

A Comparative Study of Heuristic Algorithms and the Bat Metaheuristic Algorithm for Optimal Stock Portfolio Selection

Alireza Yousefnejad¹, Amir Mohammadzadeh^{2*}, Farzin Rezaei³, Arash Hadizadeh Miarkolaei⁴

¹ Department of Management and Accounting, Qa.C., Islamic Azad University, Qazvin, Iran

^{2*} Department of Management and Accounting, Qa.C., Islamic Azad University, Qazvin, Iran (Corresponding author), Email: A.Mohammadzadeh@qiau.ac.ir

³ Department of Accounting, Qa.C., Islamic Azad University, Qazvin, Iran

⁴ Department of Economic Sciences, Qa.C., Islamic Azad University, Qazvin, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received:30/09/2025

Received in revised form:25/10/2025

Accepted:26/11/2025

Available online:22/12/2025

Keywords:

Optimization
stock portfolio
meta-heuristic algorithm
bat algorithm
heuristic algorithm

ABSTRACT

In this research, a new proposed method is used with the help of concepts used in bat algorithm and heuristic algorithm to increase its accuracy in solving optimization problems. The results of the previous studies in the implementation and experiments on a set of evaluation functions in the MATLAB environment show that the error rate of global optimal calculation in the proposed method is less compared to algorithms such as bat, heuristic algorithm. Meta-innovative algorithms are one of the effective methods of solving complex problems that do not need to calculate the gradient of the objective function and do not consider a specific assumption such as linearity or continuity, and in most cases, they provide acceptable solutions. This research aims to compare heuristic and meta-heuristic algorithms to optimize stock portfolio selection. The current research is of the post-event type (using past information) and the information related to the research is collected through the library method by examining the financial reports of companies admitted to the Tehran Stock Exchange. In this research, the sample And the statistical population of the research, after the systematic exclusion screening method, including the data of 181 companies from among the companies admitted to the Tehran Stock Exchange in the period from 1396 to 1401, was completed in Excel format and then through the MATLAB software from the bat algorithm and An innovative algorithm is used. The research results showed that the bat model, as a meta-heuristic algorithm, is more accurate in estimating the optimal stock portfolio than heuristic algorithms.

Article Type: Research Paper



©Authors

Journal of Intelligent Financial Management,
2025, Vol. 1, No.4, pp. 199- 220

Publish by:

Tolou-e Binsh-e Ayandeh Scientific Institute

Cite: Yousefnejad, A., Mohammadzadeh, A., Rezaei, F. & Hadizadeh Miarkolaei, A. (2025). A Comparative Study of Heuristic Algorithms and the Bat Metaheuristic Algorithm for Optimal Stock Portfolio Selection. *Journal of Intelligent Financial Management*, 1(4), 199-220.

<https://doi.org/10.25843/JIFM.2025.8563.228709>

بررسی مقایسه‌ای الگوریتم‌های ابتکاری و الگوریتم فراابتکاری خفاش در انتخاب بهینه سبد سهام

علیرضا یوسف نژاد^۱، امیر محمدزاده^{۲*}، فرزین رضایی^۳، آرش هادی‌زاده مبارک‌کلائی^۴

۱ - گروه مدیریت و حسابداری، واحد قزوین، آزاد اسلامی قزوین، قزوین، ایران

۲ و ۳ - گروه مدیریت و حسابداری، واحد قزوین، آزاد اسلامی قزوین، قزوین، ایران (نویسنده مسئول): A.Mohammadzadeh@qiau.ac.ir

۴ - گروه حسابداری، واحد قزوین، آزاد اسلامی قزوین، قزوین، ایران

۴ - گروه علوم اقتصادی، واحد قزوین، آزاد اسلامی قزوین، قزوین، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:

بهینه‌یابی

سبد سهام

الگوریتم فراابتکاری

الگوریتم خفاش

الگوریتم ابتکاری

چکیده

در این پژوهش یک روش پیشنهادی جدید به کمک مفاهیم بکار رفته در الگوریتم خفاش و الگوریتم ابتکاری بکار گرفته می‌شود تا دقت آن در حل مسائل بهینه‌سازی افزایش یابد. نتایج مطالعات پیشین در پیاده‌سازی و آزمایشات بر روی مجموعه‌ای از توابع ارزیابی در محیط متلب نشان می‌دهند میزان خطای محاسبه‌ی بهینه‌سراسری در روش پیشنهادی نسبت به الگوریتم‌هایی نظیر خفاش، الگوریتم ابتکاری و کمتر است. الگوریتم‌های فراابتکاری یکی از روش‌های حل موثر مسائل پیچیده به شمار می‌روند که نیازی به محاسبه گرادیان تابع هدف ندارند و پیش فرض خاصی نظیر خطی بودن یا پیوسته بودن را در نظر نمی‌گیرند و بیشتر موارد، جواب‌های قابل قبولی ارائه می‌دهند. این پژوهش درصدد مقایسه الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری برای بهینه‌سازی انتخاب سبد سهام می‌باشد. پژوهش حاضر از نوع پس‌رویدادی (با استفاده از اطلاعات گذشته) بوده و اطلاعات مربوط به پژوهش از طریق روش کتابخانه‌ای با بررسی گزارش‌های مالی شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران گردآوری می‌شود. در این تحقیق نمونه و جامعه‌ی آماری پژوهش پس از از روش غربالگری حذفی سیستماتیک، شامل داده‌های تعداد ۱۸۱ شرکت از بین شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران در بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۱ در قالب اکسل تکمیل و سپس از طریق نرم افزار متلب الگوریتم خفاش و الگوریتم ابتکاری استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان داد که مدل خفاش به عنوان یک الگوریتم فراابتکاری، دقت بیشتری در تخمین بهینه سبد سهام نسبت به الگوریتم‌های ابتکاری دارد.

نوع مقاله: پژوهشی



© نویسندگان

استناد: یوسف نژاد، علیرضا و محمدزاده، امیر و رضایی، فرزین و هادی‌زاده مبارک‌کلائی، آرش. (۱۴۰۴). بررسی مقایسه‌ای الگوریتم‌های ابتکاری و الگوریتم فراابتکاری خفاش در انتخاب بهینه سبد سهام. مدیریت مالی هوشمند، ۱(۴)، ۱۹۹ - ۲۲۰.

نشریه مدیریت مالی هوشمند، ۱۴۰۴، دوره ۱، شماره ۴، صفحه ۲۲۰-۱۹۹.

ناشر: موسسه علمی طلوع بینش آینده

<https://doi.org/10.25843/JIFM.2025.8563.228709>

مقدمه

الگوریتم‌های تکاملی با فرآیندهای تکراری و جستجو در فضای مسئله راه حل‌های نزدیک به راه حل بهینه را محاسبه می‌نمایند. با افزایش ابعاد و پیچیدگی تابع هدف مسائل بهینه سازی یافتن راه حل‌های بهینه با کندی و احتمال همگرایی بیشتر به بهینه‌های محلی مواجه می‌شود. افزایش اندازه جمعیت اولیه و تعداد تکرار الگوریتم تکاملی می‌تواند یک راه کار مناسب برای همگرایی به بهینه‌های سراسری محسوب شود با این حال زمان اجرای الگوریتم تکاملی افزایش چشم گیری می‌یابد. الگوریتم تکاملی نظیر الگوریتم ابتکاری، خفاش و ماهی به علت جستجوی مجزای اعضای جمعیت اولیه دارای ماهیتی موازی می‌باشد که در صورت فراهم بودن این شرایط، سرعت این الگوریتم‌ها را می‌توان افزایش داد و تأثیر افزایش اندازه جمعیت اولیه و تعداد تکرار را بر روی زمان اجرای آن‌ها کاهش داد. در این پژوهش جهت موازی سازی و افزایش سرعت الگوریتم‌های تکاملی، الگوریتم ابتکاری، خفاش و ماهی از فناوری جدید موازی سازی کارت گرافیک یا کودا استفاده شده است تا یک نسخه موازی و سریع از این الگوریتم‌ها برای حل مسائل بهینه سازی توسعه داده شود. الگوریتم‌های بهینه سازی و جستجوی تصادفی و تکاملی روش‌های نوین و کارآمدی هستند که به ویژه برای یافتن جواب‌های بهینه سراسری مسائل به کار می‌روند (ایواس و همکاران، ۲۰۲۲). ویژگی تصادفی بودن این الگوریتم‌ها مانع از گیر افتادن در نقاط بهینه موضعی می‌شوند. در مسائل بهینه سازی عملی مانند طراحی‌های مهندسی، مدیریت سازمان‌ها و سیستم‌های اقتصادی معمولاً توجه اصلی معطوف به بدست آوردن جواب‌های بهینه سراسری است. بسیاری از این الگوریتم‌ها الهام گرفته شده از سیستم‌های زیستی هستند که الگوریتم ابتکاری از این دست می‌باشد. این الگوریتم با مدلسازی رفتار مجموعه‌ای از الگوریتم‌ها و تخصیص مقداری مرتبط با برزندگی مکان هر الگوریتم ابتکاری به عنوان مدلی برای میزان به روز کردن مکان الگوریتم‌ها در تکرارهای متوالی الگوریتم به جستجوی جواب بهینه مسئله می‌پردازد. در واقع دو فاز اصلی الگوریتم در هر تکرار فاز به روز کردن رنکدانه و فاز حرکت هستند (ایواس و همکاران، ۲۰۲۲).

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

با توجه به این واقعیات که تعداد زیادی از مطالعات قبلی در این حوزه و انتخاب سید سهام از روش‌های کلاسیک مانند تجزیه و تحلیل رگرسیون استفاده کرده اند. امروزه گرایش به استفاده از الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت و مبتنی بر هوش جمعی حیوانات بسیار زیاد است. به خصوص در مقوله ی تکنیک‌های بهینه سازی این الگوریتم‌ها مورد استقبال زیادی قرار گرفته اند. با نگاه دقیق به طبیعت و همچنین، تنوع بسیار زیاد حیواناتی که به صورت جمعی درزندگی خود از روشها و متدهای خاصی پیروی می‌کنند، بدیهی است که الگوریتم‌های زیادی را میتوان با الهام از آنها مطرح کرد. الگوریتم خفاش مبتنی بر ویژگی پژواک یابی ریزخفاشها است و الگوریتم خفاش با استفاده از تکنیک تنظیم فرکانس، تنوع راه حل‌های موجود در جمعیت را افزایش میدهند و همچنین الگوریتم ابتکاری با میانگین گیری از نتایج حاصل از تمامی درخت‌های تصمیم مرتبط استوار است و برای بسیاری از مجموعه داده‌ها، طبقه بندی مناسبی ارائه میدهد. از طرفی این دو الگوریتم مزایایی نسبت به سایر الگوریتم‌ها دارند که برتری آنها را رقم می‌زنند. اهمیت تحقیق حاضر از آن جهت است که استفاده از این مدل‌های الگوریتمی به ما اجازه بدست آوردن اطلاعات دقیق تر را خواهد داد، چرا که عملکرد بهتری در پیش‌بینی ارائه می‌کند.

