

ارائه مدل پیش بینی قیمت سهام با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری عمیق و کاربرد آن در قیمت‌گذاری سهام بانک‌های اسلامی

نوع مقاله: پژوهشی

مهران سعیدی اقدم^۱
احمد صادقی^۲
علیرضا بحیرایی^۳
سید یوسف حاجی اصغری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۹

چکیده

پیش بینی قیمت سهام امری پیچیده است؛ مؤلفه‌های گوناگونی از قبیل وضع عمومی اقتصاد، رخدادهای سیاسی و انتظارات سرمایه‌گذاران، بر بازار سهام تأثیر می‌گذارد. بازار سهام، در حقیقت یک سیستم غیرخطی و آشوبناک است که به عوامل متعدد سیاسی، اقتصادی و روانی وابسته است، برای غلبه بر محدودیت تکنیک‌های تحلیل سنتی در پیش بینی الگوهای غیرخطی، متخصصان طی دو دهه اخیر تکنیک‌های هوشمند و بخصوص شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک را برای بهبود پیش بینی قیمت سهام به کار برده‌اند. این پژوهش، با توجه به گسترش روزافزون روش‌های پیش بینی در بازارهای مالی و نیز، از آنجا که قیمت سهام یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تصمیمات سرمایه‌گذاری است و پیش بینی آن می‌تواند نقش با اهمیتی در این زمینه ایفا کند، در این پژوهش سعی شده است، مدلی ارائه شود تا بر اساس آن بتوان روند حرکتی قیمت سهام مورد نظر را با دقت بالایی پیش بینی کرد. بر همین اساس، یک مدل ترکیبی برای پیش بینی روند حرکتی قیمت سهام با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده است. برای نمونه آماری، شرکت‌های برتر بورس اوراق بهادار در سه ماهه دوم سال ۱۳۹۹ انتخاب شده است. سپس برای هراین منظور، ۳۲ متغیر محاسبه شد. این متغیرها ورودی مدل هستند و به کمک الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی بهینه‌سازی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد، مدل در پیش بینی روند حرکتی قیمت سهام بسیار بهتر عمل کرده و در مقایسه با روش‌های سنتی، از دقت بالاتری برخوردار است.

-
- ۱ دکتری کارآفرینی، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین (نویسنده مسئول) Mehrransaeedi@gmail.com
۲ استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی Sadeghi_ahmad@yahoo.com
۳ استادیار گروه ریاضی، دانشکده ریاضی، آمار و علوم کامپیوتر، دانشگاه سمنان alireza.bahiraie@semnan.ac.ir
۴ استادیار گروه مدیریت، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران yousefhajiasghari@gmail.com

کلمات کلیدی: پیش بینی، قیمت سهام، شبکه عصبی، یادگیری عمیق
طبقه بندی JEL: G00, G17, G21, G40

مقدمه

دنیای امروز دنیای تغییر است و دانستن این که در آینده چه موقعیتی در انتظار ما است، عامل مهمی در حفظ و بقای سازمان ها می باشد. ما هر روز با موقعیت ها و شرایطی روبرو می شویم که نیازمند پیش بینی آینده است. دولت به پیش بینی واردات و صادرات، سهامداران به شناخت وضعیت بازار و مدیران سازمان ها به شناخت رفتار کاری کارکنان نیاز دارند. مدیران هر روز تصمیمات شخصی و حرفه ای می گیرند که مبتنی بر پیش بینی وضع آینده است. در بسیاری از موارد پیش بینی آینده بر مبنای گذشته و حال است. در واقع ایشان سعی می کنند بین دو یا چند متغیر به نحوی ارتباط برقرار می کنند که بتوانند از آن در پیش بینی آینده استفاده نمایند (چاو و وانگ، ۲۰۱۹). فرآیند پیش بینی معمولاً شامل اطلاعات تاریخی و تعمیم آن ها به آینده به کمک مدل های ریاضی است. از آنجا که پیش بینی وقایع آینده در فرآیند تصمیم گیری نقش عمدهای ایفا می کند؛ لذا پیش بینی برای بسیاری از سازمان ها و نهادها حائز اهمیت است و می توان پیش بینی را ابزاری مفید برای برنامه ریزی های کوتاه مدت و بلندمدت تلقی کرد).

بورس اوراق بهادار که به معنی یک بازار متشکل و رسمی سرمایه است که در آن خرید و فروش سهام شرکت ها یا اوراق قرضه دولتی یا موسسات معتبر خصوصی، تحت ضوابط و قوانین و مقررات خاصی انجام می شود؛ بنابراین دارای مشخصه مهم حمایت قانون از صاحبان پس اندازها و سرمایه های راکد و الزامات قانونی برای متقاضیان سرمایه است. به همین دلیل پیش بینی این بازار یکی از مهمترین علاقه پژوهشگران و محققان مالی است. یکی از مهمترین اطلاعات در بازار بورس اوراق بهادار برای سرمایهگذاران، اطلاعات قیمت سهام است. قیمت سهام به طور اساسی دینامیک، غیرخطی، ناپارامتریک و آشوب گونه است (چن و جی، ۲۰۱۹).

در واقع بورس اوراق بهادار به عنوان یک بازار منسجم و سازمان یافته، مهمترین متولی جذب و سامان دادن صحیح منابع مالی سرگردان است و با جمع آوری نقدینگی جامعه و فروش سهام شرکتها، ضمن به حرکت درآوردن چرخهای اقتصاد جامعه از طریق تأمین سرمایههای مورد نیاز پروژهها، و نیز افزایش درآمدهای مالیاتی، منافع اقتصادی چشمگیری به ارمغان می آورد و در کنار آن، اثرات تورمی ناشی از وجود نقدینگی در جامعه را نیز از بین می برد. بورس اوراق بهادار به عنوان بازار سرمایه می تواند در صورت توسعه و گسترش خود و هدایت جریانهای سرمایه غیرتولیدی و پس انداز مردم به بخشهای تولیدی در رشد اقتصادی تأثیر فراوانی داشته باشد (رحیمی پور و همکاران، ۱۳۹۸).

