

Forecasting Stock Prices in Tehran Stock Exchange Using Recurrent Neural Network Optimized by Artificial Bee Colony Algorithm

**Jafar Babajani¹, Mohammadreza Taghva², Ghasem Bulu³, Mohsen
Abdollahi⁴**

Abstract

This research in a hybrid approach, using Recurrent Neural Networks (RNN) based on Artificial Bee Colony algorithm (ABC), is going to provide the optimal model to predict the stock prices in Tehran Stock Exchange. For this purpose, using the stock data for companies listed in the first market of the Tehran Stock Exchange, traded between 2011 and the end of 2018, after the definition of different technical and fundamental variables, using step by step regression-correlation, factors affecting stock prices in Tehran Stock Exchange were selected as model input is defined. Then the artificial bee colony algorithm in an atmosphere of parametric design is used to optimize the weights and biases of recurrent neural network. To evaluate the model, several criteria for a given stock of listed companies in Tehran Stock Exchange are used. The results show that the neural network optimized with artificial bee colony algorithm has considerable accuracy, compared to other forecasting methods.

Keywords: : Stock price prediction, Stepwise regression-correlation (SRCS), Recursive Neural network (RNN), Artificial bee colony algorithm (ABC)

JEL: C45, G12, G13

¹ . Professor of Accounting, Allameh Tabataba'i University, Corresponding Author. Email: jafar.babajani@gmail.com

² . Associate Professor of Industrial Management, Allameh Tabataba'i University. Email: taghva@atu.ac.ir

³ . Associate Professor of Accounting, Allameh Tabataba'i University. Email: ghblue20@yahoo.com

⁴ . Ph.D. of Financial Management, Allameh Tabataba'i University. Email: mohsenisu@gmail.com

پیش‌بینی قیمت سهام در بورس تهران با استفاده از شبکه عصبی بازگشتی

بهینه‌شده با الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی^۱

جعفر باباجانی^۲، محمدرضا تقوا^۳، قاسم بولو^۴ و محسن عبدالهی^۵

چکیده

این پژوهش با رویکرد ترکیبی، با به کارگیری شبکه عصبی بازگشتی مبتنی بر الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی (ABC-RNN)، درصد ارائه مدلی بهینه برای پیش‌بینی قیمت سهام در بورس تهران است. برای این منظور با استفاده از داده‌های سهام پذیرفته‌شده در بازار اول تابلوی اصلی بورس تهران که طی سال‌های ۱۳۹۰ تا پایان سال ۱۳۹۴ مورد معامله قرار گرفته است، ضمن تعریف مؤلفه‌های تکنیکال و بنیادی متعدد، با به کارگیری فرآیند رگرسیون-همبستگی قدم‌به‌قدم (SRCS)، مؤلفه‌های مؤثر بر قیمت سهام انتخاب‌شده و به‌عنوان ورودی مدل تعریف می‌شود. در مرحله بعد، الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی (ABC) در یک فضای طراحی پارامتری، برای بهینه کردن وزن‌ها و تورش‌های شبکه عصبی بازگشتی بکار گرفته می‌شود. برای ارزیابی عملکرد مدل، از چندین معیار برای سهام شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس تهران استفاده می‌شود. نتایج نشان‌دهنده آن است که استفاده از شبکه عصبی بهینه‌شده با الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی، دقت قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با سایر روش‌های پیش‌بینی دارد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی قیمت سهام، رگرسیون-همبستگی قدم‌به‌قدم (SRCS)، شبکه عصبی بازگشتی (RNN)، الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی (ABC)
طبقه‌بندی موضوعی: G13, G12, C45

۱. DOI مقاله: 10.22051/jfm.2019.21049.1714

۲. استناد دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه علامه طباطبائی، نویسنده مسئول. Email: jafar.babajani@gmail.com

۳. دانشیار دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه علامه طباطبائی. Email: taghva@atu.ac.ir

۴. دانشیار دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه علامه طباطبائی. Email: ghblue20@yahoo.com

۵. دکتری مدیریت مالی دانشگاه علامه طباطبائی. Email: mohsenisu@gmail.com

مقدمه

پیش‌بینی قیمت سهام و بازشناسی رفتار آن امری پیچیده است؛ مؤلفه‌های گوناگونی از قبیل رخدادهای سیاسی، وضع عمومی اقتصاد و انتظارات سرمایه‌گذاران، بر بازار سهام تأثیر می‌گذارد (داموداران^۱، ۱۳۸۷، ۷؛ راعی و محمودی آذر، ۱۳۹۳، ۱۴). بسیاری از مطالعات اخیر نشان داده‌اند که بازار سهام، در حقیقت یک سیستم غیرخطی و آشوبناک است که به عوامل متعدد سیاسی، اقتصادی و روانی وابسته است (امیری و همکاران، ۱۳۸۹، ۷۵؛ پورحیدری، ۱۳۸۹، ۱۳۶). برای غلبه بر محدودیت تکنیک‌های تحلیل سنتی در پیش‌بینی الگوهای غیرخطی، متخصصان طی دو دهه اخیر تکنیک‌های هوشمند و بخصوص شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک را برای بهبود پیش‌بینی قیمت سهام به کار برده‌اند (چانگ^۲، ۲۰۱۱، ۱۸۵؛ ونگ^۳، ۲۰۱۱، ۴۶۸)؛ چراکه به دلیل خطی نبودن روند قیمت‌ها^۴، عدم اطمینان حاکم^۵ و ناهموازی داده‌های مؤلفه‌ها^۶، پیش‌بینی دقیق و بدون خطای قیمت‌ها حتی برای متخصصان مالی نیز امری دشوار است. مطالعات نشان داده است که مدل شبکه عصبی-مصنوعی در پیش‌بینی قیمت سهام، بهتر از مدل‌های آماری و تحلیل مشخصه‌ها^۷ عمل می‌کند (رفنز^۸ و همکاران، ۱۹۹۴، ۷۸؛ ژانگ^۹ و همکاران، ۱۹۹۸، ۱۰۲). الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی^{۱۰} (ABC) یکی از الگوریتم‌های نوین بهینه‌سازی مبتنی بر «هوش دسته‌جمعی»^{۱۱} است که رفتار جستجوی غذای کلونی زنبورهای عسل را شبیه‌سازی می‌کند. از آنجایی که مدل‌های ترکیبی (هیبریدی) با الهام از الگوریتم‌های فرا ابتکاری^{۱۲}، سعی در بهینه کردن مسئله و تسهیل دستیابی به راه‌حل دارد، در این پژوهش از الگوریتم بهینه‌ساز «کلونی زنبورعسل» برای بهبود خروجی مدل شبکه عصبی بازگشتی (ABC-WRNN) استفاده شده است. در طراحی

1 . Damodaran

2 . Chang

3 . Wang

4 . Nonlinear

5 . Uncertainty

6 . Non-Stationary

7 . Discriminant Analysis

8 . Refenes

9 . Zhang

10 . Artificial Bee Colony Algorithm

11 . Swarm Intelligence

۱۲. الگوریتم‌های فرا ابتکاری (Meta-Heuristic) یا فراتکاملی نوعی از الگوریتم‌های تصادفی هستند که برای یافتن

شبکه عصبی بازگشتی مبتنی بر الگوریتم کلونی زنبور عسل، تعیین متغیرهای مستقل -ورودی‌های- مدل هیبریدی ارائه شده بسیار با اهمیت است؛ مؤلفه‌های بسیاری وجود دارد که می‌تواند روند قیمت سهم را نشان داده و نماینده وضعیت بنیادین سهام باشد؛ این پژوهش متغیرهای فنی و بنیادین مختلفی را که تعیین کننده قیمت سهام هستند را برشمرده و با استفاده از مدل «انتخاب مشخصه رگرسیون قدم‌به‌قدم» (SRCS)^۱، مؤثرترین مؤلفه‌ها بر داده‌های مربوط به قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران را شناسایی می‌کند.

ناشناخته بودن عواملی که بر تغییرات قیمت سهام -بازده- تأثیر می‌گذارند، دلیلی برای روی آوردن به پیش‌بینی تغییرات قیمت سهام شرکت‌هاست. پژوهش‌های متعددی در خصوص توان پیش‌بینی بازده سهام با استفاده از اطلاعات گذشته وجود دارد و پژوهشگران نیز تعداد زیادی از متغیرهای مالی را شناسایی کرده‌اند که بازده آتی سهام را پیش‌بینی می‌کنند. در یک تقسیم‌بندی کلی، مدل‌های به کاررفته در پیشینه پژوهش در رابطه با پیش‌بینی قیمت سهام به چهار دسته کلی زیر تقسیم می‌شود:

الف- مدل‌های آماری: مانند تحلیل ممیزی، رگرسیون لجستیک، درخت تصمیم‌گیری و پروبیت. مشکل اصلی که در روش‌های آماری وجود دارد برخی فروض محدود کنند بوده که در دنیای واقعی مفروض نمودن آن‌ها دور از ذهن است، برای مثال در نظر گرفتن فروضی همچون وجود رابطه خطی بین متغیرها و یا برابر بودن کواریانس زوجی در متغیرهای ورودی این روش‌ها را به عنوان فروض محدودکننده نام برد (بک ویتز^۲، ۲۰۰۸، ۶۰۸؛ ادیریسینگ^۳، ۲۰۰۸، ۳۱۵).

ب- روش‌های پژوهش در عملیات: مانند برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی عدد صحیح. در این روش‌ها با تعریف نمودن یک تابع هدف که معمولاً حداقل نمودن سطح ریسک اعتباری بوده و همچنین تعریف کردن یکسری محدودیت، مدل مسئله را تعریف می‌نمایند. سپس با به کارگیری یک الگوریتم بهینه‌ساز کننده در روش‌های پژوهش در عملیات اقدام به حل مسئله مذکور می‌نمایند (کومار^۴، ۲۰۰۷، ۱۲۵؛ چانگ^۵، ۲۰۰۴، ۶۲).

-
- 1 . Stepwise Regression-Correlation Selection
 - 2 . Beckwith
 - 3 . Edirisinghe
 - 4 . Kumar
 - 5 . Chang

ج- روش‌های هوش مصنوعی: شامل الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های عصبی، دستگاه‌های فازی و دستگاه‌های هوشمند شده که برتری این روش‌ها نسبت به روش‌های آماری، نبودن فروض محدودکننده است (چن^۱، ۲۰۰۳، ۴۶۷؛ آفنزلر^۲، ۲۰۰۹، ۲۳۲؛ لی^۳، ۲۰۱۴، ۱۰۹).

د- روش‌های ترکیبی (هیبرید): در این گونه روش‌ها ابتدا با استفاده از یک الگوریتم انتخاب ویژگی، زیرمجموعه‌ای از ویژگی‌ها که باعث بیشترین تأثیر متغیر مستقل بر متغیر وابسته می‌شوند انتخاب شده و به‌عنوان ورودی مدل اصلی در نظر گرفته می‌شوند. سپس مبتنی بر یکی از مدل‌های اصلی پیش‌بینی، روش دیگر برای توسعه و بهبود پیش‌بینی مدل اصلی با آن ترکیب می‌شود. روش به‌کاررفته در این پژوهش نیز از نوع ترکیبی بوده که در آن ابتدا با روش انتخاب ویژگی رگرسیون قدم‌به‌قدم (گام‌به‌گام) (SRCS)، متغیرهای ورودی مدل اصلی که شبکه عصبی بازگشتی (RNN) است شناسایی می‌شود. در ادامه فرآیند توسعه شبکه عصبی بازگشتی به‌وسیله الگوریتم کلونی زنبور عسل (ABC-RNN)، با حداقل محاسبات، راهکار بهینه مسئله را یافته و به‌عنوان یکی از بهترین رویکردهای فراابتکاری، در یک فضای پارامتری، وزن‌ها و خطاهای شبکه عصبی بازگشتی را بهینه می‌کند؛ بنابراین روش‌های ترکیبی حاضر، از آن‌رو که در قسمت‌های مختلف مسئله از چندین روش با قابلیت‌های مختلف بسته به نقاط قوت هر روش استفاده می‌کند، امکان و دقت پیش‌بینی را بعضاً تا چندین برابر افزایش می‌دهند.