الگوریتم اکتشافی ممکن است به عنوان استراتژی‌های جستجوی هوشمند برای حل مسائل توصیف شود. آنها تمایل دارند در برنامه هایی استفاده شوند که روش‌های دقیق در یافتن راه حلی برای یک مشکل محاسباتی سخت روبرو هستند و سرعت بخشیدن به جستجوی راه حل‌های با کیفیت بالا شکست می‌خورند. علیرغم عدم تضمین راه حل‌های بهینه، اکتشافات به طور گسترده به دلیل تعداد بالای برنامه‌های کاربردی موفق مورد استفاده قرار گرفته اند. عیب اصلی آنها این است که بیشتر آنها به مساله یا حتی نمونه وابسته هستند. در نتیجه، تلاش‌های قابل توجهی برای تطبیق آنها برای رسیدگی به مساله یا موارد مختلف مورد نیاز است. الگوریتم فراابتکاری برای غلبه بر این اشکال در نظر گرفته شده است (کومار و همکاران، ۲۰۲۱). توجه به این نکته مهم است که در حالی که الگوریتم فراابتکاری (به عنوان چارچوب) مستقل از دامنه است، پیاده سازی آنها به دامنه خاص است. اثربخشی این روش‌ها تا حد زیادی به توانایی آن‌ها در انطباق با یک نمونه خاص برای حل، اجتناب از گیر افتادن در بهینه محلی و بهره‌برداری از ساختار یک مسئله بستگی دارد. الگوریتم خفاش از دسته الگوریتم فراابتکاری هستند که به سرعت در میان جامعه علمی افزایش یافته است. زمینه‌های تحقیقاتی که معمولاً و با موفقیت در آنها به کار گرفته می‌شوند عبارتند از لجستیک و حمل‌ونقل، امور مالی، یادگیری ماشینی، بینایی رایانه، رمزنگاری و علوم مراقبت‌های بهداشتی. الگوریتم فراابتکاری را می‌توان به الگوریتم فراابتکاری مبتنی بر جمعیت، که با مجموعه‌ای از راه‌حل‌های فردی که یک جمعیت را تشکیل می‌دهد، و الگوریتم فراابتکاری تک راه حلی که یک راه‌حل واحد را حفظ می‌کند، طبقه‌بندی کرد. کاربرد موفقیت‌آمیز الگوریتم فراابتکاری منجر به افزایش علاقه به پیشرفت‌های جدید این روش‌ها در جامعه دانشگاهی شده است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹).

الگوریتم‌های فراابتکاری الگوهایی عمومی هستند که به راحتی می‌توانند برای رسیدگی به طیف وسیعی از مشکلات طراحی شوند. آنها نشان داده‌اند که راه‌حل‌های تقریباً بهینه را در زمان‌های محاسباتی معقول برای مسائلی که روش‌های سنتی برای آنها قابل اجرا نیستند، ارائه می‌کنند. از آنجایی که آنها معمولاً به زمان محاسباتی نسبتاً کمی نیاز دارند، فراابتکاری جایگزین جذابی برای حل مسئله در چندین حوزه دانشی است که در آنها تصمیمات زمان واقعی مورد نیاز است (تهکار و همکاران، ۲۰۲۱). علاوه بر موارد فوق، مشکلات ذاتی روش‌های تحلیلی سنتی نیز نیاز به اتخاذ فراابتکاری برای حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی پورتفوی را برانگیخته است. در حالی که الگوریتم‌های فراابتکاری یافتن یک راه حل بهینه جهانی را تضمین نمی‌کند، هدف بهینه‌سازی در بیشتر موارد واقعی ارائه یک راه حل بهینه نیست، بلکه راه حلی است که اهداف تصمیم‌گیرنده را تا حد زیادی برآورده کند. میزان رضایت بخشی از رویکردهای فراابتکاری کاربردهای عملی را ترویج می‌دهد. در واقع، با توجه به روش‌های دقیقی که یک راه‌حل بهینه برای یک مدل ساده‌شده از یک مسئله واقعی ارائه می‌دهند، فراابتکاری می‌تواند یک راه‌حل تقریباً بهینه برای یک مدل واقعی از همان مسئله ارائه دهد، که ممکن است برای اکثر تصمیم‌گیرندگان ارجح باشد (خان و همکاران، ۲۰۲۱). بدین منظور در این مقاله پیشنهاد الگوی سیگنال دهی برای انتخاب سهام با استفاده از الگوریتم‌های خفاش و الگوریتم ابتکاری مطالعه می‌شود. این دو الگوریتم می‌تواند برای ارائه مدل بومی سبد بهینه سهام مناسب باشد و با کاهش معایب دیگر به افزایش سرعت الگوریتم کمک کند.

الگوریتم خفاش، نوعی الگوریتم هوش جمعی است که از رفتار خفاش‌های کوچک هنگام جهت‌یابی برای شکار، الهام گرفته شده است. الگوریتم‌های هوش جمعی الهام‌گرفته از طبیعت‌اند که در مسائل بهینه‌سازی دشوار بسیار کارآمد عمل می‌کنند. همچنین، این الگوریتم‌ها ساده و انعطاف‌پذیرند و پیاده‌سازی آسانی دارند. تحلیل پایداری الگوریتم‌های هوش جمعی، استفاده از آنها را قابل اطمینان و رسیدن به پاسخ را تضمین می‌کند. این الگوریتم براساس اصول زندگی خفاش‌ها طراحی شده است و نخستین الگوریتم از انواع الگوریتم‌های است که از تنظیم فرکانس استفاده می‌کنند. خفاش‌های کوچک در تاریکی مطلق با انتشار صدا و دریافت آن، طعمه را شکار و از برخورد با موانع، اجتناب می‌کنند. الگوریتم خفاش از ویژگی‌های ردیابی این خفاش‌های کوچک در جستجوی شکار الهام گرفته شده است (سیروستاوا و همکاران، ۲۰۱۹).

از آنجایی که رویکردهای سنتی از ترسیم پیچیدگی‌های مشکلات زندگی واقعی که تصمیم‌گیرندگان در اقدامات روزمره خود با آنها مواجه هستند، غفلت می‌کند، نتایج عمدتاً بدون قید و شرط قابل انتقال به عملیات‌های زندگی واقعی نیستند، که نیاز به رویکردهای جایگزین را برجسته می‌کند. علاوه بر این، بین المللی شدن و ادغام مداوم بازارها و موسسات مالی باعث شده است که فرآیندهای تصمیم‌گیری مالی، هم از نظر محدودیت‌های مرتبط و هم از نظر مواردی که باید حل شوند، پیچیده تر شوند. با توجه به موارد گفته شده این پژوهش درصدد آن است که با استفاده از الگوریتم خفاش شب و الگوریتم ابتکاری پیشنهادات جدیدی برای حل مسائل بهینه‌سازی در انتخاب سهام ارائه دهد.

جدول ۱. خلاصه ای از الگوریتم های فرا ابتکاری موجود

سال ارائه	اختصار	نام الگوریتم
1983	الگوریتم SA	الگوریتم شبیه ساز حرارتی Simulated Annealing
1989	الگوریتم TS	الگوریتم جستجوی ممنوعه Tabu Search
1992	الگوریتم GA	الگوریتم ژنتیک Genetic Algorithm
1994	الگوریتم EA	الگوریتم تکاملی Evolutionary Algorithm
1994	الگوریتم CA	الگوریتم فرهنگی Cultural Algorithm
1995	الگوریتم PSO	الگوریتم ازدحام Particle Swarm Optimization
1995	الگوریتم DE	الگوریتم تکاملی تفاضلی Differential Evolution
1997	الگوریتم VNS	الگوریتم جستجوی متغیر محلی Variable Neighborhood Search
2005	الگوریتم ABC	الگوریتم کلونی زنبور عسل Artificial Bee Colony
2008	الگوریتم FA	الگوریتم کرم شب تاب Firefly Algorithm
2008	الگوریتم IWD	الگوریتم چکه آب های هوشمند Intelligent Water Drops
2008	الگوریتم MA	الگوریتم میمون Monkey Algorithm
2009	الگوریتم CS	الگوریتم جستجوی فاخته Cuckoo Search
2009	الگوریتم GSO	الگوریتم بهینه ساز جستجوی گروهی Group Search Optimizer
2009	الگوریتم GSA	الگوریتم جستجوی گرانشی Gravitational Search Algorithm
2009	الگوریتم KCA	الگوریتم برش کلید Key Cutting Algorithm
2009	الگوریتم HS	الگوریتم جستجوی شکار Hunting Search
2009	الگوریتم CRO	الگوریتم بهینه سازی واکنش شیمیایی Chemical Reaction Optimization
2010	الگوریتم BA	الگوریتم خفاش Bat Algorithm
2012	الگوریتم WCA	الگوریتم چرخه آب Water Cycle Algorithm
2013	الگوریتم BSA	الگوریتم جستجوی عقب گرد Backtracking Search Algorithm
2013	الگوریتم BH	الگوریتم حفره سیاه Black Hole Algorithm

سال ارائه	اختصار	نام الگوریتم
2013	الگوریتم DE	الگوریتم پژواک صدای دلفین Dolphin Echolocation
2013	الگوریتم AMO	الگوریتم بهینه سازی مهاجرت حیوانات Animal Migration Optimization
2014	الگوریتم KA	الگوریتم کشتل Keshtel Algorithm
2014	الگوریتم SDA	الگوریتم بهینه سازی مبتنی بر عامل تشخیص بو SDA Optimization Algorithm
2014	الگوریتم ARFA	الگوریتم تغذیه ریشه مصنوعی Artificial Root Foraging Algorithm
2014	الگوریتم BBMO	بهینه سازی جفت گیری زنبورهای بامبل Bumble Bees Mating Optimization
2014	الگوریتم CSO	بهینه سازی مبتنی بر ازدحام مرغ Chicken Swarm Optimization
2014	الگوریتم CBO	الگوریتم بهینه سازی برخورد اجسام Colliding Bodies Optimization
2014	الگوریتم CROA	الگوریتم بهینه سازی صخره های مرجانی Coral Reefs Optimization Algorithm
2014	الگوریتم FPA	الگوریتم گرده افشانی گل ها Flower Pollination Algorithm
2014	الگوریتم RMO	الگوریتم بهینه سازی حرکت شعاعی Radial Movement Optimization
2014	الگوریتم SOA	به کارگیری الگوریتم تصادفی Seeker Optimization Algorithm
2014	الگوریتم SMO	الگوریتم میمون عنکبوتی Spider Monkey Optimization
2015	الگوریتم AAA	الگوریتم جلبک مصنوعی Artificial Algae Algorithm
2015	الگوریتم ADS	الگوریتم جستجوی ابعادی تطبیقی Adaptive Dimensional Search
2015	الگوریتم AFSA	الگوریتم ازدحام ماهی های مصنوعی Artificial Fish Swarm Algorithm
2015	الگوریتم SFF	الگوریتم جستجوی فرکتال تصادفی Stochastic Fractal Search
2015	الگوریتم VSA	الگوریتم جستجوی گرداب Vortex Search Algorithm
2015	الگوریتم WWA	الگوریتم بهینه سازی موج آب Water Wave Optimization
2015	الگوریتم ALO	الگوریتم بهینه سازی شیر مورچه Ant Lion Optimizer
2015	الگوریتم ABO	الگوریتم بهینه سازی مبتنی بر بوفالوهای آفریقایی African Buffalo Optimization
2015	الگوریتم LSA	الگوریتم جستجوی رعد و برق Lightning Search Algorithm
2016	الگوریتم ANS	الگوریتم جستجو در سراسر مرحله Across Neighborhood Search

