازی سبد شرکت‌های نوپا در سرمایه‌گذاری خطرپذیر، همچنان بکر است، از این رو، به‌عنوان نوعی شکاف پژوهشی محسوب می‌شود. این مبحث اغلب در حوزه استراتژیک، کارآفرینی و مدیریت فناوری مطرح است، به همین دلیل، با توجه به تخصص خبرگان این حوزه، بیشتر بر روش‌های آماری و پژوهش‌های کیفی متمرکز بوده‌اند و از الگوریتم‌های پیچیده‌ای چون برنامه‌ریزی ریاضی و شبیه‌سازی و... به‌ندرت استفاده کرده‌اند. دیگر اینکه در سرمایه‌گذاری خطرپذیر، عناصر موجود در سبد سرمایه‌گذاری، بر خلاف سبد سرمایه‌گذاری مالی در بورس و اوراق بهادار، دارای اهداف معین و قدرت تصمیم‌گیری هستند.

با توجه به جدول ۱، مشخص می‌شود که تاکنون مدلی برای بهینه‌سازی سبد شرکت‌های نوپا با لحاظ کردن رفتار و مشخصات شرکت‌های نوپا به‌عنوان تصمیم‌گیرنده توسعه داده نشده است. با لحاظ‌کردن پیچیدگی مسئله و تعدد تصمیم‌گیران، نزدیک‌ترین مدل به محیط واقعی، مدل عامل‌محور است که از ترکیب آن با مدل‌های فراابتکاری، می‌توان سبد نزدیک به بهینه را برای سرمایه‌گذاری تعیین کرد. در ضمن، گهگاه مشاهده می‌شود که شرکت‌های نوپا، به‌دلیل حفظ حاکمیت سازمانی، تمایل دارند که با چند شرکت سرمایه‌گذار همکاری کنند و از سوی دیگر شرکت‌های سرمایه‌گذار برای مدیریت ریسک با یکدیگر شراکت کرده و اتحاد[3] تشکیل می‌دهند. نوآوری‌های این پژوهش عبارت‌اند از:

- ارائه مدل بهینه‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی برای اولین بار در حل مسئله پرتفوی سرمایه‌گذاری خطرپذیر؛
- در نظر گرفتن قدرت تصمیم‌گیری شرکت‌های نوپا، علاوه بر شرکت‌های سرمایه‌گذاری خطر پذیر؛
- در نظر گرفتن چندین شرکت سرمایه‌گذاری خطرپذیر و اتحاد بین آنها در ایجاد سبد سرمایه‌گذاری هر یک؛

1. Yuanjjun & Zenguri
2. Afful-Dadzie & Afful-Dadzie
3. Syndication

- تعیین سهم سرمایه‌گذاری تمامی سرمایه‌گذاران در موارد تشکیل اتحاد، علاوه بر تعیین سرمایه‌گذاری یا عدم سرمایه‌گذاری به‌صورت متغیر دودویی.

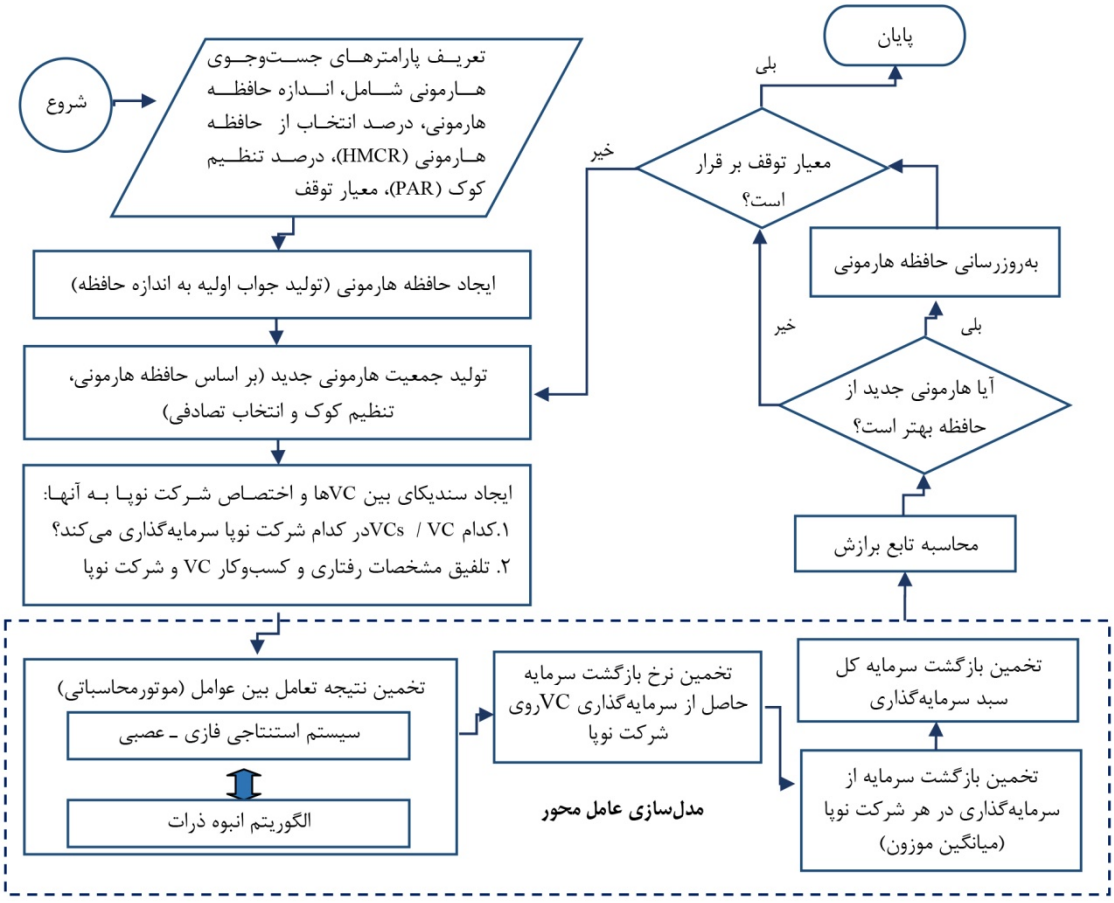
جدول ۱. خلاصه مقاله‌های مربوط به حوزه تعیین سبد بهینه شرکت‌های نوپا

مولف	سال	روش حل	تعداد معیارها / محدودیت‌ها	نوع داده
جینا بیم	۲۰۰۶	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی	۱۷	مقایسهٔ زوجی
ژانگ	۲۰۱۲	روش ابتکاری چندمعیاره	۱۶	فازی
ژانگ	۲۰۱۲	تحلیل خاکستری	۱۶	اعداد خاکستری
بلاید آئونی و همکاران	۲۰۱۳	برنامه‌ریزی آرمانی	۶	تصادفی (سناریو محور)
رستم‌زاده و همکاران	۲۰۱۴	ویکور	۲۱	فازی
بلاید آئونی و همکاران	۲۰۱۴	برنامه‌ریزی آرمانی فازی	۶	فازی
اریک افول دادزی و همکاران	۲۰۱۵	پرامیتی	۶	فازی
گنون و همکاران	۲۰۱۵	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی	۱۷	مقایسهٔ زوجی
کلاپینتو و لاتوره	۲۰۱۵	برنامه‌ریزی آرمانی	۵	فازی
ویرانتو	۲۰۱۵	فرآیند تحلیل شبکه‌ای	۱۰	مقایسهٔ زوجی
اریک افول دادزی و همکاران	۲۰۱۵	تاپسیس فازی شهودی	۶	فازی شهودی
اریک افول دادزی و همکاران	۲۰۱۶	تاپسیس فازی شهودی	۲۷	فازی شهودی
ژاوو بوآنجون	۲۰۱۶	تحلیل پوششی داده‌ها	۴	فازی
می لی	۲۰۱۶	تحلیل خاکستری فازی شهودی	۴	فازی شهودی
تیان و همکاران	۲۰۱۷	نظریه دورنما فازی شهودی	۴	فازی شهودی