این پژوهش درصدد آن است تا باهدف پیش‌بینی بهینه قیمت سهام در بورس تهران، از الگوریتم‌های ترکیبی فراابتکاری بهره‌بردار. برای ارزیابی مدل، از به‌کارگیری معیارهای مختلف برای داده‌های سهام چندین شرکت سرمایه‌گذاری در بورس تهران با استفاده از فن‌های مختلف ارزیابی دقت استفاده شده و نتایج این مدل با چندین مدل مطرح دیگر در حوزه پیش‌بینی قیمت سهام از قبیل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) و چند الگوریتم فراابتکاری دیگر مقایسه و درنهایت، سودآوری حاصل از استراتژی سرمایه‌گذاری برگرفته از مدل طراحی شده در قیاس با سایر مدل‌ها ارزیابی می‌گردد.

با دقت در پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه مشاهده می‌شود که الگوریتم‌های فراابتکاری عملکرد قابل قبولی در پیش‌بینی متغیرهای مالی و اقتصادی داشته و از طرفی پژوهش حاضر برای توسعه مدل شبکه عصبی، از «شبکه عصبی بازگشتی» که یک نمونه دینامیک الگوریتم فراابتکاری

1 . Chen
2 . Affenzeller
3 . Li

محسوب می‌شود، بهره برده و برای بهبود و توسعه فضای پارامتری وزن‌ها و خطاهای شبکه، از الگوریتم کلونی زنبورعسل به‌عنوان رویکرد ترکیبی استفاده شده است. با دقت در پژوهش‌های دیگر، دانش‌افزایی این پژوهش به‌صورت زیر است:

- این پژوهش در بازار سرمایه کشور ایران و بر اساس داده‌های سهام پذیرفته‌شده در بورس تهران انجام شده که یک کشور با اقتصاد در حال توسعه است؛ در حالی که سایر پژوهش‌ها از روش‌های ترکیبی فرا ابتکاری برای پیش‌بینی متغیرهای اقتصادی در کشورهای در حال توسعه (مثل ژاپن، آمریکا، لندن و غیره) بهره برده‌اند؛ بدیهی است کارایی کمتر اطلاعاتی ناشی از محدودیت‌های معاملاتی و ریزساختارهای منحصر به فرد بازار سرمایه ایران از جمله دامنه نوسان و حجم مینا، یکی از خصیصه‌ها و وجوه تمایز بازار سرمایه ایران با کشورهای توسعه یافته است.
- در این پژوهش با استفاده از رگرسیون قدم به قدم، مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر قیمت سهام در بورس تهران معرفی شده است.
- «شبکه‌های عصبی بازگشتی» (RNN) شبکه‌های عصبی با یک حلقه پس‌خور بوده که خاصیت اصلی آن‌ها در قیاس با شبکه عصبی مصنوعی (ANN) این است که رفتار آن‌ها هم به وسیله خودشان و هم به وسیله ورودی‌های خارجی به شبکه تعیین می‌گردد و نسبت به شبکه‌های عصبی مصنوعی، ساختارهای دینامیک را - که از ویژگی‌های بازار سهام است - بهینه‌تر مدل‌سازی می‌کنند. این پژوهش از شبکه عصبی بازگشتی المان استفاده نموده است.
- مؤلفه‌های مؤثر بر قیمت سهام در این پژوهش، متناسب با عوامل بنیادین، فنی، کلان اقتصادی و روان‌شناسی در کشور و در بورس تهران انتخاب و این پژوهش مبتنی بر آن‌ها نگاشته شده است.
- این پژوهش از روش ارزیابی سودآوری (Profit Evaluation) که یک شاخص مالی ناظر بر کارایی مدل‌های پیش‌بینی است، علاوه بر روش‌های مرسوم ارزیابی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی، بهره برده است.

بنابراین مشاهده می‌شود که مدل ترکیبی «شبکه عصبی بازگشتی با الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی» برای بهینه‌سازی فضای تصمیم، یک رویکرد نوین و اثربخش برای مدل‌سازی پیش‌بینی قیمت سهام در بورس تهران خواهد بود. همان‌گونه که حکیمی‌پور و همکاران (۱۳۹۳) اشاره داشته‌اند، در الگوهای سری زمانی، بجای تأکید بر مبانی نظری برای بررسی رفتار متغیرهای

اقتصادی، ماهیت رفتاری متغیرها از درون مشاهدات استنتاج می‌شود و امکان مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی میسر می‌شود؛ لذا این پژوهش یک پیش‌بینی درون نمونه‌ای برای مقایسه چندین روش پیش‌بینی ارائه داده است. در ادامه، پس از مرور مبانی نظری و پیشینه پژوهش، سؤالات و روش‌شناسی پژوهش تبیین شده و پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها، نتایج پژوهش تشریح می‌شود.

مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

در حال حاضر یکی از موضوعات مهم و مورد علاقه سرمایه‌گذاران و تحلیل‌گران مالی، تبیین و تشخیص چگونگی نوسانات و تغییرات قیمت‌هاست که این امر باعث به وجود آمدن راه‌حل‌ها و دیدگاه‌های مختلفی شده است (راعی و دیگران، ۱۳۹۴، ۶۲). با عنایت به عدم دسترسی به اطلاعات دقیق درباره عوامل مؤثر بر قیمت سهام و نوسانات حاصله، پیش‌بینی روند تغییرات قیمت سهام به‌سادگی ممکن نبوده و این مسئله باعث ارائه نظریه گام تصادفی^۱ شد (داموداران، ۱۳۸۷، ۱۸۸)؛ نقطه مقابل این نظریه، وجود قابلیت پیش‌بینی قیمت سهام است که معتقد به وجود الگوهای رفتاری در سری زمانی قیمت‌هاست. در ابتدا تلاش‌هایی برای پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از روش‌های رگرسیون، مدل باکس-جینکینز، همبستگی، هموارسازی نمایی و غیره صورت گرفت که پیچیدگی ذاتی سری زمانی مالی به دلیل غیر ایستا بودن، غیرخطی بودن و نرمال نبودن، فراتر از قابلیت‌ها و توانایی این روش‌هاست (آذر و کریمی، ۱۳۸۸، ۱۹۶)؛ در حال حاضر نیز مدل‌های ترکیبی هوش مصنوعی امکان در نظر گرفتن ابعاد مختلف مؤثر بر قیمت سهام را برای تعیین و پیش‌بینی قیمت سهام فراهم کرده است (شمس، ۱۳۸۷، ۱۵۸).

یکی از مسائل و مشکلات سرمایه‌گذاران در بورس‌هایی مانند بورس ایران انتخاب معیار صحیح در انتخاب انواع سهام است. (جهانخانی و پارسائیان، ۱۳۷۵، ۲۵۵)؛ به عبارت دیگر سرمایه‌گذاران در این شرکت‌ها باید عوامل متعدد اثرگذار بر سهام را ارزیابی نمایند. علیزاده (۱۳۸۸)، طلوعی و حق‌دوست (۱۳۸۷)، منجمی و همکاران (۱۳۸۸)، برادران حسن‌زاده (۱۳۹۴)، پورحیدری (۱۳۸۹)، فلاح‌پور و همکاران (۱۳۹۲)، زارع و همکاران (۱۳۸۹)، قنبری (۱۳۸۹)، فرمان‌آرا و همکاران (۱۳۸۹)، مهرآرا (۱۳۸۸)، قائمی و همکاران (۱۳۸۵)، اکرمی (۱۳۷۴)، احمدپور و همکاران (۱۳۸۸)،

۱. بیان می‌کند با استفاده از اطلاعات در دسترس، امکان پیش‌بینی قیمت سهام وجود ندارد.

بکویت^۱ (۲۰۰۸)، رمزی جیمز^۲ (۱۹۹۸)، حامدیان (۱۳۷۹)، دلبری (۱۳۸۰)، جنانی^۳ و همکاران (۲۰۰۸)، امیری و همکاران (۱۳۸۹)، لی^۴ و همکاران (۲۰۰۸) و ادیرسینگ^۵ و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهش‌های خود به شناسایی مؤلفه‌های مؤثر بر قیمت سهام پرداخته‌اند؛ با توجه به مطالعات صورت گرفته در شناخت و ارزیابی عوامل و مؤلفه‌های مؤثر بر قیمت سهام، این عوامل به‌طور کلی در ۴ گروه اصلی دسته‌بندی می‌شوند: الف- مؤلفه‌های بنیادین شرکت؛ ب- مؤلفه‌های فنی؛ ج- مؤلفه‌های کلان اقتصادی؛ د- مؤلفه‌های روان‌شناسی و رفتاری؛ و در جدول شماره ۱، مؤلفه‌های مؤثر بر قیمت سهام ارائه شده است:

جدول ۱. مؤلفه‌های مؤثر بر قیمت سهام

طبقه	مؤلفه	برگرفته از پژوهش
مؤلفه‌های بنیادین شرکت	سود هر سهم	ادیرسینگ و همکاران (۲۰۰۸)؛ لی و همکاران (۲۰۰۸)، امیری و همکاران (۱۳۸۹)، جنانی و همکاران (۲۰۰۸)، حامدیان (۱۳۷۹)
	نسبت بدهی	ادیرسینگ و همکاران (۲۰۰۸)، جنانی و همکاران (۲۰۰۸)، دلبری (۱۳۸۰)
	سود تقسیمی هر سهم	ادیرسینگ و همکاران (۲۰۰۸)، لی و همکاران (۲۰۰۸)، امیری و همکاران (۱۳۸۹)، حامدیان (۱۳۷۹)
	افزایش سرمایه	حامدیان (۱۳۷۹)، دلبری (۱۳۸۰)، قائمی و همکاران (۱۳۸۵)
	فروش به سرمایه شرکت	امیری و همکاران (۱۳۸۹)، قائمی و همکاران (۱۳۸۵)، برادران حسن زاده (۱۳۹۴)
	قیمت به سود هر سهم	ادیرسینگ و همکاران (۲۰۰۸)، امیری و همکاران (۱۳۸۹)، جنانی و همکاران (۲۰۰۸)، منجمی و همکاران (۱۳۸۸)
	نسبت ارزش دفتری به قیمت بازار	امیری و همکاران (۱۳۸۹)، ادیرسینگ و همکاران (۲۰۰۸)
	نسبت فروش به قیمت هر سهم	احمدپور و همکاران (۱۳۸۸)، قائمی و همکاران (۱۳۸۵)، برادران حسن زاده (۱۳۹۴)
مؤلفه‌های تکنیکال	قیمت پایانی	دلبری (۱۳۸۰)، منجمی و همکاران (۱۳۸۸)، طلوعی و حق دوست (۱۳۸۷)
	پایین‌ترین قیمت	منجمی و همکاران (۱۳۸۸)، طلوعی و حق دوست (۱۳۸۷)
	بالترین قیمت	منجمی و همکاران (۱۳۸۸)، طلوعی و حق دوست (۱۳۸۷)