^۱ Cao & Wang

^۲ Chen & Ge

محققان روش های متفاوتی برای پیش بینی بازار بورس و اوراق بهادار ارائه داده اند که به دو روش مدل های آماری و روش های هوشمند تقسیم بندی می شوند. از آنجا که روش های آماری و الگوهای خطی همه ابعاد مربوط به قیمت سهام را در نظر نمی گیرد و در واقع مشکلات متعددی دارد چرا که مساله قیمت سهام یک روند غیرخطی دارد و روش های کلاسیک مناسب این کار نیستند؛ به دلیل اینکه درجه خطایشان زیاد است در حالیکه باید این خطا کمینه شود. پیش بینی قیمت سهام به عنوان یکی از چالش برانگیزترین کاربردهای پیش بینی سری های زمانی در نظر گرفته شده است. هر چند تحقیقات تجربی زیادی مربوط به مسائل پیش بینی قیمت سهام هستند ولی تجربی ترین یافته به توسعه بازارهای مالی اختصاص یافته است. پیش بینی قیمت سهام به عنوان یک مساله چالش برانگیز فرایند پیش بینی سری های زمانی است به دلیل اینکه بازار سهام در اصل دینامیک، غیرخطی، پیچیده، ناپارامتریک و بی نظم هست. علاوه براین قیمت سهام از تعداد زیادی فاکتورهای اقتصاد کلان مثل رویدادهای سیاسی، نرخ تورم، شرایط اقتصاد عمومی، انتظارات و رفتار سرمایه گذاران تأثیر می پذیرد و همچنین متغیرهای مالی مثل حجم مبادلات و... بر سهام هر شرکتی تأثیر زیادی دارند و در واقع رفتار سرمایه گذاران را جهت می دهند. شبکه های عصبی برای حل مسائل پیچیده و غیرخطی مناسبتر از سری های زمانی هستند، هرچند مشکلات خود را نیز دارند. مثلاً در یادگیری دچار محدودیت هستند چون داده های مربوط به قیمت سهام دارای اختلافات فاحش و ابعاد پیچیده‌ای هستند و لذا پیش بینی قیمت سهام کار بسیار مشکلی است (سیامی نامینی و نامین ۱۸، ۲۰۱۸).

با توجه به اهمیت موضوع بر اساس مطالعات انجام شده الگوریتم های یادگیری ماشین عملکرد چشمگیری در این زمینه داشته اند لذا امروزه اکثر پژوهش ها در زمینه پیش بینی قیمت سهام با محوریت روش های هوشمند صورت می پذیرد. از اینرو انجام پژوهش بیشتر در این زمینه امری ضروری، به نظر می رسد. روش های یادگیری ماشین به دلیل توانمندی بالایی که در مدل کردن مسائل پیچیده و سیستم های غیرخطی دارند برای مسئله پیش بینی قیمت سهام به عنوان روش هایی سودمند شناخته شده اند. مهمترین هدفی که در این پژوهش مد نظر است افزایش دقت پیش بینی قیمت ماهانه سهام بازار بورس به عنوان یک سری زمانی مالی با به کارگیری الگوریتم های یادگیری و ویژگی های تکنیکال و بنیادی است. به منظور دستیابی به هدف فوق، چگونگی انتخاب مناسبترین ویژگی ها و تنظیم پارامترهای اصلی و تأثیرگذار در الگوریتم های انتخاب شده حائز اهمیت است. در این پژوهش نشان داده می شود که چگونه میتوان با بهره بردن از تحلیل فنی سری های زمانی مالی موجود در داده های بازار بورس، ضمن دسترسی به مؤثرترین ویژگی ها، به

دقت مطلوب دست یافت. اگرچه در مطالعات و پژوهش های قبلی از تحلیل فنی برای کشف ویژگی های فنی بهره برده اند اما در پژوهش حاضر در نظر گرفتن تعداد بیشتری از ویژگی های فنی، تنوع و کنار هم قرار گرفتن این نوع از ویژگی ها یک نوآوری تلقی می گردد.

در واقع وجه تمایز این تحقیق با تحقیقات مشابه، عبارت است از: به کارگیری داده های وسیع برای سال های متمادی، استفاده از متغیرهای ورودی جدید که در تحقیقات مشابه بدان توجه ای نشده بود، توجه به پیش بینی شاخص قیمت سهام به صورت خاص، به دلیل ثابت نبودن متغیر وابسته و مستقل و تغییرات همبستگی آن، بهتر است که از سری های زمانی کوتاه مدت استفاده نشود که در این تحقیق، از داده های سالانه استفاده شده، در صورتی که در تحقیقات مشابه از سری های زمانی روزانه استفاده شده است. و نهایتاً هدف از اجرای تحقیق حاضر، تبیین مدل پیش بینی قیمت سهام با استفاده از الگوریتم های یادگیری عمیق و کاربرد آن در قیمت گذاری سهام بانک های اسلامی می باشد. که با نوآوری های ارائه شده به شرح ذیل همراه است:

- دادگان انتخابی، دادگانی می باشند که برای اولین بار با ویژگی های پیشنهادی مورد ارزیابی قرار می گیرند.
- به کارگیری پرکاربردترین الگوریتم های یادگیری مبتنی بر رگرسیون برای پیش بینی قیمت سهام مختلف.
- انتخاب ۲۵ ویژگی پیشنهادی بر پایه ی تحلیل فنی محاسبه شده.

۱. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

ایده آموزش برای حل مسائل شناسایی الگوهای پیچیده با استفاده از دیدگاه عامل های داده هوشمند برای محققان دانشگاهی بسیار چالش برانگیز شده است. یک ابزار محاسباتی ساده ای برای آزمون داده ها و ایجاد مدل از ساختار داده ها است (تاکوچی و لی، ۲۰۱۳). از دوران گشایش بازارهای اوراق بهادار همواره این فکر وجود داشته است که به کمک روشی، قیمت سهام را پیش بینی کنند و در این راه سخت افزارها و نرم افزارها، تحلیل های متفاوت مالی و مانند این ها ابداع شده و مورد استفاده قرار گرفت (باجلان و همکاران، ۱۳۹۵).