روش‌شناسی پژوهش

برای یافتن بهترین جواب ممکن، مدل ترکیبی جست‌وجوی هارمونی بهبود یافته و مدل عامل محور توسعه یافته است. موتور محاسباتی مبتنی بر هوش مصنوعی، به‌عنوان موتور محاسباتی مدل عامل‌محور برای پیش‌بینی نتایج تعامل میان عامل‌ها و محیط پیرامون طراحی شده است، بنابراین، لازم است که موتور محاسباتی برای توانایی در تخمین نتایج حاصل از تعامل عامل‌ها آموزش داده شود. موتور آموزش‌یافته می‌تواند ویژگی‌های عوامل و محیط را به‌عنوان ورودی دریافت کرده و میزان بازگشت سرمایه را برای هر سرمایه‌گذاری به‌عنوان خروجی برآورد کند. در این پژوهش، از دو روش سیستم استنتاج تطبیقی فازی ـ عصبی و سیستم استنتاج تطبیقی فازی ـ عصبی با پارامترهای تنظیم شده توسط روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات به‌عنوان موتور محاسباتی استفاده شده است. با توجه به طبیعت داده‌های غیردقیق در صنعت سرمایه‌گذاری خطرپذیر و نیاز مبرم به نظام اخذ تصمیم مبتنی بر تصمیم خبرگان، از شبکه عصبی برای تشخیص

الگوها و انطباق بر تغییرات استفاده می‌شود و در کنار آن، سیستم استنتاج فازی برای توصیف نظام‌مند دانش انسان و انجام استنتاج و اتخاذ تصمیم مناسب به‌کار می‌رود. برای بهینه‌سازی سبد شرکت‌های نوپا و تعیین بهترین اتحاد مابین شرکت‌های خطرپذیر، مدل ارائه شده دو بخش اصلی را دربرمی‌گیرد: یک) تخمین میزان بازگشت سرمایه از سبد سرمایه‌گذاری با استفاده از مدل‌سازی‌عامل محور و دو) بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری شرکت‌های نوپا از طریق جست‌وجوی هارمونی بهبود یافته.



شکل ۲. نمایش شماتیک فرایند روش ترکیبی

برای حداکثرسازی میزان بازگشت سرمایه، مراحل اصلی روش ترکیبی ارائه شده به‌صورت زیر است و الگوریتم آن در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

۱) تعریف پارامترهای جست‌وجوی هارمونی توسعه یافته؛

۲) ایجاد جواب‌های تصادفی و تعریف حافظه هارمونی اولیه؛

۳) تولید جمعیت جواب‌های جدید با توجه به پارامترهای تعریف شده؛

۴) محاسبه تابع برازش جواب‌های ایجاد شده؛
- تعریف عوامل شرکت سرمایه‌گذاری خطرپذیر و نوپا و ویژگی‌های مربوطه
- تعریف محیط پیرامون و ویژگی مربوط
- جمع‌آوری داده‌های تاریخی با توجه ویژگی‌های عوامل و محیط
- آموزش موتور محاسباتی برای توانایی تخمین بازگشت سرمایه بر اثر تعامل بین عوامل
- تخمین میزان بازگشت سرمایه حاصل از همکاری عامل‌های مدل
- تخمین میزان بازگشت سرمایه کل سبد سرمایه‌گذاری به عنوان تابع برازش

۵) به‌روزرسانی حافظه هارمونی با جواب‌های بهتری که در هر تکرار به‌دست می‌آید؛

۶) بررسی شرایط ختم محاسبات؛
- اگر شرایط اختتام احراز شده است، ختم فرایند
- اگر شرایط اختتام احراز نشده است، به بند سوم مراجعه شود.

در مدل پیشنهادی، نمایش جواب به‌صورت یک ماتریس با ابعاد $m \times n$ است که m تعداد شرکت‌های سرمایه‌گذار و n تعداد شرکت‌های نوپا را نشان می‌دهد (شکل ۳).

$$\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \ddots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & \ddots & x_{3n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

شکل ۳. نحوه نمایش جواب در بهینه سازی فراابتکاری

الگوریتم جست‌وجوی هارمونی توسعه یافته

الگوریتم‌های فراابتکاری از پدیده‌های طبیعی تقلید می‌کنند. جست‌وجوی هارمونی نیز از فرایند ساخت موسیقی الهام گرفته (لی و گیم[1]، ۲۰۰۵) و در بهینه‌سازی مسائل گوناگون همچون پیش‌بینی قیمت سهام (برزین‌پور، ابراهیمی، هاشمی نژاد و نصر اصفهانی، ۱۳۹۰)، بهینه‌سازی سبد مالی (سلیمی‌فرد، حیدری، مرادی و مغدانی، ۱۳۹۵) و ... کاربرد دارد. همان‌طور که آهنگ‌ساز به‌دنبال زیباترین آهنگ است، فرایند بهینه‌یابی نیز به‌دنبال یافتن بهترین جواب است. در ساخت آهنگ، زیبایی آهنگ را گام هر یک از دستگاه‌های موسیقی تعیین می‌کند و در بهینه‌یابی نیز مقدار تابع هدف را مقادیر متغیرهای مسئله تعیین می‌کنند. در ساخت موسیقی، آهنگ‌ساز هر دستگاه را در محدوده گام‌های ممکن برای آن دستگاه می‌نوازد و نواخت مجموعه دستگاه‌ها یک بردار هارمونی را تشکیل می‌دهد. این کار بارها انجام می‌شود تا مجموعه‌ای از آهنگ‌های مختلف ایجاد شود. در هر آهنگ اگر تمام دستگاه‌ها گام خوبی داشته باشند، این نواخت در حافظه آهنگ‌ساز می‌ماند و امکان ساخت هارمونی بهتر در نواخت بعدی افزایش پیدا می‌کند. به‌طور مشابه در بهینه‌یابی، ابتدا برای هر

1. Lee & Geem

متغیر یک مقدار از بین مقادیر ممکن برای آن متغیر در نظر گرفته می‌شود و مجموعه این مقادیر برای متغیرهای مسئله یک بردار پاسخ را تشکیل می‌دهد. اگر این بردار پاسخ خوبی برای مسئله باشد، مقادیر متغیرها در حافظه ذخیره می‌شود و امکان یافتن پاسخی بهتر در تکرارهای بعدی افزایش می‌یابد. وقتی آهنگ‌ساز یک دستگاه را با یک گام معین می‌نوازد، معمولاً در نواخت بعدی سه حالت ممکن است رخ دهد: ۱. دستگاه با گامی که در حافظه آهنگ‌ساز است نواخته شود؛ ۲. با گامی نزدیک به آنچه در حافظه آهنگ‌ساز هست نواخته شود؛ ۳. دستگاه با گامی تصادفی از بین گام‌های موجود نواخته شود. در بهینه‌یابی نیز برای تعیین یک مقدار جدید برای یک متغیر، یکی از این سه تصمیم اتخاذ می‌شود: ۱. مقدار متغیر یکی از مقادیر موجود در حافظه هارمونی است؛ ۲. مقدار متغیر یک مقدار نزدیک به یکی از مقادیر موجود به آن متغیر در حافظه هارمونی است؛ ۳. مقدار متغیر یک مقدار تصادفی از مقادیر ممکن نظر گرفته می‌شود. این سه قانون در جست‌وجوی هارمونی توسط دو پارامتر نرخ انتخاب از حافظه هارمونی و نرخ تنظیم کوک کنترل می‌شوند. گام‌های جست‌وجوی هارمونی را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

گام اول) فرمول‌بندی مسئله و تعریف پارامترهای الگوریتم.