- 1 . Beckwith
- 2 . Ramsey. James
- 3 . Janani
- 4 . Lee
- 5 . Edirisinghe

ارزش معامله	طلوعی و حق دوست (۱۳۸۷)، ...
آخرین قیمت	فلاح پور و همکاران (۱۳۹۲)
قیمت پایانی روز قبل	منجمی و همکاران (۱۳۸۸)، طلوعی و حق دوست (۱۳۸۷)
شاخص کل	منجمی و همکاران (۱۳۸۸)، زارع و کردلوئی (۱۳۸۹)
شاخص صنعت شاخص واسطه‌گری‌های مالی	فلاح پور و همکاران (۱۳۹۲)، زارع و کردلوئی (۱۳۸۹)
شاخص بازده نقدی	زارع و کردلوئی (۱۳۸۹)
شاخص شناور	زارع و کردلوئی (۱۳۸۹)
شاخص ۵۰ شرکت برتر	زارع و کردلوئی (۱۳۸۹)
قدرت نسبی	زی و همکاران (۲۰۱۱)، علیزاده و همکاران (۱۳۸۸)، فلاح پور و همکاران (۱۳۹۲)
میانگین متحرک همگرایی واگرایی	زی و همکاران (۲۰۱۱)، علیزاده و همکاران (۱۳۸۸)، فلاح پور و همکاران (۱۳۹۲)
میانگین متحرک	فلاح پور و همکاران (۱۳۹۲)، دلبری (۱۳۸۰)، منجمی و همکاران (۱۳۸۸)، علیزاده و همکاران (۱۳۸۸)، زی و همکاران (۲۰۱۱)
میانگین متحرک نمایی ۲۶ روزه	زی و همکاران (۲۰۱۱)، فلاح پور و همکاران (۱۳۹۲)، دلبری (۱۳۸۰)، علیزاده و همکاران (۱۳۸۸)
شاخص تقاضا	زی و همکاران (۲۰۱۱)، فلاح پور و همکاران (۱۳۹۲)
نماگر تصادفی σ^2/K	زی و همکاران (۲۰۱۱)، فلاح پور و همکاران (۱۳۹۲)
نرخ ارز	مهرآرا و همکاران (۱۳۸۸)، منجمی و همکاران (۱۳۸۸)، قنبری (۱۳۸۹)
قیمت نفت جهانی	براردان حسن زاده (۱۳۹۴)، مهرآرا و همکاران (۱۳۸۸)، منجمی و همکاران (۱۳۸۸)، قنبری (۱۳۸۹)
قیمت هر اونس طلا	مهرآرا و همکاران (۱۳۸۸)، منجمی و همکاران (۱۳۸۸)، قنبری (۱۳۸۹)
حجم پول	قنبری (۱۳۸۹)، مهرآرا و همکاران (۱۳۸۸)
رشد شاخص بهای مصرف کننده	فرمان‌آرا و همکاران (۱۳۸۹)، قنبری (۱۳۸۹)، مهرآرا و همکاران (۱۳۸۸)
نرخ بیکاری	قنبری (۱۳۸۹)، مهرآرا و همکاران (۱۳۸۸)
متوسط نرخ تورم	منجمی و همکاران (۱۳۸۸)، مهرآرا و همکاران (۱۳۸۸)
نرخ بهره	مهرآرا و همکاران (۱۳۸۸)، پورحیدری (۱۳۸۹)، قنبری (۱۳۸۹)
میزان تولید ناخالص داخلی	براردان حسن زاده (۱۳۹۴)، مهرآرا و همکاران (۱۳۸۸)، فرمان‌آرا و همکاران (۱۳۸۹)
دفعات معاملات	احمدپور و همکاران (۱۳۸۸)، منجمی و همکاران (۱۳۸۸)، طلوعی و حق دوست (۱۳۸۷)
حجم معاملات	دلبری (۱۳۸۰)، احمدپور و همکاران (۱۳۸۸)، منجمی و همکاران (۱۳۸۸)، طلوعی و حق دوست (۱۳۸۷)
تعداد نقرات معاملات	منجمی و همکاران (۱۳۸۸)، طلوعی و حق دوست (۱۳۸۷)

مؤلفه‌های کلان اقتصادی

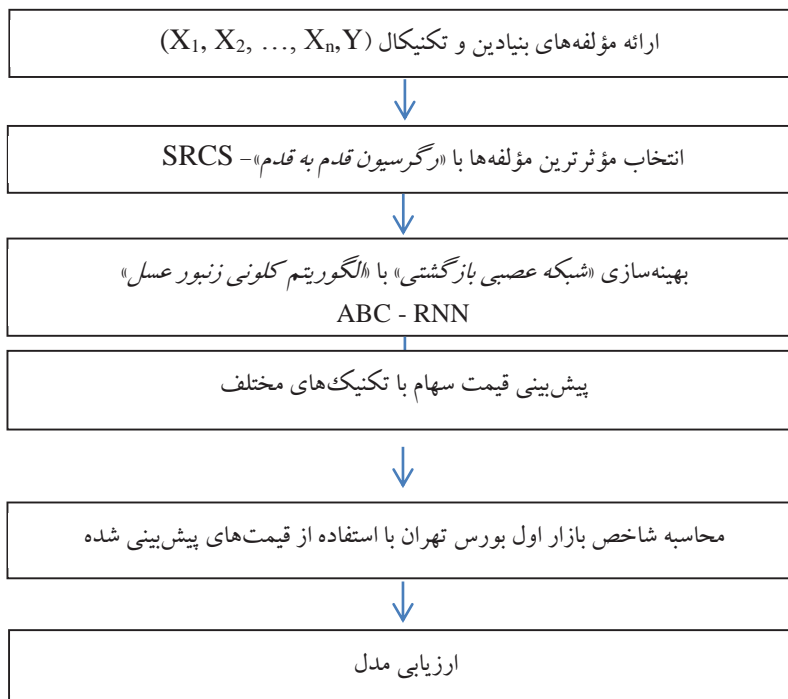
مؤلفه‌های روان‌شناسی و رفتاری

با توجه به مؤلفه‌های تصریح شده در پژوهش‌های قبلی، برخی از مؤلفه‌ها داده‌های سالانه دارند و در طول سال تغییر نمی‌کنند، درحالی‌که سایر متغیرها به صورت روزانه تغییر می‌کنند و بنابراین در راستای لزوم همسان‌سازی متغیرها و بر اساس دوره پیش‌بینی پژوهش -روزانه، متغیرهای زیر در نهایت به عنوان ورودی مدل رگرسیون قدم‌به‌قدم تعیین می‌گردد:

- مؤلفه‌های بنیادین و فنی: قیمت پایانی، پایین‌ترین و بالاترین قیمت، ارزش معامله، آخرین قیمت، شاخص کل، شاخص صنعت، شاخص واسطه‌گری مالی، شاخص بازده نقدی، شاخص شناور، شاخص ۵۰ شرکت برتر، قدرت نسبی ۱۴ روزه، میانگین متحرک همگرایی-واگرایی ۲۶ روزه، میانگین متحرک ۲۰ روزه، میانگین متحرک نمایی ۲۶ روزه، شاخص تقاضا، نماگر تصادفی K ٪

- مؤلفه‌های کلان: نرخ ارز، قیمت جهانی نفت، قیمت هر اونس طلا

- مؤلفه‌های روان‌شناسی و رفتاری: دفعات معاملات، حجم معاملات، تعداد نفرات معاملات
بر این اساس، مراحل انجام این پژوهش به صورت زیر خواهد بود:



شکل ۱. فرآیند عملیاتی انجام پژوهش (منبع: یافته‌های پژوهش و زی و همکاران (۲۰۱۱))

پیشینه این پژوهش در دو بخش ارائه شده است:

الف) مطالعات شبکه عصبی مصنوعی و بازگشتی

اخیراً تعدادی از پژوهشگران در مطالعات خود بازار سهام را به عنوان یک سیستم پویای غیرخطی در نظر گرفته‌اند. در پی پیشرفت‌هایی که در زمینه رایانه و هوش مصنوعی^۱ و همچنین، کشف روابط آشوبی در سری‌های زمانی غیرخطی پدید آمد، فعالیت‌هایی در جهت پیش‌بینی قیمت در بورس اوراق بهادار در کشورهای مختلف انجام شد. فن‌های هوش مصنوعی که شامل شبکه‌های عصبی^۲، الگوریتم ژنتیک^۳ و منطق فازی^۴ است، نتایج موفقیت‌آمیزی در زمینه حل مسائل پیچیده به دست آورده است. ییم^۵ (۲۰۰۲) پژوهشی جهت مقایسه روش‌های پیش‌بینی شبکه عصبی و روش‌های پیش‌بینی کلاسیک GARCH و ARMA انجام داده است؛ معیارهای ارزیابی MSE و R^2 می‌باشند. نتایج نشان‌دهنده برتری شبکه‌های عصبی نسبت به نمونه‌های GARCH و ARMA است. ژانگ^۶ (۲۰۰۳) در پژوهشی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی سعی در پیش‌بینی قیمت پایانی روز آینده سهام داشته است. در این مطالعه سه پرتفوی متفاوت برای مقایسه بین آن‌ها تشکیل شده است. در پرتفوی اول، از پیش‌بینی قضاوتی و در پرتفوی دوم، از شبکه عصبی برای پیش‌بینی استفاده شد و در پرتفوی سوم، از مدل CAPM بهینه‌شده توسط شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. نتایج پژوهش وی نشان داد پرتفوی سوم که بر اساس مدل CAPM بهینه‌شده توسط شبکه عصبی مصنوعی بود، بازدهی بیشتری از دو پرتفوی دیگر به دست آورده است. کانو^۷ و همکارانش (۲۰۱۴) در پژوهشی به مقایسه بین روش‌های خطی فاما و فرنچ و CAPM و روش‌های غیرخطی شبکه عصبی پرداختند. آن‌ها معتقد بودند که در کشورهای در حال توسعه عواملی متفاوت از مؤلفه‌های موجود در کشورهای توسعه‌یافته، بر بازده سهام تأثیر می‌گذارد. این مطالعه بر روی ۳۶۷ شرکت پذیرفته‌شده در بورس شانگهای بین سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۳ صورت پذیرفت. نتایج نشان می‌دهد که در بین مدل خطی فاما و فرنچ و مدل CAPM، مدل CAPM توانایی بالاتری را در پیش‌بینی بازده سهام دارا است. پارایی و سالمی (۱۳۹۵) در پژوهشی با عنوان «پیش‌بینی قیمت

-
- 1 . Artificial Intelligence
 - 2 . Neural Network
 - 3 . Genetic Algorithm
 - 4 . Fuzzy Logic
 - 5 . Yim
 - 6 . Zhang
 - 7 . Cao

سهام با داده‌های ترکیبی به روش الگوریتم کلونی زنبورعسل^۱، به معرفی روش ترکیبی کلونی زنبورعسل با داده‌های ترکیبی به‌عنوان یک روش انتخاب و ویژگی جهت افزایش دقت و سرعت در اجرای فن پیش‌بینی پرداخته و مدل ترکیبی شبکه عصبی با الگوریتم کلونی زنبور را معرفی نموده‌اند. سرافراز و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهش خود با عنوان «پیش‌بینی قیمت سهام با شاخص‌های بازاری هیبریدی (ترکیبی) با استفاده از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی» به پیش‌بینی قیمت سهام شرکت‌های صنعت فولاد پرداخته و با مدل ترکیبی خود به نتایج قابل قبولی دست یافته‌اند. مقدم و همکاران (۲۰۱۶) در مقاله خود با عنوان «پیش‌بینی قیمت سهام با شبکه عصبی مصنوعی در بورس نزدیک»، با استفاده از داده‌های روزانه و هفتگی، به پیش‌بینی شاخص بورس نزدیک آمریکا در دو بازه ۴ روزه و ۹ روزه پرداخته و تفاوت بااهمیتی مشاهده نکرده‌اند. هو^۱ و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود با عنوان «پیش‌بینی جهت بازار سهام با استفاده از شبکه عصبی بهینه‌شده با گوگل ترند^۲» ضمن به‌کارگیری داده‌های گوگل ترند، به این نتیجه رسیده‌اند که داده‌های گوگل ترند در شبکه عصبی، پیش‌بینی جهت حرکت قیمت سهام را بهینه می‌کند. زارعی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهش خود با عنوان «مقایسه روش‌های شبکه عصبی فازی با شبکه عصبی موجک فازی در پیش‌بینی قیمت سهام بانک‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران»، از سیستم منطق فازی به همراه سیستم شبکه عصبی چندلایه با ساختار بهینه‌سازی پس انتشار خطا و ماکزیمم همپوشانی تبدیل موجک گسسته برای متغیرهای نرخ ارز، نفت اوپک، طلا، شاخص کل سهام و همچنین حجم معاملات برای پیش‌بینی قیمت سهام استفاده کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که شبکه عصبی موجک فازی با قابلیت اطمینان بالاتری نسبت به شبکه عصبی فازی عمل می‌کند.

