مقایسه روشهای کلاسیک و هوش مصنوعی در پیش‌بینی شاخص قیمت سهام و طراحی مدل ترکیبی

عادل آذر[۱*]، امیر افسر[۲]، پرویز احمدی[۳]

۱- دانشیار مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- مربی مدیریت، دانشگاه قم، قم، ایران

۳- استادیار مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

دریافت: ۸٤/۲/۳ پذیرش: ۸٥/٤/۲٦

چکیده

امروزه، سرمایه‌گذاری در بورس، بخش مهمی از اقتصاد کشور را تشکیل می‌دهد. به همین دلیل پیش‌بینی قیمت سهام برای سهامداران از اهمیت خاصی برخوردار شده است تا بتوانند بالاترین بازده را از سرمایه‌گذاری خود کسب کنند. از سوی دیگر، شاخص قیمت سهام نشان‌دهنده وضعیت کلی بازار سهام است و می‌تواند به پیش‌بینی سهامداران جهت سرمایه‌گذاری کمک کند. اغلب در سالهای گذشته از روشهای کلاسیک برای پیش‌بینی قیمت سهام استفاده می‌کردند، اما با پیشرفت و توسعه مداوم روشهای فرا ابتکاری، شبکه‌های عصبی و شبکه‌های عصبی فازی، کاربردهای روزافزونی در مبحث پیش‌بینی شاخص قیمت سهام پیدا کرده‌اند.

در این تحقیق، سه رویکرد مطرح می‌شود: ۱) پیش‌بینی شاخص قیمت سهام با رویکرد روشهای کلاسیک؛ ۲) رویکرد هوش مصنوعی؛ ۳) رویکرد ترکیبی. به این منظور ابتدا ارزیابی عملکرد روشهای کلاسیک از قبیل روشهای هموارسازی نمایی، تحلیل روند، ARIMA و هوش مصنوعی از قبیل شبکه‌های عصبی و شبکه‌های عصبی فازی انجام شده است، سپس سناریو سوم، یعنی طراحی مدل ترکیبی از ARIMA ، شبکه‌های عصبی و شبکه‌های عصبی فازی مورد بررسی قرار گرفته است.

---

* نویسنده مسؤول مقاله: E-mail: aazar@modares.ac.ir

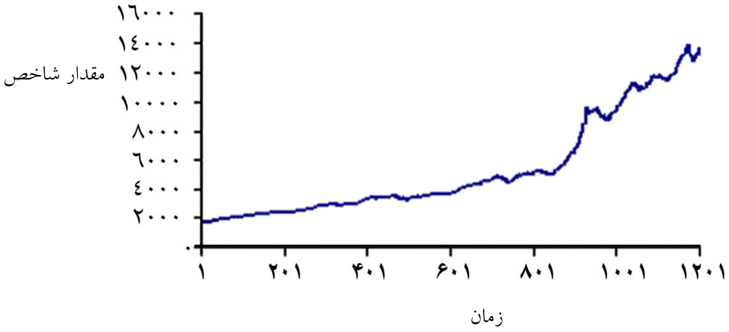
ترکیبی از ARIMA ، شبکه‌های عصبی و شبکه‌های عصبی فازی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحقیق بیانگر آن است که توانایی مدل ترکیبی نسبت به تمامی روشهای هوش مصنوعی و کلاسیک بالاتر است.

کلید واژه‌ها: هوش مصنوعی، شبکه‌های عصبی فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، شاخص قیمت سهام پیش‌بینی.

۱- مقدمه

با توسعه مداوم اقتصاد جامعه، افزایش سریعی در ظهور بازارهای سرمایه در کشور صورت گرفته است. امروزه، سرمایه‌گذاری در بورس، بخش مهمی از اقتصاد جامعه را تشکیل می‌دهد. به همین دلیل پیش‌بینی قیمت سهام برای سهامداران از اهمیت خاصی برخوردار شده است تا بتوانند بالاترین بازده را از سرمایه‌گذاری خود کسب کنند. در فرایندهای تعیین روند گذشته، بسیاری از روشهای تجزیه و تحلیل تکنیکی برای بازار سهام از قبیل نمودار خط K، میانگین متحرک و غیره به کار گرفته می‌شوند. این روشها به طور کلی بر مبنای داده‌های آماری می باشند. در حالی که بازار سهام در حقیقت یک سیستم غیرخطی و آشوبناک است که به عوامل سیاسی، اقتصادی و روانی وابسته است. بنابراین به‌کارگیری ابزارهای تجزیه و تحلیل سنتی برای اتخاذ تصمیمهای دقیق در مورد سهام بسیار مشکل است. علاوه بر این، تفاوت قابل ملاحظه‌ای در تجزیه و تحلیل نتایج افراد در استفاده از ابزار همانند وجود دارد و نشان‌دهنده آن است که تمامی آنها مناسب استفاده برای سرمایه‌گذاران عادی و بدون دانش و تجربه حرفه‌ای نیست.