فرآیند پیش بینی معمولاً شامل اطلاعات تاریخی و تعمیم آن ها به آینده به کمک مدل های ریاضی است. از آنجا که پیش بینی وقایع آینده در فرآیند تصمیم گیری نقش عمده ای ایفا می کند؛ لذا پیش بینی برای بسیاری از سازمان ها و نهادها حائز اهمیت است و می توان پیش بینی را ابزاری مفید برای برنامه ریزی های کوتاه مدت و بلندمدت تلقی کرد (اوله، ۲۰۱۵). برای پیش بینی بازار

^۱ Takeuchi & Lee

^۲ Olah

سهام به کمک داده‌های تاریخی، روش‌های مختلفی وجود دارد. در یک طبقه بندی این روش‌ها در دو گروه خطی و غیرخطی قرار می‌گیرند و در نوع دیگر، به روش‌های یادگیری ماشین و آماری دسته بندی می‌شوند؛ اما دسته بندی مناسب، گروه بندی آنها به روش‌های هوشمند و کلاسیک است. در روش‌های پیش بینی کلاسیک، فرض بر این است که مقادیر آینده قیمت، روند خطی مقادیر گذشته را دنبال می‌کند و مدل‌های رگرسیون، گارچ و آریما^۱ در این دسته جای دارند. شبکه‌های عصبی، منطق فازی، ماشین‌های بردار پشتیبان و مدل‌های یادگیری جمعی^۲ در دسته روش‌های هوشمند قرار می‌گیرند (کوالکانت و همکاران، ۲۰۱۶). خطی نبودن روند قیمت‌ها، عدم اطمینان حاکم و ناهموازی داده‌های مؤلفه‌ها، پیش بینی دقیق و بدون خطای قیمت‌ها حتی برای متخصصان مالی نیز دشوار است. مطالعات نشان داده است که مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی قیمت سهام، بهتر از مدل‌های آماری و تحلیل مشخصه‌ها عمل می‌کند. ناشناخته بودن عواملی که بر تغییرات قیمت سهام تأثیر می‌گذارند، دلیلی برای روی آوردن به پیش بینی تغییرات قیمت سهام شرکت‌ها است. پژوهش‌های متعددی در خصوص توان پیش بینی 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 پیش بینی می‌کنند (موریتز و زیمرمان، ۲۰۱۶، ۴). در سال‌های اخیر، بیشتر مطالعات انجام شده برای پیش بینی بازار سهام بر روش‌های هوشمند متمرکزند و در بین آنها شبکه عصبی بیشترین کاربرد را داشته است و دارای بازده بهتری نسبت به سایر مدل‌ها بوده است (تکاچ و ورنر، ۲۰۱۶).

در حوزه بورس و اوراق بهادار پژوهش‌های گسترده‌ای صورت گرفته است که به طور کلی تمامی این پژوهش‌ها را می‌توان از ۴ منظر مورد بررسی قرارداد: ۱- تکنیک‌های مدل سازی ۲- چارچوب‌های زمانی ۳- متغیرهای ورودی و ۴- تکنیک‌های ارزیابی در حوزه تکنیک‌های مدل سازی با توجه به نوع و ساختار مسئله، مدلی خلاصه شده از واقعیت ایجاد می‌شود تا به واسطه آن مقادیر آینده را پیش بینی نمایند (پارک و همکارانش، ۲۰۰۷). در حوزه چارچوب زمانی با توجه به داده‌های روزانه، هفتگی، ماهیانه و سالیانه ارائه شده به تحلیل بازار و شناسایی الگوهای موجود در این بازار می‌پردازند. در حوزه متغیرهای ورودی از طریق شناسایی متغیرهای بنیادی و تکنیکی

^۱ Regression, ARCH and ARIMA

^۲ Neural Network, Fuzzy Logic, Support Vector Machines and Ensemble Learning algorithm

^۳ Cavalcante et al

^۴ Moritz & Zimmermann

^۵ Tkáč & Verner

^۶ Park et al

مؤثر بر قیمت سهام به پیش بینی قیمت سهام می پردازند. در حوزه ارزیابی عملکرد از طریق به کار گیری معیارهای ارزیابی مختلف سعی در بررسی میزان کارایی هر رویکرد می نمایند (نیلیمما و همکارانش^۱، ۲۰۰۷).

وایت^۲ اولین بار از شبکه های عصبی را برای پیش بینی در بازار بورس و اوراق بهادار استفاده کرد. در واقع پژوهش مذکور به دنبال این پرسش بود که آیا شبکه های عصبی قادرند قوائد غیرخطی در سری های زمانی و قوائد ناشناخته در حرکات قیمت دارایی ها و تغییرات قیمت سهام را شناسایی نماید. یافته ها نشان داد یک شبکه عصبی پیشخور قادر به پیش بینی تغییرات قیمت می باشد. بعد از مطالعات وایت در سال ۱۹۸۸ پای شبکه های عصبی به حوزه مالی باز شد و مطالعات متعددی در این زمینه در سراسر جهان انجام شد. در فاصله سال های ۱۹۹۵-۱۹۸۸ جمعاً ۲۱۳ فعالیت علمی در زمینه شبکه های عصبی در حوزه بازرگانی انجام گرفت که از این تعداد ۵۴ فعالیت در حوزه مالی بود و دو فعالیت در زمینه پیش بینی تجزیه و تحلیل سری های زمانی انجام شده است (وانگ و همکارانش^۳، ۲۰۰۳).

استفاده از مدل های عصبی مصنوعی در پیش بینی بازار سهام را می توان به چند گروه دسته بندی کرد. در دسته اول، از یک مدل منفرد برای پیش بینی استفاده می شود. مدل های منفرد دو نوع هستند: الف) مدل هایی که در آن فقط از یک تکنیک استفاده شده است و ب) مدل هایی که از چند تکنیک برای بهبود دقت پیش بینی استفاده می کنند. نمونه استفاده از مدل های منفرد با یک تکنیک، پژوهشی است که کارا و همکاران^۴ (۲۰۱۱) برای پیش بینی جهت حرکت شاخص بورس ترکیه انجام داده اند به بررسی و مقایسه میزان دقت دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و ماشین های بردار پشتیبان پرداخته اند. تیکنور^۵ (۲۰۱۳) با هدف پیش بینی قیمت سهام، شبکه عصبی بیزین را با معیار ارزیابی درصد میانگین قدر مطلق خطا کرده است. مدل های منفرد مانند شبکه های عصبی که از یک تکنیک استفاده می کنند، در مقایسه با مدل های کلاسیک، دقت را افزایش می دهند، اما شبکه های عصبی به دلیل مشکلاتی همچون افتادن در بهینه محلی و بیش برآزش، دقت پیش بینی را دچار چالش می کنند. مطالعات نشان داده است که استفاده از سایر تکنیک های هوشمند همراه با شبکه عصبی برای استفاده از مزیت های هر یک و پوشش کاستی های دیگری، موجب

^۱ Neelima et al

^۲ White

^۳ Wang et al

^۴ Kara et al

^۵ Ticknor

افزایش دقت پیش بینی می شود (تکاچ و ورنر، ۲۰۱۶).

