

مدل سازی بازار سهام با استفاده از مدل های هوش مصنوعی و مقایسه با مدل های کلاسیک خطی

زهرا پاشایی^۱ و رحیم دهخوارقانی^{۲*}

^۱گروه رایانه دانشگاه آزاد اسلامی بناب، بناب، ایران

^۲گروه رایانه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بناب، بناب، ایران

چکیده

پیش بینی قیمت سهام به عنوان یک فعالیت چالش برانگیز در پیش بینی سری های زمانی مالی در نظر گرفته می شود. پیش بینی صحیح قیمت سهام می تواند سود زیادی را برای سرمایه گذاران به بار آورد. با وجود تلاش های فراوانی که تا کنون برای این منظور انجام گرفته، موفقیت چندانی در این زمینه به دست نیامده است. با توجه به پیچیدگی داده های بازار بورس، توسعه مدل های کارآمد برای این پیش بینی بسیار دشوار است. در این مقاله، سعی در بررسی دقیق این مسأله و ارائه روشی کارآمد برای آن داریم. برای ارزیابی روش پیشنهادی در این مقاله، بازار سهام تهران به عنوان یک بازار واقعی مورد بررسی قرار گرفته است. برای پیش بینی شاخص کل سهام تهران، از سامانه های هوشمند غیر خطی همچون شبکه های عصبی مصنوعی (ANN^۱) و شبکه های عصبی فازی (ANFIS^۲) استفاده و سپس کارایی این مدل ها با مدل های کلاسیک خطی (ARIMA^۳ و SARIMA^۴) بررسی شده و همچنین علاوه بر داده های شاخص کل، داده های تأثیرگذار دیگری شامل قیمت دلار آمریکا، قیمت طلا، قیمت نفت، شاخص صنعت، شاخص ارز شناور، شاخص بازار اول و دوم در طول حدود پنج سال اخیر نیز در نظر گرفته شده است. داده های این پژوهش به صورت هدفمند به عنوان ورودی به مدل های غیر خطی ANN و ANFIS داده می شوند. به عبارت دیگر، عمل انتخاب ویژگی توسط معیار تابع اطلاعات مشترک (MI^۵) و ضریب همبستگی خطی (CC^۶) انجام می گیرد؛ در نهایت، ویژگی هایی انتخاب می شوند که تأثیر بیشتری روی شاخص کل دارند. این عمل باعث می شود که داده های نامرتبط از مدل سازی حذف شوند که این کار، تأثیر به سزایی در نتایج مدل سازی خواهد داشت. در نهایت؛ همه مدل ها بر اساس معیارهای راجع نیکویی برازش با همدیگر مقایسه می شوند تا بتوان به دید جامعی در مورد توانایی مدل های مورد نظر دست یافت. نتایج مدل سازی، بیان گر این است که انتخاب ویژگی ها با روش های MI و CC در هر دو مدل ANFIS و ANN دقت پیش بینی شاخص را از منظر معیار ارزیابی Nash-Sutcliffe تا ۵۵٪ افزایش می دهد. همچنین در تمامی پنج معیار ارزیابی، عملکرد ANFIS بر ANN برتری دارد.

واژگان کلیدی: شاخص بازار بورس، شبکه عصبی فازی، شبکه عصبی مصنوعی، ضریب همبستگی خطی، مدل آریمو و مدل ساریمو

Stock Market Modeling Using Artificial Neural Network and Comparison with Classical Linear Models

Zahra Pashaei¹ & Rahim Dehkharghani^{2*}

¹Faculty of Electrical and Computer Engineering, Islamic Azad University of Bonab, Bonab, Iran

²Faculty of Engineering, University of Bonab, Bonab, Iran

¹ Artificial Neural Networks

² Adaptive Neural Fuzzy Inference System

³ Auto Regressive Integrated Moving Average

⁴ Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average

⁵ Mutual Information

⁶ Correlation Coefficient

* Corresponding author

*نویسنده عهده دار مکاتبات

Abstract

Stock market plays an important role in the world economy. Stock market customers are interested in predicting the stock market general index price, since their income depends on this financial factor; Therefore, a reliable forecast in stock market can be extremely profitable for stockholders. Stock market prediction for financial markets has been one of the main challenges in forecasting financial time series, in recent decades. This challenge has increasingly attracted researchers from different scientific branches such as computer science, statistics, mathematics, and etc. Despite a good deal of research in this area, the achieved success is far from ideal. Due to the intrinsic complexity of financial data in stock market, designing a practical model for this prediction is a difficult task. This difficulty increases when a wide variety of financial factors affect the stock market index. In this paper, we attempt to investigate this problem and propose an effective model to solve this challenge. Tehran's stock market has been chosen as a real-world case study for this purpose. Concretely, we train a regression model by several features such as first and second market index in the last five years, as well as other influential features including US dollar price, universal gold price, petroleum price, industry index and floating currency index. Then, we use the trained system to predict the stock market index value of the following day. The proposed approach can be used by stockbrokers-trading companies that buy and sell shares for their clients to predict the stock market value. In the proposed method, intelligent nonlinear systems such as Artificial Neural Networks (ANNs) and Adaptive Network-based Fuzzy Inference System (ANFIS) have been exploited to predict the daily stock market value of Tehran's stock market. At the end, the performance of these models have been measured and compared with the linear classical models, namely, ARIMA and SARIMA. In the comparison phase, these time series data are imposed to non-linear ANN and ANFIS models; then, feature selection is applied on data to extract the more influencing features, by using mutual information (MI) and correlation coefficient (CC) criteria. As a result, those features with greater impact on prediction are selected to predict the stock market value. This task eliminates irrelevant data and minimizes the error rate. Finally, all models are compared with each other based on common evaluation criteria to provide a big picture of the exploited models. The obtained results approve that the feature selection by MI and CC methods in both ANFIS and ANN models increases the accuracy of stock market prediction up to 55 percentage points. Furthermore, ANFIS could outperform ANN in all five evaluation criteria.

Keywords: ARIMA, ANFIS, ANN, CC, MI, SARIMA, Stock Modelling.

بهتری را نسبت به روش‌های ریاضی و آماری مانند رگرسیون و آنالیز ممیزی نشان می‌دهند؛ لذا در سال‌های اخیر روش‌های غیرخطی هوش مصنوعی توانایی قابل ملاحظه‌ای در مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی مالی از خود نشان داده‌اند. این روش‌ها چون مبتنی بر داده هستند، به دانش اولیه نسبت به پدیده مورد مطالعه نیاز ندارند. مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، ابزاری کارآمد برای کارکردن بر روی تعداد وسیعی از داده‌های پویا و غیرخطی هستند. مدل‌های ANN و ANFIS از جمله روش‌های هوش مصنوعی هستند که حالت خودهمبسته دارند و به‌صورت غیرخطی توانایی کنترل جزء خودهمبسته سری زمانی را دارند.

۲- پیشینه پژوهش

در سال ۱۹۸۸ برای نخستین‌بار نظریه استفاده از شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی‌های اقتصادی توسط هالبرت وایت مطرح شد. هدف این پژوهش، کشف نظم نهفته در قیمت‌های تاریخی دارایی‌های سرمایه‌ای بود. بدین منظور، از بازده روزانه سهام شرکت IBM^۱ به‌عنوان یک مورد خاص استفاده شده و نقش روش‌های استنباط آماری و روش‌های

۱- مقدمه

از دوران گشایش بازارهای اوراق بهادار، انسان‌ها همواره تلاش می‌کردند تا قیمت سهام را پیش‌بینی کنند و در این راه سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای مختلف، تحلیل‌های متفاوت مالی ابداع شده و مورد استفاده قرار گرفتند. متخصصان بازار سرمایه برای سالیان متمادی بازار را مطالعه کرده و الگوهایی را فرا گرفته‌اند که پیش‌بینی‌ها را براساس آن انجام می‌دهند. آنها ترکیبی از تشخیص الگو و تجربه مبتنی بر مشاهده روابط علت و معلول را به‌کار می‌گیرند. با این وجود، یک قانون کلی در مورد این‌که چه اطلاعاتی مهم‌تر هستند، وجود ندارد. برنامه‌های نرم‌افزاری بسیاری نیز وجود دارند که به این تصمیم‌گیری کمک می‌کنند و به‌عنوان مدل پیش‌بینی، مدل‌هایی نظیر ARIMA و SARIMA استفاده می‌شوند که از رگرسیون خطی و میانگین متحرک و نظایر این‌ها به‌عنوان موتور پیش‌بینی استفاده می‌کنند. با این وجود در روندهای مالی به‌دلیل وجود ویژگی‌های غیرخطی، اغلب شرایطی به وجود می‌آید که قوانین را به هم می‌ریزد و پیش‌بینی را توسط روش‌های یادشده دشوار می‌سازد. نتایج کارهای گذشته صورت‌گرفته نشان می‌دهد که مدل‌های هوش مصنوعی، نتایج

^۱ International Business Machines Corporation

قیمت بازار سهام است [13]. در این مقاله برای پیش بینی قیمت سهام برای معرفی مدل قابل اعتماد سری های ترکیبی ارزیابی می شوند که بیان می کنند مدل ترکیبی ANN-ARIMA نتایج دقیق تری به دست می دهد [14].