ب) مطالعات الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی

«هوش دسته‌جمعی»^۳ زیرشاخه‌ای از هوش مصنوعی است که بر پایه رفتارهای جمعی دستگاه‌های غیرمترکز و خود‌انظام بنا شده است. «الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی» مبتنی بر الگوریتم اکتشافی بوده که اولین بار در سال ۲۰۰۵ توسط کارابوگا^۴ مطرح شد و در بهینه‌سازی توابع چند متغیره توسعه یافت. یانگ^۵ (۲۰۰۵)، فم^۶

-
- 1 . Hu
 - 2 . Google Trend
 - 3 . Swarm Intelligence
 - 4 . Karaboga
 - 5 . Yang
 - 6 . Pham

(۲۰۰۶)، کارابوگا و باسترک^۱ (۲۰۰۷) و کارابوگا و آکای^۲ (۲۰۰۹)، نشان دادند که کارایی الگوریتم زنبور عسل نسبت به سایر الگوریتم‌های هوش دسته‌جمعی از جمله الگوریتم ژنتیک، الگوریتم اجتماع ذرات و الگوریتم مورچگان، بالاتر است. شاه^۳ و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود با عنوان «استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی برای پیش‌بینی قیمت سهام» از الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی برای آموزش شبکه عصبی پیش‌خور برای پیش‌بینی روند قیمت سهام در بازار بورس عربستان بهره برده و به این نتیجه رسیده‌اند که مدل ترکیبی بهینه‌شده با الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی نسبت به سایر روش‌های مرسوم، قیمت سهام را با خطای کمتری پیش‌بینی می‌کند. ژنگ^۴ و همکاران (۲۰۱۹) در مقاله خود با عنوان «پیش‌بینی فازی مبتنی بر ترکیب خطی متغیرهای مستقل، الگوریتم خوشه کاهنده و الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی» روش ترکیبی را برای پیش‌بینی ابداع کردند که از الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی برای یافتن شعاع بهینه الگوریتم خوشه کاهنده استفاده کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که دقت پیش‌بینی شاخص هم‌وزن بورس اوراق بهادار تایوان در مدل ترکیبی بیشتر از مدل‌های قبلی است.

سؤالات پژوهش

سؤالاتی که این پژوهش در صدد پاسخ بدان‌ها نگاشته شده عبارت‌اند از:

- الف- چه مؤلفه‌های بنیادین و فنی بیشترین تأثیر را بر قیمت سهام در بورس تهران می‌گذارد؟
- ب- آیا پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از شبکه عصبی بازگشتی مبتنی بر الگوریتم کلونی زنبور عسل (ABC-RNN)، امکان‌پذیر است؟
- ج- آیا مدل ترکیبی شبکه عصبی بازگشتی مبتنی بر الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی در پیش‌بینی قیمت سهام بورس تهران، بهتر از مدل شبکه عصبی بازگشتی عمل می‌کند؟

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از حیث هدف، جزء پژوهش‌های کاربردی محسوب می‌شود؛ همچنین از حیث نحوه گردآوری داده‌ها (طرح پژوهش) در زمره پژوهش‌های توصیفی (غیرآزمایشی) بوده و طرح پژوهش مورد استفاده در این پژوهش از نوع پس‌رویدادی است. این پژوهش با استفاده از داده‌های

1 . Karaboga & Basturk
2 . Karaboga & Akay
3 . Shah
4 . Zeng

مربوط به سهام پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران صورت گرفته و جامعه پژوهش، «بورس اوراق بهادار تهران» است. برای انتخاب نمونه پژوهش، با توجه به اینکه در بازار اول تابلوی اصلی بورس تهران، شرکت‌هایی پذیرفته می‌شوند که حداکثر سهام شناور آزاد را داشته و بازار در تعیین قیمت آن‌ها، حداکثر کار آیی را خواهد داشت، بنابراین شرکت‌هایی که در طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴، در بازار اول تابلوی اصلی بورس تهران مورد معامله قرار گرفته^۱ - به استثناء شرکت‌های گروه «سرمایه‌گذاری‌ها»^۲ - انتخاب شده‌اند. بدیهی است برای قابلیت استنتاج از قیمت‌های پیش‌بینی شده و تطبیق آن‌ها با واقعیت، قیمت‌های پیش‌بینی شده سهام نمونه پژوهش، در فرمول شاخص اعمال شده و با شاخص واقعی مقایسه گردیده است. متغیرهای مستقل پژوهش عبارت‌اند از مؤلفه‌های تعیین‌کننده قیمت سهام - خروجی مدل رگرسیون همبستگی قدم‌به‌قدم - و متغیر وابسته پژوهش قیمت سهام در جلسه معاملاتی بعد است. داده‌های متناظر با تمامی ۱۰۰ سهمی که به‌عنوان سهام مورد بررسی انتخاب شده‌اند، برای مؤلفه‌های مذکور استخراج می‌گردد؛ بنابراین تعداد داده‌های نهایی عبارت است از:

$$(n \text{ تعداد مؤلفه‌های مؤثر}) * (100 \text{ سهم}) * (250 \text{ روز کاری در یک سال}) * (4 \text{ سال})$$

در این پژوهش داده‌های متناظر با مؤلفه‌های ورودی مدل، از نرم‌افزار ره‌آورد نوین و سایر بانک‌های اطلاعاتی از جمله بانک اطلاعات سری‌های زمانی اقتصادی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران و وب‌سایت رسمی وزارت صنعت، معدن و تجارت استخراج شده و در گام بعدی، مهم‌ترین مؤلفه‌های تعیین‌کننده قیمت سهام با روش رگرسیون قدم‌به‌قدم و از طریق نرم‌افزار SPSS شناسایی شده و در نهایت الگوریتم فرا-ابتکاری کلونی زنبور عسل، با مدل شبکه عصبی ترکیب شده و مدل نهایی ارائه می‌گردد و از نرم‌افزار Matlab، جهت طراحی مدل ترکیبی فرا ابتکاری استفاده می‌گردد. با عنایت به استفاده از داده‌های روزانه در بخش متغیرهای ورودی مدل، قیمت‌ها برای دوره یک‌روزه آتی (جلسه معاملاتی بعد) پیش‌بینی شده است.

۱. بر اساس ضریب هرست، ضریب کفایت داده‌ها برای طول داده‌های دوره مورد بررسی معادل ۰,۹ محاسبه شده است. توضیح آنکه ضریب هرست (Hurst Coefficient) یک آماره برای سنجش کفایت اطلاعات به لحاظ طول دوره آماری است. اگر این ضریب بالاتر از ۰,۵ باشد به معنای اینست که سری زمانی با لحاظ انحراف معیار و تعداد داده‌ها و دامنه آنها، کفایت بررسی را دارند (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۹، ۱۱۲).
۲. علت جدا نمودن شرکت‌های گروه سرمایه‌گذاری‌ها، وجود دارایی‌های غیر بورسی و امکان تغییر ترکیب پرتفوی آنها بر اساس تصمیمات داخلی است که اعتبار داده‌های قیمت سهام آنها را مخدوش می‌کند.

تبیین الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی

کلونی زنبورعسل مصنوعی^۱ (ABC) یک الگوریتم فرا ابتکاری^۲ مبتنی بر زندگی اجتماعی زنبورعسل است که در سال ۲۰۰۵ توسط کارابوگا^۳ جهت بهینه‌سازی مسائل عددی معرفی گردید (کارابوگا، ۲۰۰۵، ۱۷۲). الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی شامل سه مولفه اساسی است:

- زنبورهای کارگر
 - زنبورهای غیر کارگر
 - منابع غذایی
- در این مدل دو روش هدایت‌گر رفتار وجود دارد که شامل به خدمت گرفتن زنبور جدید کاوشگر برای منابع غذایی غنی، با دریافت بازخورد مثبت و ترک منابع غذایی ضعیف توسط زنبورها با دریافت بازخور منفی، است. در الگوریتم زنبور مصنوعی، کلونی شامل سه گروه از زنبورها است که عبارت‌اند از (کارابوگا و آکای^۴، ۲۰۰۹، ۱۰۸):
- زنبوران کارگر^۵ مرتبط به منابع غذایی مشخص
 - زنبوران ناظر^۶ که بر انتخاب منابع غذایی نظاره می‌کنند.
 - زنبوران پیشاهنگ^۷ که به صورت تصادفی به دنبال منابع غذایی می‌گردند.
- زنبوران ناظر و پیش‌آهنگ هر دو زنبورهای غیر کارگر نامیده می‌شوند. ابتدا مکان تمامی منابع غذایی توسط زنبوران پیش‌آهنگ کشف می‌گردد، سپس شاهد منابع غذایی توسط زنبوران کارگر و ناظر استخراج می‌گردد. این بهره‌برداری پیوسته منجر به تهی شدن آن منبع می‌گردد. بعد از آن، زنبوران کارگر به زنبوران پیشاهنگی تبدیل می‌گردند تا دوباره به جستجوی منابع غذایی بیشتری پردازند. در کلونی زنبور مصنوعی، موقعیت منبع غذایی یک جواب ممکن برای مسئله بهینه‌سازی است و میزان شاهد منبع غذایی متناظر با برازش جواب مربوطه است. تعداد زنبورهای کارگر یا زنبورهای ناظر مساوی با تعداد راه‌حل‌های جمعیت است، از این رو هر زنبور فقط و فقط با یک منبع غذایی در ارتباط است.

1 . Artificial Bee Colony
2 . Meta-Heuristic
3 . Karaboga
4 . Karaboga & Akay
5 . Employee
6 . Onlooker
7 . Scout

در گام اول، الگوریتم یک جمعیت تصادفی توزیع شده اولیه از SN جواب (مکان‌های منبع غذا) ایجاد می‌کند، SN تعداد زنبورهای کارگر یا ناظر است. هر جواب X_i یک بردار D بعدی است. در اینجا D تعداد پارامترهای بهینه‌سازی است. در الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی، هر دور تکرار اصلی شامل سه گام اصلی است (کارابوگا و آکای، ۲۰۰۹: ۱۲۲-۱۳۲):

در ابتدا زنبورهای کارگر به سمت منابع غذایی ارسال می‌شوند و میزان شهد منابع ارزیابی می‌گردد. بعد از به اشتراک گذاشتن اطلاعات منابع غذایی، انتخاب نواحی منابع غذایی توسط ناظرها انجام می‌شود و میزان شهد منابع غذایی جدید استخراج گردیده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد؛ سپس زنبورهای پیش‌آهنگ مشخص می‌گردند و به صورت تصادفی به سمت منابع غذایی احتمالی ارسال می‌گردند. این گام‌ها به تعداد معینی تکرار می‌گردند که این تعداد بیشترین تعداد تکرار (MCN) نامیده می‌شود. زنبور ناظر مصنوعی، یک منبع غذایی را با توجه به مقدار احتمال (P_i) مربوط به آن منبع غذایی انتخاب می‌کند. این احتمال توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$P_i = \frac{Fitness(S_i)}{\sum_{n=1}^{SN} Fitness(S_n)}$$

در این رابطه $Fitness(S_i)$ مقدار شایستگی جواب S_i است که متناظر با میزان شهد منبع غذایی در مکان i ام است و S_n تعداد منابع غذایی است که مساوی با تعداد زنبورهای کارگر یا ناظر است. به منظور ایجاد موقعیت غذای جدید، با توجه به موقعیتی که در حافظه است، کلونی زنبور مصنوعی از عبارت زیر استفاده می‌کند:

$$v_{ij} = (X_{ij} - X_{kj})\phi_{ij} + X_{ij}$$

در رابطه فوق:

$k \in \{1, 2, \dots, SN\}$ و $j \in \{1, 2, \dots, D\}$ شاخص‌هایی هستند که به صورت تصادفی انتخاب می‌گردند؛ گرچه k به صورت تصادفی انتخاب می‌گردد، لیکن مقدار آن با i فرق دارد. ϕ_{ij} یک عدد تصادفی بین منفی یک و مثبت یک است و پارامتری هست که تولید منابع غذایی همسایه حول X_{ij} را کنترل می‌کند. از این رابطه متوجه می‌شویم که زمانی که تفاوت بین X_{ij} و X_{kj} کاهش یابد، به معنی کاهش انحراف از موقعیت نقطه اول است. بنابراین زمانی که

جستجو به جواب بهینه نزدیک می‌گردد، طول گام‌ها نیز کاهش می‌یابد. اگر مقدار پارامتری از حد مجاز تجاوز کند، با مقدار قابل قبول تنظیم می‌گردد. در این فن، زنبور پیش‌آهنگ منبع غذایی جدید را می‌تواند با استفاده از رابطه زیر پیدا کند:

$$X_i^j = X_j^{min} + rand[0,1](X_{max}^j - X_{min}^j)$$

بعد از اینکه مکان منبع کاندید یعنی v_{ij} ایجاد شد و توسط زنبور مصنوعی ارزیابی گردید، کارایی آن نسبت به مکان قبلی ارزیابی شده و اگر غذای جدید شهد بیشتر یا به همان اندازه مکان قبلی داشته باشد، جایگزین قبلی در حافظه می‌گردد؛ در غیر این صورت قبلی در حافظه می‌ماند. به بیان دیگر یک انتخاب حریصانه^۱ در عملیات میان مکان قبلی و مکان جدید انجام می‌پذیرد (کارابوگا و باستورک^۲، ۲۰۱۱: ۶۲۵-۶۳۰).