گام دوم) تشکیل حافظه هارمونی: در این گام ماتریس حافظه هارمونی با انتخاب تصادفی مقادیر متغیرها در هر بردار پاسخ تشکیل می‌شود.

گام سوم) تشکیل یک بردار پاسخ جدید با توجه به حافظه هارمونی بر اساس قوانین سه‌گانه الگوریتم شامل انتخاب از حافظه هارمونی، تنظیم کوک و انتخاب تصادفی.

گام چهارم) بهنگام‌سازی حافظه هارمونی.

گام پنجم) تکرار گام‌های سوم و چهارم تا برآورده شدن معیار توقف.

به‌منظور توسعه جست‌وجوی هارمونی کلاسیک و افزایش اثربخشی این الگوریتم، تغییرهایی در ساختار اصلی به‌وجود آمده است. ایجاد جمعیت جواب به‌جای یک جواب که به‌طور قطع در کارایی الگوریتم مثمر ثمر خواهد بود (گیم، ۲۰۱۰) و در هر تکرار به اندازه $nNew$ جواب تولید می‌شود. دیگر اینکه مقدار پهنای باند (FW) ثابت نبوده و در راستای هم‌گرایی مقدار آن به ازای هر تکرار کاهش می‌یابد (گیم[1]، ۲۰۰۹). همچنین به‌منظور انتخاب جمعیت جدید، از انتخاب چرخ رولت[2] استفاده شده است تا در حافظه هارمونی جواب‌های مرغوب‌تر با احتمال بیشتری برای تولید نسل آتی انتخاب شوند.

مدل‌سازی عامل محور

مدل‌سازی عامل محور، رویکردی نوین در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده مشتمل بر عامل‌های مستقل و متعامل است که رفتار منحصربه‌فردی دارد و از طریق قوانین ساده توصیف می‌شود. در صورت مدل‌سازی هر عامل به‌صورت مستقل، می‌توان تأثیرهای تنوع رفتاری آنها را با توجه به مشخصات هر یک ردیابی کرد و در نتیجه رفتار کل سیستم را پیش‌بینی

1. Geem
2. Roulette Wheel Selection

نمود (وکیلی فرد، خشنود، فروغ نژاد و اصولیان، ۱۳۹۳). مدل عامل محور از سه عنصر پایه تشکیل شده است که عبارت‌اند از: مجموعه‌ای از عامل‌ها، ویژگی‌ها و رفتار آنها، مجموعه‌ای از ارتباطات عامل‌ها با یکدیگر و محیط پیرامون. عامل‌ها به‌صورت مستمر و تکرارپذیر رفتارهای خود را اجرا کرده و در طول یک بازه زمانی با هم تعامل برقرار می‌کنند. از این رو، برای مدل‌سازی، باید دو موضوع اصلی روابط عوامل با یکدیگر و نوع این روابط مشخص شود (خانزادی, موحدیان و باقرپور[1]، ۲۰۱۶). در مدل‌سازی عامل محور به یک موتور محاسباتی نیاز است و این موتور خروجی حاصل از تعامل عامل‌ها با یکدیگر و محیط را پیش‌بینی می‌کند. موتور محاسباتی می‌تواند دامنه‌ای از قوانین اگر ـ آنگاه ساده تا مدل‌های پیچیده توسط هوش مصنوعی باشند (ماکال و نورس[2]، ۲۰۱۰). بدین ترتیب، در این پژوهش از دو روش سیستم استنتاج تطبیقی فازی ـ عصبی به‌صورت مستقل و ادغام این سیستم با الگوریتم ازدحام ذرات برای تنظیم پارامترها به‌عنوان موتور محاسباتی استفاده شده است. در جدول ۲ هر یک از ویژگی‌های عامل‌ها و محیط مبتنی بر مقیاس لیکرت درج شده است. دامنه‌های تعریف شده در سه پارامتر ابتدایی شرکت نوپا، به صنعت سرمایه‌گذاری خطرپذیر ایتالیا مربوط می‌شود که از مقاله آئونی و همکاران (۲۰۱۳) استخراج شده است. در این سال، سود بلند مدت بانکی ۵درصد است (اطلاعات سود سپرده بلندمدت ایتالیا در سال ۲۰۱۲، سِیک دیتا[3]).

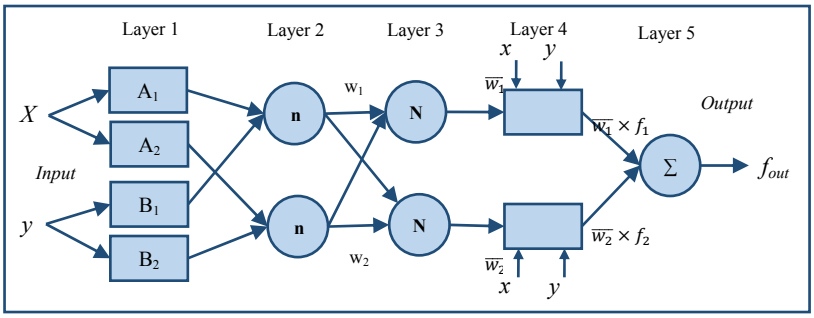
جدول ۲. ویژگی‌های عامل‌ها و محیط در مدل‌سازی عامل‌محور

ویژگی شرکت نوپا	پیش‌بینی نرخ بازگشت	خیلی کم [۰/۱-۰/۱۵]	کم [۰/۱۵,۰/۲]	متوسط [۰/۲,۰/۲۵]	بالا [۰/۲۵,۰/۳]	خیلی بالا [۰/۳,۰/۳۵]
	سرمایه معنوی	خیلی کم [۰-۰/۱]	کم [۰/۱,۰/۲]	متوسط [۰/۲,۰/۳]	بالا [۰/۳,۰/۴]	خیلی بالا [۰/۴,۰/۵]
	ریسک سرمایه‌گذاری	خیلی کم [۰/۰۳ -۰/۰۶]	کم [۰/۰۶,۰/۰۹]	متوسط [۰/۰۹,۰/۱۲]	بالا [۰/۱۲,۰/۱۵]	بسیار بالا [۰/۱۵,۰/۱۸]
	دوره سرمایه	مرحله آغازین	مرحله پایانی			
	ترس از شکست	پایین	بالا			
	شدت عواقب	ملایم	جدی			
	صنعت	۱	۲	۳	۴	۵
ویژگی سرمایه‌گذار	میزان پذیرش ریسک	ریسک گریز	خنثی	ریسک پذیر		
	خدمات دارای ارزش افزوده	محدود	زیاد			
	سوابق گذشته	در حال توسعه	اثبات شده			
	میزان اعتبار	غیر اخلاقی	خنثی	اخلاق‌مدار		
شرایط محیط کلان اقتصادی		بحرانی	غیربحرانی			