در [15]، برای پیش بینی بازار سهام هند از شبکه های عصبی مبتنی بر سه الگوریتم یادگیری مختلف، یعنی Scaled Conjugate Gradient، Levenberg-Marquardt و Regularization Bayesian برای پیش بینی بازار سهام استفاده شده است. در پژوهشی دیگر برای مقایسه و انتخاب روشی برای پیش بینی فروش کالاهای اساسی در بخش های اصلی کلمبیا گرفته شده که نتایج نشان می دهد شبکه های عصبی عملکرد بهتری را برای دست یابی به کمترین میانگین خطای مربع به دست آورده است [16].

در [17-18]، استفاده از یک مدل تحلیلی و پیش بینی شده برای برآورد شاخص های بورس پیشنهاد شده است. این روش می تواند هر نوع کاربر (با تجربه و یا بدون تجربه) را در بورس راهنمایی کند تا بتواند سرمایه گذاری سودآوری داشته باشد. پیش بینی شاخص سهام یک مشکل مهم اقتصادی است که حل آن در همین اواخر در زمینه هوش مصنوعی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. در [19]، به بررسی برخی از مدل های شبکه عصبی مصنوعی ترکیبی پرداخته شده که نشان می دهد مدل های ترکیبی ابزارهای مؤثری برای پیش بینی دقیق شاخص سهام دارند. آشیک و کانان [20] نیز در سال ۲۰۱۹ از مدل ARIMA برای پیش بینی قیمت سهام استفاده کرده اند.

۳- تعاریف و مفاهیم اولیه

در این بخش ابتدا به تعاریف مهمی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته اند، پرداخته و سپس روش پیشنهادی توضیح داده می شود.

۳-۱- مدل میانگین متحرک خودهمبسته

یکپارچه

مدل های کلاسیک جعبه سیاه همچون ARIMA به صورت گسترده برای پیش بینی سری های زمانی مالی استفاده می شود [21]. ذات این مدل، خطی بوده و بر فرض ایستابودن داده ها استوار است [22]. مدل ARIMA توانایی شناسایی الگوهای پیچیده در داده ها را دارد و امکان پیش بینی برای آینده را مطابق با داده های ورودی در زمان گذشته فراهم می آورد [23].

یادگیری در شبکه های عصبی به عنوان دو عنصر مکمل یکدیگر مطرح شد. بعد از مطالعه اولیه وایت در سال ۱۹۸۸ پای شبکه های عصبی به حوزه مالی باز شد و مطالعات متعددی در این زمینه در نقاط مختلف جهان صورت گرفت. در فاصله سال های ۱۹۹۵-۱۹۹۸، ۵۶ فعالیت علمی مختلف در زمینه شبکه های عصبی در حوزه بازرگانی انجام گرفت که از این تعداد، ۵۴ فعالیت در حوزه مالی بوده و دو فعالیت در زمینه پیش بینی و تجزیه و تحلیل سری های زمانی انجام شده است [1].

در پژوهشی دیگر، در سال ۱۹۹۰، سامانه پیش بینی بازار سهامی ارائه شد که در این مطالعه ضمن مقایسه سامانه های خبره و سامانه های شبکه عصبی، از یادگیری غیرخطی شبکه های عصبی به عنوان توانایی بالای این شبکه ها نامبرده شده است [2].

می توان گفت که مهم ترین دلیل برای استفاده از شبکه های عصبی، وجود مسائل بسیار زیاد حل نشدنی به وسیله الگوریتم های حل مدل های غیرخطی است [3-4]. مزایای استفاده از شبکه عصبی این است که افراد، نیازی به دانستن نوع ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته ندارند [5]. در سال ۱۹۹۴ تأیید شد که از شبکه های عصبی می توان در پیش بینی داده های مالی نیز استفاده کرد [6]. به طور گسترده بسیاری از مطالعات به وجود روابط غیرخطی در بازارهای مالی اشاره کرده و بیان کردند که می توان به طور مؤثر از شبکه های عصبی مصنوعی (ANN) برای کشف این روابط استفاده کرد [7]. در پژوهش دیگری از مدل ANFIS برای پیش بینی قیمت سهام استفاده شده است که آنها توانایی بالقوه ANFIS در پیش بینی شاخص سهام را گزارش کرده اند [8].

در یک پژوهش برای پیش بینی ارزش بازار از انواع مدل های شبکه عصبی استفاده شده است [9]. در مطالعه ای دیگر از یک مدل پیش بینی جدید بر اساس سری زمانی فازی و درختان تصمیم فازی برای پیش بینی شاخص سهام شانگهای استفاده شده است [10]. در این مطالعه توانایی ANN در پیش بینی روزانه نرخ ارز سهام مورد بررسی قرار گرفت [11]. پیش بینی دقیق بازده بازار سهام به دلیل ماهیت غیرخطی سری های زمانی مالی یک مسأله چالش برانگیز است که در مطالعه دیگری، از ANN برای پیش بینی شاخص سهام ژاپن استفاده شده است [12].

این پژوهش نشان می دهد که توان پیش بینی مدل شبکه های عصبی به طور قابل توجهی تحت تأثیر یک روزه

مدل‌های ARIMA توانایی تحلیل و پیش‌بینی داده‌های سری زمانی تک‌متغیره را دارد. سه گام لازم برای استفاده از مدل‌های ARIMA شامل شناسایی، تخمین و پیش‌بینی است. تابع مدل ARIMA به صورت (p,d,q) نمایش داده می‌شوند. p بیان‌گر مرتبه عبارت خودهمبستگی، d مرتبه تفاضل غیرفصلی و q مرتبه تأخیر زمانی برای خطای پیش‌بینی است. مدل SARIMA نیز از مدل‌های کلاسیک جعبه سیاه بوده و حالت کلی مدل ARIMA است. این مدل نیز خطی بوده و بر فرض ایستابودن داده‌ها استوار است. مدل SARIMA بر خلاف ARIMA، فصلی بودن داده‌ها را نیز در مدل‌سازی دخالت می‌دهد. به طور کلی سری زمانی اصلی $y(t)$ از یک اپراتور تأخیر B برای مدل $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)$ استفاده می‌کند. (p,d,q) مربوط به قسمت غیرفصلی مدل و (P,D,Q) مربوط به قسمت فصلی مدل است.

۲-۳- شبکه‌های عصبی مصنوعی

عملکرد مغز انسان با توجه به میلیون‌ها سال تکامل می‌تواند به عنوان کامل‌ترین و بهترین الگو برای تشخیص وقایع پیرامون خود در نظر گرفته شود؛ لذا دانشمندان در تلاش‌اند تا با درک اصول و سازوکارهای محاسباتی مغز انسان که عملکرد بسیار سریع و دقیقی را دارد، سامانه‌های عصبی مصنوعی را شبیه‌سازی کنند. پیاده‌سازی ویژگی‌های شگفت‌انگیز مغز در یک سیستم مصنوعی همیشه مطلوب بوده است. بدین منظور موضوع ایجاد هوش مصنوعی (AI^۱) مد نظر قرار گرفته است. امروزه علاقه فزاینده‌ای در توسعه تئوریک سامانه‌های پویا هوشمند مدل-آزاد^۲ که مبتنی بر داده‌های تجربی هستند، ایجاد شده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی جزء این دسته از سامانه‌های پویا قرار دارند که با پردازش روی داده‌های تجربی دانش یا قانون نهفته در ورای داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کند، به همین خاطر به این سامانه‌ها هوشمند گفته می‌شود، چراکه بر اساس محاسبات بر روی داده‌های عددی یا مثال‌ها قوانین کلی را فرا می‌گیرند. این سامانه‌های مبتنی بر هوش محاسباتی سعی در مدل‌سازی ساختار نرو-سیناپتیکی^۳ مغز بشر دارند. بدین ترتیب شبکه‌های عصبی مصنوعی تا حدودی از مغز انسان الگوبرداری شده‌اند و همان‌گونه که مغز انسان می‌تواند با توجه به مسائل قبلی و مسائل از پیش یادگرفته، مسائل جدید را تحلیل و تجزیه کند، شبکه‌های عصبی نیز در صورت آموزش قادرند بر مبنای اطلاعاتی که