سال ارائه	اختصار	نام الگوریتم
2016	الگوریتم EFO	الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر میدان الکترومغناطیسی Electromagnetic Field Optimization
2016	الگوریتم JOA	الگوریتم عملیات مشترک Joint Operations Algorithm
2016	الگوریتم SCA	الگوریتم سینوس کسینوس Sine Cosine Algorithm
2016	الگوریتم VCS	الگوریتم جستجوی کلونی ویروس Virus Colony Search
2016	الگوریتم WOA	الگوریتم بهینه‌سازی وال یا نهنگ Whale Optimization Algorithm
2016	الگوریتم RDA	الگوریتم گوزن قرمز Red Deer Algorithm
2018	الگوریتم POA	الگوریتم بهینه‌سازی فوتوتروپیک Phototropic Optimization Algorithm
2018	الگوریتم COA	الگوریتم بهینه‌سازی کایوت Coyote Optimization Algorithm
2018	الگوریتم OSA	الگوریتم جستجوی جغد Owl Search Algorithm
2018	الگوریتم SSA	الگوریتم جستجوی سنجاب Squirrel Search Algorithm
2018	الگوریتم SEO	الگوریتم بهینه‌سازی مهندسی اجتماعی Social Engineering Optimizer
2019	الگوریتم FSA	الگوریتم جستجوی آینده Future Search Algorithm
2019	الگوریتم EPC	الگوریتم بهینه‌سازی کلونی پنگوئن‌های امپراتور Emperor Penguins Colony
2019	الگوریتم TEO	الگوریتم بهینه‌سازی تبادل حرارتی Thermal Exchange Optimization
2019	الگوریتم HHO	الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس Harris Hawks Optimization
2020	الگوریتم PO	الگوریتم بهینه‌سازی سیاسی Political Optimizer
2020	الگوریتم HBO	الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر پشته Heap-Based Optimizer
2020	الگوریتم CHA	الگوریتم هماهنگی رنگ Color Harmony Algorithm
2020	الگوریتم SPO	الگوریتم بهینه‌سازی رنگ تصادفی Stochastic Paint Optimizer
2020	الگوریتم ROA	الگوریتم بهینه‌سازی باران Rain Optimization Algorithm
2021	الگوریتم GPC	الگوریتم ساخت اهرام جیزه Giza Pyramids Construction

جدول ۲. پیشینه تحقیقات

پژوهشگر	سال	پژوهش	نتیجه
ارسلان و همکاران	۲۰۲۲	مروری بر الگوریتم‌های الهام گرفته از زیستی نسل جدید برای بهینه‌سازی پرتفوی	این مطالعه مروری بر الگوریتم‌های الهام گرفته از نسل جدید از ادبیات اخیر منتشر شده برای بهینه‌سازی پرتفوی ارائه می‌کند. و نشان می‌دهد که الگوریتم‌ها منتهی به بهینه‌سازی پرتفوی می‌شود.
شهید و همکاران	۲۰۲۲	استراتژی انتخاب پرتفوی با بودجه ریسک با استفاده از بهینه‌سازی تهاجمی علف‌های هرز	یک مطالعه تجربی برای ارزیابی استراتژی پیشنهادی با مقایسه عملکرد آن با الگوریتم ژنتیک بر روی مجموعه داده‌های S&P BSE Sensex بورس اوراق بهادار هند (۳۰ سهام) انجام شده است. مطالعه عملکرد برتر استراتژی پیشنهادی را نشان می‌دهد.
جیانگ و همکاران	۲۰۲۱	الگوریتم خفاش چندهدفه بهبود یافته برای مسئله بهینه‌سازی پرتفوی	در این مطالعه به مسئله انتخاب پرتفوی فازی چند دوره‌ای می‌پردازد، یک الگوریتم خفاش چند هدفه بهبود یافته طراحی شده است که در آن سه استراتژی جدید پیشنهاد شده است، الگوریتم طراحی شده با هدف الگوریتم معمولی، کلی زنبور عسل، الگوریتم ابتکاری و مقایسه شده و نتیجه نشان می‌دهد که الگوریتم خفاش موثرتر عمل کرده است.
ژنگ و همکاران	۲۰۲۱	پیش‌بینی شاخص سهام بر اساس مدل SVR ^۱ با الگوریتم بهینه‌سازی خفاش	این مطالعه الگوریتم خفاش را برای بهینه‌سازی سه پارامتر آزاد مدل یادگیری ماشینی SVR معرفی می‌کند، مدل ترکیبی BA-SVR را ساخته و قیمت‌های پایانی ۱۸ شاخص سهام در بازار سهام چین را پیش‌بینی می‌کند. این مطالعه همچنین دیدگاه جدیدی در مورد روش‌های پیش‌بینی شاخص سهام و کاربرد الگوریتم‌های خفاش در حوزه مالی ارائه می‌کند.
فراهانی و همکاران	۲۰۲۱	پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری مصنوعی یکپارچه و الگوریتم‌های فرا ابتکاری در مقایسه با مدل‌های سری زمانی	از برخی شاخص‌های فنی به عنوان متغیرهای ورودی استفاده شد. سپس از الگوریتم ژنتیک به عنوان الگوریتم اکتشافی برای انتخاب ویژگی و انتخاب بهترین و مرتبط ترین شاخص‌ها استفاده شد. از سوی دیگر، برای پیش‌بینی قیمت سهام از مدل‌های پیش‌بینی سری‌های زمانی مانند ARMA و ARIMA استفاده شد. در نهایت، نتایج را با یکدیگر مقایسه شد، الگوریتم خفاش بهترین نتیجه را ارائه داد.
لو و همکاران	۲۰۲۱	یک مدل چند منظوره میانگین - نیمه آنتروپی - چولگی برای انتخاب پرتفوی نامشخص	یک مدل بهینه‌سازی پورتفولیوی چندهدفه‌ای جدید پیشنهاد شد، که در آن از نیمه آنتروپی نامشخص برای تعیین کمیت ریسک نزولی استفاده می‌شود. برای واقع بینانه تر بودن، چندین محدودیت نیز در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، یک تکنیک ترکیبی جدید، به نام الگوریتم MFAY-SOS ^۲ ، که ترکیبی از ویژگی‌های الگوریتم ابتکاری و الگوریتم جستجوی ارگانیسم همزیست ^۳ (SOS) برای حل مدل پیشنهادی طراحی شده است. در نهایت، یک مثال عددی برای نشان دادن اثربخشی رویکرد پیشنهادی ارائه شده است.
چن و همکاران	۲۰۲۱	بهینه‌سازی پرتفوی میانگین واریانس با استفاده از پیش‌بینی قیمت سهام مبتنی بر یادگیری ماشین	با استفاده از بورس شانگهای به عنوان نمونه مطالعه، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که روش پیشنهادی بر روش‌های سنتی (بدون پیش‌بینی سهام) و معیارها از نظر بازده و ریسک برتری دارد.
کاوی و همکاران	۲۰۲۱	ساخت سبد مالی برای معاملات کمی با استفاده از تکنیک یادگیری عمیق	نتایج نشان داد که معماری پیشنهادی به عنوان یک مدل ساخت سبد دارایی از سه مدل معیار با چندین معیار سودآوری مالی و ریسک تعدیل شده بهتر عمل می‌کند.
رستمخانی و	۱۴۰۰	انتخاب بهینه سهام با استفاده از	نتایج نشان می‌دهد که ماهیت الگوریتم جنگل تصادفی نیاز به آموزش و انتخاب

^۱ support vector regression

^۲ Multi objective firefly algorithm

^۳ symbiotic organism search algorithm

همکاران		الگوریتم خفاش و جنگل تصادفی	ویژگی‌ها دارد که باعث می‌شود سرعت الگوریتم پایین‌تر باشد و زمان همگرایی را بالا می‌برد. یکی از علت اساسی دقت بالاتر الگوریتم جنگل تصادفی در سناریوهای ۱ تا ۳ این مورد می‌تواند باشد. در سناریوها ۴ تا ۶ به علت افزایش پیچیدگی مساله دقت الگوریتم جنگل تصادفی کاهش پیدا می‌کند ولی به دلیل ماهیت تصادفی بودن الگوریتم خفاش دقت آن تفاوت چندانی ندارد و می‌تواند پایداری در انتخاب خود را حفظ نماید.
افضل	۱۳۹۴	بهینه سازی سبد سهام بازارهای مالی با بکارگیری الگوریتم‌های الگوریتم ابتکاری و حرکت پرندگان	در این تحقیق با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری جدید سعی در حل مسئله بهینه سازی مدیریت منفعل پرتفوی شد. دقت ردیابی الگوریتم و همبستگی بالای سبد سهام و شاخص، خصوصا در بازارهای مالی با ثبات بالا، نشان از توانایی حل این مسئله توسط این الگوریتم‌ها است.

فرضیات تحقیق

در این مقاله برای مقایسه سیگنال دهی برای انتخاب سهام با استفاده از الگوریتم خفاش و الگوریتم‌های ابتکاری از دو فرضیه زیر استفاده شده است که عبارت است از:

- فرضیه اول: الگوریتم خفاش در انتخاب سهام از کارایی بیشتری نسبت به الگوریتم‌های ابتکاری برخوردار است.
- فرضیه دوم: الگوریتم خفاش در انتخاب سهام از دقت بالایی نسبت به الگوریتم‌های ابتکاری برخوردار است.

روش شناسی

پژوهش حاضر از نوع پس رویدادی (با استفاده از اطلاعات گذشته) بوده و اطلاعات مربوط به پژوهش از طریق روش کتابخانه‌ای با بررسی گزارش‌های مالی شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران گردآوری می‌شود. این پژوهش از لحاظ روش توصیفی و از نظر هدف کاربردی است و به دنبال ارائه مدلی برای انتخاب سهام با استفاده از الگوریتم ابتکاری و خفاش می‌باشد. جامعه آماری و نمونه آماری پژوهش

در این تحقیق نمونه و جامعه ی آماری پژوهش پس از از روش غربالگری حذفی سیستماتیک (شامل داده‌های تعداد ۱۸۱ شرکت از بین شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران در بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۱ در قالب اکسل تکمیل و سپس از طریق نرم افزار متلب از الگوریتم خفاش و الگوریتم ابتکاری استفاده شده است.

روش و ابزار گردآوری داده‌ها

در این تحقیق برای جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات، ابتدا از روش کتابخانه‌ای استفاده بعمل می‌آید. در بخش کتابخانه ای، مبانی نظری تحقیق از کتب و مجلات تخصصی فارسی و لاتین گرد آوری شده و سپس داده‌های مربوط به متغیرهای پژوهش از طریق بانک اطلاعات کتابخانه بورس اوراق بهادار تهران و نرم افزارهای ره‌آورد نوین داده‌های مورد نیاز در بازه زمانی سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۱ استخراج گردآوری و مشاهده می‌شود.

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

$$\beta(\text{raj}) = \beta_{oe} - \gamma_{rij}$$

(۱)

در این رابطه، β_0 مقدار جذابیت اولیه است که به عنوان یک پارامتر اولیه تعریف میشود، r_{ij} فاصله بین الگوریتم ابتکاری i و j در نظر گرفته می‌شود و γ ضریب جذابیت و جذب الگوریتم‌های ابتکاری به سمت یکدیگر است که این ضریب به عنوان یک پارامتر اولیه در الگوریتم الگوریتم ابتکاری در نظر گرفته می‌شود. جهت تعیین جذابیت یک الگوریتم ابتکاری برای الگوریتم ابتکاری فعلی نیاز است که فاصله بین دو الگوریتم ابتکاری مطابق رابطه ۲، محاسبه می‌شود:

$$r_{ij} = X_i - X_j = \sum (x_{id} - x_{jd})$$

(۲)

در این رابطه، X_i و X_j موقعیت دو الگوریتم ابتکاری i و j ، D تعداد ابعاد مسئله یا تابع هدف، x_{jd} و x_{id} به ترتیب بعد d الگوریتم

ابتکاری i و j است. با تعیین فاصله یک الگوریتم ابتکاری از سایر الگوریتم‌های ابتکاری می‌توان بر حسب جذابیت آنها، فاصله بین آنها و موقعیت فعلی الگوریتم ابتکاری، موقعیت جدید یک الگوریتم ابتکاری را مطابق رابطه ۳، تعیین نمود:

$$xid(t+1) = xid(t) + \beta \alpha e - \gamma r i 2 j) x j d - x i d) + \alpha E i \quad (3)$$

در این رابطه، $t(xid)$ و $t(xid + 1)$ به ترتیب موقعیت فعلی و جدید یک الگوریتم ابتکاری نظیر الگوریتم ابتکاری id است، $\beta \alpha$ مقدار جذابیت اولیه یک الگوریتم ابتکاری، $r i j$ فاصله بین دو الگوریتم ابتکاری نظیر الگوریتم ابتکاری i و j ، γ ضریب جذب یک الگوریتم‌های ابتکاری، α عددی تصادفی یکنواخت در بازه $[0, 1]$ و $E i$ بردار تصادفی با توزیع گوسین گام حرکت است. در الگوریتم الگوریتم ابتکاری زینگ مقدار پیشنهادی برای بردار تصادفی گام حرکت یا $E i$ را در بازه $[-0.5, 0.5]$ تعریف نموده است.