گروه دوم مدل های هوشمند در پیش بینی بازار سهام، از ترکیب چند مدل منفرد ایجاد می-شوند که مدل های ترکیبی نام دارند. نمونه این مدل ها ترکیب مدل شبکه عصبی با مدل های کلاسیک است. (ژانگ و انکه، ۲۰۱۷) ترکیب شبکه عصبی به عنوان مدل غیرخطی و آریما به عنوان مدل خطی و ترکیب آریما و شبکه عصبی و منطق فازی را برای همین منظور به کار برده اند (چن، ۲۰۱۹).

گروه سوم مدل های هوشمند در پیش بینی بازار سهام، گروهی از مدل های پایه هوشمند را در یک مدل واحد تجمیع کرده و از الگوریتم های یادگیری جمعی استفاده می کنند. مدل های ترکیبی از تعداد محدود (در حد ۲ تا نهایت ۱۰) مدل با ماهیت های متفاوت تشکیل شده اند، در حالی که مدل های مبتنی بر یادگیری جمعی از تعداد زیادی حتی بالاتر از ۱۰۰ مدل پایه هم نوع تشکیل شده و هر مدل از بخشی از داده های آموزشی برای آموزش استفاده می کند. در سال های اخیر، از این روش ها برای افزایش دقت مدل های رگرسیونی بسیار استقبال شده و نتایج به دست آمده در کاربردهای مختلف کارایی آن را به اثبات رسانده است. در این روش ها خروجی مدل ها به وسیله روش های مختلف تجمیع می شود تا علاوه بر دقت بیشتر، نتایج مطمئن تر و پایدارتر شوند. ادبیات موضوع به صورت گسترده ای نشان می دهد که به طور کلی، تجمیع پیش بینی مجموعه ای از شبکه های عصبی به بهبود دقت پیش بینی و پایداری نتایج منجر خواهد شد. این نتایج دقت بهتری نسبت به مدل های تشکیل دهنده آنها دارد (امرسون و همکاران، ۲۰۱۹).

۱.۱ شبکه های حافظه طولانی کوتاه-مدت

شبکه های حافظه طولانی کوتاه-مدت، نوع خاصی از شبکه های عصبی بازگشتی هستند که توانایی یادگیری وابستگی های بلندمدت را دارند. این شبکه ها برای اولین بار توسط هاچریتز و اشمیدهوربر^۶ در سال ۱۹۹۷ در معرفی شده است. در حقیقت هدف از طراحی شبکه های حافظه طولانی کوتاه-مدت، حل کردن مشکل وابستگی بلندمدت بود. به یاد سپاری اطلاعات برای بازه های زمانی بلند مدت، رفتار پیش فرض و عادی شبکه عصبی بازگشتی با حافظه کوتاه مدت بلند است و ساختار

^۱ Tkáč & Verner

^۲ Zhong & Enke

^۳ Chen

^۴ Emerson et al

^۵ Long Short Term Memory

^۶ Hochreiter & Schmidhuber

آن‌ها به صورتی است که اطلاعات خیلی دور را به خوبی یاد می‌گیرند که این ویژگی در ساختار آن‌ها نهفته است. همه شبکه‌های عصبی بازگشتی به شکل دنباله‌ای (زنجیره‌ای) تکرار شونده از ماژول‌های (واحد‌های) شبکه‌های عصبی هستند. در شبکه‌های عصبی بازگشتی استاندارد، این ماژول‌های تکرار شونده ساختار ساده‌ای دارند، و تنها شامل یک لایه تانژانت هایپربولیک^۱ هستند. شبکه عصبی بازگشتی با حافظه کوتاه مدت بلند نیز چنین ساختار دنباله یا زنجیره ماندنی دارند ولی ماژول تکرار شونده ساختار متفاوتی دارد. به جای داشتن تنها یک لایه شبکه عصبی، ۴ لایه دارند که طبق ساختار ویژه‌ای با یکدیگر در تعامل و ارتباط هستند (شی و همکاران، ۲۰۱۵، ۲).

۲. روش شناسی پژوهش

مطالعه حاضر از نظر هدف، کاربردی است. مطالعه کاربردی، تحقیقی است که هدف آن توسعه دانش کاربردی در یک زمینه خاص است (سرمد و همکاران، ۱۳۸۸). هدف از این مطالعه توسعه دانش در زمینه یادگیری عمیق در حوزه پیش بینی سهام است. از نظر نحوه گردآوری داده‌ها مطالعه حاضر، پیمایشی است. یکی از مولفه‌های مهم جهت موفقیت در پروژه‌های یادگیری عمیق، بهره‌گیری از متدولوژی و جریان‌های کاری دقیق است. در ادامه گام‌های لازم جهت پیاده‌سازی مدل‌های تحلیلی مبتنی بر یادگیری عمیق ذکر شده‌اند. در منابع مختلف مراحل یادگیری عمیق، از لحاظ تعداد مراحل اختلاف نظر وجود دارد. در عمده منابع با پنج، شش یا هفت مرحله مواجه می‌باشد. لذا در اینجا یک فرایند ۷ مرحله‌ای را برای یادگیری عمیق مورد بررسی قرار گرفته است:

مرحله ۱- شناخت نیازمندی‌ها و جمع‌آوری داده: در این مرحله داده‌های مربوط به دیتاست سهام بانک‌های اسلامی کشور از طریق سایت اوراق بهادار تهران در باز زمانی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۹ جمع‌آوری شده است و از این داده‌های تاریخی برای پیش‌بینی قیمت‌های آینده استفاده شده است.

مرحله ۲- پیش پردازش داده‌ها: پیش پردازش داده به مرحله‌ای گفته می‌شود که در آن داده‌ها برای عملیات یادگیری عمیق آماده می‌شود. و شامل مراحل پاکسازی داده‌ها، یکپارچه‌سازی داده‌ها، تبدیل داده‌ها و تخلیص داده‌ها می‌باشد.

مرحله ۳- استخراج و انتخاب ویژگی: در این مرحله فقط ویژگی‌هایی که به منظور یادگیری شبکه عصبی مدنظر است، در این پژوهش ویژگی قیمت سهام انتخاب شده است.