به‌ازای آنها آموزش دیده‌اند، جواب‌های قابل قبول ارائه دهند و نیز می‌توان از آنها به‌طور نامحدود در ارائه جواب به اطلاعاتی که درقبل با آنها مواجه نبودند، استفاده کرد. تهیه یک برنامه برای ارائه جواب به مسأله‌ای که تعداد زیادی متغیر به‌عنوان ورودی یا خروجی در آن وجود دارد، با استفاده از روش‌های برنامه‌نویسی متداول امروزی کاری دشوار و غیر عملی است؛ زیرا درنظرگرفتن همه این متغیرها و آثارشان بر یکدیگر غیر ممکن است. اما با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و پیشرفت کنونی آن، تهیه یک ابزار نرم‌افزاری برای چنین مسأله‌ای عملی است. همچنین، ساختار روش‌های برنامه‌نویسی متداول امروزی به‌گونه‌ای است که در صورت وجود اشتباه در اطلاعات ورودی، تمامی محاسبات ممکن است، دچار اشکال شود، اما در شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌دلیل این که براساس تجربه آموزش می‌بینند، حتی در صورت وجود اشتباه در اطلاعات ورودی، شبکه به‌طور قابل ملاحظه‌ای قابلیت تحمل خطا خواهد داشت.

۳-۳- شرایط داده‌های ورودی

برای تربیت شبکه‌های عصبی احتیاج به مجموعه داده‌های مرتبط با هدف مورد نظر می‌باشد. هر چه تعداد داده‌ها بیشتر باشد، می‌توان پیش‌بینی در زمینه‌ی مورد نظر را دقیق‌تر انجام داد اما تنها عامل مهم، تعداد داده‌ها نیست بلکه کیفیت داده‌ها نیازمند توجه شایانی است؛ بنابراین در جمع‌آوری داده‌های مورد لزوم برای آموزش شبکه باید به موارد زیر توجه کرد:

- بررسی فیزیکی مسأله و دخالت دادن پارامترهای مؤثر بر مسأله مقدار پیش‌بینی
- اطمینان از کیفیت داده‌های مورد استفاده از لحاظ کیفیت و قابلیت اعتماد [24].

برای هماهنگ‌سازی نوع و محدوده داده‌ها به‌منظور مدل‌سازی، اقدام به نرمال‌سازی آن‌ها با استفاده از رابطه (۱) شده است که در این صورت محدوده داده‌ها بین صفر تا یک خواهد بود [25].

$$x_N = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

که در آن x_N مقدار نرمال‌شده و x_i مقدار متغیر، x_{\min} و x_{\max} مقادیر کمینه و بیشینه داده‌ها هستند. یکی از دلایل نرمال‌سازی، منطقی کردن مدل برای ورودی‌ها با ابعاد متفاوت است. با استفاده از این روش ورودی‌ها بی‌بعد می‌شوند

¹ Artificial Intelligence

² Model-Free

³ Neuro-Synaptic

و همچنین اختلاف فاحش عددی متغیرهای مختلف از طریق نرمال‌سازی برطرف شده و دامنه داده‌های ورودی در بازه صفر تا یک خواهد بود.

۴-۳- سامانه‌های فازی

منطق فازی یک نگاشت مناسب از فضای ورودی به فضای خروجی است. این نکته سرفصل تئوری فازی است و تأکید اصلی نیز در این نکته بر روی واژه مناسب بودن آن است. در منطق فازی هر بیان و عبارتی را می‌توان به صورت فازی بیان کرد و درستی هر عبارتی نیز از درجه اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ابزار فازی این امکان را فراهم می‌سازد که به جای این که در پاسخ به پرسش‌هایی که جواب آن‌ها بله و خیر است از واژگان بله و خیر نسبی استفاده کنیم. مفاهیم نسبی و غیرقطعی بسیاری در اطراف ما وجود دارند که آنها را به صورت روزمره در قالب عبارات‌های مختلفی بیان می‌کنیم. مثل جمله "هوا خوب است". هیچ کمیتی برای خوب بودن هوا مطرح نیست تا آن را اندازه بگیریم، بلکه این یک حس کیفی است. درواقع مغز انسان با در نظر گرفتن عوامل مختلف و بر اساس تفکر استنتاجی، جملات را تعریف و ارزش‌گذاری می‌کند که مدل‌سازی آنها به زبان و فرمول‌های ریاضی اگر غیرممکن نباشد، کاری بسیار پیچیده خواهد بود.

منطق فازی تعمیمی از منطق دوارزشی متداول است. درحالی‌که در منطق دودویی جایی برای واژه‌هایی همچون "کم"، "زیاد"، "اندکی"، "بسیار" و... که پایه‌های اندیشه و استدلال‌های عادی انسان را تشکیل می‌دهند وجود ندارد. روش فازی بر مبنای به کارگیری همین عبارات زبانی است؛ به عنوان مثال، جهت طراحی سامانه ترمز مؤثر خودرو بر پایه منطق فازی، عباراتی مثل تاریکی کم یا زیاد، سرعت کم یا زیاد و لغزندگی کم یا زیاد و... را به عنوان متغیرهای ورودی و عباراتی همچون "فاصله کم یا زیاد" را (مشابه آنچه در مغز انسان برای تصمیم‌گیری رخ می‌دهد) به عنوان متغیر خروجی به کار می‌بندیم.

۵-۳- مدل شبکه عصبی- فازی تطبیقی

در سال ۱۹۹۳، جانگ برای نخستین بار با کنار هم قراردادن توانایی‌های تئوری فازی و شبکه عصبی، مدل سامانه استنتاج تطبیقی عصبی- فازی را ارائه داد [26]. این مدل در برگزیده دو مدل فازی و عصبی در یک ساختار است. بخش فازی رابطه‌ای بین متغیرهای ورودی و خروجی برقرار کرده و پارامترهای مربوط به توابع عضویت بخش فازی به وسیله شبکه

عصبی تعیین می‌شود؛ بنابراین ویژگی‌های هر دو مدل فازی و عصبی در شبکه عصبی- فازی تطبیقی نهفته است. منطق فازی بر مبنای تئوری مجموعه‌های فازی قرار دارد که بین طبقات مختلفی از موضوعات، ارتباط برقرار می‌کند؛ به طوری که عضویت از جنس درجه باشد و با پارامتر درجه بتوان میزان عضویت را نشان داد. در فرآیند استنباط فازی، پنج مرحله باید انجام گیرد:

(۱) فازی‌سازی متغیرهای ورودی

(۲) به کار بردن عملگرهای "و"، "یا" در بخش مقدمه

(۳) استنتاج از مقدمه به نتیجه

(۴) ترکیب نتایج قوانین

(۵) غیرفازی کردن.

بخش شبکه عصبی در ساختار شبکه عصبی- فازی تطبیقی، با استفاده از روش‌های یادگیری عصبی راه‌حلی را برای به دست آوردن اطلاعاتی درباره مجموعه داده‌ها به منظور مدل‌سازی فازی ارائه می‌دهد تا پارامترهای تابع عضویت به نحوی تنظیم شوند که بهترین سامانه استنباط فازی به یک سری داده موجود اختصاص یابد. این شیوه آموزش عملکردی همانند شبکه عصبی دارد.

روش مدل‌سازی به وسیله سامانه استنباط فازی- عصبی تطبیقی مشابه بسیاری از روش‌های متداول است. ابتدا ساختار یک مدل با پارامترهای مشخص (تابع و درجه عضویت) فرض می‌شود؛ سپس یک سری داده ورودی/خروجی به شکلی که قابل استفاده برای آموزش سامانه استنباط فازی- عصبی تطبیقی باشد جمع‌آوری می‌شود. در ادامه به وسیله سامانه استنباط فازی- عصبی تطبیقی، مدل سامانه استنباط فازی را با داده‌های موجود آموزش داده، تا با اصلاح پارامترهای تابع درجه عضویت مطابق با حد خطای انتخاب شده، داده‌های حاصل از مدل به مقدار واقعی نزدیک شوند.