1. Khanzadi, Movahedian, & Bagherpour
2. Macal & North
3. https://www.ceicdata.com/en/indicator/italy/long-term-interest-rate

سیستم استنتاج تطبیقی فازی ـ عصبی

سیستم استنتاج تطبیقی فازی ـ عصبی (ANFIS)[1]، نوعی شبکه تطبیقی چند لایه، متشکل از عناصر اصلی و توابع سیستم‌های منطق فازی است. این مدل همانند مدل فازی، از دانش تجربی بهره گرفته و همانند مدل شبکه عصبی می‌تواند آموزش ببیند (تاکاگی و سوگنو[2]، ۱۹۸۵). در مجموع سیستم ANFIS متشکل از ساختاری پنج‌لایه با تعدادی متغیر ورودی است که پس از فازی‌سازی آنها در لایه اول و بر اساس حاصل ضرب درجه عضویت ورودی‌ها با یکدیگر، وزن قانون‌ها (w_i) در لایه دوم به‌دست می‌آید. در لایه سوم وزن نسبی قوانین ($\overline{w_i}$) محاسبه می‌شود. لایه چهارم، لایه قوانین است که از اجرای عملیات روی سیگنال‌های ورودی به این لایه حاصل می‌شود ($\overline{w_i}f_i$). لایه آخر خروجی شبکه (f) است که هدف آن حداقل کردن اختلاف خروجی شبکه و خروجی واقعی است (جانگ[3]، ۱۹۹۳). سیستم نشان داده شده در شکل ۴ دارای دولایه ورودی X و Y و یک خروجی f با فرمول زیر است:



شکل ٤. معماری سیستم استنتاج تطبیقی عصبی ـ فازی

رابطه ۱)

$$Rule\ 1:\ If\ x\ is\ A_1\ and\ y\ is\ B_1\ then\ f_1 = p_1x + q_1y + r_1$$

$$Rule\ 2:\ If\ x\ is\ A_2\ and\ y\ is\ B_2\ then\ f_2 = p_2x + q_2y + r_2$$

روش آموزش اصلی در این سیستم، روش پس‌انتشار خطاست که در ترکیب با کمترین مربعات خطا، روش ترکیبی هیبرید به دست می‌آید. در هر دور آموزش، هنگام حرکت رو به جلو، خروجی‌های گره‌ها به‌صورت عادی تا لایه چهارم محاسبه می‌شوند، سپس پارامترهای نتیجه به روش کمترین مجموع مربعات خطا محاسبه می‌شوند. در ادامه پس از محاسبه خطا در بازگشت، با استفاده از الگوریتم شیب نزولی خطا، مقدار خطا به‌سمت ورودی‌ها پخش شده و پارامترها تصحیح می‌شوند و آنچه بهینه می‌شود، اَشکال توابع عضویت است.

بهینه‌سازی انبوه ذرات

بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO)[4] از جمله الگوریتم‌های جست‌وجوی موازی مبتنی بر جمعیت و عامل‌محور است که با یک

1. Adaptive Network Fuzzy Inference System
2. Takagi & Sugeno
3. Jang
4. Particle Swarm Optimization

گروه از جواب‌های تصادفی شروع کرده و سپس برای یافتن جواب بهینه با بروزکردن مکان ذره‌ها به جست‌وجو ادامه می‌دهد (کلرک و کندی[1]، ۲۰۰۲). هر ذره به‌صورت چند بعدی با دو بردار x و v که به‌ترتیب معرف موقعیت مکانی و سرعت iامین ذره هستند، مشخص می‌شود. در هر مرحله از حرکت جمعیت، مکان هر ذره با دو مقدار بهترین به‌روز می‌شود. اولین مقدار بهترین تجربه‌ای است که خود ذره تا به حال به‌دست آورده (P_{bi}) و دومین مقدار، بهترین تجربه‌ای است که در بین تمامی ذره‌ها به‌دست آمده است (P_g). در هر تکرار، الگوریتم بعد از یافتن دو مقدار بالا، سرعت و موقعیت جدید ذره را بر اساس رابطه‌های ۲ و ۳ به‌روزرسانی می‌کند.

رابطه ۲)
$$x_k^{(i)} = x_{k-1}^{(i)} + v_k^{(i)}$$

رابطه ۳)
$$v_k^{(i)} = wv_{k-1}^{(i)} + c_1 r_1 \left(P_{bi} - x_{k-1}^{(i)}\right) + c_2 r_2 \left(P_g - x_{k-1}^{(i)}\right)$$

در رابطه ۳، w ضریب اینرسی است که به‌صورت خطی کاهش می‌یابد و معمولاً در بازه صفر و یک قرار دارد. c_1 و c_2 ضرایب یادگیری یا شتاب هستند. شرط خاتمه الگوریتم هم‌گرایی تا حد معین یا توقف، بعد از تعداد معینی تکرار است. رابطه ۲ نیز بردار موقعیت فعلی ذره را با توجه به‌سرعت جدید آن به‌روزرسانی می‌کند. این روش فراابتکاری در یافتن جواب‌های بهینه در مسائل مختلف، همچون در زمینه بهینه‌سازی پرتفوی سهام و... کاربرد زیادی دارد (راعی و علی‌بیگی، ۱۳۸۹).

موتور محاسباتی در مدل عامل محور

به‌منظور انتخاب موتور محاسباتی کاراتر، مقایسه‌ای بین دو روش پیشنهادی برای آموزش موتور محاسباتی صورت گرفته است. برای آموزش، ۳۰۰ مجموعه داده فرضی در صنعت سرمایه‌گذاری خطرپذیر شبیه‌سازی شده است که ۲۵۰ داده برای آموزش و ۵۰ داده برای آزمایش است و از آماره‌های RMSE[2] و MSE[3] برای مقایسه کارایی استفاده شده است.

در روش اول، ابتدا سیستم استنتاج فازی مبتنی بر سوگنو با توابع عضویت گوسین، ایجاد شده و با استفاده از سیستم استنتاج تطبیقی فازی ـ عصبی آموزش صورت گرفته است. پارامترهای این سیستم عبارت‌اند از:

epoch = ۲۰۰ Intial Step Size = ۰/۰۱

Decrease Rate = ۰/۹ Increase Rate = ۱/۱

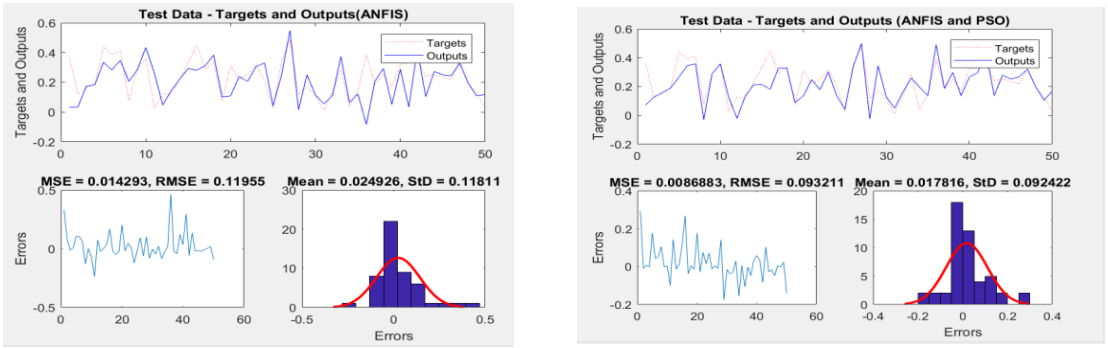
در روش دوم، سیستم ANFIS همانند روش اول در نظر گرفته شده و از الگوریتم انبوه ذرات برای تنظیم پارامترها بهره برده شده است. پارامترهای سیستم استنتاج فازی ـ عصبی استخراج و در بردار ۱×۱۸۵ به نام P ذخیره شده است. هدف از اجرای الگوریتم فراابتکاری، یافتن بهترین پارامترها در راستای کاهش متوسط مربعات خطا (MSE) است. پارامترهای PSO عبارت‌اند از: c_1 = ۱، c_2 = ۲، w = ۱، حداکثر تکرار برابر با ۳۰۰۰، تعداد جمعیت برابر با ۱۰۰ و مقادیر