مرحله ۴- انتخاب الگوریتم و روش یادگیری: با توجه به متدهای متفاوت، مدل‌های متفاوتی

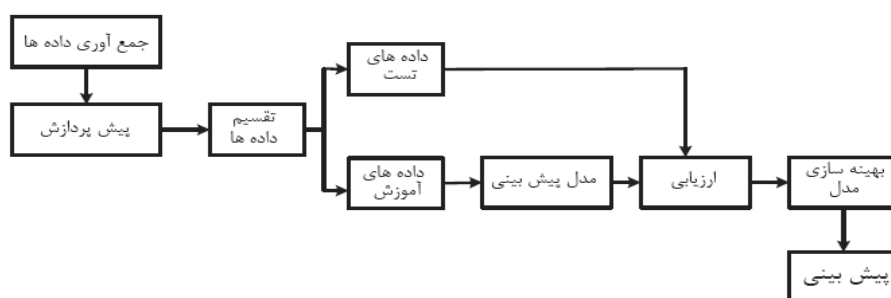
^۱ Tanh

^۲ Shi et al

ساخته وجود دارد و در این پژوهش مدل شبکه‌های حافظه طولانی کوتاه-مدت^۱ استفاده شده است. مرحله ۵- آموزش مدل یادگیری عمیق براساس داده‌های آموزش: برای آموزش مدل، ابتدا داده-ها (دیتاست) به دو بخش تقسیم شد، داده‌های آموزشی ۸۰ درصد داده‌ها و داده‌های آزمایش یا تست ۲۰ درصد داده‌ها را تشکیل می‌دهد. در واقع داده‌های آموزشی، مجموعه داده‌ای که برای یادگیری مدل مورد نیاز است.

مرحله ۶-آزمودن یا تست مدل براساس داده‌های آزمون: مجموعه تست، مجموعه‌ای از داده‌های دیده نشده برای ارزیابی عملکرد نهایی مدل نیاز است. پس از آموزش مدل از مدل آموزش دیده استفاده می‌گردد تا با استفاده از داده‌های تست یعنی داده‌های دیده نشده پیش بینی نهایی انجام شود.

مرحله ۷- ارزیابی دقت و صحت مدل: به منظور بررسی دقت و صحت مدل ساخته شده از ماتریس اختلاط یا درهم ریختگی^۲ استفاده می‌گردد. ماتریس در هم ریختگی به ماتریسی گفته می‌شود که در آن عملکرد الگوریتم‌های مربوطه را نشان می‌دهند. هر ستون از ماتریس، نمونه‌ای از مقدار پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. در صورتی که هر سطر نمونه‌ای واقعی (درست) را در بر دارد. نمودار (۱) شمای کلی متدولوژی پژوهش را نشان می‌دهد.



نمودار ۱. شمای کلی متدولوژی پژوهش (کومار و همکاران ۲۰۱۹، ۳)

۳. تحلیل داده‌ها و یافته‌ها

هدف شبکه‌های عصبی، کوشش برای ساخت الگوهایی است که همانند مغز انسان عمل می‌کنند. کار شبکه عصبی ایجاد یک الگوی خروجی بر اساس الگوی ورودی ارائه شده به شبکه است. شبکه‌های عصبی متشکل از تعدادی عناصر پردازشی (نرون‌های مصنوعی) می‌باشد که این نرون-

^۱ LSTM

^۲ Confusion Matrix

^۳ Kumar et al

ها درون داده ها را دریافت و پردازش می کند و در نهایت، یک برون داد از آن ارائه می دهد. درون داد می تواند داده های خام یا برون داد دیگر عناصر پردازشی باشد. برون داد می تواند محصول نهایی یا درون دادی برای یک نرون دیگر باشد. یک شبکه عصبی مصنوعی متشکل از نرون های مصنوعی می باشد که در واقع همان عناصر پردازشی هستند. در این پژوهش از اطلاعات روزانه مربوط به قیمت سهام بانک های اسلامی کشور در بورس تهران، در بازه زمانی ابتدای سال ۱۳۸۳ تا سال ۱۳۹۹ استفاده شده است. در این بخش، ابتدا به بررسی این مسئله پرداخته شده است که تا چه اندازه تغییر در متغیرهای مستقل بر تغییر در متغیر وابسته تأثیرگذار است؛ نتایج نشان داد که متغیرهای مستقل نسبت به قیمت سهام دارای ضریب همبستگی دارد. در ادامه به منظور مدل سازی و پیش بینی با استفاده از یادگیری عمیق داده های ورودی به شبکه عصبی به دو بخش: الف) مجموعه آموزش (۳۱۷۰ روز اول که تقریباً ۸۰ درصد داده ها را تشکیل می دهد)، ب) مجموعه تست (۶۳۴ روز آخر که تقریباً ۲۰ درصد آخر می باشد) که همانگونه که مشاهده می شود، مجموعه آموزشی بزرگ ترین مجموعه می باشد و از آن برای آموزش شبکه و به دست آوردن پارامترهای وزن و... استفاده می شود؛ داده های مجموعه تست در حین یادگیری شبکه با داده های آموزش به شبکه تنها برای پیش بینی و برای اندازه گیری قابلیت تعمیم شبکه ارائه می شود. تعداد گره ورودی و همچنین خروجی در شبکه عصبی به وسیله نگاشتی که به شبکه ارائه می شود قابل تعیین است در این پژوهش به دلیل وجود ۵ متغیر مستقل و یک متغیر وابسته تعداد گره های لایه ورودی ۵ و تعداد گره های لایه خروجی یک می باشد؛ اما تنها راه تعیین تعداد لایه های پنهان و تعداد گره در هر لایه و همچنین نوع تابع تبدیل، سعی و خطا می باشد؛ به گونه ای که اگر تعداد لایه های پنهان و تعداد نرون های هر لایه کافی نباشد، شبکه نمی تواند به طور مناسب به یک جواب بهینه، همگرا شود و اگر تعداد آنها بیش از حد لازم باشد، شبکه دچار بی ثباتی می شود. مراحل پژوهش به شرح ذیل ارائه گردیده است:

داده های اولیه: در این پژوهش از مجموعه داده های واقعی قیمت سهام بانک های اسلامی کشور از منابع آماری بورس اوراق بهادار تهران در بازه زمانی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۹ استفاده شده است.