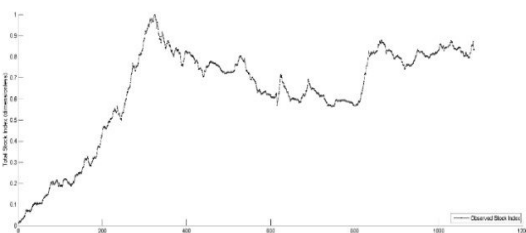
۴-۴- روش پیشنهادی

با توجه به این که هدف این پژوهش طبقه‌بندی مدل‌های ANN، SARIMA، ARIMA و ANFIS براساس توانایی آن‌ها در کنترل اجزاء اصلی سری زمانی، یعنی خودهمبستگی و فصلانه و تصادفی بودن، در مقیاس زمانی است، برای مدل‌سازی مراحل زیر دنبال می‌شود:

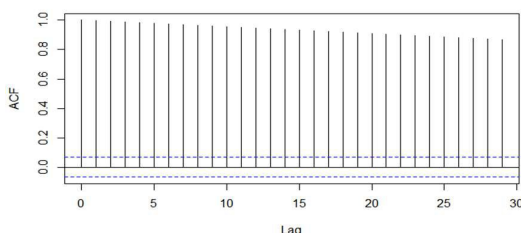
الف- تمام داده‌های فرآیندها در هر سه مقیاس زمانی از نظر کیفیت داده‌ها کنترل می‌شوند.

۵- داده‌های مورد مطالعه

با توجه به این که هدف اصلی این پژوهش طبقه‌بندی مدل‌های مدنظر براساس توانایی آنها در پیش‌بینی شاخص کل سهام است، سعی شده است با استفاده از داده‌های باکیفیت (با دست‌کم داده‌های مفقودی) قیمت شاخص کل سهام بورس تهران و همچنین متغیرهای مؤثر در قیمت شاخص کل سهام از جمله نرخ ارز (شامل نرخ دلار آمریکا)، قیمت طلا، قیمت نفت، شاخص صنعت، شاخص ارز شناور، شاخص بازار نخست و دوم در طول حدود پنج سال به پیش‌بینی شاخص کل قیمت سهام با استفاده از روش‌های مختلف پرداخته می‌شود. داده‌های واقعی شاخص کل قیمت سهام در شکل (۱) نمایش داده شده است. همچنین در شکل (۲) ACF^1 سری زمانی شاخص کل سهام نشان داده شده است که بیانگر بالابودن میزان خودهمبستگی سری زمانی شاخص کل است.



(شکل-۱): داده‌های مشاهداتی شاخص کل سهام
(Figure-1): Observed data of the total stock index



(شکل-۲): نمودار ACF زمانی شاخص کل سهام
(Figure-2): The ACF chart of the total stock index

۶- نتایج حاصل از مدل‌سازی‌ها

در سه بخش زیر نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های صورت گرفته، قرار داده شده است. برای پیش‌بینی شاخص کل قیمت سهام، ابتدا از مدل‌های خطی و تک‌متغیره ARIMA و SARIMA و در ادامه از مدل‌های غیرخطی و چندمتغیره هوش مصنوعی ANN و ANFIS استفاده شده است. بر روی داده‌های مورد استفاده در این پژوهش ابتدا نرمال‌سازی انجام و سپس در مدل‌های چندمتغیره، برای انتخاب ترکیب ورودی و جلوگیری

ب- تمامی داده‌ها نرمال می‌شوند تا در بازه صفر و یک قرار بگیرند.

ج- داده‌ها به نسبت به‌طور تقریبی ۷۰ به ۳۰ به دو قسمت آموزش و صحت‌سنجی تقسیم می‌شوند.

د- ابتدا مدل‌سازی توسط مدل‌های تک‌متغیره ARIMA, SARIMA صورت می‌گیرد.

ه- برای مدل‌سازی با مدل‌های چندمتغیره ANN و ANFIS برای هر فرآیند و هر مقیاس زمانی ابتدا یک‌بار کل داده‌های پنج روز کاری قبل داده شده، سپس بین خروجی مدنظر و تمام سری‌های مورد نظر ورودی، دوجه‌دو، CC و MI محاسبه و بهترین ترکیب‌های ورودی براساس این دو پارامتر انتخاب و به‌عنوان ورودی به مدل‌های مربوطه داده می‌شوند و سپس مدل‌سازی صورت می‌گیرد.

برای انتخاب ورودی، در مرحله نخست از معیاری به نام ضریب همبستگی خطی (CC)، استفاده شده است که برای دو متغیر X و Y از طریق زیر محاسبه می‌شود:

$$\rho_{XY} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

$$CC_{XY} = (\rho_{XY})^2 \quad (3)$$

که در این روابط ρ ضریب همبستگی خطی بین دو متغیر و x و y به ترتیب مقادیر X و Y هستند. مقدار عددی CC در بازه صفر تا یک قرار می‌گیرد و هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، رابطه خطی بهتری بین دو متغیر وجود دارد. در مرحله دوم نیز از معیار تابع اطلاعات مشترک (MI) استفاده شده که طبق تعریف رابطه زیر همواره برقرار است:

$$MI(X, Y) = H(X) + H(Y) - H(X, Y) \quad (4)$$

لازم به توضیح است که $H(X)$ و $H(Y)$ با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شوند. همچنین $H(A|B)$ آنتروپی (محتوای اطلاعاتی) مشترک A به شرط B نامیده می‌شود و تعریف آن طبق رابطه (۶) است:

$$H(X) = H(P) = - \sum_{i=1}^N p(x_i) \log[p(x_i)] \quad (5)$$

$$H(A|B) = - \sum_{a \in A, b \in B} p(a, b) \log p(a|b) \quad (6)$$

و- در انتها تمامی مدل‌ها براساس معیارهای ارزیابی توضیح داده شده در بخش ارزیابی با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

¹ Auto Correlation Function

از آزمون خطاهای مختلف، از معیار CC خطی و معیار MI که بصورت غیرخطی روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را بررسی می‌کند، استفاده شده است.

۱-۶- مدل‌های ARIMA و SARIMA

مدل‌های ARIMA و SARIMA از مدل‌های جعبه‌سیاه کلاسیک خطی و تک‌متغیره و همچنین تک‌تناوبه هستند که

(جدول ۱): نتایج حاصل از مدل‌سازی شاخص کل سهام توسط مدل ARIMA و SARIMA
(Table-1): The results of the total stock index modeling by ARIMA and SARIMA models

RMSE (نرمال شده)		Nash-Sutcliffe(E)		ساختار مدل	نوع مدل	مقیاس زمانی
آموزش	صحت سنجی	آموزش	صحت سنجی			
0.007	0.0062	0.9487	0.9589	ARIMA(3,2,2)	ARIMA	روزانه
0.0075	0.007	0.9578	0.9688	ARIMA(3,2,2)(1,1,1)[7]	SARIMA	روزانه

شبکه‌های عصبی از الگوریتم لونبرگ-مارکوارت استفاده شده است [22].

فرآیند آموزش شبکه زمانی متوقف می‌شود که میزان خطا در بین داده‌های آزمایشی، شروع به افزایش می‌کند. انتخاب داده‌های ورودی هم به‌صورت کل داده‌های موجود تا پنج روز کاری قبل و هم با استفاده از معیارهای MI و CC انتخاب شده و مورد استفاده قرار گرفته است که در معیار MI از مفهوم آنتروپی استفاده می‌کنیم که ابزاری برای انتخاب ورودی به مدل‌های چندمتغیره است. بهترین ساختار مدل ANN برای مدل‌سازی شاخص کل سهام در جدول (۲) آورده شده است. همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، نتایج مدل‌سازی با ورودی تمام داده‌های پنج روز قبل کاری، چندان مناسب نیست؛ زیرا در عمل هیچ‌گونه آنالیزی قبل از دادن ورودی‌ها به مدل صورت نگرفته است و این تعداد ورودی زیاد باعث ایجاد خطای بیشتری در مدل‌سازی می‌شود؛ ولی نتایج به‌دست‌آمده برای داده‌های ورودی منتخب با استفاده از معیارهای MI و CC مناسب است؛ چون داده‌هایی که با شاخص کل بورس رابطه غیرخطی نزدیک‌تری دارند، انتخاب و داده‌های نامرتبب حذف شده‌اند؛ همچنین در شکل (۳) عملکرد ANN با سه نوع ورودی مختلف بررسی شده است، بدین صورت که در قسمت صحت‌سنجی عملکرد هر سه مدل در پانزده روز دلخواه نشان داده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود برای مدل‌های ARIMA و SARIMA نتایج به‌نسبه مناسبی به‌دست آمده چون با توجه به ACF سری زمانی شاخص کل (شکل ۲)، داده‌های ما دارای خاصیت خودهمبستگی در حد بالایی است؛ اما با این وجود نتایج به‌دست‌آمده به‌نسبه مناسب است.