در این مقاله با استفاده از داده های روزانه شاخص کل قیمت سهام بورس اوراق بهادار در بازده زمانی پنج ساله (مهرماه ۱۳۷۸ تا مهرماه ۱۳۸۳) به پیش‌بینی شاخص کل قیمت سهام با استفاده از روشهای مختلف کلاسیک و هوش مصنوعی پرداخته و یک مدل ترکیبی از روشهای کلاسیک و هوش مصنوعی ارائه می‌شود. داده‌های واقعی شاخص کل قیمت سهام در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل۱ داده‌های واقعی شاخص کل قیمت سهام

۲- ادبیات تحقیق

در تحقیقات اقتصادی، بیشترین مدلهای پیش‌بینی استفاده شده، روشهای اقتصادسنجی، تحلیلهای واریانس – اتوکوواریانس و همبستگی و به طور کلی تحلیلهای علی بوده‌اند. در موضوعات مالی، روشهای باکس – جنکینز و هموارسازی یا رگرسیون چند متغیره برای تحلیلهای علی در مسائلی مانند پیش‌بینی سود شرکتها، قیمت سهام شرکتها، پیش‌بینی اقلام ترازنامه و گردش وجوه نقد و در موضوعات و مسائل بازرگانی، روشهای کیفی (بیشتر روش دلفی) بیشترین استفاده را داشته‌اند. شاید مهمترین دلیل این نحوه کاربرد، مسبوق به سابقه بودن استفاده از این روشها در این علوم مختلف است. رویکردهای نوین، مانند روش شبکه‌های عصبی و شبکه‌های عصبی فازی در انواع مختلف مسائل پیش‌بینی و در علوم مختلف مالی، اقتصادی و بازرگانی استفاده شده‌اند و در تحقیقات مختلف به آن استناد شده است. تحقیقات متعددی در مقایسه بین روشهای پیش‌بینی مطرح شده‌اند. خصوصاً در دهه اخیر، این مقایسه بین روشهای شبکه‌های عصبی، شبکه‌های عصبی فازی و روشهای اقتصاد سنجی و یا باکس - جنکینز مطرح شده و انجام گرفته است.

در این راستا، تحقیقات متعددی در زمینه مقایسه روشهای پیش‌بینی و بررسی کارایی هر کدام از مدلها با استناد به معیارهای خطا صورت گرفته است. در زمینه رویکرد ترکیبی (به عنوان

رویکرد جدید) نیز تحقیقات متعددی انجام شده است. تحقیقات پیش‌بینی ترکیبی به صورت تئوری با کار ماکرادیکس و وینکلر به صورت جدی مطرح شد [١٦ ،صص ٩٨٧-٩٩٦]. آنها در یک تحقیق گسترده در مورد ترکیب روشهای پیش‌بینی دریافتند که میانگین موزون و یا ساده، میزان خطای پیش‌بینی را نسبت به سایر روشها بسیار کاهش می‌دهد. کار این افراد در زمینه پیش‌بینی داده‌های سری زمانی اقتصادی مانند تولید ناخالص ملی بوده است.

کلاپی وآرمسترونگ شیوه مبتنی بر قاعده را به عنوان روش مناسب ترکیب انواع پیش‌بینیها مورد توجه قرار دادند [٢، صص ١٣٩٤-١٤١٤]. در مورد تحلیلهای مربوط به رویکرد ترکیبی، مارسلو و آلوارو ترکیب روشهای پیش‌بینی هموارسازی نمایی و شبکه‌های عصبی را با یکدیگر به کار بردند [٣، صص ١٤٠٢- ١٤١٢]. در این تحلیل، روش پیش‌بینی ARIMA به عنوان ورودی شبکه عصبی لحاظ شده است.

در یک رویکرد ترکیبی، وزن‌گذاری شبکه‌های عصبی به وسیله الگوریتم ژنتیک انجام شده و از آن به عنوان روش هیبرید نام برده شده است [٤، صص ٤٩٦-٥١٧]. در بررسی و تحلیل رویکردهای ترکیبی، یکی از روشهای غالب به کاررفته، روش « سیستمهای خبره» می‌باشد. سیستمهای خبره با سیستمهای مبتنی بر دانش با تنظیم پایگاه دانش مناسب، روش پیش‌بینی مناسب را مورد استفاده قرار می‌دهند. در کار تحقیقی فلورس و پیرس روشهای مختلف پیش‌بینی، مانند تحلیل نایو، هولت، وینترز، ANN و ARIMA و تحلیلهای روند با یکدیگر مقایسه شده و با توجه به معیارهای خطا با یکدیگر ترکیب شده‌اند [٥، صص ٤٨٥-٤٩٦]. آرمسترونگ و کلاپی از همین تحلیل سیستمهای خبره (مبتنی بر دانش) برای ترکیب و انتخاب مناسب بین روشهای پیش‌بینی استفاده کردند [٦، صص ٦٩-٨٤].