جدول ۱: نمونه داده های اولیه

date	date_shamsi	first	high	low	close	vol	open	last
29/8/2004	1383/06/08	12000	12021	12000	12000	1570000	12000	12000
04/9/2004	1383/06/14	12600	12600	12600	12600	1000000	12000	12600
05/9/2004	1383/06/15	13230	13230	7115	13230	2708823	12600	13230
07/9/2004	1383/06/17	13891	13891	13891	13891	2980000	13230	13891
08/9/2004	1383/06/18	14585	14585	14585	14585	1392229	13891	14585
12/9/2004	1383/06/22	15314	15314	15314	15314	593500	14585	15314
15/9/2004	1383/06/25	16079	16079	15429	15429	52962	15314	15429

18/9/2004	1383/06/28	14658	15198	14658	15198	105191	15429	15198
19/9/2004	1383/06/29	14439	15187	14439	15187	4935	15198	15187
20/9/2004	1383/06/30	14428	14785	14428	14785	186015	15187	14785

نرمال سازی داده‌ها: نرمال کردن داده‌ها یک فرایند برای استاندارد کردن آنها است و به وسیله نرمال کردن داده‌ها هماهنگ می‌شوند. در واقع یکی از مهم‌ترین بخش‌های پیاده‌سازی مدل، به ویژه در هنگام استفاده از داده‌ها برای آموزش آن‌ها، نرمال‌سازی داده‌های ورودی است. روش **رابطه اول**، **نرمال‌سازی داده‌ها** بر مبنای **نمره استاندارد** است که از رابطه زیر بدست می‌آید، استفاده شده است.

$$x_n = \frac{x_0 - \bar{x}}{\delta}$$

که $\bar{x}$ و δ به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌ها می‌باشند.

درج گام‌های زمانی به داده‌ها: در این مرحله داده‌های ورودی باید به شکل یک آرایه سه بعدی به مدل شبکه عصبی بازگشتی با حافظه کوتاه مدت بلند تبدیل گردد. ابتدا داده‌ها، در بازه زمانی ۵۰ تایی ایجاد می‌گردد. و در آخر، داده‌ها در داخل آرایه سه بعدی با نمونه‌های ۵۰ تایی تبدیل می‌گردد.

ایجاد مدل شبکه عصبی بازگشتی با حافظه کوتاه مدت بلند (LSTM): شبکه عصبی بازگشتی با حافظه کوتاه مدت بلند به طور گسترده برای پیش بینی توالی استفاده می‌شود و اثبات شده است که بسیار مؤثر عمل می‌نماید. دلیل عملکرد مناسب این مدل این است که شبکه عصبی بازگشتی با حافظه کوتاه مدت بلند قادر به ذخیره اطلاعات گذشته می‌باشد و اطلاعات را فراموش نمی‌نماید. شبکه عصبی بازگشتی با حافظه کوتاه مدت بلند دارای سه دروازه می‌باشد که عبارتند از:

- دروازه ورودی: دروازه ورودی اطلاعات را به وضعیت سلول می‌افزاید.
- دروازه فراموشی: اطلاعاتی را که دیگر مورد نیاز مدل نیست، حذف می‌نماید.
- دروازه خروجی: دروازه خروجی در شبکه عصبی بازگشتی با حافظه کوتاه مدت بلند اطلاعاتی را انتخاب می‌کند که به عنوان خروجی نشان داده شود.

برای پیاده‌سازی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی ذکر شده، از کتابخانه کراس استفاده می‌شود. ویژگی مهم در کتابخانه کراس، اضافه کردن مرحله به مرحله لایه‌ها، به جای تعریف یک‌باره مدل است. از این طریق، به راحتی می‌توان تعداد لایه‌ها و نوع آن‌ها را تغییر داد؛ ویژگی مشخصه‌ای که در هنگام بهینه‌سازی شبکه عصبی بسیار مفید خواهد بود. یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه متشکل از دو لایه نهان ایجاد می‌شود. در هر کدام از لایه‌های نهان از ۱۰۰ نود (یا نرون) استفاده

می‌شود. همچنین، از بهینه‌ساز adam^۱ جهت به روز رسانی وزن‌ها استفاده می‌شود. این الگوریتم، جایگزین الگوریتم استاندارد «گرادیان کاهشی تصادفی» خواهد شد. به دلیل عملکرد بهتر بهینه‌ساز adam نسبت به الگوریتم گرادیان کاهشی تصادفی، این روش محبوبیت دوچندانی در میان فعالان حوزه یادگیری ماشین پیدا کرده است. پس از برازش مدل روی داده‌های آموزشی، از داده‌های تست برای ارزیابی عملکرد آن استفاده می‌شود. نتایج به دست آمده از ارزیابی مدل روی داده‌های تست، برای سنجش عملکرد سیستم در تعمیم آموزش شبکه به مرحله تست و قابلیت مدل در پیش بینی سهام بانک‌های اسلامی و قیمت آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت. کد شبکه عصبی که در کتابخانه کراس اجرا شده است به شرح زیر است:

```
Model= Sequential()
Model.add(LSTM(units = 50, return_sequences = True, input_shape = (X_train.shape[1], 1)))
Model.add(Dropout(0.2))
Model.add(LSTM(units = 50, return_sequences = True))
Model.add(Dropout(0.2))
Model.add(LSTM(units = 50, return_sequences = True))
Model.add(Dropout(0.2))
Model.add(LSTM(units = 50))
Model.add(Dropout(0.2))
Model.add(Dense(units = 1))
```

معیارهای ارزیابی: روش‌های متفاوتی برای ارزیابی دقت مدل استفاده می‌شود. برای مقایسه‌ی قدرت پیش بینی و انتخاب بهترین روش پیش بینی، از معیارهای مختلفی از جمله میانگین مجذور مربعات خطا^۲ استفاده می‌شود که طبق رابطه‌ی (۲) محاسبه می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (\hat{y} - y)^2} \quad \text{رابطه ۲. روش میانگین مجذور مربعات خطا}$$

برای تجزیه و تحلیل کارایی سیستم از خطای میانگین مربعات استفاده شده است. خطا یا تفاوت بین هدف و مقدار خروجی به دست آمده با استفاده از مقدار میانگین مجذور مربعات خطا به حداقل می‌رسد. میانگین مجذور مربعات خطا ریشه مربع میانگین / میانگین مربع همه خطاها است. استفاده از میانگین مجذور مربعات خطا بسیار رایج است و برای پیش بینی‌های عددی یک معیار خطای عمومی عالی ایجاد می‌کند. در مقایسه با خطای میانگین مطلق مشابه، میانگین