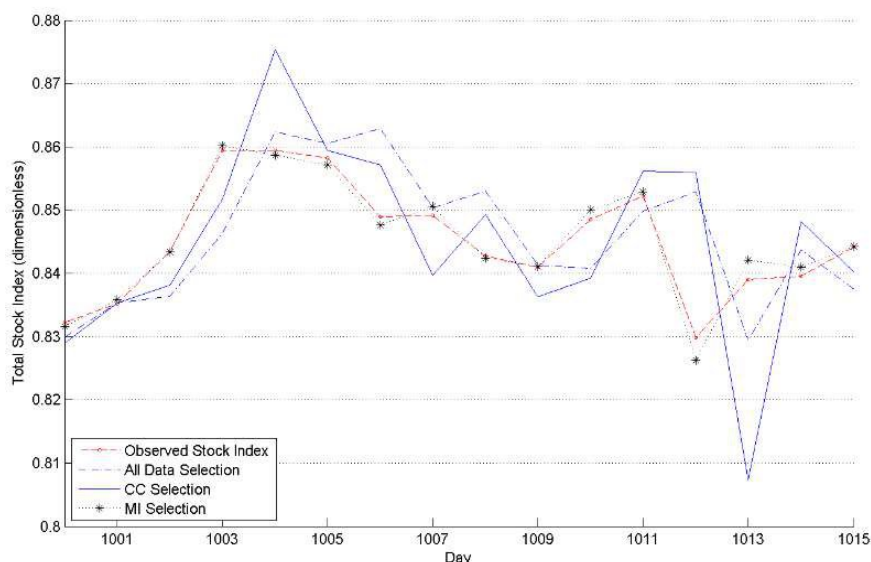
۲-۶- مدل ANN

در مدل ANN، خروجی نه‌تنها به انتخاب مناسب متغیرهای ورودی وابسته است، بلکه به درست تنظیم کردن پارامترهای برنامه همانند توابع محرک، تعداد نرون‌های میانی و تعداد تکرار فرآیند آموزش شبکه نیز وابسته است. ساختار بهینه ANN به‌صورت آزمون و خطا و آنالیز حساسیت به‌دست می‌آید. هدف از این آزمون و خطا، یافتن تعداد نرون‌های لایه پنهان و تعداد تکرار الگوریتم است تا به واسطه آنها مدل تعریف شود. این روند با استفاده از جعبه ابزار nntool نرم‌افزار MATLAB و یا از طریق کدنویسی‌های مربوطه انجام می‌پذیرد. گفتنی است که تعداد تکرارهای آموزشی کم می‌تواند منجر به آموزش ناقص شود؛ لذا بایستی مقدار بهینه‌ای برای تعداد تکرارها در نظر گرفت تا کیفیت مدل برای هر دو مرحله آموزش و آزمایش قابل قبول باشد. در این مطالعه تعداد تکرارها از طریق آزمون و خطا در بازه ده تا دویست تعیین شد. به جهت قدرت هم‌گرایی زیاد، برای آموزش

(جدول-۲): نتایج حاصل از مدل سازی شاخص کل سهام توسط مدل ANN

(Table-2): The results of the total stock index modeling by ANN model

متد انتخاب ورودی	ورودی مدل	ساختار مدل	تکرار	Nash-Sutcliffe(E)		RMSE (نرمال شده)	
				آموزش	صحت سنجی	آموزش	صحت سنجی
ALL	ALL DATA	30-5-1	50	0.9087	0.8890	0.007	0.0075
MI	شاخص کل (یک روز قبل)، شاخص صنعت (یک روز قبل)، شاخص صنعت (دو روز قبل)، شاخص کل (دو روز قبل)، شاخص ارز شناور (یک روز قبل)، شاخص صنعت (سه روز قبل)، شاخص کل (سه روز قبل)	7-10-1	100	0.9786	0.9770	0.005	0.0056
CC	شاخص کل (یک روز قبل)، شاخص صنعت (یک روز قبل)، شاخص کل (سه روز قبل)، شاخص صنعت (دو روز قبل)، شاخص کل (چهار روز قبل)	7-13-1	100	0.9689	0.9682	0.003	0.006



(شکل-۳): نمودار مقایسه عملکرد مدل ANN با ورودی های مختلف

(Figure-3): The comparison chart of the ANN model performance with different inputs

نحوه مدل سازی با ANFIS نیز همانند ANN است با این تفاوت که تنظیم پارامترهای این مدل کمی متفاوت تر از مدل پیشین است. در مدل سازی توسط ANFIS دو نکته مهم وجود دارد که باید مورد توجه قرار بگیرد، اولی ساختار ANFIS (نوع و تعداد توابع عضویت) و دومی تعداد تکرار جهت آموزش ANFIS است. انتخاب مناسب پارامترهای بالا می تواند هم در گام آموزش و هم در گام سنسجش منجر به بهبود کارایی مدل شود. مشابه شبکه های عصبی، تعداد تکرارهای آموزشی کم می تواند منجر به آموزش ناقص شود؛ لذا بایستی مقدار بهینه ای برای تعداد تکرارها در نظر گرفت تا کیفیت مدل برای

همان طور که در شکل (۳) مشاهده می شود، عملکرد مدل ANN با ورودی MI در پیش بینی نقاط بیشینه مناسب تر از سایر مدل ها بوده و این به دلیل در نظر گرفتن روابط غیرخطی است.

۳-۶- مدل ANFIS

مدل ANFIS نوعی از مدل های شبکه عصبی مصنوعی بوده که عدم قطعیت را نیز در نظر گرفته و از جمله مدل های خودهمبسته است که به صورت غیرخطی امکان کنترل جزء خودهمبسته سری زمانی را فراهم می کند. اصول و روند کلی

روند آزمون و خطا به دست آمده و بهترین نتایج یاد شده است. برای انتخاب داده های ورودی هم به صورت کل داده های موجود تا پنج روز کاری قبل و هم از معیار MI و CC استفاده شده است. برای مدل سازی شاخص کل سهام، بهترین ساختار مدل ANFIS در جدول (۳) آورده شده است.

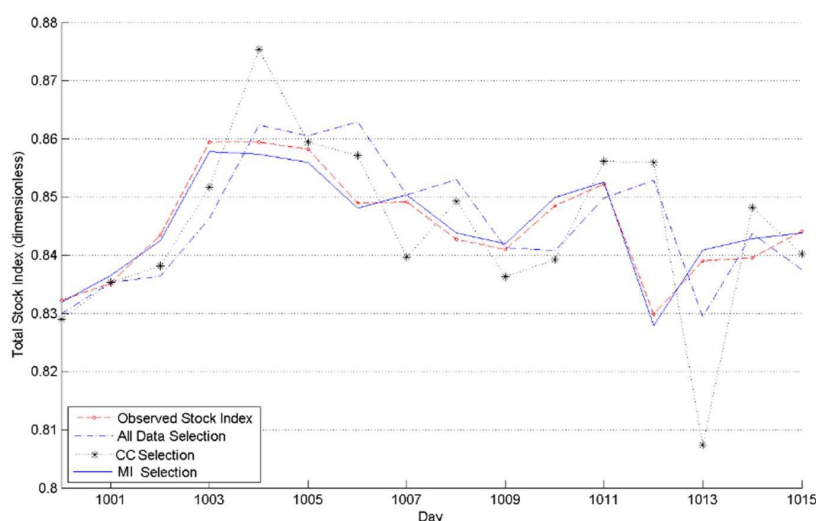
همان طور که مشاهده می شود، برای داده های ورودی منتخب با استفاده از معیار MI و CC نتایج مناسبی به دست آمده و همچنین در شکل (۴) عملکرد ANFIS با سه نوع ورودی مختلف بررسی شده؛ بدین صورت که در قسمت صحت سنجی عملکرد هر سه مدل در پانزده روز دلخواه نشان داده شده است.