تجزیه و تحلیل داده‌ها و تفسیر نتایج

با اجرای مدل رگرسیون قدم‌به‌قدم، در نهایت ۹ گام جهت شناسایی مؤثرترین مؤلفه‌های تبیین‌کننده تغییرات قیمت سهام در بورس تهران در مدل انجام گردید. جدول ۲ که خلاصه مدل است، شدت رابطه بین مدل و متغیر وابسته را گزارش می‌نماید. R ، یعنی ضریب همبستگی چندگانه، همبستگی خطی بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده متغیر وابسته است و مقادیر بزرگ آن یک رابطه قوی را نشان می‌دهد. R 'square یا «مجذور ضریب همبستگی چندگانه» یا «ضریب تعیین»، مقدار مربع ضریب همبستگی چندگانه است که میزان تبیین رفتار متغیر وابسته توسط متغیرهای توضیحی را بیان می‌دارد (فرشادفر، ۱۳۸۰، ۴۳۰-۴۳۵). همان‌طور که جدول فوق نشان می‌دهد، در این رگرسیون از روش قدم‌به‌قدم استفاده شده است و در ۹ گام نتایج پیگیری شده است. در گام اول متغیر «قیمت پایانی روز قبل» وارد شده و در گام دوم «تعداد معاملات روز قبل» در معادله پیش‌بینی وارد شده است و سایر مؤلفه‌ها به دلیل اینکه رابطه‌ای کم و یا ضعیف با قیمت سهام داشته‌اند از معادله حذف شده‌اند. نتایج اجرای رگرسیون قدم‌به‌قدم در جدول زیر آمده است:

1 . Greedy

2 . Karaboga & Ozturk

جدول ۲. خلاصه مدل رگرسیون قدم‌به‌قدم همراه ضرایب رگرسیون همبستگی چندگانه
(منبع: یافته‌های پژوهش)

خطای استاندارد برآورد (Std. Error of Estimate)	مجدور ضریب همبستگی چندگانه تعدیل شده (Adj. R ²)	مجدور ضریب همبستگی چندگانه (R ²)	ضریب همبستگی چندگانه (R)	مؤلفه مؤثر بر قیمت سهام	الگو	گام
۱۳۵,۰۳	۰,۷۵۶	۰,۷۶۶	۰,۸۷۵	Pre_Close		۱
۱۳۳,۱۳	۰,۷۸۲	۰,۷۹۰	۰,۸۸۹	Pre_Close, Pre_Count		۲
۱۳۰,۴۷	۰,۷۹۰	۰,۷۹۶	۰,۸۹۲	Pre_Close, Pre_Count, Demand_Index		۳
۱۳۰,۴۷	۰,۷۹۰	۰,۸۵۶	۰,۹۲۵	Pre_Close, Pre_Count, Demand_Index Moving_Average		۴
۱۲۸,۹۲	۰,۸۵۶	۰,۸۶۹	۰,۹۳۲	Pre_Close, Pre_Count, Demand_Index Moving_Average, RSI_9		۵
۱۲۸,۵۹	۰,۹۲۲	۰,۹۳۷	۰,۹۳۲	Pre_Close, Pre_Count, Demand_Index Moving_Average, RSI_9, EMA_26		۶
۱۲۸,۲۶	۰,۹۴۶	۰,۹۶۶	۰,۹۶۸	Pre_Close, Pre_Count, Demand_Index Moving_Average, RSI_9, EMA_26, Sanaat		۷
۱۲۷,۹۳	۰,۹۶۰	۰,۹۹۰	۰,۹۸۳	Pre_Close, Pre_Count, Demand_Index Moving_Average, RSI_9, EMA_26, Sanaat, Currency		۸
۱۲۵,۵	۰,۹۶۱	۰,۹۹۲	۰,۹۹۶	Pre_Close, Pre_Count, Demand_Index Moving_Average, RSI_9, EMA_26, Sanaat, Currency, Bartar_50		۹

قدم‌به‌قدم

بنابراین مؤلفه‌های جدول ۳ بیشترین امکان را برای پیش‌بینی قیمت سهام در بورس تهران فراهم کرده و می‌توانند به‌عنوان ورودی‌های شبکه عصبی بازگشتی قرار گیرند.^۱

جدول ۳. مؤلفه‌های تعیین‌کننده قیمت سهام (منبع: یافته‌های پژوهش)

ID	مؤلفه مؤثر بر قیمت سهام در بورس تهران	نماد
۱	قیمت پایانی روز گذشته	Pre_Close
۲	تعداد معاملات در روز گذشته	Pre_Count
۳	شاخص تقاضا ^۲	Demand Index (DI)
۴	میانگین متحرک ۲۰ روزه ^۳	Moving Average (MA)
۵	قدرت نسبی ۱۴ روزه ^۴	RSI_9
۶	میانگین متحرک نمایی ۲۶ روزه	Exponential Moving Average (EMA)
۷	شاخص صنعت	Sanaat
۸	نرخ ارز	Currency
۹	شاخص ۵۰ شرکت برتر	Bartar_50

۱. پس از اجرای آزمون هم خطی، متغیرهای شاخص کل (TEDPIX)، شاخص شناور آزاد (Shenavar)، کمترین قیمت روز قبل (Pre_min)، بیشترین قیمت روز قبل (Pre_max) و میانگین متحرک همگرایی واگرایی (MACD) دچار هم خطی بوده که با عنایت به اینکه هیچ یک از این متغیرها در رگرسیون همبستگی قدم به قدم، جزء متغیرهای تأثیرگذار نبوده است، خروجی مدل رگرسیون همگی متغیرهای معنی‌دار هستند.
۲. شاخص تقاضا (Demand Index) یکی از اندیکاتورهای حجم معاملات است که نسبت بین فشار خرید به فشار فروش است. هنگامی که فشار خرید بیشتر از فشار فروش باشد اندیکاتور تقاضا بالاتر از خط صفر خواهد بود و نشان دهنده این مطلب است که قیمت افزایش خواهد یافت و بالعکس (مورفی، ۱۳۹۷، ۲۴۳).
۳. میانگین متحرک (Moving Average) با حذف نوسانات قیمتی کمک می‌کند، تا سرمایه‌گذار بتواند تصویر بهتری از متوسط قیمت و روند قیمتی را ترسیم کند (مورفی، ۱۳۹۷، ۱۷۷).
۴. شاخص قدرت نسبی (Relative Strength Index) تمثیل انرژی درونی سهم برای حرکت به سمت بالاست، یا اینکه به دلیل فقدان انرژی لازم افت خواهد کرد (مورفی، ۱۳۹۷، ۲۲۳).

اجرای شبکه عصبی بازگشتی

داده‌های متناظر با مؤلفه‌های فوق به صورت سری زمانی طی دوره ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ به صورت روزانه به عنوان ورودی‌های مدل شبکه عصبی بازگشتی (RNN) در نظر گرفته شده است. هر کدام از شرکت‌ها به طور متوسط شامل (۹×۱,۰۰۰) داده هستند که ۶۰٪ از آن‌ها (سال‌های ۱۳۹۰، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲) به عنوان داده‌های آموزش (Train) و مابقی داده‌ها (سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴)، داده‌های آزمایشی (Test) در نظر گرفته شده‌اند.

تابع محرک یا فعال‌ساز، ارتباط بین ورودی و خروجی یک گره و یک شبکه را مشخص می‌نماید. این توابع درجه‌ای از غیرخطی بودن را به شبکه تزریق می‌نمایند که برای اکثر کاربردهای شبکه‌های عصبی ارزشمند و مهم است. بهترین تابع بررسی شده برای لایه میانی در این تحقیق، تابع سیگموئیدی است در جدول زیر، نگاشت کلی مدل شبکه عصبی بازگشتی المان بکار برده شده در این پژوهش ترسیم شده است:

جدول ۴: نگاشت شبکه عصبی بازگشتی المان در این پژوهش، لایه‌های مختلف و توابع محرک

تنظیمات شبکه عصبی بازگشتی (RNN)	
۱۲ (از طریق آزمون و خطا)	Hidden Layer
۱ (شاخص بازار اول)	Output Layer
۹ (قیمت پایانی روز قبل: تعداد معاملات روز قبل: شاخص تقاضا: میانگین متحرک: قدرت نسبی: میانگین متحرک نمایی ۲۶ روزه: شاخص صنعت: نرخ ارز: شاخص ۵۰ شرکت برتر)	Input Layer
توابع تبدیل (Transformation function)	
Sigmoid-function	نرون‌های ورودی به نرون‌های مخفی
Linear-function	نرون‌های مخفی به نرون‌های مخفی
Linear-function	نرون‌های مخفی به نرون‌های خروجی

بهینه‌سازی شبکه عصبی با استفاده از الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی

پس از انتخاب مؤلفه‌های تعیین کننده قیمت سهام، با استفاده از الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی (ABC)، شبکه عصبی بازگشتی را آموزش داده و وزن‌ها و خطاهای شبکه را با فرآیندی که در شکل‌های ذیل آمده است بهینه می‌کنیم:

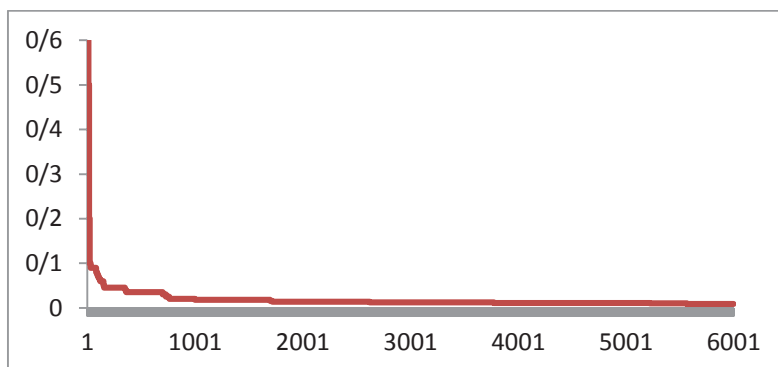
با توجه به طول سری‌های زمانی ورودی مدل، پارامترهای الگوریتم کلونی زنبورعسل بر اساس اندازه کلونی (تعداد منابع غذایی و زنبورهای کارگر) ۲۰۰، تعداد پاسخ ۱۰۰، حداکثر تعداد ۶،۰۰۰ تکرار و در محدوده پارامتر ۰٫۵- تا ۰٫۵ در نظر گرفته شده است؛ پارامترهای الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی در جدول زیر ذکر شده است:

جدول ۵. تنظیمات پارامترهای الگوریتم کلونی زنبورعسل (ABC) (منبع: زی و همکاران

(۲۰۱۱) به همراه مفروضات پژوهش)

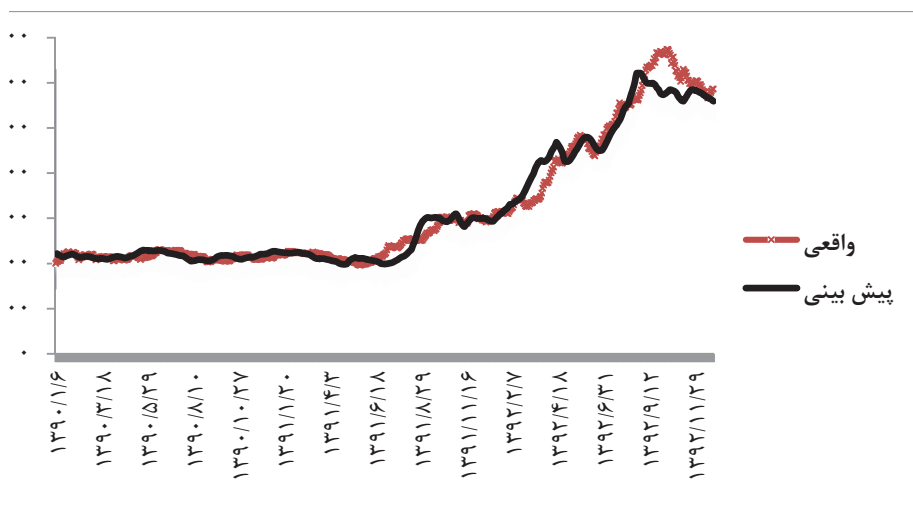
پارامترهای الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی	
اندازه کلونی (Colony Size)	۲۰۰
تعداد پاسخ (SN)	۱۰۰
حداکثر تعداد تکرار (MCN)	۶،۰۰۰
محدوده پارامتر (Parameter Rsnge)	[۰٫۵، -۰٫۵]
حد (Limit)	تعداد پاسخ * تعداد پارامترهای بهینه‌ساز (SN*D)