دو مولفه مهم در تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری، میزان ریسک و بازده دارایی‌های سرمایه‌ای است. انتخاب مجموعه دارایی بهینه اغلب با تبادل بین ریسک و بازده صورت می‌گیرد و هرچه ریسک مجموعه دارایی بیشتر باشد سرمایه‌گذاران انتظار دریافت بازده بالاتری خواهند داشت. شناسایی مرز کارایی مربوط به سید دارایی‌ها این امکان را به سرمایه‌گذاران می‌دهد که بر اساس تابع مطلوبیت و درجه ریسک‌گریزی و ریسک‌پذیری خود، بیشترین بازده مورد انتظار از سرمایه‌گذاری خود به دست می‌آورند. هر یک از سرمایه‌گذاران بر مبنای ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی خود، نقطه‌ای را بر روی مرز کارا انتخاب کرده و ترکیب پرتفوی خود را هدف حداکثر کردن بازده و کمینه کردن ریسک تعیین می‌کند (راعی و دیگران، ۱۳۸۳).

بهینه‌سازی پرتفوی عبارت است از انتخاب بهترین ترکیب از دارایی‌های مالی به نحوی که باعث شود، تا حد ممکن بازده پرتفوی سرمایه‌گذاری حداکثر و ریسک پرتفوی حداقل شود. ایده اساسی نظریه مدرن پرتفوی^۱ این است که اگر در دارایی‌هایی که به طور کامل با هم همبستگی ندارند سرمایه‌گذاری شود؛ ریسک آن دارایی‌ها یکدیگر را خنثی کرده و می‌توان یک بازده ثابت با ریسک کمتر به دست آورد (راعی و دیگران، ۱۳۸۳).

یافته‌ها الگوریتم ژنتیک^۲

الگوریتم ژنتیک جزء موفق‌ترین دسته از الگوریتم‌های تکاملی می‌باشد. از الگوریتم ژنتیک به عنوان یک بهینه‌ساز تابع یاد شده است ژنتیک یک الگوریتم بهینه‌سازی احتمالی، با یک پتانسیل جست‌وجوی سراسری می‌باشد که در سال ۱۹۷۵ توسط هالند^۳ ارائه شده است. این الگوریتم با قراردادی اولیه یک مجموعه راه حل (کروموزوم) آغاز می‌شود. شامل ارائه مجدد مشکل و معمولاً به شکل یک بردار کوچک می‌باشد. سپس به ازای هر کروموزوم، تناسب را با استفاده از یک تابع تناسب مناسب برای مشکل ارزیابی می‌کنند. بر این اساس، بهترین کروموزوم‌ها در استخر جفت‌گیری انتخاب می‌شوند، در آنجا آن‌ها دچار برخورد شده و جهش صورت می‌گیرد، و سپس مجموعه جدیدی از راه حل‌ها ارائه می‌شوند (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳).

الگوریتم‌های ژنتیک در فضاهایی که جستجو تا حد زیادی پیچیده و ناشناخته می‌باشد، مفید و موثر می‌باشد. حال اگر تابع تناسب به خوبی تعریف نشده باشد، ممکن است الگوریتم ژنتیک، ماکزیمم محلی را به جای ماکزیمم سراسری انتخاب نماید. در این الگوریتم عملیات بر اساس مجموعه داده‌های پویا دشوار می‌باشد و در بعضی موارد الگوریتم‌های ساده تر بهتر از ژنتیک به جواب دست پیدا می‌کند. در الگوریتم پرندگان در ابتدا، بوسیله گروهی از پرندگان که به طور تصادفی در فضای مسئله که به آن ذره گفته می‌شود، مقدار دهی می‌شود و سپس جستجو برای رسیدن به بهترین جواب آغاز می‌گردد. در هر مرحله از تکرار الگوریتم، ذره به سمت موقعیت بهتر جابه‌جا می‌شوند. موقعیت بعدی برای هر ذره با توجه به دو مقدار به دست می‌آید:

در هر گام، هر ذره با استفاده از بهترین مقدار به روز می‌شود. اولین مورد، بهترین موقعیتی است که تاکنون ذره موفق به رسیدن به آن شده است (pbest)، که موقعیت مذکور شناخته و نگهداری می‌شود. دومین مقدار، بهترین موقعیتی است که تاکنون توسط جمعیت ذرات به دست آمده است. این موقعیت با gbest نمایش داده می‌شود، این فرآیند تا زمانی که نتیجه مطلوب حاصل گردد (یعنی سرعت پرندگان به سمت صفر میل نماید) و یا این که حداکثر تعداد تکرار در نظر گرفته شده برای الگوریتم PSO برسیم تکرار می‌گردد (راعی و دیگران، ۱۳۸۹). پس از یافتن بهترین مقادیر، تغییر سرعت و مکان هر ذره با استفاده از معادلات رابطه (۴) و (۵) به روز می‌شود:

¹ Modern Portfolio Theory (MPT)

² Genetic Algorithm

³ Holland

$$V_{i,t} = W_{ij} + C_1 r_{1,t} (P_{i,t} - X_{i,t}) + C_2 r_{2,t} (P_{g,t} - X_{i,t}) \quad (4)$$

$$V_{i,t+1} = X_{i,t} + V_{i,t} \quad (5)$$

در رابطه ۴ و ۵ داریم:

C_1, C_2 = یادگیری (میزان تاثیر) برای $gbest, pbest$

$r_{1,t}, r_{2,t}$ = اعداد تصادفی در محدوده $[0, 1]$

$X_{i,t}$ = موقعیت کنونی ذره

V_{ij} = سرعت حرکت ذره‌ها در هر مرحله

W_{ij} = کنترل کننده حرکت ذره

سمت راست معادله ۲-۶ از سه قسمت تشکیل شده است که قسمت اول، سرعت فعلی ذره است و قسمت‌های دوم و سوم تغییر سرعت ذره و چرخش آن به سمت بهترین تجربه شخصی و بهترین تجربه گروه را به عهده دارند. اگر قسمت اول را در این معادله در نظر نگیریم، آنگاه سرعت ذرات تنها باتوجه به موقعیت فعلی و بهترین تجربه ذره و بهترین تجربه جمعیت تعیین می‌شود. به این ترتیب، بهترین ذره جمع، در جای خود ثابت می‌ماند و سایرین به سمت آن ذره حرکت می‌کنند. در واقع حرکت دسته جمعی ذرات بدون قسمت اول معادله ۵، پروسه‌ای خواهد بود که طی آن فضای جستجو به تدریج کوچک می‌شود و جستجویی محلی حول بهترین ذره شکل می‌گیرد. در مقابل اگر فقط قسمت اول معادله ۴ را در نظر بگیریم، ذرات راه عادی خود را می‌روند تا به دیواره محدوده برسند و به نوعی جستجویی سراسری را انجام می‌دهند (راعی و دیگران، ۱۳۸۹).

در ابتدای اجرای الگوریتم، W_{ij} با سرعت بیشتر و بعد از مدتی که به پاسخ نزدیکتر می‌شویم سرعت کاهش می‌یابد. توابع مورد استفاده برای این منظور معمولاً کاهشی خطی را بعد از هر بار تکرار سبب می‌شود.

یافته‌های پژوهش

مرحله اول انتخاب داده‌ها

مرحله اول انتخاب داده‌ها است. داده‌های مالی ۱۸۱ شرکت مختلف با ۶ عامل نسبت قیمت سهام بر سود هر سهم، نرخ رشد سود سالانه، نرخ رشد فروش سالانه، بازده دارایی‌ها، بازده حقوق صاحبان سهام، سهام شناور آزاد برای ۵ سال متوالی از سال ۱۳۹۶ که از طریق نرم افزار ره آورد نوین و سایت سازمان بورس اوراق بهادار تهران در قالب فایل اکسل گردآوری شدند.

جدول ۳. متغیرهای تحقیق

نوع متغیر	نماد	متغیر	نحوه محاسبه
مستقل	PE	P/E	یکی از ابزارهای مهم برای ارزش گذاری سهام شرکت‌ها است. همچنین نشان دهنده سال‌های باقی مانده تا برگشت اصل سرمایه نیز می‌باشد. این نسبت در فضای بازار وجود دارد و درجه مطلوبیت سهام را بیان می‌کند. از حاصل تقسیم قیمت هر سهم به سود آتی آن به دست می‌آید.
مستقل	PGR	نسبت نرخ رشد سود	از نسبت نرخ رشد سود نسبت به سال گذشته به دست می‌آید.
مستقل	SGR	نرخ رشد فروش	از نرخ رشد فروش نسبت به سال قبل به دست می‌آید.
مستقل	ROA	بازده دارایی	نشان دهنده نسبت سود خالص به دارایی کل به دست می‌آید
مستقل	ROE	بازده حقوق صاحبان سهام	نشان دهنده نسبت سود خالص به حقوق صاحبان سهام است
مستقل	FFS	سهام شناور آزاد	بخشی از سهام یک شرکت است که دارندگان آن، آماده عرضه و فروش آن سهام می‌باشند، قصد ندارند با حفظ آن قسمت از سهام، در مدیریت مشارکت نمایند و انتظار می‌رود در آینده نزدیک، قابل معامله باشد. در واقع سهام شناور آزاد سهامی است که در دست سهامداران جزء می‌باشد و مدیریتی نیست

آمار توصیفی

آمار توصیفی شامل مجموعه روش‌هایی است که برای جمع‌آوری، تلخیص، طبقه‌بندی و توصیف حقایق عددی به کار می‌رود. در واقع این نوع تحلیل، داده‌ها و اطلاعات پژوهش را توصیف می‌کند و طرح یا الگوی کلی از داده‌ها را برای استفاده سریع و بهتر از آن‌ها به دست می‌دهد. آمار توصیفی بیانگر اطلاعاتی در مورد پارامترهای مرکزی و پراکندگی داده‌های تحقیق است. در یک جمع‌بندی، با استفاده مناسب از آمار توصیفی می‌توان ویژگی‌های یک دسته از اطلاعات را بیان کرد و علاوه بر فهم بهتر نتایج یک آزمون، مقایسه نتایج آن آزمون را با آزمون‌ها و مشاهدات دیگر نیز تسهیل نمود.

تعداد مشاهدات به ازای هر متغیر ۱۸۲ عدد می‌باشد آماره‌های توصیفی متغیرهای اصلی مدل با استفاده از نرم افزار spss به قرار زیر است.

جدول ۴: آماره‌های توصیفی متغیرهای پژوهش

FFS	ROE	ROA	SGR	PGR	PE	
۱۸۲	۱۸۲	۱۸۲	۱۸۲	۱۸۲	۱۸۲	تعداد مشاهدات
۰/۵۵۵	۵۰/۱۹۲	۲/۹۵۶	۱۱/۸۴۶	۰/۵۲۷	۰/۲۶۳	میانگین
۰/۵۳۶	۵۱/۸۲۵	۲/۹۶۰	۱۱/۰۰۰	۰/۵۰۰	۰/۲۵۰	میانه
۲/۸۴۷	۸۶/۲۳۰	۱۰/۳۵۰	۲۵/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	بیشترین مقدار
۰/۰۵۶	۱۰/۱۲۰	۰/۱۱۲	۳/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	کمترین مقدار
۰/۳۴۶	۲۷/۷۱۵	۳/۲۰۶	۴/۵۲۴	۰/۵۰۰	۰/۴۴۲	انحراف معیار

جداول فوق آمار توصیفی متغیرهای پژوهش را نشان می‌دهد. میانگین متغیرهای نسبت نرخ رشد سود، نرخ رشد فروش، بازده دارایی، بازده حقوق صاحبان سهام، سهام شناور آزاد به ترتیب برابر ۰/۲۶۳، ۰/۵۲۷، ۱۱/۸۴۶، ۲/۹۵۶، ۵۰/۱۹۲، ۰/۵۵۵، ۰/۴۷۷، ۰/۰۸۲ و ۰/۰۲۲ است. میانه این متغیرها نیز به ترتیب برابر ۰/۲۵۰، ۰/۵۰۰، ۱۱/۰۰۰، ۲/۹۶۰، ۵۱/۸۲۵، ۰/۵۳۶، ۰/۴۰۳ و ۰/۰۷۰ است. پراکندگی یا انحراف معیار داده‌ها به صورت ۰/۴۴۲، ۰/۵۰۰، ۴/۵۲۴، ۳/۲۰۶، ۲۷/۷۱۵، ۰/۳۴۶، ۱/۸۱۷ و ۰/۲۷۵ است.