هر دو مرحله آموزش و آزمایش قابل قبول باشد. در مدل ANFIS تعداد تکرارها از طریق آزمون و خطا تعیین می شود. جهت مدل سازی ANFIS در این پژوهش از جعبه ابزار fuzzy logic نرم افزار MATLAB استفاده شده است که جهت فراخوانی ANFIS در محیط MATLAB از دستور anfisedit استفاده می شود. نرم افزار MATLAB توابع عضویت زیادی را جهت فازی سازی ورودی ها در اختیار کاربر قرار می دهد (مانند مثلثی، ذوزنقه ای، زنگوله ای، گوسی و...) که از میان آنها دو تابع عضویت زنگوله ای و گوسی در مدل سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی از کاربرد بیشتری برخوردار هستند. در این پژوهش جهت فازی کردن ورودی ها از تابع عضویت زنگوله ای و گوسی استفاده شده که تعداد آن برای هر ورودی براساس

متد انتخاب ورودی	ورودی مدل	ساختار مدل	Nash-Sutcliffe(E)		RMSE(نرمال شده)	
			آموزش	صحت سنجی	آموزش	صحت سنجی
ALL	ALL DATA	گوسی-۳	۰.۹۶۸۴	۰.۹۵۷۸	۰.۰۰۰۷	۰.۰۵۸
MI	شاخص کل (یک روز قبل)، شاخص صنعت (یک روز قبل)، شاخص صنعت (دو روز قبل)، شاخص کل (دو روز قبل)، شاخص ارزشناور (یک روز قبل)، شاخص صنعت (سه روز قبل)، شاخص کل (سه روز قبل)	گوسی-۳	۰.۹۹۹۷	۰.۹۹۷۱	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۴
CC	شاخص کل (یک روز قبل)، شاخص کل (دو روز قبل)، شاخص صنعت (یک روز قبل)، شاخص صنعت (دو روز قبل)، شاخص کل (سه روز قبل)، شاخص صنعت (سه روز قبل)، شاخص کل (چهار روز قبل)	گوسی-۳	۰.۹۹۸۲	۰.۹۹۶۰	۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۴۵

(جدول-۳): نتایج حاصل از مدل سازی شاخص کل سهام به وسیله مدل ANFIS

(Table-3): The results of the total stock index modeling by the ANFIS model



(شکل-۴): نمودار مقایسه عملکرد مدل ANFIS با ورودی های مختلف

(Figure-4): The comparison chart of the ANFIS model performance with different inputs

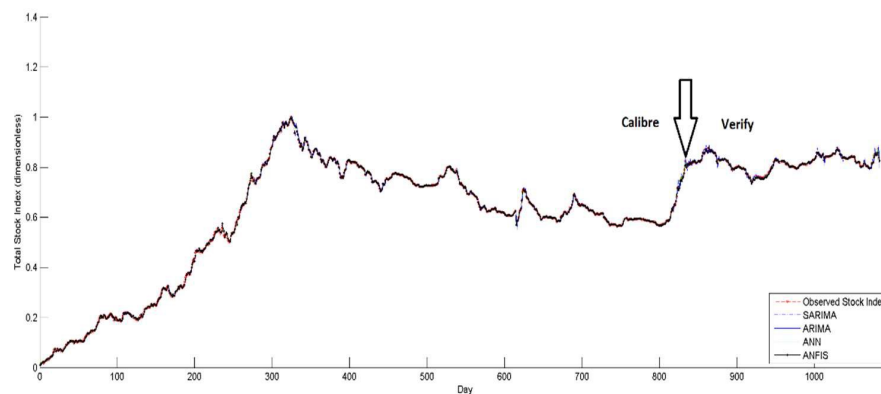
همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، عملکرد مدل ANFIS با ورودی MI در پیش‌بینی نقاط بیشینه مناسب‌تر از سایر مدل‌ها بوده و این به دلیل در نظر گرفتن روابط غیرخطی و عدم قطعیت است.

همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، برای مقایسه کل، بهترین مدل‌های ANN و ANFIS استفاده شده که همان مدل‌های با ورودی روش MI هستند، انتخاب شده است. از دید کلی با توجه به خودهمبستگی بالای سری زمانی استفاده شده (شکل ۲) همه مدل‌های استفاده شده نتایج مناسبی را شامل شده‌اند؛ اما همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، مدل ANFIS با ورودی روش MI در پیش‌بینی نقاط بیشینه بهتر عمل کرده است.

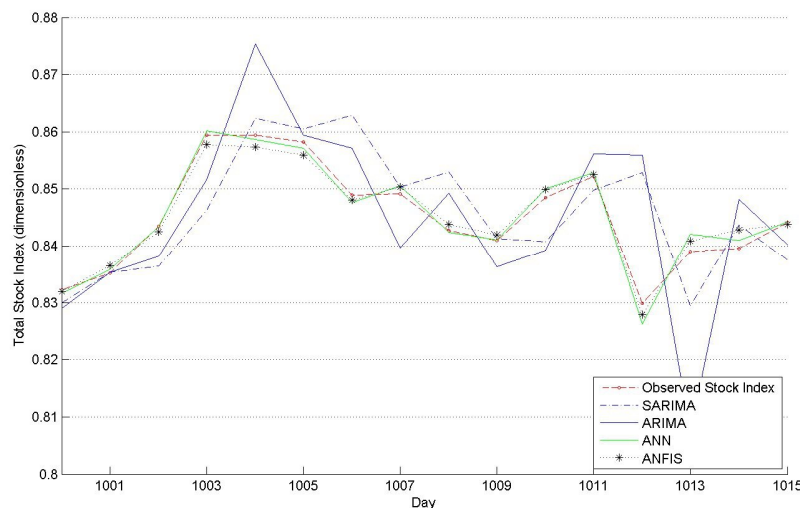
ما همچنین تأثیر هر یک از ویژگی‌های بررسی شده را بر روی تخمین شاخص کل سهام بررسی کردیم. نتایج این بررسی در جدول‌های (۴ و ۵) ارائه شده است.

۷- مقایسه مدل‌ها

در این قسمت نتایج حاصل از مدل‌سازی‌ها در مرحله صحت‌سنجی مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفته شده است و در ادامه بهترین مدل‌ها از منظر دقت پیش‌بینی و پیش‌بینی نقاط بیشینه (در مرحله صحت‌سنجی) مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند.



(شکل-۵): نمودار مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های صورت گرفته برای پیش‌بینی شاخص کل
(Figure-5): The comparison chart of the total stock index different models



(شکل-۶): نمودار جزئیات مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های صورت گرفته برای پیش‌بینی شاخص کل
(Figure-6): Details of the comparison chart of the total stock index different models

(جدول-۴): تأثیر هر ویژگی با استفاده از روش MI در تخمین شاخص کل سهام

(Table-4): The effect of each feature using the MI method in total stock index modeling

یک روز قبل	یک روز قبل	دو روز قبل	دو روز قبل	یک روز قبل	سه روز قبل	سه روز قبل	چهار روز قبل	چهار روز قبل	یک روز قبل
شاخص کل	شاخص صنعت	شاخص صنعت	شاخص کل	شاخص ارز	شاخص ارز	شاخص ارز	شاخص ارز	شاخص کل	شاخص بازار اول
1.5034	1.4891	1.4052	1.3958	1.3536	1.3505	1.3500	1.3281	1.3206	1.3197
دو روز قبل	سه روز قبل	پنج روز قبل	پنج روز قبل	چهار روز قبل	دو روز قبل	پنج روز قبل	یک روز قبل	دو روز قبل	سه روز قبل
شاخص ارز	شاخص ارز	شاخص کل	شاخص کل	شاخص ارز	شاخص بازار اول	شاخص ارز	شاخص بازار دوم	شاخص بازار دوم	شاخص بازار اول
1.3163	1.3046	1.3030	1.3010	1.2971	1.2920	1.2838	1.2820	1.2708	1.2684
چهار روز قبل	چهار روز قبل	سه روز قبل	پنج روز قبل	پنج روز قبل	سه روز قبل	چهار روز قبل	دو روز قبل	چهار روز قبل	یک روز قبل
شاخص بازار دوم	شاخص بازار اول	شاخص بازار دوم	شاخص بازار اول	شاخص بازار دوم	طلا	نفت	طلا	طلا	نفت
1.2632	1.2630	1.2623	1.2602	1.2529	1.1644	1.1597	1.1583	1.1581	1.1537
پنج روز قبل	پنج روز قبل	یک روز قبل	سه روز قبل	دو روز قبل	سه روز قبل	چهار روز قبل	دو روز قبل	پنج روز قبل	یک روز قبل
نفت	طلا	طلا	نفت	نفت	دولار	دولار	دولار	دولار	دولار
1.1530	1.1483	1.1478	1.1472	1.1384	0.8394	0.8383	0.8355	0.8348	0.8323