^۱ Adam

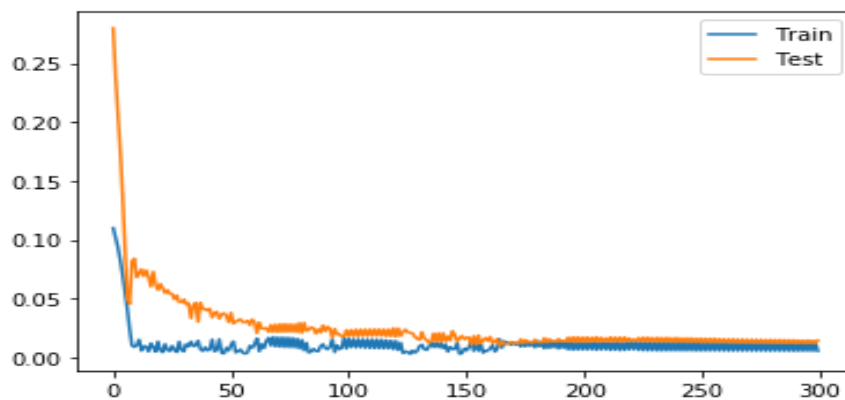
^۲ Root Mean Square Error

مجذور مربعات خطا خطاهای بزرگ را شدت و مجازات می کند. همانطور که در جدول (۲) مشاهده می شود، مدل شبکه عصبی بازگشتی با حافظه کوتاه مدت بلند به بالاترین دقت حاصل از میانگین مجذور مربعات خطا رسیده است. پس از تجزیه و تحلیل مدل شبکه‌های حافظه طولانی کوتاه-مدت، پیش بینی می شد قیمت به تدریج هر روز افزایش یابد.

جدول ۲. نتایج ارزیابی مدل

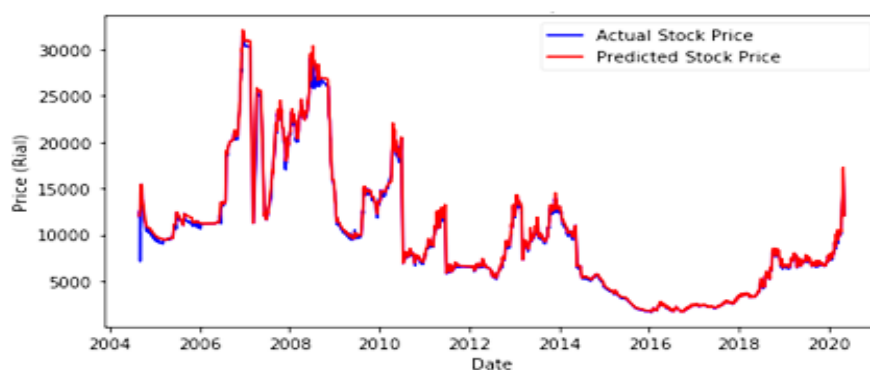
مدل	پارامتر	شماره دوره ها	میانگین مجذور مربعات خطا داده های آموزش	میانگین مجذور مربعات خطا داده های تست
LSTM	first	۵۰	٪۲/۳۵	٪۳/۵۹
LSTM	high	۵۰	٪۲/۸۴	٪۳/۲۵
LSTM	low	۵۰	٪۲/۳۲	٪۳/۶۵
LSTM	Close	۵۰	٪۲/۱۸	٪۳/۱۰
LSTM	value	۵۰	٪۲/۶۹	٪۳/۷۳

نتایج مقایسه داده های جریان پیش بینی شده و مشاهده شده برای مدل پیش بینی یک روزه در نمودار (۲) نشان داده شده است.



نمودار ۲. مقایسه مقادیر جریان یک روزه مقادیر واقعی و پیش بینی شده در مرحله اعتبارسنجی

نتایج: پس از اینکه مدل‌های شبکه عصبی پیاده‌سازی شده روی داده‌های آموزشی، برآزش و روی داده‌های تست، ارزیابی شدند، در جهت ارزیابی مدل، از شیوه بک‌تست استفاده می‌گردد. در واقع بک‌تست فرایندی است که در آن، الگوریتم پیاده‌سازی شده جهت پیش‌بینی قیمت سهام، روی داده‌های تاریخی و با هدف سنجش میزان دقت مدل در پیش‌بینی نتایج واقعی، ارزیابی می‌شود. روش بک‌تست ارائه شده در این روش، روش ساده‌ای است. نمودار (۳)، عملکرد مدل شبکه عصبی بازگشتی با حافظه کوتاه مدت بلند را در پیش‌بینی سهام قیمت واقعی با قیمت پیش‌بینی شده را نمایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد در برخی نقاط قیمت واقعی با قیمت پیش‌بینی شده نزدیک به هم هستند، و این در حالیست که مدل روند کلی نوسانات قیمت مانند بالا یا پایین رفتن را به صورت دقیق پیش‌بینی نموده است. یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که مدل شبکه عصبی بازگشتی با حافظه کوتاه مدت بلند می‌تواند در پیش‌بینی روند قیمت سهام تا حدودی مؤثر عمل نماید.



نمودار ۳. مقایسه قیمت پیش‌بینی شده و قیمت واقعی

برای یک مدل شبکه عصبی بازگشتی با حافظه کوتاه مدت بلند، چنین نتایجی حاکی از عملکرد خوب آن‌ها در پیش‌بینی قیمت سهام دارد. همچنین، این نتایج قدرت شبکه‌های عصبی و مدل‌های یادگیری عمیق را در مدل‌سازی روابط پیچیده میان پارامترها نشان می‌دهد.

۴. نتیجه‌گیری

روش‌های یادگیری عمیق به سرعت در حال تکامل هستند و الگوریتم‌های جدید و بدیعی در این حوزه در حال پیاده‌سازی شدن هستند. از سوی دیگر محبوبیت بازار بورس به سرعت در حال رشد

است، که محققان را تشویق می کند تا روش های جدیدی را برای پیش بینی با استفاده از تکنیک های جدید پیدا نمایند. تکنیک های جدید نه تنها به محققان بلکه به سرمایه گذاران و هر شخصی که با این سهام سر و کار دارد کمک می نماید. پیش بینی تغییر قیمت سهام به عنوان یک فعالیت چالش انگیز در پیش بینی سری های زمانی مالی در نظر گرفته می شود. یک پیش بینی صحیح از تغییر قیمت سهام می تواند سود زیادی را برای سرمایه گذاران به بار آورد. با توجه به پیچیدگی داده های بازار بورس، توسعه مدل های کارآمد برای پیش بینی بسیار دشوار است.