1. Clerc, & Kennedy
2. Root Mean Square Error
3. Mean Square Error

r_1 و r_2 اعداد تصادفی مابین صفر و یک در نظر گرفته شده است. پس از طراحی موتور محاسباتی بر اساس روش‌های ارائه شده برای تخمین نرخ بازگشت سرمایه حاصل از سرمایه‌گذاری خطرپذیر، نتیجه مقایسه‌ها در شکل ۵ و جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. مقایسه نتایج دو مدل توسعه یافته برای موتور محاسباتی

مدل	MSE	RMSE
سیستم استنتاج تطبیقی فازی ـ عصبی	۱/۴ × ۱۰$^{-۲}$	۱/۱× ۱۰$^{-۱}$
سیستم استنتاج تطبیقی فازی ـ عصبی تنظیم شده توسط PSO	۸/۶ × ۱۰$^{-۳}$	۹/۳ × ۱۰$^{-۲}$



آموزش موتور محاسباتی با استفاده از ANFIS و PSO

آموزش موتور محاسباتی با استفاده از ANFIS

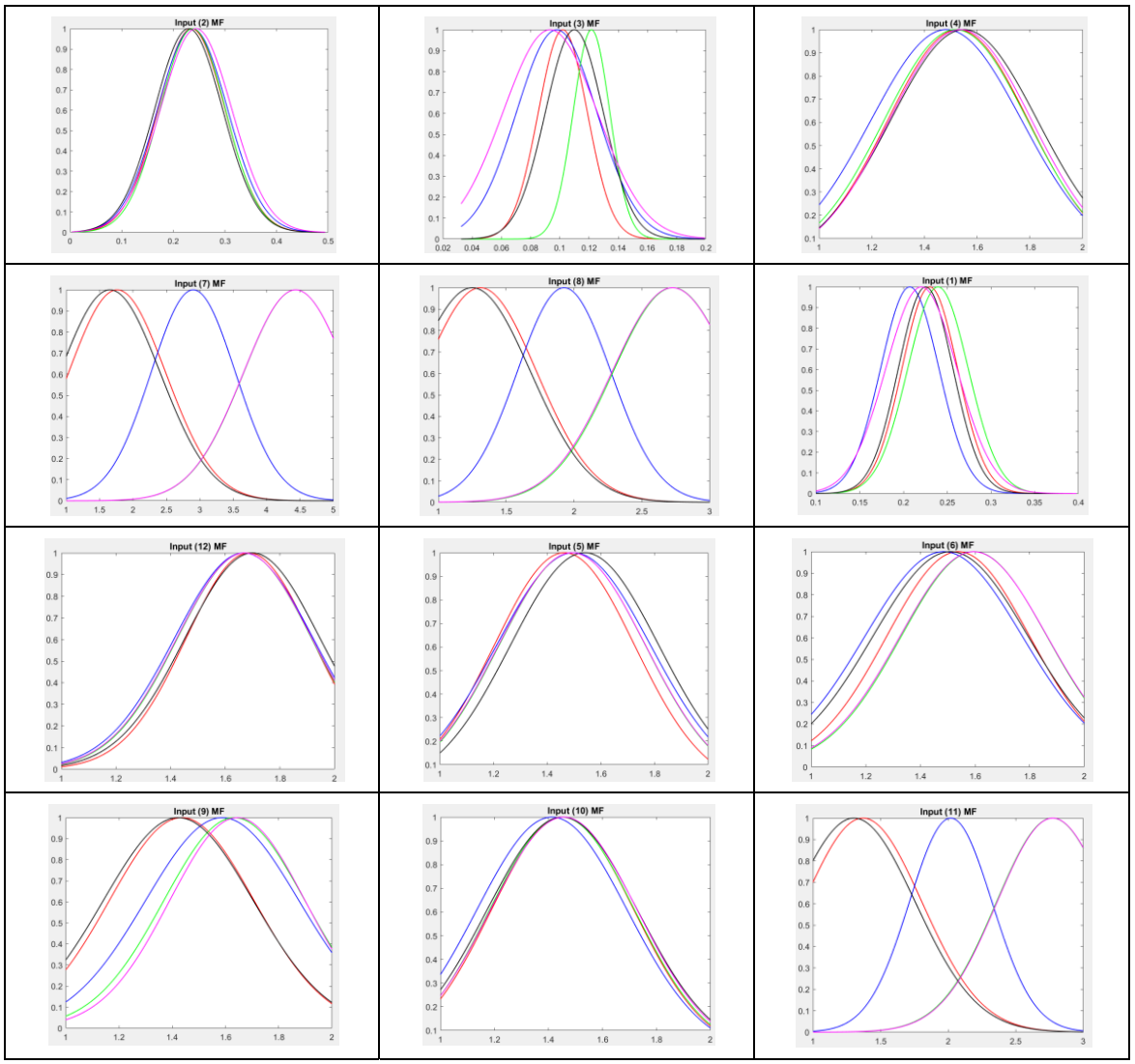
شکل ۵. مقایسه نتایج ANFIS و ترکیب ANFISو PSO

توابع عضویت مربوط به ورودی‌های مدل ANFIS بعد از تنظیم پارامترها توسط PSO در شکل ۶ نشان داده شده است. در فاز بهینه‌سازی، بایستی بهترین ترکیب سرمایه‌گذاری شرکت‌های سرمایه‌گذار خطرپذیر در شرکت‌های نوپا در جهت حداکثرسازی نرخ بازگشت سرمایه سبد سرمایه‌گذاری شناسایی شود ($\text{Max ROI}_{\text{portfolio}}$). برای تخمین میزان بازگشت سرمایه هر سرمایه‌گذاری مابین شرکت سرمایه‌گذار و نوپا، تابع G معرفی می‌شود.

$$r_{ij} = G(ST_j.VC_i.E) \qquad \text{رابطه ۴)}$$

در این رابطه، ST_j و VC_i ویژگی‌های عامل‌های شرکت نوپا و سرمایه‌گذار خطرپذیر و E مشخصات محیط پیرامون عامل‌هاست. r_{ij} نیز میزان نرخ بازگشت سرمایه تخمینی از تعامل بین عامل‌ها را نشان می‌دهد. در مواقع تشکیل اتحاد میان سرمایه‌گذاران خطرپذیر برای سرمایه‌گذاری در یک شرکت نوپا، r_j نرخ بازگشت سرمایه از شرکت نوپای j خواهد بود که برابر با میانگین وزنی سهم هر یک از شرکت‌های سرمایه‌گذاری خطرپذیر در شرکت نوپاست (رابطه ۵).