(جدول-۵): تأثیر هر ویژگی با استفاده از روش CC در تخمین شاخص کل سهام

(Table-5): The effect of each feature using the CC method in the total stock index modeling

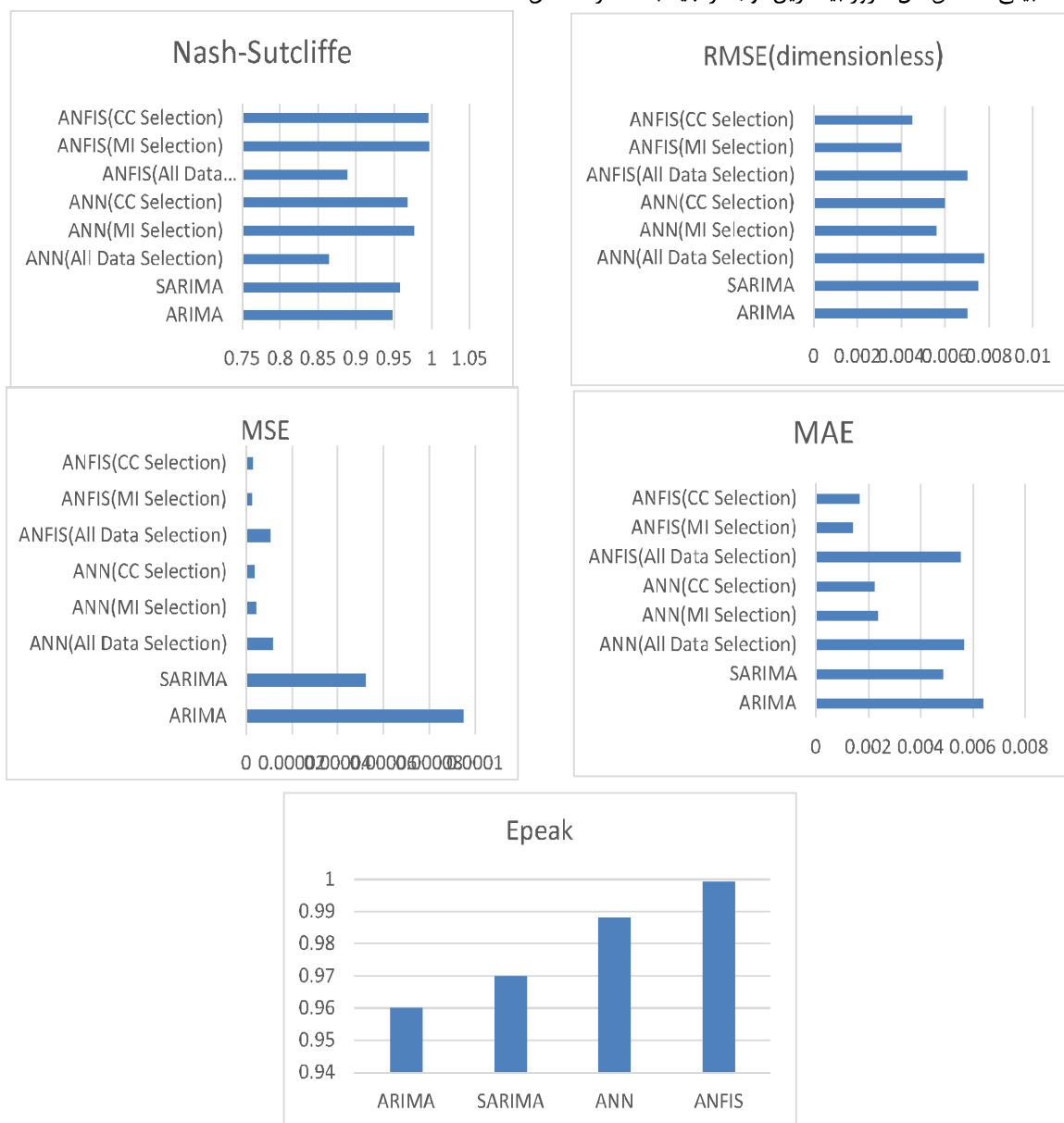
یک روز قبل	دو روز قبل	یک روز قبل	سه روز قبل	دو روز قبل	سه روز قبل	چهار روز قبل	چهار روز قبل	پنج روز قبل	یک روز قبل
شاخص کل	شاخص کل	شاخص صنعت	شاخص کل	شاخص صنعت	شاخص صنعت	شاخص کل	شاخص کل	شاخص ارز	شاخص ارز
0.9994	0.9986	0.9982	0.9977	0.9977	0.9969	0.9967	0.9961	0.9955	0.9954
پنج روز قبل	دو روز قبل	سه روز قبل	چهار روز قبل	پنج روز قبل	یک روز قبل	دو روز قبل	سه روز قبل	چهار روز قبل	پنج روز قبل
شاخص صنعت	شاخص ارز	شاخص ارز	شاخص ارز	شاخص ارز	شاخص بازار اول	شاخص بازار اول	شاخص بازار اول	شاخص بازار اول	شاخص بازار اول
0.9952	0.9946	0.9936	0.9924	0.9911	0.9869	0.9861	0.9852	0.9841	0.9829
یک روز قبل	دو روز قبل	سه روز قبل	چهار روز قبل	پنج روز قبل	یک روز قبل	دو روز قبل	سه روز قبل	چهار روز قبل	پنج روز قبل
شاخص بازار دوم	شاخص بازار دوم	شاخص بازار دوم	شاخص بازار دوم	شاخص بازار دوم	دولار	دولار	دولار	دولار	دولار
0.9662	0.9658	0.9653	0.9648	0.9641	0.8006	0.7991	0.7974	0.7956	0.7937
پنج روز قبل	چهار روز قبل	سه روز قبل	دو روز قبل	یک روز قبل	یک روز قبل	دو روز قبل	سه روز قبل	چهار روز قبل	پنج روز قبل
نفت	نفت	نفت	نفت	نفت	طلا	طلا	طلا	طلا	طلا
-0.4524	-0.4547	-0.4570	-0.4594	-0.4618	-0.7080	-0.7088	-0.7097	-0.7106	-0.7114

کل روزهای قبل داشته باشند؛ اما قیمت طلا و دلار تأثیر زیادی روی شاخص کل بورس نخواهد داشت.

۷-۱- ارزیابی مدل ها با معیارهای ارزیابی

همان طور که در شکل (۷) مشخص است در مرحله صحت سنجی تمام نتایج به دست آمده از مدل سازی ها با پنج معیار ارزیابی مورد بررسی قرار گرفته که نتایج حاکی از آن است که مدل ANFIS با دو نوع ورودی MI و CC از بقیه مدل ها بهتر عمل کرده است.

در جدول (۴) و جدول (۵) تأثیر هر فیچر ورودی با استفاده از روش MI و CC بر کارایی کل سامانه نشان داده شده است. در این جدول ها مقادیر عددی طبق رابطه (۳ و ۴) محاسبه شده اند. روش MI ارتباط غیرخطی و روش CC ارتباط خطی را مشخص می کند. همان طور که مشاهده می شود، ویژگی شاخص کل در روش دو روش دارای بیشترین تأثیر و ویژگی قیمت دلار در روش MI و قیمت طلا در روش CC کمترین تأثیر را در کارایی سامانه تخمین زنده شاخص سهام دارند. این یافته بیان گر این فرضیه است که سرمایه گذاران بورس برای موفقیت در کار خود و پیش بینی شاخص کل امروز بیشترین توجه را باید به مقدار شاخص



(شکل-۷): نمودار مقایسه معیارهای ارزیابی حاصل از مدل سازی های صورت گرفته برای پیش بینی شاخص کل
(Figure-7): The comparison chart of the evaluation criteria in the total stock index