الگوریتم ابتکاری

الگوریتم‌های ابتکاری با ساطع کردن نور از خود می‌تواند به سایر الگوریتم‌های ابتکاری سیگنال‌های ارسال و نوعی ارتباط اجتماعی با آنها برقرار نمایند. الگوریتم الگوریتم ابتکاری یک الگوریتم فراابتکاری با رویکرد گروهی و دسته جمعی است که بر اساس رفتار الگوریتم‌های ابتکاری در جذب گونه‌های هم‌نوع مدل‌سازی شده است. زینگ برای آرایه و مدل‌سازی الگوریتم الگوریتم ابتکاری سه فرض ساده ذیل را در نظر گرفت:

۱. الگوریتم‌های ابتکاری تک جنسیتی و جنسیت آنها فقط از نوع جنس نر یا ماده در نظر گرفته میشوند،
۲. الگوریتم‌های ابتکاری به سمت الگوریتم‌های ابتکاری پرنورتر از خود حرکت می‌نمایند،

برای تعریف جذابیت هر الگوریتم ابتکاری در الگوریتم الگوریتم ابتکاری زینگ رابطه ۱، را معرفی نمود:

$$\beta(r_{ij}) = \beta_{oe} - \gamma r_{ij} \quad (۶)$$

در این رابطه، β_{oe} مقدار جذابیت اولیه الگوریتم‌های ابتکاری است که به عنوان یک پارامتر اولیه تعریف میشود، r_{ij} فاصله بین الگوریتم ابتکاری i و j در نظر گرفته می‌شود و γ ضریب جذابیت و جذب الگوریتم‌های ابتکاری به سمت یکدیگر است که این ضریب به عنوان یک پارامتر اولیه در الگوریتم الگوریتم ابتکاری در نظر گرفته می‌شود. جهت تعیین جذابیت یک الگوریتم ابتکاری برای الگوریتم ابتکاری فعلی نیاز است که فاصله بین دو الگوریتم ابتکاری مطابق رابطه ۷، محاسبه می‌شود:

$$r_{ij} = X_i - X_j = \sum (x_{id} - x_{jd}) \quad (۷)$$

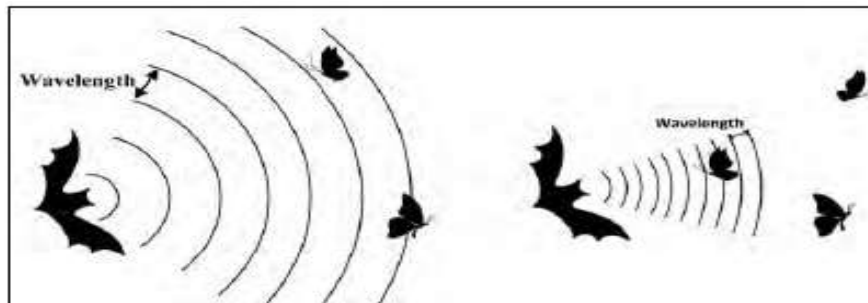
در این رابطه، X_i و X_j موقعیت دو الگوریتم ابتکاری i و j ، D تعداد ابعاد مسئله یا تابع هدف، x_{id} و x_{jd} به ترتیب بعد d الگوریتم ابتکاری i و j است. با تعیین فاصله یک الگوریتم ابتکاری از سایر الگوریتم‌های ابتکاری می‌توان بر حسب جذابیت آنها، فاصله بین آنها و موقعیت فعلی الگوریتم ابتکاری، موقعیت جدید یک الگوریتم ابتکاری را مطابق رابطه ۸، تعیین نمود:

$$xid(t+1)=xid(t)+\beta oe-\gamma ri2j)xjd-xid)+\alpha Ei \quad (7)$$

در این رابطه، $t(xid)$ و $t(xid + 1)$ به ترتیب موقعیت فعلی و جدید یک الگوریتم ابتکاری نظیر الگوریتم ابتکاری id است، βo مقدار جذابیت اولیه یک الگوریتم ابتکاری، r_{ij} فاصله بین دو الگوریتم ابتکاری نظیر الگوریتم ابتکاری i و j ، γ ضریب جذب یک الگوریتم‌های ابتکاری، α عددی تصادفی یکنواخت در بازه $[0,1]$ و Ei بردار تصادفی با توزیع گوسین گام حرکت است. در الگوریتم الگوریتم ابتکاری زینگ مقدار پیشنهادی برای بردار تصادفی گام حرکت یا Ei را در بازه $[-0.5, 0.5]$ تعریف نموده است.

الگوریتم خفاش

خفاش را می‌توان تنها پستانداری در نظر گرفت که می‌تواند پرواز نماید و برای پرواز کردن، شکار کردن و پیدا نمودن لانه فقط از حس شنوایی قوی خود استفاده می‌نماید. خفاش‌ها به کمک تولید صوت و بازخورد آن می‌توان محیط اطراف خود را درک نموده و از این سیستم برای شکار طعمه‌های خود بخوبی استفاده نمایند. آنها با نزدیک شدن به طعمه فرکانس خود را افزایش داده و در حین حال طول موج آنها نیز کاهش می‌یابد. در شکل ۲، مکانیزم تغییر فرکانس اصوات ارسالی خفاش برای شکار نمودن طعمه نمایش داده شده است [۱۸].



شکل ۱. حرکت خفاش به سمت طعمه و تنظیم مقدار فرکانس ارسالی آن

با توجه به مطالب فوق و بررسی نقاط قوت و ضعف الگوریتم الگوریتم ابتکاری و خفاش می‌توان روش پیشنهادی را به صورت ذیل تدوین نمود تا مزایای دو الگوریتم را در هم ترکیب نموده و با بکارگیری مفاهیم جدید یک الگوریتم هوش دسته جمعی جدید را ارائه نماید:

۱. در الگوریتم پیشنهادی مکانیزم جستجوی سراسری و محلی برای الگوریتم‌های ابتکاری در نظر گرفته می‌شود به گونه‌ای که در ابتدا بیشتر ماهیت جستجو از نوع سراسری سپس ماهیت جستجو بیشتر از نوع محلی می‌گردد. مکانیزم فوق نسبت به مکانیزم جستجوی خفاش به مراتب بهتر عمل مینماید زیرا در الگوریتم خفاش جستجوی سراسری و محلی هوشمندانه انجام نمی‌شود و در تمام مراحل الگوریتم یکنواخت و غیرتطبیقی انجام می‌شود،

۲. در الگوریتم پیشنهادی برای جستجوی محلی فقط شایسته‌ترین الگوریتم ابتکاری در نظر گرفته نمی‌شود بلکه همزمان جستجوی محلی را پیرامون تعدادی از افراد شایسته جمعیت انجام می‌دهیم. به عبارت بهتر جستجوی محلی در روش پیشنهادی توزیع شده انجام می‌شود که نوعی جستجوی سراسری نیز در این حالت انجام می‌شود و این در حالی است که در الگوریتم خفاش جستجوی محلی فقط پیرامون شایسته‌ترین عضو انجام می‌شود و این حالت خطر گرفتار شدن در بهینه محلی را افزایش می‌دهد.

چارچوب کلی روش پیشنهادی برای بهبود الگوریتم الگوریتم ابتکاری با استفاده از مفاهیم الگوریتم خفاش و جستجوی سراسری و محلی تطبیق داده شده در شکل ۲، آورده شده است.



شکل ۲. چارچوب روش پیشنهادی جهت بهبود عملکرد الگوریتم ابتکاری

همانگونه که در چارچوب پیشنهادی نشان داده شده است در ابتدا هر راه حل مسئله به صورت یک الگوریتم ابتکاری کدگذاری شده سپس جمعیتی از الگوریتم های ابتکاری به صورت تصادفی در فضای جستجوی تابع هدف یا تابع ارزیابی پراکنده میشوند سپس به کمک تابع ارزیابی یا هدف شایستگی هر الگوریتم ابتکاری مشخص می شود که نوعی جذابیت است. در روش پیشنهادی هر الگوریتم ابتکاری بر اساس جذابیت سایر الگوریتم های ابتکاری سعی میکند به سمت آنها به صورت سراسری حرکت نماید که نوعی جستجوی سراسری محسوب می شود. بعد از جستجوی سراسری مرحله جستجوی محلی پیرامون افراد شایسته انجام می شود. برای جستجوی محلی الگوریتم های ابتکاری انتخاب می شود که شایستگی آنها از متوسط کل اعضای جمعیت بیشتر باشد. برای انجام جستجوی محلی فرض می شود هر الگوریتم ابتکاری شایسته به علت جذب سایر الگوریتم های ابتکاری می تواند پیرامون خود با زادآوری تعدادی الگوریتم ابتکاری ایجاد نماید و اطراف والد پراکنده شود.

در چارچوب پیشنهادی می توان یک متغیر تصادفی در نظر گرفت که احتمال جستجوی سراسری و محلی را مشخص نماید به گونه ای که با افزایش تکرار احتمال جستجوی سراسری کاهش و احتمال جستجوی محلی افزایش می یابد. می توان کاهش احتمال جستجوی سراسری بر حسب تکرار را مطابق رابطه ۸، در نظر گرفت:

$$pg(t) = po[1 - Maxit - 1] \quad (8)$$

در این رابطه، t ، $Maxit$ ، po و $t(pg)$ به ترتیب شماره تکرار فعلی در الگوریتم، حداکثر تکرار در الگوریتم پیشنهادی، احتمال اولیه جستجوی سراسری و احتمال جستجوی سراسری در تکرار فعلی در نظر گرفته می شود. با توجه به احتمال انجام جستجوی سراسری، میتوان احتمال جستجوی محلی را در هر تکرار مطابق رابطه ۹، مشخص نمود:

$$pt(t) = 1 - pg(t) \quad (9)$$

با توجه به رابطه ۸ و رابطه ۹ می توان رابطه ۱۰ را برای انجام جستجوی محلی و احتمال آن در نظر گرفت:

$$p_l(t) = 1 - p_0 \left[1 - \frac{t - 1}{Maxit - 1} \right] \quad (10)$$

فرض کنید هر الگوریتم ابتکاری به عنوان یک عضو جمعیت را بتوان به صورت مجموعه ای از متغیرهای تصمیم گیری مطابق رابطه ۱۱، بیان نمود:

$$F_i = \langle x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD} \rangle \quad (11)$$