بیشتر پژوهشهای صورت گرفته در خصوص پیش‌بینیهای ترکیبی درباره مؤلفه‌های اقتصاد کلان مانند GNP، رشد اقتصادی و نرخ تورم بوده است. کراشور، فیلدز و استکلر در تحقیقات خود به این نتایج اشاره کرده‌اند [٧، صص ٤٨٣-٤٨٩؛ ٨ ، صص ٤٣٥-٤٦٨]. نتایج این تحقیقات نشان‌دهنده این است که روشهای فردی پیش‌بینی می‌توانند بر یکدیگر تأثیر

بگذارند و این تأثیر موجب کاهش قابل ملاحظه خطای پیش‌بینی خواهد شد. کوزوکی و الیو در زمینه به‌کارگیری روشهای پیش‌بینی در مباحث اقتصاد کلان با استفاده از روشهای اقتصادسنجی و روشهای ترکیبی با استفاده از داده‌های واقعی و مقایسه آنها با یکدیگر نتایجی ارائه کرده‌اند [۹، صص ٥٤١-٥٥٧؛ ۱۰، صص ٥۳۹-٥٥۳]. ژانگ الگویی ترکیبی ارائه داده است که در آن روش ARIMA و شبکه‌های عصبی را با هم ترکیب کرده است [۱۱، صص ۱٥۹-۱۷٥]. آذر و رجب‌زاده نیز مدلی برای ترکیب روشهای کلاسیک و شبکه‌های عصبی ارائه داده‌اند که خروجی مدل ترکیبی نسبت به تمامی روشهای منفرد بهتر است [۱۲، صص ۷۸-۱۱٤]. پای و لین دو روش ARIMA را به عنوان روش خطی و Support Vector Mechine را به عنوان روش غیرخطی با هم ترکیب کرده و مدعی کاهش میزان خطای مدل ترکیبی شده‌اند[۱۳، صص ٤۹۷- ٥۰٥].

۳- مدلسازی پیش‌بینی شاخص سهام

برای پیش‌بینی شاخص قیمت سهام روشهای مختلفی وجود دارد که در یک تقسیم‌بندی کلی به سه دسته روشهای کلاسیک، هوش مصنوعی و ترکیبی تقسیم‌بندی می‌شوند. بنابراین در تحلیل پیش‌بینی شاخص قیمت سهام، سه سناریو بررسی شده است:

سناریو ۱: پیش‌بینی شاخص قیمت سهام با رویکرد روشهای کلاسیک ؛
سناریو ۲: پیش‌بینی شاخص قیمت سهام با رویکرد روشهای هوش مصنوعی ؛
سناریو ۳: پیش‌بینی شاخص قیمت سهام با رویکرد روشهای ترکیبی.

۳- ۱- پیش‌بینی شاخص قیمت سهام با رویکرد روشهای کلاسیک

۳-۱-۱- پیش‌بینی با استفاده از روش هموارسازی نمایی

این روش شامل بسته پیش‌بینی با مدلهای زیر است:

الف: هموارهسازی براون ساده: این روش با یک ضریب تصحیح α (که هموارکننده خطاهای پیش‌بینی است) براورد خود را انجام می‌دهد. در تحلیل این روش، ضریب هموارسازی α =۰/۹ و از طریق سعی و خطا و لحاظ بهترین مقدار مجموع مجذور خطاها به دست آمده‌است.

ب: هموارسازی هولت: در این روش، ضریب هموارسازی تصحیح α و نیز ضریب روند β نیز محاسبه می‌شوند. محاسبه هر دو روش با استناد به سعی و خطاست. در این روش α =۰/۷ و β =۰/٤ به دست آمده است.

ج: هموارسازی سفارشی با روند خطی: در این روش، پارامترهای α =۱ و γ =۰/۲ بهترین ضرایب متناسب با داده‌ها می‌باشند. در این روش برای هر داده یک تابع خطی تعریف می‌شود.

د: هموارسازی سفارشی با روند نمایی: در این روش، سه ضریب نتایج پیش‌بینی بهترین میزان خطای خود را با α =۱ و γ =۰/۲ برای داده‌ها نشان داده‌اند. روند هر داده در این روش، نمایی است.

هـ: هموارسازی سفارشی با روند میرا: در این روش، سه ضریب α و β و φ لحاظ می‌شوند. بهترین میزان خطای به‌دست‌آمده در این روش نتیجه استفاده از ضرایب α =۱ ، γ =۱ و φ =۰/۱ بوده است؛ در واقع با این ضرایب در این روشها مجموع مجذورات خطا به حداقل رسیده است.

در روشهای هموارسازی بیان شده، به طور کلی مدل‌بندی آماری صورت نمی‌گیرد و این نقطه ضعف روشهای مذکور است ولی این روشها از نقطه‌نظر سازگاری الگوی پیش‌بینی با داده‌ها به عنوان روشهای مناسبی می‌توانند استفاده شوند. نتایج ارزیابی عملکرد این روشها در جدول ۱ ارائه شده است.