با استفاده از نرم‌افزار متلب، با تکرار ۶،۰۰۰ مرتبه بهینه‌سازی، فرآیند کاهش خطا در مرحله آموزش در قالب نمودار زیر آمده است:



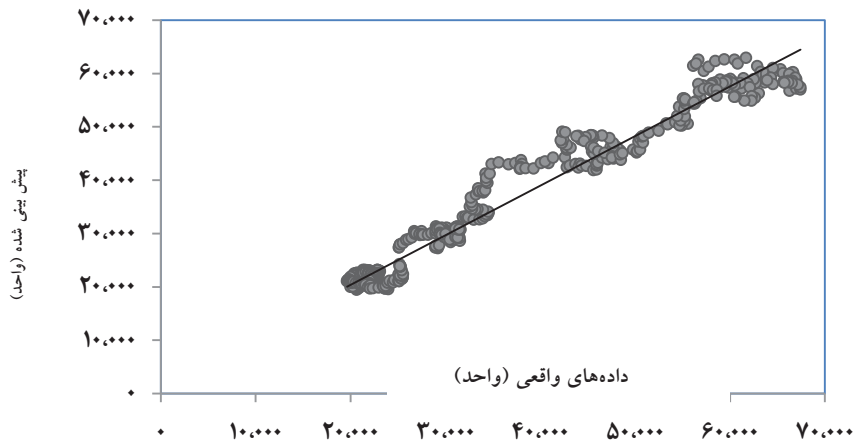
شکل ۲. فرآیند کاهش خطا برای مرحله آموزش در مدل ABC-RNN

بر اساس خروجی‌های مدل شبکه عصبی بازگشتی بهینه‌شده با الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی، روند قیمت‌های پیش‌بینی شده را می‌توان به دست آورد. در نمودار زیر، قیمت‌های واقعی به همراه قیمت‌های پیش‌بینی شده برای بازه زمانی پژوهش، برای شاخص بازار اول بورس تهران، با استفاده از مدل ترکیبی فرا ابتکاری شبکه عصبی بازگشتی بهینه‌شده با الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی نشان داده شده است:



شکل ۳. داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده به وسیله مدل شبکه عصبی بازگشتی بهینه‌شده با الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی در بازه ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۲ (منبع: یافته‌های پژوهش)

در نمودار بعدی، نمایش داده‌های پیش‌بینی شده با استفاده از مدل ABC-RNN و داده‌های واقعی را در یک نمودار در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۲ (بازه آموزش) و سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ (بازه آزمایش) انجام شده است؛ در این شکل‌ها محور افقی داده‌های واقعی قیمت سهام (شاخص بازار اول) و محور افقی داده‌های تخمین حاصل از مدل ABC-RNN است. همان‌گونه که از شکل و معادله برازش خطی مشخص می‌شود، داده‌های پیش‌بینی شده حول نیمساز نمودار حرکت کرده و به معنای همبستگی بالای داده‌های تخمین زده شده با داده‌های واقعی و لذا قابلیت اتکای مدل الگوریتم ترکیبی فرا ابتکاری این پژوهش است.



شکل ۴. نتایج محاسباتی و مشاهده شده برای بازه ۱۳۹۰-۱۳۹۲ (منبع: یافته‌های پژوهش)

ارزیابی عملکرد مدل

برای بررسی عملکرد پیش‌بینی مدل توسعه یافته در این پژوهش، معیارهای مختلف ارزیابی عملکرد از جمله «مجدور میانگین مربع خطا» (RMSE)، «میانگین قدر مطلق درصد خطا» (MAPE)، «میانگین قدر مطلق خطا» (MAE) و «ضریب تایل» (Theil U) بررسی و محاسبه شده است. باهدف مقایسه مدل توسعه یافته در این پژوهش با مدل‌های مرسوم و کاربردی پیش‌بینی، نتایج مدل ترکیبی با مدل‌های الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی (ABC)، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (BP) و شبکه عصبی بازگشتی المان (RNN) مقایسه شده است؛ نتایج پیش‌بینی هر مدل بر اساس معیارهای مختلف ارزیابی عملکرد مشاهده می‌شود:

جدول ۶. مقایسه معیارهای ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف پیش‌بینی قیمت سهام و مدل

طراحی شده در این پژوهش (منبع: یافته‌های پژوهش)

معیار ارزیابی عملکرد	الگوریتم‌های تکاملی		شبکه عصبی		الگوریتم ترکیبی	
	(GA)	(ABC)	(BP)	(RNN)	(ABC-RNN)	
RMSE	-	۳,۱۶۰	-	۳,۲۸۱	۳,۰۳۸	۲,۷۱۴
MAPE	-	۰,۰۷۳۹	-	۰,۰۸۸۱	۰,۰۶۶۰	۰,۰۴۷۰
MAE	-	۲,۱۰۴	-	۲,۱۶۷	۲,۰۸۵	۱,۹۳۱
Theil U	-	۰,۰۴۷	-	۰,۰۶۱	۰,۰۴۵	۰,۰۳۳

بر اساس نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف پیش‌بینی قیمت سهام، مشاهده می‌شود که معیار ارزیابی عملکرد مجذور میانگین مربع خطا برای روش توسعه‌یافته ترکیبی شبکه عصبی بازگشتی بهینه‌شده با الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی برابر با ۲،۷۱۴، معیار میانگین قدر مطلق درصد خطا برابر با ۰،۰۴۷، معیار میانگین قدر مطلق خطا برابر با ۱،۹۳۱ و معیار ضریب تایل برابر با ۰،۰۳۳ بوده که در مقایسه با معیارهای مشابه برای روش‌های شبکه عصبی بازگشتی المان (RNN)، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (BP)، الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی (ABC) و الگوریتم ژنتیک (GA)، از عملکرد بهتری برخوردار است. همان‌گونه که از نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف مشخص می‌شود، مدل شبکه عصبی بازگشتی بهینه‌شده با الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی (ABC-RNN)، از لحاظ معیارهای مختلف ارزیابی عملکرد، پیش‌بینی بهتری نسبت به قیمت سهام در بورس تهران ارائه داده است.

نتیجه‌گیری و بحث

پژوهش‌ها نشان داده‌اند، شبکه‌های عصبی مصنوعی ظرفیت بالایی برای پیش‌بینی قیمت متغیرهای مالی و اقتصادی دارند (مندیک^۱، ۲۰۱۱). برای این منظور گونه‌ای از شبکه‌های عصبی که روابط را به صورت دینامیک بین لایه‌های میانی و ورودی توسعه می‌دهند و امکان پیش‌بینی دقیقتری ارائه می‌دهند، شبکه‌های عصبی بازگشتی المان هستند (لی^۲، ۲۰۱۴: ۷۵۶)، در این پژوهش از شبکه عصبی بازگشتی المان برای پیش‌بینی قیمت سهام استفاده شده است؛ از آنجایی که الگوریتم‌های ترکیبی فرا ابتکاری می‌تواند بهترین نتایج را برای توسعه مدل‌های شبکه عصبی در پیش‌بینی ارائه دهد (یانگنگ و همکاران^۳، ۲۰۱۵: ۴۰۱؛ هایکین^۴، ۲۰۰۸)، این پژوهش با بررسی مدل‌های مختلف پیش‌بینی قیمت سهام، سعی کرده است از شبکه‌های عصبی بازگشتی بهینه‌شده با الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی (RNN-ABC)، مدل مناسبی برای پیش‌بینی قیمت سهام شرکت‌های بورس اوراق بهادار تهران ارائه نماید.

با توجه به خصوصیت شبکه عصبی بازگشتی، هنگامی که شبکه عصبی معماری خوبی داشته باشد و با استفاده از داده‌های مناسب آموزش داده شود، می‌تواند آینده کوتاه‌مدت را به‌خوبی

1 . Mandic D.

2 . Li P.

3 . Xiangang Li, et al.

4 . Haykin S.

تخمین بزند. از آنجایی که قیمت سهام از بسیاری مؤلفه‌های کلان، شرایط اقتصادی عمومی، مؤلفه‌های بنیادین و مؤلفه‌های فنی و همین‌طور انتظارات سرمایه‌گذاران و فاکتورهای روان‌شناسی سرمایه‌گذاران تأثیر می‌پذیرد، در نتیجه پیش‌بینی قیمت سهام صرفاً با استفاده از شناسایی مؤلفه‌های واقعی تأثیرگذار میسر است که این مقاله از روش «رگرسیون همبستگی قدم‌به‌قدم» برای شناسایی مؤثرترین مؤلفه‌های تعیین‌کننده قیمت سهام در بورس تهران بهره برده است. نتایج این پژوهش نشان داد:

- بر اساس یافته‌های مقاله، طی ۹ گام، مؤلفه‌های «قیمت پایانی روز قبل»، «تعداد معاملات روز قبل»، «شاخص تقاضا»، «میانگین متحرک»، «قدرت نسبی»، «میانگین متحرک نمایی ۲۶ روزه»، «شاخص صنعت»، «نرخ ارز» و «شاخص ۵۰ شرکت برتر» قادر به پیش‌بینی قیمت سهام در بورس تهران هستند و مؤلفه‌های شناسایی شده در مدل رگرسیون قدم‌به‌قدم، توانسته است رفتار قیمت سهام در نمونه پژوهش را تبیین نماید؛ بنابراین مدل کلی رگرسیون قدم‌به‌قدم در سطح معناداری قابل قبول است و می‌توان مؤلفه‌های شناسایی شده و خروجی مدل را به‌عنوان مؤلفه‌های تأثیرگذار بر قیمت سهام بورس تهران در نظر گرفت.
- با توجه به اینکه مسائل اقتصادی و مشخصاً مقوله سهام، جزء مسائلی است که ابعاد و داده‌های فراوانی درباره آن‌ها وجود دارد و شناخت اثر مؤلفه‌های متعدد بر این پدیده‌ها، از ضابطه معینی برخوردار نیست، همان‌گونه که سرافراز و همکاران (۱۳۹۵) نیز در پژوهش خود به آن دست یافته‌اند، الگوریتم‌های فرا ابتکاری هوش مصنوعی از قبیل شبکه‌های عصبی مصنوعی و کلونی زنبور عسل مصنوعی، به دلیل الهام از واقعیت‌های طبیعت و توانایی بالا در آموزش داده‌ها و اختصاص وزن‌های مناسب به این داده‌ها و کشف فرآیند مولد آن‌ها، با سرعت و دقت بالا، نتایج قابل قبولی جهت پیش‌بینی پدیده‌های پیچیده مالی و اقتصادی از جمله پیش‌بینی قیمت سهام، نرخ تورم، نرخ رشد اقتصادی و غیره دارد.
- پس از انتخاب مؤلفه‌های تعیین‌کننده قیمت سهام، با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی (ABC)، شبکه عصبی بازگشتی را آموزش داده و وزن‌ها و بایاس‌های شبکه با فرآیند الگوریتم ترکیبی فرا ابتکاری بهینه‌شده است. بر اساس خروجی‌های مدل شبکه عصبی بازگشتی بهینه‌شده با الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی، روند قیمت‌های پیش‌بینی شده را می‌توان به دست آورد. با مقایسه آماره‌های مختلف سری زمانی داده‌های واقعی و داده‌های محاسباتی و تخمینی، استنباط می‌شود که مدل ترکیبی شبکه عصبی

بازگشتی بهینه‌شده با الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی (ABC-RNN) از دقت مناسب و بالایی برخوردار است. بر اساس نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف پیش‌بینی قیمت سهام، مشاهده می‌شود که معیارهای ارزیابی عملکرد گوناگون، برای روش توسعه‌یافته ترکیبی شبکه عصبی بازگشتی بهینه‌شده با الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی در مقایسه با معیارهای مشابه برای روش‌های پیش‌بینی شبکه عصبی بازگشتی المان (RNN)، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (BP)، الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی (ABC) و الگوریتم ژنتیک (GA)، از عملکرد بهتری برخوردار است. همان‌گونه که از نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف مشخص می‌شود، مدل توسعه‌یافته، از لحاظ معیارهای مختلف ارزیابی عملکرد، پیش‌بینی بهتری نسبت به قیمت سهام در بورس تهران ارائه داده است؛ محاسبه معیار «تحلیل سودآوری»، برای ارزیابی بازدهی معامله بر اساس مدل ترکیبی توسعه‌یافته در این پژوهش در مقایسه با سایر روش‌های مرسوم پیش‌بینی نیز، این یافته را تأیید می‌کند.