در این رابطه، D ابعاد مسئله، x_{ij} بعد j الگوریتم ابتکاری i یا F_i در نظر گرفته می شود. با کدینگ هر الگوریتم ابتکاری در قالب مناسب میتوان جمعیتی اولیه از آنها ایجاد و مطابق رابطه ۱۲، در فضای جستجوی مسئله آنها پراکنده می شوند:

$$F_i = t + \text{rand}(0,1) \times (u - t) \quad (12)$$

در این رابطه، $\text{rand}(0,1)$ یک عدد تصادفی در بازه $[0,1]$ ، t و u به ترتیب محدوده پایین و بالای هر متغیر تصمیم گیری در نظر گرفته می شود. با پراکنش جمعیت اولیه الگوریتم های ابتکاری در فضای جستجوی مسئله میزان شایستگی آنها بر حسب تابع هدف مشخص می شود و بر حسب این شایستگی جذابیت آنها برای سایر الگوریتم های ابتکاری نیز مشخص می شود. در این مرحله به هر الگوریتم ابتکاری جذابیت اولیه برابر β_0 داده می شود که میتوان جذابیت الگوریتم ابتکاری برای سایر الگوریتم های ابتکاری را بر حسب فاصله به صورت رابطه ۱۳، نشان داد:

$$\beta(r) = \beta_0 \cdot e \quad (13)$$

در رابطه فوق، $r(B)$ میزان جذابیت یک الگوریتم ابتکاری از فاصله r تعریف می شود. فاصله هر الگوریتم ابتکاری را میتوان از سایر الگوریتم های ابتکاری مطابق رابطه ۱۴، محاسبه نمود:

$$r = \|F_i - F_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^{D} (x_i^k - x_j^k)^2} \quad (14)$$

در رابطه فوق، F_i و F_j به ترتیب موقعیت دو الگوریتم ابتکاری i و j فرض می شود که $F_i - F_j = r$ معرف فاصله برداری بین آنها می باشد. با تعیین فاصله یک الگوریتم ابتکاری از یک الگوریتم ابتکاری دلخواه میتوان جستجوی سراسری را مطابق رابطه ۱۵، انجام داد:

$$Fit_{t+1} = Fit_t + \beta_0 \cdot e^{-\gamma r_{i2,j}} (F_{jt} - Fit_t) + \alpha E_i \quad (15)$$

در این رابطه، α یک پارامتر تصادفی در بازه $[0,1]$ ، E_i بردار تصادفی گام، F_{jt} و Fit_t به ترتیب موقعیت الگوریتم ابتکاری j و i در تکرار فعلی و Fit_{t+1} موقعیت الگوریتم ابتکاری i در تکرار جدید در نظر گرفته می شود. در این مرحله الگوریتم پیشنهادی جستجوی سراسری بر حسب جذابیت الگوریتم های ابتکاری در فضای جستجوی مسئله انجام می شود و با انجام جستجوی سراسری مرحله جستجوی محلی شروع می شود. برای اعمال جستجوی محلی در ابتدا نیاز است که وزن هر الگوریتم ابتکاری بر اساس شایستگی آن تعیین شود. در اینجا وزن نشان دهنده اهمیت الگوریتم ابتکاری برای جستجوی محلی است که بر اساس بهترین و بدترین عضو جمعیت به ترتیب مطابق رابطه ۱۶ و ۱۷ تعیین میشود:

$$best = \max_{k \in \{1,2,\dots,N\}} (J(F_k)) \quad (16)$$

$$worst = \min_{k \in \{1,2,\dots,N\}} (J(F_k)) \quad (17)$$

در این رابطه، $F_k(J)$ میزان شایستگی الگوریتم ابتکاری F_k ، N اندازه جمعیت اولیه، $best$ و $worst$ به ترتیب بهترین و بدترین عضو جمعیت در نظر گرفته می شود. با استفاده بهترین عضو، بدترین عضو جمعیت و همچنین میزان شایستگی هر عضو جمعیت میتوان وزن آن را در جستجوی محلی مطابق رابطه ۱۸، تعیین نمود:

$$w_i = \frac{J(F_i) - worst}{best - worst} \quad (18)$$

در این رابطه، $Fi(J)$ میزان شایستگی الگوریتم ابتکاری Fi بر حسب تابع هدف مسئله یا تابع ارزیابی J ، $best$ و $worst$ به ترتیب بهترین و بدترین عضو جمعیت بر حسب شایستگی و wi وزن الگوریتم ابتکاری Fi در جستجوی محلی در نظر گرفته می‌شود. بر حسب وزن یک الگوریتم ابتکاری که شایستگی آن مطابق رابطه ۱۹، بیشتر از متوسط شایستگی جمعیت است می‌توان جستجوی محلی را با شدت مختلفی پیرامون اعضاء و بر حسب شایستگی آنها انجام داد:

$$\bar{J} = \frac{\sum_{i=1}^N J(F_i)}{N} \text{ and } J(F_k) \geq \bar{J} \text{ where } k \in \{F_1, F_2, \dots, F_N\} \quad (19)$$

در این رابطه، N تعداد اعضای جمعیت، $Fi(J)$ مقدار شایستگی یک الگوریتم ابتکاری که توسط تابع هدف مشخص می‌شود و J میانگین شایستگی اعضاء در نظر گرفته می‌شود. در روش پیشنهادی بعد از محاسبه وزن اعضای شایسته جمعیت الگوریتم‌های ابتکاری می‌توان پیرامون آنها جستجوی محلی انجام داد و به تناسب وزن هر عضو شایسته تعدادی مشخص عضو جدید پیرامون آن ایجاد نمود. با توجه به اینکه وزن هر الگوریتم ابتکاری مطابق رابطه ۲۰، محدود به بازه $[0, 1]$ است می‌توان برای جستجوی محلی از یک ضریب ثابت ضرب شده در آن تحت نام ضریب حداکثر زادآوری مطابق رابطه ۲۱، استفاده نمود:

$$0 \leq wi \leq 1 \quad (20)$$

$$ni = wi \times Smax \quad (21)$$

در رابطه فوق، $Smax$ برابر حداکثر تعداد الگوریتم‌های ابتکاری جدید پیرامون یک الگوریتم ابتکاری، wi وزن یک الگوریتم ابتکاری و ni تعداد فرزندان همان الگوریتم ابتکاری که در جستجوی محلی شرکت مینمایند. در روش پیشنهادی الگوریتم‌های ابتکاری جدیدی که پیرامون والد برای جستجوی محلی ایجاد می‌شوند با یک پراکنش اولیه با انحراف معیار σ_{first} پیرامون والد پراکنده میشوند و با تکرار الگوریتم این مقدار را کاهش میدهم تا شعاع جستجوی محلی نیز بر حسب تکرار مشابه رابطه ۲۲، غیرخطی و نزولی کاهش یابد:

$$\begin{aligned} \sigma_{first} \\ \sigma_{final} = \\ tm \end{aligned} \quad (22)$$

در رابطه فوق، σ_{first} ، σ_{final} و t به ترتیب انحراف معیار پراکنش اولیه، انحراف معیار پراکنش نهایی و شماره تکرار الگوریتم در نظر گرفته می‌شود و همچنین توان m می‌تواند هر عدد بزرگتر از یک باشد که در اینجا برابر ۲ فرض شده است. با پراکنش اعضای جمعیت جدید پیرامون اعضای شایسته و بر حسب وزن آنها یک رقابت بین اعضای جمعیت اتفاق می‌افتد و ضعیف‌ترها حذف می‌شوند. به عبارت ساده‌تر اگر یک عضو جمعیت که دارای شایستگی و وزن خاصی است دارای m فرزند باشد از بین فرزندان آن و والد یکی را انتخاب نموده که شایستگی بیشتری داشته باشد. در اینجا حذف رقابتی به صورت محلی انجام می‌شود نه سراسری تا الگوریتم کمتر دچار بهینه‌های محلی شود.

پیاده سازی و تحلیل الگوریتم

با توجه به اینکه الگوریتم پیشنهادی یک الگوریتم مبتنی بر رفتار هوش دسته جمعی و گروهی است در این پژوهش آن را با الگوریتم های کاربردی هوش دسته جمعی نظیر بهینه سازی، الگوریتم خفاش و الگوریتم الگوریتم ابتکاری مقایسه نموده ایم. برای ارزیابی هر یک از الگوریتم های پیشنهادی، خفاش، بهینه سازی و الگوریتم ابتکاری را بر روی یک تابع ارزیابی پیاده سازی نموده و بر حسب نمودار خطای محاسبه بهینه سراسری بر حسب تکرار می‌توانیم به قضاوت در مورد دقت هر یک از آنها بپردازیم. تحلیل نشان میدهد میزان خطای محاسبه بهینه سراسری در تابع ارزیابی Sphere مرتباً بر حسب تکرار در حال کاهش است و این کاهش در الگوریتم پیشنهادی بیشتر از سایر الگوریتم‌ها می‌باشد به گونه ای که در تکرار پایانی میزان خطای محاسبه بهینه سراسری در الگوریتم پیشنهادی، خفاش، بهینه سازی و الگوریتم ابتکاری به ترتیب از مرتبه ۸-۱۰، ۷-۱۰، ۵-۱۰ و ۷-۱۰ می‌باشد. با توجه به اینکه جمعیت اولیه در الگوریتم های فراابتکاری به صورت تصادفی انتخاب می‌شود و ساختار این الگوریتم‌ها نیز شبه تصادفی است میتوان انتظار داشت اجرای دوم، متفاوت از اجرای اول بر روی تابع ارزیابی Sphere باشد.

برای سنجش دقت الگوریتم های فراابتکاری و روند نمودار میزان خطای محاسبه بهینه سراسری بر حسب تکرار یا نمودار همگرایی، یک آزمایش به تنهایی کافی نبوده و نیاز است که آزمایشات به دفعات اجرا شوند و متوسط نتایج آزمایشات به عنوان ملاک ارزیابی در نظر گرفته شود. لذا در پیاده سازیهای که انجام دادیم یک آزمایش را به تعداد کافی انجام می دهیم تا نتایج کلی بدست آمده بیشتر قابل استناد باشد.

برای پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی و سایر الگوریتم یک تابع ارزیابی را انتخاب نموده و هر یک از این الگوریتم‌ها به تعداد ۳۰ مرتبه بر روی تابع ارزیابی مورد نظر به اجرا گذاشته و در نهایت نمودار میانگین همگرایی آنها رسم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته می‌شود.

پیاده سازی الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری:

الگوریتم‌های فراابتکاری در واقع مجموعه‌ای از الگوریتم‌هایی هستند که بر روی الگوریتم‌های اکتشافی اعمال می‌شوند و از بهینه‌سازی محلی خلاص می‌شوند و در عین حال امکان استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری را در تعداد زیادی از مسائل فراهم میکند. الگوریتم الگوریتم ابتکاری توسط زینگ شی یانگ ارائه شده است. الگوریتم‌های ابتکاری با ساطع کردن نور از خود می‌تواند به سایر الگوریتم‌های ابتکاری سیگنال‌های ارسال و نوعی ارتباط اجتماعی با آنها برقرار نمایند. الگوریتم الگوریتم ابتکاری یک الگوریتم فراابتکاری با رویکرد گروهی و دسته جمعی است که بر اساس رفتار الگوریتم‌های ابتکاری در جذب گونه‌های هم‌نوع مدل‌سازی شده است. زینگ برای ارائه و مدل‌سازی الگوریتم الگوریتم ابتکاری سه فرض ساده ذیل را در نظر گرفت:

۱. الگوریتم‌های ابتکاری تک جنسیتی و جنسیت آنها فقط از نوع جنس نر یا ماده در نظر گرفته میشوند،
۲. الگوریتم‌های ابتکاری به سمت الگوریتم‌های ابتکاری پر نورتر از خود حرکت می‌نمایند،
۳. هر الگوریتم ابتکاری مقداری نور از خود ساطع مینماید که این مقدار نور بر حسب شایستگی آن تعریف می‌شود و هر چقدر شایستگی الگوریتم ابتکاری بیشتر باشد مقدار نور منتشر شده از آن نیز بیشتر خواهد بود. میزان نوری که یک الگوریتم ابتکاری منتشر می‌نماید معادل جذابیت آن است که توسط تابع هدف مسئله تعریف می‌شود.