۳-۱-۲- پیش‌بینی با استفاده از روش تحلیل روند

در تحلیل روند[۱] به نحوه برازش داده‌های سری زمانی توجه می‌شود. در این مطالعه، روندهای مختلفی شامل روند خطی[۲]، روند لگاریتمی[۳]، روند معکوس[٤]، روند درجه دوم[٥]، روند درجه سوم[٦]، روند توانی[۷]، روند ترکیبی[۸]، روند S [۹]، روند لجستیک [۱۰]، روند رشد [۱۱] و روند نمائی [۱۲] بررسی شده و با توجه به مقدار R^2 و MSE از بین روندهای فوق، بهترین آنها انتخاب شده‌اند. روندهای منتخب عبارتند از: روند رشد، روند نمایی، روند درجه سوم، روند لگاریتمی، روند ترکیبی، روند درجه دوم.

۳-۱-۳- پیش‌بینی با استفاده از روش باکس – جنکینز

شاید هیچ یک از فنون پیش‌بینی آماری به اندازه مدل ARIMA [۱۳] بحث نشده باشند. این روش عبارت است از برازش یک الگوی میانگین متحرک تلفیق شده با خود رگرسیو[۱٤] به مجموعه داده‌ها و به دست آوردن الگوی ریاضی شرطی. یک مدل ARIMA سه جزء دارد: ۱- خودرگرسیو؛ ۲- میانگین یکپارچه؛ ۳- میانگین متحرک. ساختمان مدل بنیادی ARIMA مشتمل بر چهار مرحله است: این مراحل عبارتند از: ۱- توجیه وشناسایی مدل؛ ۲- تخمین پارامتر؛ ۳- تشخیص و دریافت مدل؛ ٤- تأیید، پیش‌بینی و منطقی بودن.

در مدل ARIMA طراحی شده در این تحقیق، مرتبه خود رگرسیو p، برابر ۱، مرتبه میانگین متحرک مدل q برابر ۱ و مرتبه تفاضلی مدل d برابر ۱ می‌باشد (ARIMA(۱،۱،۱)).

---

1. trend analysis
2. linear trend
3. logairthmic trend
4. invers trend
5. quadratic trend
6. cubic trend
7.p ower trend
8. compoumd trend
9. curve trend
10 logistic trend
11 growth trend
12 expontial trend
13. ARIMA: AutoRegressive - Integrateed Moving Average
14.Auto Regressive

داده‌های تحقیق با این مقادیر محاسبه و خروجی مورد نظر نسبت به سایر مقادیر برای d ،p و q مقایسه شده‌است. نتایج بیانگر ارجح بودن این مقادیر نسبت به سایر مقادیر است. مقادیر معیارهای ارزیابی عملکرد برای این روش در جدول ۱ ارائه شده‌است.

۳-۲- سناریو ۲: پیش‌بینی شاخص قیمت سهام با رویکرد روشهای هوش مصنوعی

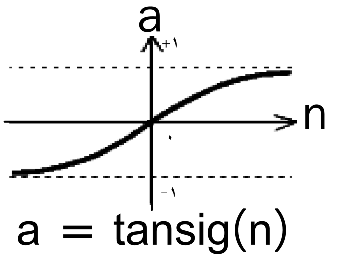
برای پیش‌بینی شاخص قیمت سهام (با استفاده از روشهای هوش مصنوعی) از دو روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و شبکه‌های عصبی فازی استفاده شده‌است. متغیرهای مستقل پیش‌بینی عبارتند از: نرخ ارز، قیمت نفت، نسبت P/E ، حجم مبادلات، تورم و شاخصهای اقتصادی (CPI, PPI, …) که تأثیر متغیر نرخ ارز از تمامی متغیرهای فوق بیشتر بوده‌است. قبل از پردازش داده‌ها به وسیله شبکه‌های عصبی فازی و شبکه‌های عصبی، داده‌ها باید نرمال‌سازی شوند تا توان پیش‌بینی بالاتر رود. بنابراین تبدیلی روی داده‌های ورودی به شبکه انجام می‌شود که داده‌ها در فاصله [L, H] قرار بگیرند. این کار با استفاده از رابطه ذیل انجام می‌شود[۱٤، صص ۳۳۵-۳٤۱].

$$X_n = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \times (H - L) + L \qquad , \qquad i = ۱,۲,\dots,N$$

در این رابطه X_i مقدار واقعی ورودی شبکه و X_n مقدار نرمال شده متناظر با آن است. $X_{\min}$ ، $X_{\max}$ بترتیب مقادیر کمینه و بیشینه X_iها می‌باشند. در این تحقیق داده‌ها در فاصله [۱و-۱] نرمال‌سازی شده‌اند. سپس به وسیله دو روش فوق، مدلسازی پیش‌بینی انجام شده‌است:

۳-۲-۱- روش شبکه‌های عصبی مصنوعی

در تعیین توپولوژی مناسب شبکه عصبی، مدلهای مختلف آزمون و با تغییرات تعداد نرونهای لایه پنهان و تعداد لایه‌ها، مدل اصلی پیش‌بینی انتخاب شد. تعداد لایه‌ها در این تحقیق ۳ لایه ۳۰,۲۰,۱ می‌باشد. برای انتخاب تابع لایه میانی، انواع مختلف توابع مانند تابع سیگموئیدی، تانژانت هزلولی سیگموئیدی، لگاریتمی سیگموئیدی، خطی، محدودکننده شدید و ... استفاده و شبکه ارزیابی عملکرد شد. بهترین تابع بررسی شده برای لایه میانی، تابع تانژانت هزلولی سیگموئیدی[1] می‌باشد که تحقیقات مشابه نیز این مطلب را تأیید می کند [۱۵]. این تابع که در شکل ۲ نشان داده شده‌است، در مواردی که شبکه طراحی شده بزرگ بوده و سرعت از اهمیت بالایی برخوردار است، استفاده می‌شود [۱٦، صص ۲۵۷-۲٦۳] . تابع فعال ساز (جمع کننده) نیز تابع خطی درنظر گرفته شده است.



شکل۲ تابع تانژانت هزلولی سیگموئیدی

الگوریتم یادگیری استفاده شده در این تحقیق، الگوریتم پس انتشار خطا است و برای یادگیری سریعتر از الگوریتم پس انتشار خطای ارتجاعی[2] استفاده شده‌است. تعداد تکرارها نیز در این روش ۳۰۰۰ تکرار می‌باشد.

---

[1] h yperbolic tangent sigmoid function

[2] resilient backpropagation

۳-۲-۲- روش شبکه‌های عصبی فازی

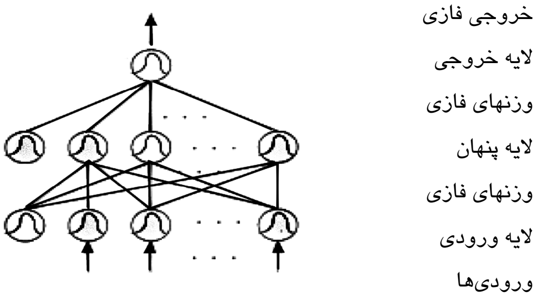
به طور کلی، شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مقصودی که از آن استفاده می‌شود، توانایی بالایی در توسعه یک مدل در زمانی منطقی را ندارد. از طرف دیگر، مدلسازی فازی برای کاربرد ادغام تصمیمها از متغیرهای متفاوت، نیازمند یک رویکردی برای یادگیری از تجربیات (داده‌های جمع آوری شده) است. شبکه‌ای عصبی مصنوعی و مدل فازی در بسیاری از زمینه‌های کاربردی استفاده شده‌اند و هر کدام آنها دارای محاسن و معایبی می‌باشند. بنابراین، ترکیب موفقیت‌آمیز این دو دیدگاه، مدلسازی شبکه‌های عصبی مصنوعی و فازی، موضوع مطالعات آتی قرار گرفته‌است.

در طراحی مدل شبکه‌های عصبی فازی از شبکه عصبی چند لایه پیش خور[1] با الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا و سیستم استنتاج فازی سوگنو با تابع ورودی «تفاوت دو تابع سیگموئید» و تابع خروجی خطی و برای غیر فازی کردن از تابع میانگین متحرک استفاده شد. برای طراحی سیستم بهینه شبکه عصبی فازی از طریق تغییر مداوم تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌های لایه‌های پنهان، توپولوژی مناسب شبکه عصبی بررسی شد و سپس از طریق تغییر مداوم توابع عضویت مختلف و تعداد توابع عضویت، سیستم مناسب پایگاه استنتاج فازی نیز طراحی شد. تعداد توابع عضویت استفاده شده در این تحقیق، ۱۰۰ تابع می‌باشد و همان طور که اشاره شد برای تابع ورودی از «تفاوت دو تابع سیگموئید» و برای تابع خروجی از تابع خطی و برای غیرفازی کردن از تابع میانگین متحرک استفاده‌شد. به این صورت موفق به پیاده‌سازی یک سیستم فازی به گونه‌ای شده‌ایم که قابلیت یادگیری داشته‌باشد. بنابراین قادر خواهیم بود که خطای مقادیر خروجی را با استفاده از روش کمترین مجموع مربعات خطا به دست آوریم. با ترکیب این روش و روش پس انتشار خطا به یک روش آموزش ترکیبی دست پیدا کرده‌ایم که به این صورت عمل می‌کند؛ در هر دور آموزش، هنگام حرکت رو به جلو خروجیهای گره‌ها به صورت عادی تا لایهٔ آخر محاسبه می‌شوند و سپس پارامترهای نتیجه به‌وسیله روش کمترین مجموع مربعات خطا محاسبه می‌شوند. در ادامه پس از محاسبه خطا در بازگشت رو به عقب نسبت خطا روی پارامترهای شرط پخش شده و با استفاده از روش شیب نزولی خطا مقدار آنها تصحیح می‌شود. ساختارهای مختلفی برای پیاده‌سازی یک سیستم فازی به‌وسیله شبکه‌های عصبی پیشنهاد شده‌اند که یکی از پرقدرت‌ترین این ساختارها،