پیشنهادها

– سرمایه‌گذاران حقیقی و حقوقی، صندوق‌های سرمایه‌گذاری، شرکت‌های سبد گردان و شرکت‌های مشاور سرمایه‌گذاری عموماً به دنبال پیش‌بینی شاخص کل و یا قیمت سهام شرکت‌ها هستند؛ ولی در بازار سرمایه ایران کمتر مشاهده می‌شود که این افراد فارغ از اطلاعات نهانی، به دنبال مدل کردن پیش‌بینی و اتکا به نتایج و یافته‌های مدل مربوطه نمایند؛ درحالی‌که در دنیا استفاده از مدل‌های هوشمند و هوش مصنوعی، جهت پیش‌بینی قیمت سهام بسیار پرکاربرد و از جمل استراتژی‌های سودآور است. لذا با توجه به مزیت نسبی مدل ترکیبی توسعه‌یافته در این پژوهش برای بورس تهران، پیشنهاد می‌گردد یافته‌های این پژوهش توسط مجریان، برای اتخاذ استراتژی مناسب و سودآور سرمایه‌گذاری بکار گرفته شود.

– در این راستا، استفاده از روش ترکیبی شبکه عصبی بازگشتی بهینه‌شده با الگوریتم کلونی زنبورعسل، با استفاده از مؤلفه‌های شناسایی شده در این پژوهش، می‌تواند پیش‌بینی مناسبی از عملکرد قیمت سهم در روزهای آینده در بورس تهران در قیاس با سایر روش‌های پیش‌بینی ارائه نماید.

- علاوه بر پیش‌بینی قیمت یک سهم، برای پیش‌بینی شاخص قیمت سهام و همین‌طور شاخص نقدی و سایر شاخص‌های سهام، با شناسایی مؤلفه‌های اقتصاد کلان تأثیرگذار بر شاخص، از روش‌های ترکیبی فرا ابتکاری شبکه عصبی مصنوعی بهینه‌شده با الگوریتم کلونی زنبور عسل استفاده نمود. همچنین برای افزایش دقت پیش‌بینی، می‌توان شاخص یک صنعت خاص در بورس تهران یا فرابورس ایران را پیش‌بینی کرد تا بتوان مؤلفه‌های منحصر به فرد مؤثر بر آن صنعت مشخص را شناسایی نمود.
- با توجه به اینکه برخی از متغیرهای شناسایی شده در این پژوهش دارای نوسان زیادی بوده که در عمل پیش‌بینی را متأثر می‌کند، می‌توان برای افزایش دقت پیش‌بینی، با استفاده از روش‌های نوین زدایی مثل تبدیل موجک (Wavelet Analysis)، ابتدا داده‌های منتظر با متغیرها را هموار کرد و در ادامه، از آن‌ها برای پیش‌بینی قیمت سهام با مدل ترکیبی استفاده نمود.

منابع

- احمدپور، احمد، اکبر پور شیرازی، محسن و زهرا رضوی امیری. (۱۳۸۸). «استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای در انتخاب سهام (شرکت‌های دارویی پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران)»، فصلنامه بورس اوراق بهادار تهران، سال ۲، شماره ۵، صص ۳۸-۵.
- آذر، عادل و سیروس کریمی. (۱۳۸۸). «پیش‌بینی بازده سهام با استفاده از نسبت‌های حسابداری با رویکرد شبکه عصبی»، مجله تحقیقات مالی، شماره ۲۸، صص ۲۰-۳.
- اکرمی، غلامرضا. (۱۳۷۴). «بررسی نحوه استفاده از فن‌های تجزیه و تحلیل صورت‌های مالی و نقش آنها در تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- امیری، مقصود، شریعت پناهی، مجید و محمدهادی بناکار. (۱۳۸۹). «انتخاب سبد سهام بهینه با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره»، فصلنامه بورس اوراق بهادار، سال ۳، شماره ۱۱، صص ۲۹-۲۱.
- برادران حسن زاده، رسول، بادآور نهندي، یونس و جواد پور غفار. (۱۳۹۴). «عوامل مؤثر بر انتخاب سهام در بورس اوراق بهادار تهران بر اساس تحلیل سلسله مراتبی»، نشریه سیاست‌های مالی و اقتصادی، سال سوم، شماره ۱۱، صص ۱۳۲-۱۰۹.
- بیات، فرشاد. (۱۳۹۳). الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری (همراه با کاربردهایی در مهندسی برق)، تهران، انتشارات جهاد دانشگاهی.
- پاربابی، آزاده و زهرا سالمی. (۱۳۹۵). «پیش‌بینی قیمت سهام با داده‌های ترکیبی به روش الگوریتم کلونی زنبورعسل»، اولین کنفرانس ملی اقتصاد مدیریت و حسابداری، اهواز، سازمان صنعت، معدن و تجارت خوزستان.
- پورحیدری، امید. (۱۳۸۹). «بررسی عوامل تعیین‌کننده تغییرات قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران»، نشریه علمی پژوهشی بررسی‌های حسابداری و حسابرسی، دوره ۱۷، شماره ۶۰، صص ۴۰-۲۳.
- جهانخانی، علی و علی پارسائیان. (۱۳۷۵). بورس و اوراق بهادار، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- حامدیان، مهدی. (۱۳۷۹). «بررسی عوامل مؤثر بر قیمت سهام و تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران در بورس اوراق بهادار تهران»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، تهران، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم اداری.

- حکیمی پور، نادر، علیپور، محمدصادق و یزدان خواه منصوره. (۱۳۹۳). «پیش بینی تورم با استفاده از رهیافت سری های زمانی». *مجله ی بررسی های آمار رسمی ایران*. شماره ۲۵ (۱)، صص ۴۵-۳۱.
- داموداران، آسوات. (۱۳۸۷). *ارزشگذاری سهام، مفاهیم و کاربردها، گردآوری شرکت تأمین سرمایه امین، چاپ اول، تهران، انتشارات فرا*.
- دلبری، مهدی. (۱۳۸۰). «بررسی معیارهای موثر بر انتخاب سهام در بورس اوراق بهادار تهران بر اساس مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی»، *پایان نامه کارشناسی ارشد، اصفهان، دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم اداری و اقتصاد*.
- راعی، رضا و محمودی آذر، میثم. (۱۳۹۳). «پیش بینی بازده آتی بازار سهام با استفاده از مدل های آریما، شبکه عصبی و نویز زدایی موجک»، *فصلنامه علمی-پژوهشی مدیریت دارایی و تأمین مالی، سال دوم، شماره دوم، صص ۱۶-۱*.
- راعی، رضا، محمدی، شاپور و حنظله فندرسکی. (۱۳۹۴). «پیش بینی شاخص قیمت بورس سهام با استفاده از شبکه عصبی و تبدیل موجک»، *فصلنامه علمی-پژوهشی مدیریت دارایی و تأمین مالی، سال سوم، شماره اول، صص ۷۴-۵۵*.
- زارع، بهزاد و حمیدرضا کردلویی. (۱۳۸۹). «پیش بینی قیمت سهام با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی»، *فصلنامه مدیریت، سال هفتم، شماره ۱۷ ریال صص ۵۶-۴۹*.
- زارعی، قاسم، محمدیان، رعنا، حاضری نیری، هاتف، باشکوه اجیرلو، محمد. (۱۳۹۷). «مقایسه روش های شبکه عصبی فازی با شبکه عصبی موجک فازی در پیش بینی قیمت سهام بانک های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران»، *راهبرد مدیریت مالی ۶(۳)*، صص ۱۳۸-۱۰۹.
- سرافراز، ساناز، صفتی فرید و علیرضا غیاثوند. (۱۳۹۵). «پیش بینی قیمت سهام با شاخص های بازاری هیبریدی (ترکیبی) با استفاده از مدل عصبی فازی»، *کنفرانس بین المللی پژوهش های نوین در مدیریت، اقتصاد و حسابداری*.
- سینایی، حسنعلی و سعید زمانی. (۱۳۹۳). «تصمیم گیری برای انتخاب سبد سهام؛ مقایسه الگوریتم های ژنتیک و زنبور عسل»، *پژوهشنامه علمی-پژوهشی مدیریت اجرایی، سال ششم، شماره ۱۱، صص ۱۰۳-۸۳*.
- شمس، شهاب الدین. (۱۳۸۷). «بررسی زمان مقیاس مدل قیمت گذاری دارایی سرمایه ای از طریق تبدیل موجک»، *پایان نامه دکتری، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران*.

- طلوعی، عباس و شادی حق دوست. (۱۳۸۷). «مدل‌سازی پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از شبکه عصبی و مقایسه آن با روش‌های پیش‌بینی ریاضی»، *فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهشنامه اقتصادی*، شماره ۲۵، صص ۲۵۱-۲۳۷.
- فرشادفر، عزت اله. (۱۳۸۰). *اصول و روش‌های پیشرفته آماری (تجزیه رگرسیون)*، چاپ اول، کرمانشاه، انتشارات طاق بستان.
- فرمان آرا، امید و وحید فرمان آرا. (۱۳۸۹). «پیش‌بینی اثر متغیرهای کلان بر شاخص قیمت سهام با استفاده از شبکه عصبی GMDH»، *فصلنامه اقتصادی مالی (اقتصاد مالی و توسعه)*، دوره چهارم، شماره ۱۲، صص ۴۵-۶۲.
- فلاح پور، سعید، غلامحسین گل ارضی و ناصر فتوره چیان. (۱۳۹۲). «پیش‌بینی روند حرکتی قیمت سهام با استفاده از ماشین بردار پشتیبان بر پایه الگوریتم ژنتیک در بورس اوراق بهادار تهران»، *تحقیقات مالی*، دوره ۱۵، شماره ۲، صص ۲۸۸-۲۶۹.
- قائمی، محمد حسین و سعید طوسی. (۱۳۸۵). «بررسی عوامل مؤثر بر بازده سهام عادی شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران»، *نشریه پیام مدیریت*، شماره ۱۷ و ۱۸، صص ۱۷۵-۱۵۹.
- قنبری، رضا. (۱۳۸۹). «بررسی عوامل اقتصادی تأثیر گذار بر سهام شرکت‌های موجود در بورس تهران»، *پایان نامه کارشناسی ارشد*، دانشگاه تهران.
- منجمی، امیر حسن، ابزری، مهدی و علیرضا رعیتی شوازی. (۱۳۸۸). «پیش‌بینی قیمت سهام در بازار بورس اوراق بهادار با استفاده از شبکه عصبی فازی و الگوریتم‌های ژنتیک و مقایسه آن با شبکه عصبی مصنوعی»، *فصلنامه اقتصاد مقدماتی*، دوره ۶، شماره ۳، صص ۲۶-۱.
- منهج، محمد. (۱۳۸۱). *مبانی شبکه‌های عصبی (هوش محاسباتی)*، جلد اول، تهران، مرکز نشر دانشگاهی صنعتی امیر کبیر.
- مهرآرا، محسن، معینی، احمراری، علی و مهدی و امیر هامونی. (۱۳۸۸). «الگوسازی و پیش‌بینی شاخص بورس اوراق بهادار تهران و تعیین متغیرهای مؤثر بر آن»، *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، سال هفدهم، شماره ۵۰، صص ۵۱-۳۱.
- مورفی، جان. (۱۳۹۷). *تحلیل تکنیکال در بازار سرمایه*، ترجمه کامیار فراهانی و رضا قاسمیان لنگرودی، تهران، نشر چالش.