برای تعریف جذابیت هر الگوریتم ابتکاری در الگوریتم الگوریتم ابتکاری زینگ رابطه ۲۳، را معرفی نمود:

$$\beta(r_{ij}) = \beta_{oe} - \gamma r_{ij} \quad (23)$$

در این رابطه، β_0 مقدار جذابیت اولیه الگوریتم‌های ابتکاری است که به عنوان یک پارامتر اولیه تعریف میشود، r_{ij} فاصله بین الگوریتم ابتکاری i و j در نظر گرفته می‌شود و γ ضریب جذابیت و جذب الگوریتم‌های ابتکاری به سمت یکدیگر است که این ضریب به عنوان یک پارامتر اولیه در الگوریتم الگوریتم ابتکاری در نظر گرفته می‌شود. جهت تعیین جذابیت یک الگوریتم ابتکاری برای الگوریتم ابتکاری فعلی نیاز است که فاصله بین دو الگوریتم ابتکاری مطابق رابطه ۲۴، محاسبه میشود:

$$r_{ij} = X_i - X_j = \sum (x_{id} - x_{jd}) \quad (24)$$

در این رابطه، X_i و X_j موقعیت دو الگوریتم ابتکاری i و j ، تعداد ابعاد مسئله یا تابع هدف، x_{id} و x_{jd} به ترتیب بعد d الگوریتم ابتکاری i و j است. با تعیین فاصله یک الگوریتم ابتکاری از سایر الگوریتم‌های ابتکاری میتوان بر حسب جذابیت آنها، فاصله بین آنها و موقعیت فعلی الگوریتم ابتکاری، موقعیت جدید یک الگوریتم ابتکاری را مطابق رابطه ۲۵، تعیین نمود:

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + \beta_{oe} - \gamma r_{ij} x_{jd} - x_{id} + \alpha E_i \quad (25)$$

با توجه به اینکه الگوریتم پیشنهادی یک الگوریتم مبتنی بر رفتار هوش دسته جمعی و گروهی است در این پژوهش آن را با الگوریتم‌های کاربردی هوش دسته جمعی نظیر بهینه سازی، الگوریتم خفاش و الگوریتم الگوریتم ابتکاری مقایسه نموده ایم.

برای ارزیابی هر یک از الگوریتم‌های پیشنهادی، خفاش، بهینه سازی و الگوریتم ابتکاری را بر روی یک تابع ارزیابی پیاده سازی نموده و بر حسب نمودار خطای محاسبه بهینه سراسری بر حسب تکرار میتوانیم به قضاوت در مورد دقت هر یک از آنها بپردازیم. به عنوان نمونه در شکل ۷، یک خروجی شبیه سازی شده از اجرای الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم خفاش، الگوریتم بهینه سازی و الگوریتم الگوریتم ابتکاری بر روی تابع ارزیابی Sphere را مشاهده مینمایم:

تنظیم فرکانس الگوی خفاش

هر خفاش با یک سرعت v_{it} و یک مکان x_{it} ، در تکرار t ، در یک فضای جستجو d بعدی یا فضای راه‌حل مرتبط است. در میان تمام خفاش‌ها، بهترین راه‌حل فعلی x^* وجود دارد. بنابراین، سه قانون فوق را می‌توان به صورت معادلاتی برای x_{it} و سرعت v_{it} به صورت شکل زیر تولید کرد:

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min})\beta \quad (26)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^{t-1} - x_*) f_i \quad (27)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (28)$$

که $\beta \in [0, 1]$ یک بردار تصادفی است که از توزیع یکنواخت گرفته شده است. همان طور که قبلاً ذکر شد، ما می توانیم از طول موج یا فرکانس برای پیاده سازی استفاده کنیم، بسته به اندازه دامنه مسئله مورد نظر، از $f_{min} = 0$ و $f_{max} = O(1)$ استفاده خواهیم کرد. در ابتدا، به هر خفاش به طور تصادفی یک فرکانس اختصاص داده می شود که به طور یکنواخت از $[f_{min}, f_{max}]$ گرفته می شود. به همین دلیل، الگوریتم خفاش را می توان به عنوان یک الگوریتم تنظیم فرکانس برای ارائه ترکیبی متعادل از اکتشاف و بهره برداری در نظر گرفت. میزان بلندی صدا و انتشار پالس اساساً مکانیزی را برای کنترل خودکار و بزرگنمایی خودکار در منطقه با راه حل امیدوار کننده فراهم می کند. نتایج تنظیم فرکانس در الگوی خفاش شب در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۴. نتایج تنظیم فرکانس در الگوی فرا ابتکاری خفاش

نام متغیر		مقدار آماره	مقدار احتمال	نتیجه
P/E	PE	-۳/۸۷۴	۰/۰۰۱	بهینه سازی الگوریتم
نسبت نرخ رشد سود	PGR	-۲/۵۹۶	۰/۰۰۴	بهینه سازی الگوریتم
نرخ رشد فروش	SGR	-۶/۷۰۱	۰/۰۰۱	بهینه سازی الگوریتم
بازده دارایی	ROA	-۲/۷۸۹	۰/۰۰۲	بهینه سازی الگوریتم
بازده حقوق صاحبان سهام	ROE	-۴/۳۷۰	۰/۰۰۱	بهینه سازی الگوریتم
سهام شناور آزاد	FFS	-۲/۱۴۹	۰/۰۱۵۸	بهینه سازی الگوریتم

آزمون کنترل پارامتر الگوریتم خفاش و الگوریتم ابتکاری

بسیاری از الگوریتم های فرا ابتکاری از پارامترهای ثابت با استفاده از برخی پارامترهای از پیش تنظیم شده وابسته به الگوریتم استفاده می کنند. در مقابل، BA از کنترل پارامتر استفاده می کند، که می تواند مقادیر پارامترهای (A و r) را با ادامه تکرارها تغییر دهد. این کار روشی را برای تغییر خودکار از اکتشاف به بهره برداری در زمانی که راه حل بهینه نزدیک می شود، فراهم می کند. این امر مزیت دیگری برای الگوریتم خفاش و الگوریتم ابتکاری نسبت به سایر الگوریتم های فرا ابتکاری می دهد. نتایج اجرای آزمون کنترل پارامتر بر روی الگوهای مدل به قرار زیر است:

جدول ۵. نتایج اجرای آزمون کنترل پارامتر

نام آزمون		مقدار آماره	مقدار احتمال
آزمون کنترل پارامتر	مدل ۱	-۲۸/۹۱۱	۰/۰۰۱
	مدل ۲	-۳۰/۳۷۹	۰/۰۰۱

بررسی جواب بهینه الگوریتمی

با توجه به ویژگی پژواک یابی خفاش‌ها در الگوریتم‌های ترکیبی فرا ابتکاری، بردار تصادفی از پاسخ‌های بهینه الگوهای شرح داده شده به صورت جدول زیر می‌باشد:

جدول ۶. بهترین جواب حاصل از الگوهای خفاش شب و الگوریتم ابتکاری

FFS	ROE	ROA	SGR	PGR	PE	تابع بهینه سطح معناداری
					۱/۰۰	PE

				۱/۰۰	۰/۲۴۸	PGR
				-----	۰/۰۲۹	
			۱/۰۰	۰/۰۷۷	۰/۱۳۲	SGR
			-----	۰/۲۹۶	۰/۰۷۵	
		۱/۰۰	۰/۴۶۰	۰/۲۰۳	۰/۰۱۴	ROA
		-----	۰/۰۰۱	۰/۰۳۷	۰/۸۴۷	
	۱/۰۰	۰/۶۹۲	۰/۳۴۲	۰/۰۳۹	۰/۰۰۰۸	ROE
	-----	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۵۹۳	۰/۹۹۱	
۱/۰۰	۰/۰۰۹	۰/۰۱۴	۰/۰۷۲	۰/۰۵۲	۰/۱۴۰	FFS
-----	۰/۹۰۲	۰/۸۴۶	۰/۳۳۳	۰/۴۸۸	۰/۰۵۸	

نتیجه‌گیری

۶ سناریو به منظور برآورد دقت دو الگوریتم در نظر گرفته شده است به طوریکه برای سناریوهای ۱ تا ۶ از الگوریتم‌ها خواسته شده است تا به ترتیب ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ شرکت پیدا کند. نتایج نشان می‌دهد که ماهیت الگوریتم خفاش و الگوریتم ابتکاری نیاز به آموزش و انتخاب ویژگی‌ها دارد که باعث می‌شود سرعت الگوریتم پایین‌تر باشد و زمان همگرایی را بالا می‌برد. یکی از علت اساسی دقت بالاتر الگوریتم خفاش در سناریوهای ۱ تا ۶ این مورد می‌تواند باشد. در سناریوهای ۱ تا ۶ به علت افزایش پیچیدگی مساله دقت الگوریتم خفاش کاهش پیدا میکند ولی به دلیل ماهیت تصادفی بودن الگوریتم خفاش دقت آن تفاوت چندانی ندارد و می‌تواند پایداری در انتخاب خود را حفظ نماید.

برای آزمون کارایی و دقت الگوریتم خفاش، نتایج نمودارها حاکی از آن است که از بین ۶ سناریو طراحی شده الگوریتم خفاش توانست در سناریوهای ۱ و ۵ سریعتر همگرا شده و زمان کمتری برای جستجو و انتخاب مقادیر بهینه صرف کند و در سناریوهای ۳ و ۶ نیز با اختلاف کمتری نسبت به سناریوهای فوق همگرا شده و مقادیر بهینه را پیدا کند. در کل الگوریتم خفاش در همه سناریوها توانسته همگرا شده و مقادیر بهینه را پیدا کند. می‌توان بیان نمود که الگوریتم خفاش از کارایی و دقت بالایی در انتخاب بهینه سهام برخوردار است و می‌تواند به عنوان ابزاری برای انتخاب بهینه در سهام برای تشکیل سبد سهام مورد توجه و استفاده سرمایه‌گذاران و فعالان و تحلیلگران مالی بازار سرمایه قرارگیرد. با توجه به نتایج بدست آمده برای آزمون کارایی و دقت الگوریتم ابتکاری در نمودارهای همگرایی، براساس نتایج آن نمودارها از بین سناریوها، الگوریتم ابتکاری در سناریوهای ۳ و ۶ توانسته همگرا شود در حالیکه و در سناریوهای ۲ و ۴ نسبت به سناریوهای یادشده دیرتر توانست همگرا شود و مقادیر بهینه را پیدا کند. در کل الگوریتم ابتکاری در همه سناریوها توانسته است همگرا شود و مقادیر بهینه را پیدا کند. با توجه به نتایج حاصل از سنجش اثبات کارایی الگوریتم ابتکاری در انتخاب سهام، میتوان گفت، بکارگیری این الگوریتم میتواند با ویژگیهای مالی معرفی شده در این تحقیق که به عنوان پیش فرض و روی به الگوریتم تعریف گردید، به عنوان ابزاری برای انتخاب بهترین سهام و تشکیل پرتفوی و کاهش ریسک بازدهی براساس الگویی دقیق و با دقت و کارایی بالا برای سرمایه‌گذارانی که اهداف بلند مدت برای سرمایه‌گذاری دارند، مورد توجه و استفاده آنها قرارگیرد. می‌توان نتیجه گرفت الگوریتم ابتکاری از کارایی و دقت بالایی در انتخاب بهینه سهام برخوردار است. طبق نتایج بدست آمده هر دو الگوریتم در انتخاب بهینه سهام که در سناریوها باهم مقایسه شدند در انتخاب مقادیر بهینه در سناریوهای ۱ تا ۶ نشان داده شد. ولی در سناریوهای ۱ تا ۶ به دلیل افزایش تعداد شرکت‌های خواسته شده برای یافتن سهام بهینه میباشد که در این صورت بر پیچیدگی مساله اضافه می‌شود و زمان همگرایی افزایش یافته و مدت زمان بیشتری را برای یافتن سهام بهینه نیاز خواهد داشت دقت این الگوریتم کاهش یافت. ولی به دلیل ماهیت تصادفی بودن الگوریتم خفاش دقت آن در همه سناریوها تفاوت

چندانی مشاهده نگردید و می‌تواند گفت الگوریتم خفاش در همه سناریوها پایداری در انتخاب خود را حفظ نمود. به طور میانگین دقت الگوریتم خفاش ۸۱ و الگوریتم ابتکاری ۲۴ درصد است. اگرچه نتایج الگوریتم‌ها اختلاف کمی با یکدیگر دارند اما نتایج کلی حاکی از آن است که هر دو الگوریتم از کارایی و دقت بالایی در انتخاب بهینه سهام برخوردار هستند. میتوان نتیجه گرفت دقت الگوریتم ابتکاری نسبت به الگوریتم خفاش کمی بیشتر است اما با افزایش تعداد نمادها برای انتخاب بهینه بر پیچیدگی مساله افزوده شده و در این صورت در انتخاب بهینه سهام از نظر زمانی الگوریتم خفاش عملکرد سریعتری خواهد داشت. با توجه به بازه زمانی و تعداد عوامل مالی تاثیرگذار و تاثیر پذیر جهت انتخاب مقادیر بهینه، الگوریتم خفاش نسبت به الگوریتم ابتکاری، برتری داشته و دلیل آنرا میتوان مزیت توانایی همگرایی سریع الگوریتم خفاش در مرحله ابتدایی به وسیله سوئیچ از اکتشاف به استخراج دانست.