$$r_j = \sum_{i=1}^{m} x_{ij} r_{ij} \qquad \text{رابطه ۵)}$$



شکل ٦. توابع عضویت گوسی ورودی‌های سیستم استنتاج فازی

تابع برازش جست‌وجوی هارمونی بهبودیافته، حاصل جمع بازگشت سرمایه سبد سرمایه‌گذاری است که از ضرب نرخ بازگشت سرمایه از شرکت‌های نوپا (r_j) در سرمایه مورد نیاز آنها به‌دست آمده است. با تکرار متوالی در جست‌وجوی هارمونی تا حصول بهترین جواب و اجابت ضوابط اختتام، جمعیت جواب جدید ایجاد شده و هر یک توسط تابع برازش ارزیابی می‌شوند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

برای تنظیم پارامترهای الگوریتم جست‌وجوی هارمونی، از روش سطح پاسخ[1] استفاده شده است. بر اساس روش سطح

1. Response Surface Methodology

پاسخ، ۴۱ آزمایش با ترکیبی از پارامترها تعیین شده است و تمام آزمایش‌ها اجرا شده و توسط روش RPD[1] خروجی حاصل از روش بهینه‌سازی بی‌مقیاس‌سازی شده است.

$$RPD = \frac{|method\ sol. - best\ sol.| \times 100}{|best\ sol.|}$$ رابطه ۶)

پس از تحلیل خروجی‌ها، مقدار هر پارامتر تنظیم شده عبارت است از:

MaxIt=۱۵۳۷ nNew =۳۱ HMS=۴۰ HMCR=۰/۹۷

PAR=۰/۳۴ FW=۰/۰۶ FW_damp=۰/۹۹۴

برای هر مسئله الگوریتم پنج بار اجرا شد که نتایج آن در جدول ۴ آمده است. در جدول میزان سرمایه بازگشتی از کل سبد سرمایه‌گذاری و اتحاد بین سرمایه‌گذاران و سهم هر یک در شرکت‌های نوپا مشخص شده است. برای مثال، در نمونه اول، سرمایه‌گذار اول باید ۴۳ درصد از سرمایه مطلوب شرکت نوپای اول، ۳۱ درصد از سرمایه مطلوب شرکت نوپای دوم و ۶۱ درصد سرمایه درخواستی شرکت نوپای چهارم را تأمین کند. برای سایر سرمایه‌گذاران نیز همین تحلیل وجود دارد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، شرکت نوپای سوم در این سبد حضور ندارد و سرمایه‌ای دریافت نکرده است.

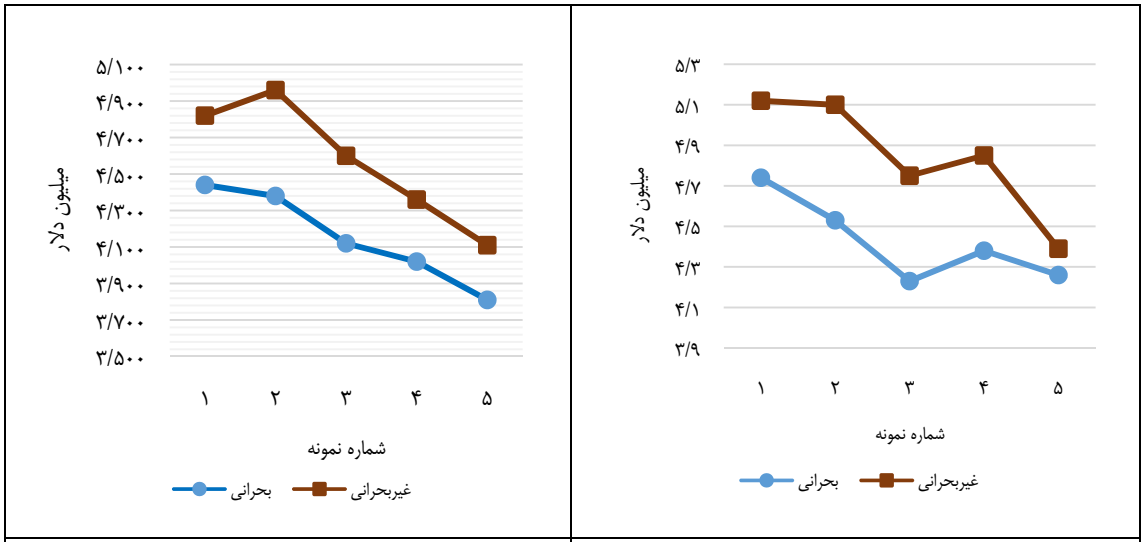
همان‌طور که بیان شد، سرمایه‌گذاران همواره دغدغه انتخاب مورد سرمایه‌گذاری را دارند و برای مدیریت ریسک و استفاده از توانمندی‌های یکدیگر، متحد می‌شوند. از سوی دیگر، شرکت‌های نوپا نیز همواره در انتخاب شریک تجاری خود بسیار حساس بوده و حاضر نیستند در هر شرایطی با هر سرمایه‌گذاری شراکت کنند. به‌علت وجود این دغدغه‌ها، در موارد بسیاری، یک شرکت سوم یا یک شرکت سرمایه‌گذاری پیش‌گام وجود دارد تا بهترین پیشنهاد شراکت را به دو گروه سرمایه‌گذاران و سرمایه‌پذیران ارائه کند. از این رو، در راستای ایجاد سبد بهینه سرمایه‌گذاری با توجه به این عوامل تأثیرگذار، در این مقاله با استفاده از روش مدل‌سازی عامل‌محور، تحلیل رفتار و تعامل‌های بین سرمایه‌گذاران و سرمایه‌پذیران در صنعت سرمایه‌گذاری خطرپذیر شبیه‌سازی شده است و سبد سرمایه‌گذاری هر سرمایه‌گذار و میزان سهم وی با استفاده از روش فراابتکاری جست‌وجوی هارمونی بهبود یافته، معین شده و به سرمایه‌گذاران پیشنهاد شده است. شایان ذکر است که موتور محاسباتی مدل ارائه‌شده مبتنی بر تاریخچه داده است و به داده‌هایی در زمینه سرمایه‌گذاری‌های پیشین نیاز دارد. هر چند، در این پژوهش تلاش شده است که با استفاده از سیستم استنتاج فازی ـ عصبی تطبیقی، میزان وابستگی به تاریخچه نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی کاهش یابد و با تعداد داده کمتر و ماهیت کلامی، موتور محاسباتی آزموش داده شود. همچنین تلاش شد که داده‌های ورودی، بر اساس مقیاس لیکرت منطبق شوند تا در عمل جمع‌آوری داده در دسترس‌تر باشند؛ اما همچنان ضعف مربوط به ثبت تاریخچه معاملات در صنعت سرمایه‌گذاری خطرپذیر، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه کاملاً محسوس است.