---

[1] MFNN

ساختار موسوم به سیستم استدلال عصبی فازی مصنوعی[1] است که بوسیله جاریس ابداع شده‌است[۱۷، صص ۷٦۲-۷٦۷؛ ۱۸، صص ٦٦۵-٦۸۵]. معماری سیستم استدلال عصبی فازی مصنوعی در شکل ۳ نشان داده شده‌است. مقادیر شش روش ارزیابی عملکرد مدل شبکه‌های عصبی فازی نیز در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل۳ معماری شبکه عصبی فازی

۳-۳- پیش‌بینی شاخص قیمت سهام با رویکرد روشهای ترکیبی

در این سناریو به ترکیب روشهای پیش‌بینی فردی کلاسیک و هوش مصنوعی توجه شده است. روشهای فردی تحلیل شده به شرح ذیل می‌باشند:

روش هموارسازی ساده: X_{i1}

روش هموارسازی هولت: X_{i2}

روش هموارسازی سفارشی: X_{i3}

روش هموارسازی سفارشی با روند خطی: X_{i4}

روش هموارسازی سفارشی با روند نمایی: X_{i5}

روش هموارسازی سفارشی با روند میرا: X_{i6}

روش ARIMA: X_{i7}

روش میانگین متحرک: X_{i8}

روش شبکه‌های عصبی: X_{i9}

روش شبکه‌های عصبی فازی: X_{i10}

---

[1] ANFIS: Artificial Nero Fuzzy Inference Systems

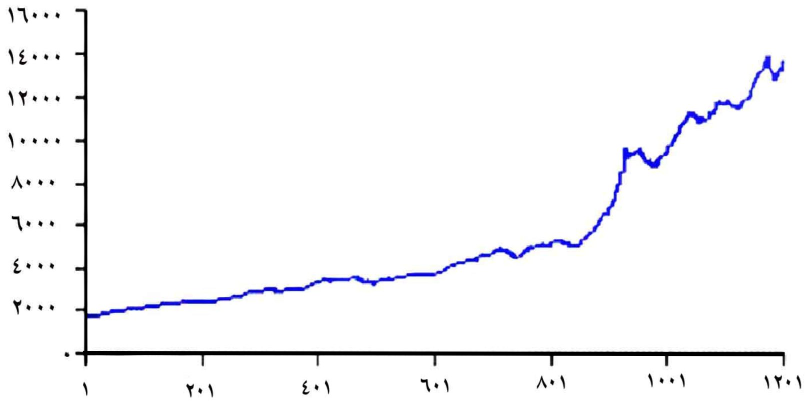
با توجه به اینکه روش شبکه‌های عصبی فازی نسبت به سایر روشهای هوش مصنوعی و کلاسیک، پاسخ مناسبتری ارائه کرده‌است، برای ترکیب روشهای فوق از این روش استفاده می‌شود. عمل ترکیب به این صورت انجام می‌گیرد که ابتدا خروجی روشی که از لحاظ معیارهای عملکرد پاسخ بهتری ارائه کرده است، علاوه بر داده‌های شاخص قیمت سهام واقعی به عنوان ورودی به شبکه‌های عصبی فازی وارد می‌شود و از لحاظ معیارهای ارزیابی سنجیده می‌شود. سپس علاوه بر ورودیهای قبلی، روش فردی بعدی که پاسخ بهتری ارائه کرده است، به مدل ترکیبی وارد شده و از لحاظ معیارهای ارزیابی سنجیده می‌شود. چنانچه نسبت به مدل ترکیبی قبلی از لحاظ معیارهای ارزیابی، عملکرد بهتری نشان دهد، در مدل ترکیبی باقی مانده درغیر این‌صورت از مدل خارج شده و روش پیش‌بینی فردی بعدی وارد می‌شود.

این روش تا پایان روشهای فردی مختلف ادامه پیدا می‌کند ولی هنوز یک خروجی وجود دارد که در حقیقت از ترکیب روشهای مختلف کلاسیک و هوش مصنوعی ایجاد شده است. در مدل ترکیبی، از هیچ یک از روشهای تحلیل روند و هموارسازی نمایی استفاده نشده است؛ زیرا خروجی این مدلها نسبت به سایر روشهای کلاسیک و هوش مصنوعی به‌مراتب ضعیفتر بوده‌اند. در حقیقت، مدل ترکیبی شامل سه روش شبکه‌های عصبی فازی،شبکه‌های عصبی و ARIMA است.