کاهش متوسط خطای محاسبه بهینه سراسری بر حسب تکرار نشان می‌دهد الگوریتم پیشنهادی برای رسیدن به یک مقدار خطا و آستانه به تعداد تکرار نیاز دارد. از طرفی بررسی میزان خطای محاسبه بهینه سراسری در تکرار پایانی نشان می‌دهد که در توابع ارزیابی فوق میزان خطا در روش پیشنهادی نسبت به سایر الگوریتم‌ها کمتر می‌باشد که در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۷. متوسط خطای تشخیص بهینه سراسری در روش پیشنهادی، الگوریتم ابتکاری، خفاش و بهینه سازی

تابع ارزیابی	الگوریتم الگوریتم ابتکاری	الگوریتم خفاش
Sphere	0.109×10^{-5}	1.994×10^{-7}
Rosenbrock	0.362×10^{-5}	0.1258
Rastrigin	0.0453	4.4874
Griewank	0.182×10^{-5}	0.0042
Ackley	0.267×10^{-2}	0.602

تجزیه و تحلیل نمودار متوسط خطای سنجش بهینه سراسری در توابع ارزیابی Rastrigin، Griewank و Ackley نشان می‌دهد کاهش خطای محاسبه بهینه سراسری بر حسب تکرار در الگوریتم‌های خفاش، بهینه سازی و الگوریتم ابتکاری چندان مشهود نمی‌باشد. به عبارت بهتر بر حسب تکرار الگوریتم میزان خطا در این الگوریتم‌های خیلی کاهش نمی یابد و شیب کاهش خطا در آنها نزدیک صفر است و دلیل اصلی آن گرفتار شدن این الگوریتم در برخی از آزمایشات است که باعث می‌شود شیب خط کاهش چندان نداشته باشد.

۶ سناریو به منظور برآورد دقت دو الگوریتم در نظر گرفته شده است به طوریکه برای سناریوهای ۱ تا ۶ از الگوریتم‌ها خواسته شده است تا به ترتیب ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ شرکت پیدا کند. نتایج نشان می‌دهد که ماهیت الگوریتم خفاش و الگوریتم ابتکاری نیاز به آموزش و انتخاب ویژگیها دارد که باعث می‌شود سرعت الگوریتم پایینتر باشد و زمان همگرایی را بالا میبرد. یکی از علت اساسی دقت بالاتر الگوریتم خفاش در سناریوهای ۱ تا ۶ این مورد میتواند باشد. در سناریوها ۱ تا ۶ به علت افزایش پیچیدگی مساله دقت الگوریتم خفاش کاهش پیدا میکند ولی به دلیل ماهیت تصادفی بودن الگوریتم خفاش دقت آن تفاوت چندانی ندارد و میتواند پایداری در انتخاب خود را حفظ نماید. به طور میانگین دقت الگوریتم خفاش ۸۱ و الگوریتم ابتکاری ۳۱ درصد است. اگرچه نتایج الگوریتم‌ها اختلاف کمی با یکدیگر دارند اما نتایج کلی حاکی از آن است که هر دو الگوریتم از کارایی و دقت بالایی در انتخاب بهینه سهام برخوردار هستند. میتوان نتیجه گرفت دقت الگوریتم ابتکاری نسبت به الگوریتم خفاش کمی بیشتر است اما با افزایش تعداد نمادها برای انتخاب بهینه بر پیچیدگی مساله افزوده شده و در این صورت در انتخاب بهینه سهام از نظر زمانی الگوریتم خفاش عملکرد سریعتری خواهد داشت. با توجه به بازه زمانی و تعداد عوامل مالی تاثیرگذار و تاثیر پذیر جهت انتخاب مقادیر بهینه، الگوریتم خفاش نسبت به الگوریتم ابتکاری، برتری داشته و دلیل آنرا میتوان مزیت توانایی همگرایی سریع الگوریتم خفاش در مرحله ابتدایی به وسیله سوئیچ از اکتشاف به استخراج دانست.

منابع :

- محمودزاده ملکی، نوید. محمدزاده، حیدر. ایرانزاده، سلیمان. بهینه سازی سبد سهام سرمایه گذاری با بکارگیری الگوریتم های فراابتکاری علف های هرز مهاجم و فاخته. فصلنامه راهبرد توسعه، دوره ۲۲، شماره ۸۵، ص ۷۷-۱۱۲، ۱۴۰۵.
- نمکی، علی. شیرکوند، سعید. صفایی پور، یداله. پیش بینی قیمت سهام با استفاده از الگوریتم های یادگیری عمیق و تجزیه فرکانس. نشریه راهبرد مدیریت مالی، دوره ۱۳، شماره ۳، ص ۳۳ - ۶۰، ۱۴۰۴.
- بیات، علی. اسدی، لیدا. بهینه سازی پرتفوی سهام : سودمندی الگوریتم پرندگان و مدل مارکوویتز، فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، دوره ۶، شماره ۹، ص ۴۸ - ۵۵، ۱۴۰۲.
- منتظری پرچیگلانی، رزا. الگوریتم فرا ابتکاری اجتماع ذرات بهینه سازی پرتفوی، فصلنامه رویکرد پژوهش نوین در مدیریت و حسابداری، دوره ۷، شماره ۸۹، ص ۱۵۹۶-۱۶۰۹، ۱۴۰۲.
- فرمانی، آناهیتا. جهانگیری، شهاب. مقایسه عملکرد الگوریتم های فراابتکاری در پیش بینی قیمت سهام در بازار بورس اوراق بهادار تهران. نشریه مجلس و اقتصادی، دوره ۱، شماره ۲، ص ۱۲۷-۱۵۲، ۱۴۰۲.
- فریدی، ساناز. معدنچی، مهدی. شاهوردیانی، شادی. رهنمای رودپشتی، فریدون. بهینه سازی سبد سهام براساس مدل ترکیبی نسبت امگا و میانگین - واریانس مارکوویتز مبتنی بر یادگیری ماشین جمعی دو سطحی. نشریه علمی دانش مالی و تحلیل اوراق بهادار، دوره ۱۵، شماره ۳، ص ۳۳-۵۴، ۱۴۰۱.
- کریمی، آرزو. بهینه سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم های چند هدفه و ماکزیمم نسبت شارپ، مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، دوره ۴، شماره ۴۶، ص ۳۸۹-۴۱۰، ۱۴۰۰.
- رستمخانی، حسین. انتخاب بهینه سهام با استفاده از الگوریتم خفاش و جنگل تصادفی، فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، دوره ۴، شماره ۴۸، ص ۴۶۱-۴۸۰، ۱۴۰۰.
- رضایی، اسعداله. فلاحتی، علی. سهیلی، کیومرث. بهینه سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم تجمع ذرات سه هدفه، فصلنامه نظریه های کاربردی اقتصاد، دوره ۵، شماره ۴، ص ۳۱-۵۲، ۱۳۹۹.
- بحری ثالث، جمال. پاک مرام، عسگر. ولی زاده، مصطفی. انتخاب و بهینه سازی سبد سهام با استفاده از روش میانگین واریانس مارکوویتز با ابهره گیری از الگوریتم های مختلف، نشریه دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، دوره ۱۱، شماره ۳۷، ص ۴۳ - ۵۷، ۱۳۹۸.
- بهنامیان، جواد. مشرفی، محمد. ارائه الگوریتم برای بهینه سازی چند هدفه سبد سهام بوسیله برنامه ریزی فازی، فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، دوره ۴، شماره ۳۰، ص ۳۳ - ۵۳، ۱۳۹۸.
- اسماعیلی، زهرا. عباسی، ابراهیم. فلاح، میر فیض. پیش بینی عملکرد کوتاه مدت عرضه عمومی اولیه سهام با استفاده از الگوریتم نزدیکترین همسایگی، فصلنامه چشم انداز مدیریت مالی، دوره ۸، شماره ۲۱، ص ۱۹-۲۷، ۱۳۹۸.
- دموری، داریوش. فرید، داریوش. اشهری، مرتضی. پیش بینی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از الگوریتم پرواز پرندگان و مقایسه آن با الگوهای سنتی، مجله دانش حسابداری، دوره ۲، شماره ۵، ص ۷-۳۰، ۱۳۹۷.
- حسنلو، خدیجه. روستایی، مریم. پیش بینی قیمت سهام با رویکرد سیستم شبکه عصبی خفاش (مطالعه موردی بورس اوراق بهادار تهران)، موسسه آموزش عالی غیر انتفاعی - غیر دولتی دانشکده خاتم. ۱۳۹۴.
- شهرستانی، حمید. ثوابی اصل، فرهاد. بید آبادی، بیژن. بهینه سازی سبد سهام تحت شرایط تمایلات سرمایه گذار : تعمیم نظریه مارکوویتز در بهینه سازی سبد سهام. پژوهشنامه اقتصادی، دوره ۱۰، شماره ۴، ص ۲۰۷-۲۲۹، ۱۳۸۹.
- Fajila, Fathima. Yousof, youhanis . Mutable Composite Firefly Algorithm for Microarray-Based Cancer Classification, 24, 102-129, 2025.
- Wang , haoyu. Xie,dejun. Optimal profit-making strategies in stock market with algorithmic trading,(october) 546-572,2024.
- Rashid, Mohammad.umar, Shahla . hassan ,bryar. Modified Bat Algorithm: A Newly Proposed Approach for Solving Complex and Real-World Problems.(febyre) 18,1285-1309,2024.
- Korad, enilesh b .zuber,moh. Boost stook forecasting accuracy using modified algorithm and multichannel convolutional neural network ,(April) , 2668-2677,2023.
- Chaterjee, bitanu. Acharya, sayan. Ram, sarkar. Stock market prediction using Altruistic Dragonfly Algorithm, (April), 1-20,2023.
- Jiani, ata. Stock price prediction using the combination of firefly (FA) and genetic algorithms.(desamber), 30-45,2023.
- Aizat Basir1, Mohammad. Saifullah Hussin2, Mohamed.Yusof, Yuhanis. Integrated bio-search approaches with multi-objective algorithms for optimization and classification problem, 2421-2431, 2020.
- ZhengTan, ZiqinYan,Guangwei Zhu. Stock selection with random forest: An exploitation of excess return in

- the Chinese stock market, Volume 5, Issue 8, August 2019, e02310. 2019.
- Cai, X., Zhang, J., Liang, H., Wang, L., & Wu, Q. An ensemble bat algorithm for large-scale optimization. International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 10(11),pp 3099-3113.2019.
- Ticknor, J.L. A Bayesian regularized artificial neural network for stock market forecasting. Expert Syst. Appl. 40 (14),pp 5501–5506. 2013.