1. Relative Percent Deviation

جدول ٤. نتایج الگوریتم ترکیبی مدل‌سازی عامل محور و جست‌وجوی هارمونی توسعه یافته

شماره		۱	۲	۳	۴	۵
تعداد VC		۳	۵	۳	۵	۵
کل بودجه VCها		۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷
تعداد استارتاپ‌ها		۵	۵	۱۰	۱۰	۱۰
سرمایه مورد نیاز شرکت‌های نوپا		۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۵۰
محیط اقتصادی غیربحرانی	متوسط بازگشت سرمایه (میلیون دلار)	۴/۸۲	۴/۹۶	۴/۶۰	۴/۳۶	۴/۱۱
	بهترین بازگشت سرمایه (میلیون دلار)	۵/۱۲	۵/۱۰	۴/۷۵	۴/۸۵	۴/۳۹
محیط اقتصادی بحرانی	متوسط بازگشت سرمایه (میلیون دلار)	۴/۴۴	۴/۳۸	۴/۱۲	۴/۰۲	۳/۸۱
	بهترین بازگشت سرمایه (میلیون دلار)	۴/۲۴	۴/۵۳	۴/۲۳	۴/۲۸	۴/۲۶
بهترین جواب (در شرایط غیر بحرانی)		VC1:ST1(%43), ST2(%31), ST4 (%61) VC2:ST1(%26), ST2(%56), ST4(%39), ST5(%50) VC3:ST1(%31), ST2(%13), ST5(%50)	VC1:ST1(%13), ST2(%21), ST4 (%36), ST5 (%38) VC2:ST1(%16), ST2(%11), ST4(%45), ST5(%9) VC3:ST1(%48), ST2(%24), ST5(%12) VC4:ST2(%15), ST4(%19), ST5(%11) VC5:ST1(%23), ST2(%29), ST5(%30)	VC1:ST1(%12), ST2(%38), ST3(%57), ST4(%36), ST8(%20), ST9(%54) VC2:ST1(%49), ST2(%34), ST3(%43), ST4(%64), ST5(%36), ST7(%52), ST8(%43) VC3:ST1(%39), ST2(%28), ST5(%40), ST7(%48), ST8(%37), ST8(%37), ST9(%46)	VC1:ST1(%15), ST2(%48), ST4(%28), ST5(%52), ST9(%26) VC2:ST1(%52), ST2(%41), ST4(%72), ST5(%25), ST7(%68), ST9(%35) VC3:ST1(%33), ST2(%11), ST5(%23), ST7(%32), ST8(%37), ST9(%39)	VC1:ST1(%37), ST2(%32), ST8(%26), ST10(%63) VC2:ST1(%45), ST2(%68), ST8(%69), ST10(%10) VC3:ST1(%18), ST8(%5), ST10(%27)

برای انجام تحلیل حساسیت با توجه به محیط کلان اقتصادی، در ۸ مثال متفاوت، ۴۰ اجرا در محیط اقتصادی بحرانی و غیربحرانی صورت گرفت. کاملاً منطبق با مرور ادبیات صورت گرفته، خروجی مدل نشان می‌دهد که در شرایط یکسان، ولی با محیط کلان اقتصادی متفاوت، نرخ بازگشت سرمایه پرتفوی سرمایه‌گذاری متفاوت خواهد بود. همان‌طور که در نمودارهای شکل ۷ مشاهده می‌شود، بازگشت سرمایه عایدی در دوران غیربحرانی ۹ درصد بیشتر از دوران بحرانی است. به‌منظور بهبود تصمیم‌گیری در این موضوع، چندین حوزه بهبود وجود دارد. در اتحاد شرکت‌های سرمایه‌گذار در صنعت سرمایه‌گذاری خطرپذیر، آنها علاوه بر مورد سرمایه‌گذاری، به‌دنبال تکمیل ظرفیت تخصصی و توانمندی‌های خود در پیشبرد مورد سرمایه‌گذاری هستند. برای مثال، شرکت سرمایه‌گذار در سیستم پخش محصول توانمند است، بنابراین در مواردی که به این توانمندی نیاز باشد، می‌تواند تکمیل‌کننده مورد سرمایه‌گذاری باشد. از این رو، می‌توان ارتباط بین این عامل‌های کلیدی را نیز مد نظر قرار داد و در تصمیم‌گیری در خصوص سبد بهینه لحاظ کرد. حوزه بهبود دیگر، در نظر گرفتن اهدافی، علاوه بر افزایش بازگشت سرمایه در سبد سرمایه‌گذاری است. اهدافی مانند افزایش دارایی معنوی، دانش فناورانه و مدیریت سبز و کاهش انتشار کربن که در سرمایه‌گذاری خطرپذیر عمومی[1] بسیار حائز اهمیت است.

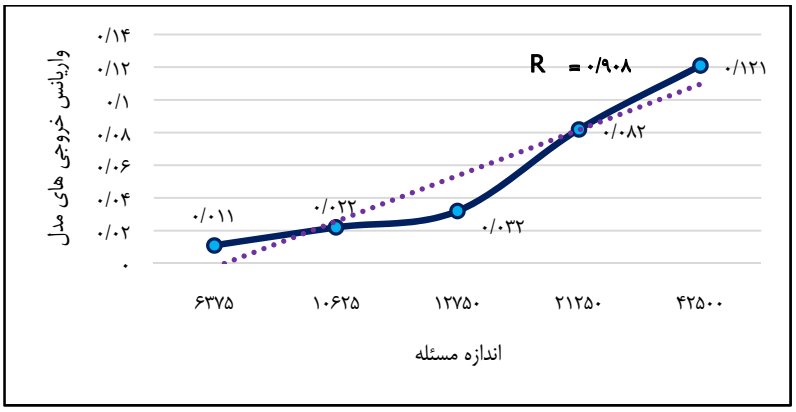


بهترین بازگشت سرمایه از پرتفوی | متوسط بازگشت سرمایه از پرتفوی

شکل۷. مقایسه بین متوسط و بهترین بازگشت سرمایه در محیط کلان اقتصادی بحرانی و غیربحرانی

در راستای اندازه‌گیری دقت راه‌حل‌های ارائه شده، دو پارامتر واریانس خروجی‌ها و اندازه مسئله (تعداد شرکت VC× بودجه VC× تعداد شرکت نوپا × سرمایه مورد نیاز شرکت نوپا) در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، واریانس خروجی‌های مدل کاملاً وابسته به اندازه مسئله با ضریب همبستگی ۰/۹ است.

1. Public Venture Capital



شکل ۸. ارتباط بین ابعاد مسئله و دقت خروجی مسئله

منابع

راعی، رضا؛ علی‌بیگی، هدایت (۱۳۸۹). بهینه‌سازی پرتفوی سهام با استفاده از روش حرکت تجمعی ذرات. *تحقیقات مالی*، ۱۲(۲۹)، ۲۱-۴۰.

سلیمی‌فرد، خداکرم؛ حیدری، ابراهیم؛ مرادی، زهرا؛ مغدانی، رضا (۱۳۹۵). گزینش سبد بهینه سرمایه‌گذاری با به کارگیری مدل توسعه یافته چند هدفه مارکویتز و الگوریتم جست‌وجوی هارمونی. *تحقیقات مالی*، ۱۸(۳)، ۴۸۳-۵۰۴.

قدوسی، سعید؛ تهرانی، رضا؛ بشیری، مهدی (۱۳۹۴). بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از روش تبرید شبیه‌سازی شده. *تحقیقات مالی*، ۱۷(۱)، ۱۴۱-۱۵۸.

وکیلی‌فرد، حمیدرضا؛ خشنود، مهدی؛ فروغ نژاد، حیدر؛ اصولیان، محمد (۱۳۹۳). مدل‌سازی مبتنی بر عامل در بازارهای مالی. *فصلنامه علمی و پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری*، ۳(۱۲)، ۱۳۹-۱۵۸.

References

Afful-Dadzie, E., & Afful-Dadzie, A. (2016). A decision making model for selecting start-up businesses in a government venture capital scheme. *Management Decision*, *54*(3), 714–734.

Afful-Dadzie, E., Kominkova, Z., & Nabareseh, S. (2015a). Selecting start-up businesses in a public Venture capital financing using Fuzzy PROMETHEE. *Procedia Computer Science*, *60*(1), 63–72.