- [4] M. Mahdavi, H. Ahaki, B. Nasrsharif. "Designing a Currency Recognition System Based on Neural Networks Using Texture and Color of Images," *JSDP*, 2011.
- [5] G. A. Darbellay and M. Slama, "Forecasting the short-term demand for electricity," *International Journal of Forecasting*, vol. 16, no. 1, pp. 71-83, 2000.
- [6] T. Hill, L. Marquez, M. O'Connor, and W. Remus, "Artificial neural network models for forecasting and decision making," *International Journal of Forecasting*, vol. 10, no. 1, pp. 5-15, 1994.
- [7] D. Enke and S. Thawornwong, "The use of data mining and neural networks for forecasting stock market returns," *Expert Systems with Application*, vol. 29, no. 4, pp. 927-940, 2005.
- [8] G. S. Atsalakis and K. P. Valavanis, "Forecasting stock market short-term trends using a neuro-fuzzy based methodology," *Expert Systems with Application*, vol. 36, no. 7, pp. 10696-10707, 2009.
- [9] E. Guresen, G. Kayakuthu, and T. U. Daim, "Using artificial neural network models in stock market index prediction," *Expert Systems with Application*, vol. 38, no. 8, pp. 10389-10397, 2011.
- [10] W. Qiu, X. Liu, and L. Wang, "Forecasting shanghai composite index based on fuzzy time series and improved C-fuzzy decision trees," *Expert Systems with Application*, vol. 39, no. 9, pp. 7680-7689, 2012.
- [11] A. H. Moghaddam, M. H. Moghaddam, and M. Esfandiyari, "Stock market index prediction using artificial neural network," *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, vol. 21, no. 41, pp. 89-93, 2016.
- [12] M. Qiu, Y. Song, and F. Akagi, "Application of artificial neural network for the prediction of stock market returns: The case of the Japanese stock market," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 85, pp. 1-7, 2016.
- [13] N. Tripathy, "Predicting Stock Market Price Using Neural Network Model," *International Journal of Strategic Decision Sciences*, vol. 9, no. 3, pp. 84-94, 2018.
- [14] Z. Hajirahimi and M. Khashei, "Hybrid structures in time series modeling and forecasting: A review," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.08.018> vol. 86, no. 1, pp. 83-106, 2019.
- [15] D. Selvamuthu, V. Kumar, and A. Mishra, "Indian stock market prediction using artificial neural networks on tick data," *Financial Innovation*, vol. 5, no. 6, 2019.
- [16] J. Silva, J. V. Villa, and D. Cabrera, "Sale forecast for basic commodities based on artificial neural networks prediction," *proceedings in*

۸- نتیجه گیری

پس از تحلیل خروجی سامانه و داده های به دست آمده در بخش ارزیابی، نتایج زیر را استخراج کردیم:

۱. بررسی و انتخاب ورودی های مناسب قبل از مدل سازی، تأثیر به سزایی در بهبود نتایج مدل سازی دارد، به خصوص استفاده از روش MI برای انتخاب داده های ورودی.
۲. در روش های شبکه های عصبی فازی و شبکه های عصبی مصنوعی، انتخاب داده های ورودی با معیارهای MI و CC، در بهبود نتایج تأثیر به سزایی داشته است.
۳. مدل ANFIS از لحاظ پنج معیار ارزیابی عملکرد نسبت به مدل های دیگر ارجحیت دارد؛ لذا پیش بینی سری زمانی قیمت سهام با استفاده از شبکه های عصبی فازی می تواند خطای برآورد شاخص کل سهام را کاهش دهد.
۴. روش ANFIS نسبت به روش ANN دارای توانایی بالایی در شناخت الگوهای حاکم بر داده ها دارد و در تمامی پنج معیار ارزیابی عملکرد، شبکه های عصبی فازی بر شبکه های عصبی مصنوعی برتری دارد. نتایج بیان گر این حقیقت است که شبکه های عصبی فازی دارای ویژگی های منحصر به فرد، هم گرایی سریع، دقت بالا و برای پیش بینی شاخص کل سهام مناسب هستند.
۵. هر دو روش هوش مصنوعی نسبت به روش های کلاسیک نتایج بهتری نشان داده اند و در تمامی پنج معیار ارزیابی عملکرد، شبکه های عصبی فازی و شبکه های عصبی مصنوعی نسبت به روش های کلاسیک برتری دارد.

9- References

۹- مراجع

- [1] B. K. Wong, T. A. Bodnovich, and Y. Selvi, "Neural network applications in business: A review and analysis of the literature (1988-1995)," *Decision Support Systems*, vol. 19, no. 4, pp. 301-320, 1997.
- [2] T. Kimoto, K. Asakawa, M. Yoda, and M. Takeoka, "Stock market prediction system with modular neural networks," *1990 IJCNN International Joint Conference on Neural Networks*, vol. 1, pp. 1-6, 1990.
- [3] G. Tkacz, "Neural network forecasting of Canadian GDP growth," *International Journal of Forecasting*, vol. 17, no. 1, pp. 57-69, 2001.
- [4] م. مهدوی، ج. آهکی، ب. ناصرشریف. طراحی یک سیستم تشخیص اسکناس مبتنی بر شبکه عصبی با استفاده از مشخصه های بافت و رنگ تصویر. پردازش علائم و داده ها، ۱۳۸۹.

دریافت کرده است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان عبارتند از: شبکه‌های عصبی و سامانه‌های فازی است. نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

zhrpashaei@gmail.com



رحیم دهخوارفانی در سال ۸۵، مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی رایانه شاخه نرم‌افزار از دانشگاه پیام نور و در سال ۸۷ مدرک کارشناسی ارشد خود را از

دانشگاه شهید بهشتی در شاخه نرم‌افزار رشته مهندسی رایانه دریافت کرده و از سال ۹۰ تا ۹۴ دوره دکتری را در دانشگاه سابانجی استانبول (ترکیه) در شاخه هوش مصنوعی گذراند. از نقاط برجسته کارنامک ایشان، کسب مقام نخست جهانی در مسابقات SUMO Prize 2007 به دلیل ساخت بهترین آنتولوژی دامنه برای آنتولوژی SUMO توسط تیم دانشگاه شهید بهشتی است. ایشان از سال ۹۵ عضو هیئت علمی دانشگاه بناب در گروه مهندسی رایانه است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

rdehkharghani@ubonab.ac.ir

Advances in Intelligent Systems and Computing, pp. 37-43, 2019.

- [17] S. Chopra, D. Yadav, and A. N. Chopra, "Artificial Neural Networks Based Indian Stock Market Price Prediction: Before and After Demonetization," *Journal of Swarm Intelligence Evolutionary Computation*, vol. 8, no. 174, pp. 2, 2019.
- [18] Jadhav S., Dange B., Shikalgar S. "Prediction of Stock Market Indices by Artificial Neural Networks Using Forecasting Algorithms". International Conference on Intelligent Computing and Applications. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 632, Springer, Singapore.
- [19] T. Quoc Bao, L. Nhat Tan, L. Thi Thanh An, and B. Thi Thien My, "Forecasting stock index based on hybrid artificial neural network models," *Science and Technology Development Journal - Economics - Law and Management*, vol. 3, no. 1, 2019.
- [20] Ashik A.M., Kannan K.S. "Time Series Model for Stock Price Forecasting in India". In: Logistics, Supply Chain and Financial Predictive Analytics. Asset Analytics (Performance and Safety Management). Springer, Singapore, 2019 .
- [21] R. S. Pressman, "Software Engineering A Practitioner's Approach". 7th Ed. - Roger S. Pressman. 2009.
- [22] J. D. Salas, "Applied modeling of hydrologic time series", Water Resources Publication, 1980.
- [23] G. E. P. Box, G. M. Jenkins, G. C. Reinsel, and G. M. Ljung, "Time series analysis: forecasting and control", John Wiley & Sons, 2015.
- [24] م. البرزی، *آشنایی با شبکه‌های عصبی*. انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۰.
- [24] M. Alborzi, "An introduction to Neural Networks." Sharif University of Technology, 2000.
- [25] S. Alvisi, G. Mascellani, M. Franchini, and A. Bárdossy, "Water level forecasting through fuzzy logic and artificial neural network approaches," *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 10, pp. 1-17, 2006.
- [26] J. S. R. Jang, "ANFIS: Adaptive-Neuro-Fuzzy Inference System," *IEEE Transaction Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 23, no. 3, pp. 665-685, 1993.



زهرا پاشایی در سال ۹۴، مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی رایانه شاخه نرم‌افزار از دانشگاه بناب و در سال ۹۷ مدرک کارشناسی ارشد خود را از دانشگاه آزاد در شاخه نرم‌افزار رشته مهندسی رایانه