در طراحی مدل شبکه‌های عصبی فازی ترکیبی، ۳ متغیر خروجی فوق (شبکه‌های عصبی فازی، شبکه‌های عصبی و ARIMA) به همراه داده‌های شاخص قیمت سهام واقعی وارد مدل شده و یک رشته خروجی (شاخص قیمت سهام پیش‌بینی شده) از مدل گرفته می‌شود. شبکه عصبی استفاده شده چند لایه پیش خور (MFNN) با الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا است و از سیستم استنتاج فازی سوگنو با تابع ورودی «تفاوت دو تابع سیگموئید» و تابع خروجی خطی و برای غیر فازی کردن از تابع میانگین متحرک استفاده شد.

برای طراحی سیستم بهینه شبکه عصبی فازی، از طریق تغییر مداوم تعداد لایه‌ها و تعداد نرونهای لایه‌های پنهان، توپولوژی مناسب شبکه عصبی بررسی و از طریق تغییر مداوم توابع عضویت مختلف و تعداد توابع عضویت، سیستم مناسب پایگاه استنتاج فازی طراحی شد. تعداد توابع عضویت استفاده شده در این تحقیق، ۱۰ تابع می‌باشد و همان طور که اشاره شد، برای تابع ورودی از «تفاوت دو تابع سیگموئید» و برای تابع خروجی از تابع خطی و برای غیر فازی کردن از تابع میانگین متحرک استفاده شد.

مقایسه نتایج پیش‌بینی بر مبنای شبکه‌های عصبی فازی ترکیبی و مقادیر واقعی در شکل ٤ نشان داده شده است که تقریباً برهم منطبق می‌باشند. مقادیر شش روش ارزیابی عملکرد مدل شبکه‌های عصبی فازی نیز در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل۴ مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی مدل ترکیبی

جدول۱ معیارهای ارزیابی عملکرد برای روشهای مختلف

روش پیش‌بینی	RMSE	MSE	NMSE	MAPE	MAE	R^2
هموارسازی ساده	١٩٤/٧١٣	٣٧٩١٣/٢٢	٠/٠٠٤٦٥٦	٤/٤٩٢	٨١/٦٨٢٥	٠/٩٩٥٣٤
هموارسازی نمایی	٩٧/٣٥٦٣٧	٩٤٧٨/٢٦٣	٠/٠٠١١٠٢	١/٢١٨٧٦٨	٤٧/٦٦٦٣	٠/٩٩٨٨٩٨
هموارسازی سفارشی	٦٤/٩٥٨٤٥	٤٢١٩/٦	٠/٠٠٠٤٩٣	٠/٥٨٦١٤١	١٣/٥٥٧٢٥	٠/٩٩٩٥٠٨
هموارسازی سفارشی با روند خطی	٢٧/٤٢٩٢٧	٧٥٢/٣٦٤	٠/٠٠٠٠٨٧	٠/٢٦٨١٥	١٠/٧٣٣٥٧	٠/٩٩٩٩١٣
هموارسازی سفارشی با روند نمایی	٢٧/٥٧٦٧٦	٧٦٠/٤٧٧٤	٠/٠٠٠٠٨٨	٠/٢٦٧٥٦	١٠/٧٥٥٩	٠/٩٩٩٩١٢
هموارسازی سفارشی با روند میرا	٢٨/٦٦٧٨٥	٨٢١/٨٤٥٦	٠/٠٠٠٠٩٥٩	٠/٢٩٦٩٩٨	١١/٧٤٧٧٣	٠/٩٩٩٩٠٤
ARIMA	٢٦/٢٠٧١	٦٨٦/٨١١	٠/٠٠٠٠٨	٠/٣٠٢١٧٤	١٠/٩٦	٠/٩٩٩٩٢
شبکه‌های عصبی مصنوعی	١٦/٥٢٧	٣٥٤/٧٩١	٠/٠٠٠٠٦٨	٠/٠٠١٥	١٠/٥٩٩	٠/٩٩٩٩٣٢
شبکه‌های عصبی فازی	١٠/٨٣٣٩٥	١١٧/٣٧٤٥	٠/٠٠٠٠١	٠/٠٠٠٠٠٥	٥/٠٧٠٦	٠/٩٩٩٩٩
مدل ترکیبی	٨/١٨٥٤٩٨	٦٧/٠٠٢٣	٠/٠٠٠٠٠٥	٠/٠٠٠٠٠١	٤/٢٨٩٤	٠/٩٩٩٩٩٨

۴- نتیجه‌گیری

رفتار شاخص قیمت سهام را به آسانی نمی‌توان تشخیص داد. بنابراین، طراحی مدلی ترکیبی که بتواند شاخص قیمت سهام را بهتر پیش‌بینی کند، از اهمیت فراوانی برخوردار است. در این تحقیق، روشهای مختلف کلاسیک از قبیل روشهای هموارسازی نمایی، تحلیل روند و ARIMA و روشهای هوش مصنوعی از قبیل روشهای شبکه‌های عصبی و شبکه‌های عصبی فازی برای پیش‌بینی شاخص کل قیمت سهام از لحاظ معیارهای عملکرد (MSE، RMSE، NMSE، MAE، MAPE و R^2) با هم مقایسه شدند.