Afful-Dadzie, E., Kominkova, Z., & Nabareseh, S. (2015b). Selecting Start-up Businesses in a Public Venture Capital with Intuitionistic Fuzzy TOPSIS. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, *1*(1), 63–72.

Alperovych, Y., Hübner, G., & Lobet, F. (2015). How does governmental versus private venture capital backing affect a firm's efficiency? Evidence from Belgium. *Journal of Business Venturing*, *30*(4), 508–525.

Aouni, B., Colapinto, C., & La Torre, D. (2013). A cardinality constrained stochastic goal programming model with satisfaction functions for venture capital investment decision making. *Annals of Operations Research*, *205*(1), 77–88.

Aouni, B., Colapinto, C., & La Torre, D. (2014a). A Fuzzy Goal Programming Model for Venture Capital Investment Decision Making. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, *52*(3), 138–146.

Aouni, B., Colapinto, C., & La Torre, D. (2014b). Financial portfolio management through the goal programming model: Current state-of-the-art. *European Journal of Operational Research*, *234*(2), 536–545.

Barzinpour, F., Ebrahimi, S. B., Hasheminejad, S. M. , Nasr Esfahani, H.(2012). Comparing the accuracy of the model Meta heuristic and Econometric in forecasting of financial time series with long-term memory (Case Study, Stock Index of Cement Industry in Iran). *Financial Research Journal,* 13(31), 1-22.

Beim, G., & Lévesque, M. (2006). Country Selection for New Business Venturing: A Multiple Criteria Decision Analysis. *Long Range Planning*, *39*(3), 265–293.

Block, J., & Sandner, P. (2009). What is the effect of the financial crisis on venture capital financing? Empirical evidence from US Internet start-ups. *Venture Capital*, *11*(4), 295–309.

Clerc, M., & Kennedy, J. (2002). The Particle Swarm — Explosion , Stability , and Convergence in a Multidimensional Complex Space. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, *6*(1), 58–73.

Colapinto, C., & La Torre, D. (2015). Multiple Criteria Decision Making and Goal Programming for Optimal Venture Capital Investments and Portfolio Management. *Springer International Publishing Switzerland*, 1–7.

Drover, W., Wood, M. S., & Fassin, Y. (2014). Take the money or run? Investors' ethical reputation and entrepreneurs' willingness to partner. *Journal of Business Venturing*, *29*(6), 723–740.

Fairchild, R. (2011). An entrepreneur's choice of venture capitalist or angel-financing: A behavioral game-theoretic approach. *Journal of Business Venturing*, *26*(3), 359–374.

Gannon, R., Hogan, K. M., & Olson, G. T. (2015). A Multicriteria Decision Model for Venture Capital Firms' Evaluation of New Technology Business Firms, *Applications of Management Science,* 27–50.

Geem, Z. W. (2009). *Music-inspired harmony search algorithm: theory and applications*. *Studies In Computational Intelligence*. Springer, Verlag Berlin Heidelberg.

Geem, Z. W. (2010). *Recent advances in harmony search algorithm*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Vol. 270). Springer, Verlag Berlin Heidelberg.

Jang, J. R. (1993). ANFIS: Adap tive-Ne twork-Based Fuzzy Inference System. *IEEE Transctions on Systems Man and Cybernetics,* 23(3), 665- 685.

Khanzadi, M., Movahedian, A., & Bagherpour, M. (2016). Finding optimum resource allocation

to optimizing construction project Time/Cost through combination of artificial agents CPM and GA. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, *60*(2), 169–180.

Lee, K. S., & Geem, Z. W. (2005). A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: Harmony search theory and practice. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, *194*(36–38), 3902–3933.

Lerner, J. (2002). When bureaucrats meet entrepreneurs: The design of effective "public venture capital" programmes. *The Economic Journal*, 112, 73–84.

Li, M., & Wu, C. (2016). A Distance Model of Intuitionistic Fuzzy Cross Entropy to Solve Preference Problem on Alternatives. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016(8), 1-9.

MacAl, C. M., & North, M. J. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, *4*(3), 151–162.

Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, *7*(1), 77–91.

Qodusi, S., Tehrani, R., Bashiri, M. (2015). Portfolio optimization with simulated annealing algorithm. *Financial Research Journal,* 17(1), 141-158.

Raei, R. Alibeiki, H. (2010). Portfolio optimization using particle swarm optimization method. *Financial Research Journal,* 12(29), 21-40

Rostamzadeh, R., Ismail, K., & Zavadskas, E. K. (2014). Multi criteria decision making for assisting business angels in investments. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(4), 696–720.

Salimifard, Kh., Heidari, E., Moradi, Z., Moghdani, R.(2016). Selecting Optimal Portfolio Using Multi- objective Extended Markowitz Model and Harmony Search Algorithm. *Financial Research Journal*, 18(3), 483-504. (*in Persian*)

Sammut, S. M. (2012). What every biotechnology entrepreneur needs to know about VC due diligence. *Journal of Commercial Biotechnology*, *18*(2), 72–77.

Soleimani, H., Golmakani, H. R., & Salimi, M. H. (2009). Markowitz-based portfolio selection with minimum transaction lots, cardinality constraints and regarding sector capitalization using genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, *36*(3 PART 1), 5058–5063.

Stimel, D., & Ph, D. (2012). The Short-Run Effects of the Macro-economy on Venture Capital : US Evidence Figure 1a Real Venture Capital Investments 1995 to 2011 Overall Expansion Stage Early Stage Late Stage Startup. *Economics and Finance Review*, *2*(3), 38–45.

Takagi, T., & Sugeno, M. (1985). Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control. *Journal of Hydroinformatics*, (1), 116–132.

Tian, X., Xu, Z., Gu, J., Herrera-Viedma, E. (2017). How to Select a Promising Enterprise for VentureCapitalists with Prospect Theory under Intuitionistic Fuzzy Circumstance? *Applied Soft Computing,*17(1), 1-28.

Vakilifard, H., Khoshnood, M., Foroghnezhad, H., & Osolian, M. (2014). Agent-based Modeling in Financial Markets. *Journal Management System*, 139-158. (*in Persian*)

Valliere, D., & Peterson, R. (2007). When entrepreneurs choose VCs: Experience, choice criteria and introspection accuracy. *Venture Capital*, *9*(4), 285–309.

Wiratno, S. E., Latiffianti, E., & Wirawan, K. K. (2015). Selection of Business Funding Proposals Using Analytic Network Process: A Case Study at a Venture Capital Company. *Procedia Manufacturing*, *4*, 237–243.

Wright, M., & Lockett, A. (2003). The Structure and Management of Alliances: Syndication in the Venture Capital Industry. *Journal of Management Studies*, *40*(8), 2073–2102.

Yuanjun, Z., & Zengrui, T. (2016). Research on Evaluation of Venture Capital Fund Project Based on Data Envelopment Analysis Model. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, *13*(2), 1266–1274.

Zhang, X. (2012a). Venture Capital Investment Base on Grey Relational Theory. *Physics Procedia*, *33*, 1825–1832.

Zhang, X. (2012b). Venture capital investment selection decision-making base on fuzzy theory. *Physics Procedia*, *25*(2007), 1369–1375.

Zopounidis, C., & Doumpos, M. (2002). Multi-criteria decision aid in financial decision making: methodologies and literature review. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, *11*(4–5), 167–186.

Zopounidis, C., & Doumpos, M. (2013). Multicriteria decision systems for financial problems. *Top*, *21*(2), 241–261.