- A.S. Chen, M.T. Leung, H. Daouk, (2003), Application of neural networks to an emerging financial market: forecasting and trading the Taiwan stock index, *Computers and Operations Research*, pp. 901-923.
- Affenzeller M. Winkler S. Beham A.(2009), Genetic algorithm and genetic programming modern concepts and practical applications, *Genetic Programming and Evolvable Machines*; 11(1), pp. 379-401.
- Ahmadpour, A. Purshrazi, A. Razavi, M.(2009). The Use of Multiple Attribute Decision making in selecting stock (Tehran Stock Exchange). *Journal of Securities Exchange*, 2(5), pp. 5-38. (In Persian)
- Akrami, Gholamreza (1995). "A Study of the Use of Financial Statements Analysis Techniques and Their Role in Investor Decisions", Master's thesis, University of Tehran. (In Persian)
- Amiri, M. Shariatpanahi, M. Bonakar, M.(2010). Portfolio Selection with Use of Multiple Criteria Decision Making. *Journal of Securities Exchange*, 3(11), pp. 21-29. (In Persian)
- Azar, A. Karimi, S. (2011). Neural Network Forecasts of Stock Return Using Accounting Ratios. *Financial Research Journal*, 11(28), pp.3-20. (In Persian)
- Baradaran Hadsanzade, R. Badavar, Y. Purgaffar, J. (2016) A Survey of the Effective Variables on Share Selection in Tehran Stock Exchange, on the base of Analytical Hierarchy Process (AHP). 3. 3 (11), pp. 109-132. (In Persian)
- Bayat, Farshad (2014). Meta-heuristic optimization algorithms (along with applications in electrical engineering), Tehran, Jihad university. (In Persian)
- Beckwith, j. (2008), Stock Selection in Six Major Non –U.S. Markets. *Journal of Investing*. 7 (8), pp. 32-47.
- Cao. Qing, Leggio.B.Kary, Schniederjans. J. Marc (2014), "A comparison between Fama and French's model and artificial neural network in predicting the Chinese stock market", *Computers & Operational Research*, Vol. 32, pp. 132-157.
- Chris (2008), "Introductory Econometrics for Finance", Cambridge University Press
- Damodaran, Aswath (2008). *Stock valuation, concepts and uses*, collection of Amin Capital Funding Company, First Printing, Tehran, Farah Publications. (In Persian)
- Delbari, Mehdi (2001). "Investigating the Effective Criteria on Stock Selection in Tehran Stock Exchange Based on the Analytical Hierarchy Process Model", Master's Thesis, Isfahan, University of Isfahan, Faculty of Administrative Sciences and Economics. (In Persian)

- Edirisinghe, NCP & X Zhang, (2008), Portfolio selection under DEA-based relative financial strength indicators: case of US industries, *Journal of the Operational Research Society*, 57, pp. 1211-1238.
- Fallahpour, Saeed, Gholam Hossein Golarzi and Naser Fature Chian (1392). "Prediction of stock price movement by using vector support machine based on Genetic Algorithm in Tehran Stock Exchange", *Financial Research*, Volume 15, Issue, pp. 269-288. (In Persian)
- Farshadfar, Ezatollah (2001). *Advanced Principles and Methods (Regression Analysis)*, First Edition, Kermanshah, Tafak Bostan Publications. (In Persian)
- Farman Ara, Omid and Vahid Farman Ara (2010). "Preventing the Effects of Large Variables on Stock Price Index Using GMDH Neural Network", *Quarterly Journal of Financial Economics (Financial and Development Economics)*, Vol. 4, No. 12. Pp.45-62. (In Persian)
- Ghaemi, Mohammad Hussein and Sa'id Toosi (2006). "Investigating Factors Affecting the Return on Equity of Private Companies Acquired in Tehran Stock Exchange", *Managing Journal* No. 17 & 18, pp. 159-175. (In Persian)
- Ghanbari, Reza (1389). "Investigating Economic Factors Affecting the Shares of Companies in Tehran Stock Exchange", Master's thesis, Tehran University. (In Persian)
- Hakimipour N, Alipour M, Yazdankhah M. (2014), "Inflation Forecasting Using Time Series Approach", *Iranian Journal of Official Statistics Studies*, No. 25 (1), pp. 31-45. (In Persian)
- Hamedian, Mahdi (2000). "Investigating the Factors Affecting Stock Price and Investment Decision Making in Tehran Stock Exchange", Master thesis, Tehran University, Shahid Beheshti University, Faculty of Administrative Sciences. (In Persian)
- Haykin, S. (1999), *Neural networks: a comprehensive foundation*, 2nd Ed. Prentice Hall. New Jersey, USA.
- Haykin, S. (2008), *Neural Networks-A Comprehensive Foundation*. Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Hu, [Hongping](#), Tang, [Li](#), Zhang, [Shuhua](#), Wang, [Haiyan](#) (2018), Predicting the direction of stock markets using optimized neural networks with Google Trends, [Neurocomputing](#), [Volume 285](#), April, pp. 21-38.
- Jahankhani, Ali and Ali Parsaeian (1993). *Securities and Exchange*, Tehran, Tehran University Press. (In Persian)
- Karaboga D. Akay B.(2009), A comparative Study of Artificial Bee colony algorithm, *Mathematics and Computation*, pp. 108-132.
- Karaboga D. Basturk B. (2007), *Advances in Soft Computing: Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing*, Springer-Verlag; 4529, pp. 31-36.

- Karaboga, Dervis; Celal Ozturk (2005), A novel clustering approach: Artificial Bee Colony (ABC) algorithm. *Applied Soft Computing*, 11, pp. 652-657.
- Kumar, P. Ravi. Ravi, V. (2007), “Bankruptcy prediction in banks and firms via statistical and intelligent techniques—a review”, *European Journal of Operational Research*, 180, pp. 1-28.
- Lee. Xia, He. Kaijian, Lai. King Keung, Zou. Yingchao (2008), Forecasting Crude Oil Price with Multiscale Denoisinf Ensemble Model, *Mathematical Problems in Engineering*, pp. 114-123.
- Li, P. (2014), Application of a hybrid quantized Elman neural network in short-term load forecasting. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 55, pp. 749-759.
- Mandic, D. (2011), *Recurrent Neural Networks for Prediction*. Wiley, Chichester.
- Manhaj, Muhammad (2002). *Fundamentals of Neural Networks (Computational Intelligence)*, Volume I, Tehran, Amir Kabir University of Technology. (In Persian)
- Mehrara M, Moeini A, Ahrari M, Hamony A. Modeling stock market prices based on GMDH Neural Network: a case study for Iran. 3. 2009; 17 (50), pp. 31-35. (In Persian)
- Moghaddam, [Amin](#), HedayatiMoghaddam, [Moein](#), [Esfandyari](#), [Morteza](#) (2016), Stock market index prediction using artificial neural network, [Journal of Economics, Finance and Administrative Science](#), [Volume 21, Issue 41](#), December.
- Monadjemi, S. Abzari, M., Rayati Shavazi, A. (2009). Modeling of Stock Price Forecasting in Stock Exchange Market, using Fuzzy Neural Networks and Genetic Algorithms. , 6(22), pp. 1-26. (In Persian)
- Murphy, John. (2018). *Technical Analysis in the Capital Market*, Translated by Kamyar Farahani and Reza Ghasemian Langroudi, Tehran, Chalesh.Pub. (In Persian)
- P.C. Chang, Y.W. Wang, W.N. Yang (2004), An investigation of the hybrid forecasting models for stock price variation in Taiwan, *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, pp. 358-368.
- Paryabi, Azadeh and Zahra Salemi. (2016). "Projection of stock prices with combined data using the colony honeycomb algorithm", First National Conference on Management and Accounting Economics, Ahvaz, Khuzestan Industry, Mine & Trade Organization. (In Persian)
- Pham D.T. Ghanbarzadeh A. Koç E. Otri S. Rahim S. Zaidi M. (2006), The Bees Algorithm – A Novel Tool for Complex Optimization Problems, *Proceedings of IPROMS Conference*.

- Pourheydari, O. (2010). The Relationship between Accounting Variables and Stock Price Movements in Tehran Stock Exchange (TSE). *Journal of Accounting and Auditing Review*, 17(2), pp. 23-40. (In Persian)
- Raei, R. Mohammadi, S. Fendereski, H. (2015). Forecasting Stock Index with Neural Network and Wavelet Transform. *Asset Management and Financing*, 3(1), pp. 1-16. (In Persian)
- Ramsey. James B, Lampart. Camille (1998), "The decomposition of economic relationships by time scale using wavelet: Expenditure and income", *Studies in nonlinear dynamics and econometrics*, Vol. 3, pp. 1147-1163.
- Refenes, A. A. Zapranis & G. Frandis. (1994), *Stock Performance Modeling Using Neural Networks (A Comparative Study With Regression Models)*, *Neural Networks*, 7(2), pp. 375-388.
- Sarafraz, Sanaz, Sefati Farid and Alireza Ghiasvand. (2016). "Predicting stock prices with hybrid market indices using a fuzzy neural model", *International Conference on Modern Research in Management, Economics and Accounting*. (In Persian)
- Shah, [Habib](#); [Rozaida Ghazali](#), [Nazri Mohd Nawi](#) (2011),; Using Artificial Bee Colony Algorithm for MLP Training on Earthquake Time Series Data Prediction, *Journal of Computing*, 3, pp. 135-142.
- Shah, Habib & Tairan, Nasser & Garg, Harish & Ghazali, Rozaida (2018). A Quick Gbest Guided Artificial Bee Colony Algorithm for Stock Market Prices Prediction, *Symmetry* 2018, pp.4-15.
- Shams, Shahabuddin (2008). "The Time Scale of the Capital Asset Pricing Model by Wavelet Transformation", PhD thesis, Faculty of Management, University of Tehran. (In Persian)
- Sinai, Hassan Ali and Saeed Zamani. (1393). "Decision making for portfolio selection; Comparison of Genetic Algorithms and Honey Bees", *Scientific-Research Journal of Executive Management*, Year 6, Number 11, pp. 83-103. (In Persian)
- Toloui, Abbas and Shadi, right. (2008). "Modeling Stock Price Prediction Using Neural Network and Its Comparison with Mathematical Forecasting Methods", *Journal of Economic Research*, [Volume 7, Issue 25](#), Spring 2007, pp. 251-237. (In Persian)
- Wang, J. Z. & J. J. Wang (2011), "Forecasting stock indices with back propagation neural network", *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 10, pp. 473-480.
- Wei-Chang Yeh, Tsung-Jung Hsieh, Hsiao-Fen Hsiao, Wei-Chang Yeh (2011), Forecasting stock markets using wavelet transforms and recurrent neural networks: An integrated system based on artificial bee colony algorithm, *Applied Soft Computing* 11, pp. 2510-2525

- Xiangang Li, Xihong Wu (2015), Constructing Long Short-Term Memory based Deep Recurrent Neural Networks for Large Vocabulary Speech Recognition.
- Yang X.S. (2005), Engineering Optimizations via Nature-Inspired Virtual Bee Algorithms, Springer-Verlag, pp. 3562-3580.
- Yim, J. A. (2002), Comparison of Neural Networks with Thme Series Models for Forecasting Returns on a Stock Market. LectureNotes in Computer Science, Berlin: Springer, pp. 113-140.
- Zare, Behzad and Hamid Reza Cordluie (2010). "Prediction of Stock Price Using Artificial Neural Network", Management Quarterly, Seventh Year, No. 17, pp. 49-56. (In Persian)
- zarei, G. mohamadiyan, R. hazeri, H. bashokouh ajirlou, M. (2018). The Comparison of Fuzzy Neural Network Methods with Wavelet Fuzzy Neural Network in Predicting Stock Prices of Banks Accepted in Tehran Stock Exchange. *Financial Management Strategy*, 6(3), pp. 109-138. (In Persian)
- Zeng, [Shouzhen](#) & Chen, [Shyi-Ming](#) & Teng, [Mario Orlando](#). (2019), Fuzzy forecasting based on linear combinations of independent variables, subtractive clustering algorithm and artificial bee colony algorithm, [Information Sciences](#), pp. 350-366.
- Zhang. Guoqiang, Patuwo. B. Eddy, Y. Hu. Michael (1998), "Forecasting with artificial neural networks: The state of the art", International Journal of Forecasting, Vol. 14, pp. 35-62.