از آنجا که تحقیقات پیشین بیانگر این واقعیت است که چنانچه چند روش مختلف پیش‌بینی باهم ترکیب شوند، توانایی پیش‌بینی مدل ترکیبی بالاتر بوده و خطای آن به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا می‌کند، بنابراین در این تحقیق یک مدل ترکیبی از روشهای کلاسیک و هوش مصنوعی طراحی شد. این مدل شامل شبکه‌های عصبی فازی، شبکه‌های

عصبی و ARIMA می‌باشد. همان طور که جدول ۱ نشان می‌دهد، مقدار خطای روشهای هوش مصنوعی از قبیل شبکه‌های عصبی و شبکه‌های عصبی فازی از تمامی روشهای کلاسیک کمتر است. بنابراین روشهای هوش مصنوعی برای پیش‌بینی داده‌های تحقیق مناسبتر بوده‌اند. از سوی دیگر، مقدار خطای روش ترکیبی از تمامی روشهای هوش مصنوعی و کلاسیک کمتر است. در نهایت، نتایج تحقیق نشانگر آن است که مدل ترکیبی توانایی پیش‌بینی بالاتری نسبت به روشهای جداگانه کلاسیک و یا هوش مصنوعی دارد و می‌تواند پیش‌بینی خوبی از شاخص قیمت سهام ارائه دهد.

۵- منابع

[1] Makradiks S. A. , Winkler A. ; “Average of forecasts: Some empirical results”; *Management Science*, No. 29, 1986.

[2] Collopy F., Armstrong J.S.;“ Rull based forecasting: Development and validation of an expert system approach to combining time series entrapolation”; *Management* Science, No. 10, 1992.

[3] Alvaro V.; A sales forecasting system based on fuzzy neural model for time series forecasting, IEEE Transaction on Neural Network, Vol. 11, 2000.

[4] Kwo R. J.;“A sales forecasting system based on fuzzy neural network with initial weights generated by genetic algorithm”; *European Journal of Operation Research*, No. 120, 2001.

[5] Flovers B. E. , Pears S. L. L.; M3, “Competition in forecasting”; *International Journal of Forecasting*, Vol. 16, 2000.

[6] Armstrong J.S., Collopy F.;“Error measures for generalizing about forecasting methods: Empirical compartion”; *International Journal of Forecasting,* Vol. 8, 1992.

[7] Croushore D.;“The state of macroeconomics forecasting”; *Journal of Macroeconomics*, Vol. 24, 2002.

[8] Fildes R,. Steckler H.; The state of macroeconomics forecasting; Vol. 24, 2002.

[9] Kozicki S.;“Forecasting with a real time data set for macroeconomics”; *Journal of Macroeconomics*, Vol. 24, 2002.

[10] Ellioh G.; Forecasting with a real time data set for macroeconomics; *Journal of Macroeconomics*, Vol. 24, 2002.

[11] Zhang G.P.; “Times series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model: Neurocomputing, Vol. 50, 2003.

[١٢] آذر ع.؛ رجب زاده ع، «ارزیابی روشهای پیش‌بینی ترکیبی: با رویکردهای شبکه‌های عصبی _ کلاسیک در حوزه اقتصاد»؛ *مجله تحقیقات اقتصادی*، ش ٦٣ ، ٨٢ ، ١٣٨٢.

[13] Pai P.F., Lin C.S;“ A hybrid ARIMA and support vector machines model in stock price forecasting”; *Omega*, Vol. 33, 2005.

[14] Wilson I.D., Paris S.D., Ware *J.A*., Jenkins D.H.; Residential property price time series forecasting with neural networks; Knowledge-Based Systems, Vol. 15, 2002.

[15] Smith K. A. , Gupta J. N. D.; Neural networks in business: Techniques and applications; Idea Group Publishing, 2002.

[16] Vogl T. P., Mangis J.K., Rigler A.K., Zink W.T., Alkon, D.L.; Accelerating the convergence of the backpropagation method; Biological Cybernetics, Vol. 59, 1988.

[17] Jang J.S.R.; Fuzzy modeling using generalized neural networks and kalman filter algorithm; Proc of the Ninth National Conf on Artificial Intelligence, 1991.

[18] Jang J.S. R.;“ANFIS: Adaptive-Network-based fuzzy inference systems”; IEEE *Transactions on Systems, Man and Cybernetics,* Vol. 23, No. 3, 1993.