با توجه به مدل ارائه شده در این تحقیق و مقایسه با روش های مطرح شده با هم، به این نتیجه می رسیم که معیارهای خطای روش شبکه های عصبی در مقایسه با روش چند عاملی بسیار ناچیز بوده و عملکرد بهتری نسبت به آن دارد؛ بنابراین، روش شبکه های عصبی در امر پیش بینی شاخص قیمت سهام در بورس اوراق بهادار موفق تر است و میتواند خطای پیش بینی را به طور قابل توجهی کاهش دهد.

با تأکید بر هدف کلی تحقیق و نتایج تحقیقات مشابه می توان دریافت که عوامل گوناگونی به نفوذ پذیری و نوسان بر شاخص کل قیمت بر بورس اوراق بهادار مؤثر است. همچنین با توجه به اینکه شاخص کل بورس اوراق بهادار به عنوان ابزار شناخت وضعیت اقتصادی کشور نیز محسوب می شود؛ بنابراین، با تأمل در حرکت آن، می توان تدابیر لازم را برای تعدیل شوک های ناگهانی اتخاذ نمود. در بحث خرد، شاخص به عنوان ابزار تصمیم گیری سرمایه گذاران محسوب می شود. به ویژه، زمانی این وضعیت قابل توجه است که بازار اوراق بهادار ناکارآمد باشد.

در این پژوهش، مدلی برای پیش بینی قیمت سهام بانک های اسلامی در بورس اوراق بهادار تهران با بکارگیری داده های در بازه زمانی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۹ توسط الگوریتم های یادگیری عمیق ارائه شده است. بنابر نتایج آموزش های بیان شده، دو معماری ۲ لایه با ۵ نورون در لایه اول، ۱۰ نورون در لایه دوم و یک خروجی، مدل مناسبی جهت پیش بینی مورد پژوهش می باشد. با توجه به یافته های این پژوهش می توان اینگونه نتیجه گیری کرد که داده های مربوط به اطلاعات شرکت از جمله نسبت های مالی و اطلاعات مربوط به سهام و همچنین داده های بیرون از شرکت یا به عبارت دیگر داده های کلان اقتصادی به صورت ترکیبی می توانند در پیش بینی شاخص های تعیین کننده قیمت سهام به صورت مؤثری بکار گرفته شود. این پژوهش مدلی ارائه نموده است تا در آن معیار قیمت سهام، بعنوان خروجی شبکه عصبی مصنوعی، قابلیت پیش بینی یابد. معماری هایی با سطح عملکرد مطلوب و قابلیت آموزش در زمان قابل قبول از مدل شبکه عصبی بازگشتی با حافظه کوتاه مدت بلند، ارائه شد که با همگرا شدن آنها علاوه بر نشان دادن وابستگی ورودی های شبکه (نسبت های مالی، اطلاعات سهام و داده های کلان اقتصادی) به خروجی ها (شاخص قیمت سهام) امکان

پیش بینی توأم خروجی ها را ثابت کرد. همچنین پیشنهاد می شود در پژوهش های آتی از ترکیبی از متغیرهای تکنیکی و بنیادی جهت آموزش شبکه استفاده شود.

منابع

۱. باجلان، سعید، فلاح پور، سعید؛ دانا، ناهید، (۱۳۹۵)، "پیش بینی روند تغییرات قیمت سهام با استفاده از ماشین بردار پشتیبان وزن دهی شده و انتخاب ویژگی هیبرید به منظور ارائه استراتژی معاملاتی بهینه" راهبرد مدیریت مالی.
۲. رحیمی پور، اکبر، میر، هدیه، جلایی، سیدعبدالمجید، (۱۳۹۸)، تأثیر اندازه دولت بر بازدهی و قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران، فصلنامه علمی اقتصاد و بانکداری اسلامی، شماره سی ام، بهار ۱۳۹۹ - صفحات ۷ تا ۲۳.
۳. سرمد، زهره؛ حجازی، الهه؛ بازرگان، عباس (۱۳۸۸)، روشهای تحقیق در علوم رفتاری. مشهد: دانشگاه فردوسی.
۴. منجمی، سید امیر حسین؛ ابزری، مهدی، شوازی، علیرضا رعیتی، (۱۳۸۸). "پیش بینی قیمت سهام در بازار بورس اوراق بهادار با استفاده از شبکه ی عصبی فازی و الگوریتم های ژنتیک و مقایسه آن با شبکه ی عصبی.

5. Batres-Estrada, B. (2015). Deep learning for multivariate financial time series.
6. Cao, J., Wang, J., (2019). Stock price forecasting model based on modified convolution neural network and financial time series analysis. Int. J. Commun. Syst. e3987.
7. Cavalcante, R. C., Brasileiro, R. C., Souza, V. L.F., Nobrega, J. P., & Oliveira, A. L.I. (2016). Computational Intelligence and Financial Markets: A Survey and Future Directions.
8. Chen, S., Ge, L., (2019). Exploring the attention mechanism in LSTM-based Hong Kong stock price movement prediction. Quant. Financ. 19 (9), 1507–1515.
9. Emerson, S., Kennedy, R., O'Shea, L., & O'Brien, J. (2019, May). Trends and Applications of Machine Learning in Quantitative Finance. In 8th International Conference on Economics and Finance Research (ICEFR 2019).
10. Kara, Y., Boyacioglu, A.M., & Baykan, Ö. K. (2011). Predicting direction of stock price index movement using artificial neural networks and support vector machines: The sample of the Istanbul Stock Exchange. Expert Systems with Applications, 38(5), 5311-5319.
11. Kumara, J., Goomerb. R, Kumar. S, (2017). Ashutosh Long Short Term Memory Recurrent Neural Network (LSTM-RNN) Based Workload Forecasting Model For Cloud Datacenters, Procedia Computer Science Volume 125, 2018, Pages 676-682.
12. Moritz, B., & Zimmermann, T. (2016). Tree-based conditional portfolio

- sorts: The relation between past and future stock returns. Available at SSRN 2740751.
13. Neelima B, Dr. C. K. Jha, Sandeep K. Budhani, (2014), Prediction of Stock Market Using Artificial Neural Network, International Conference on Soft Computing Techniques for Engineering and Technology (ICSCTET).
 14. Olah, C. (2015). Understanding lstm networks–colah’s blog. Colah. github.io.
 15. Park, Cheol-Ho; Irwin, Scott H. (2007). WHAT DO WE KNOW ABOUT THE PROFITABILITY OF TECHNICAL ANALYSIS? *Journal of Economic Surveys*, 21, 786–826.
 16. Shi Xingjian; Zhourong Chen; Hao Wang; Dit-Yan Yeung; Wai-kin Wong; Wang-chun Woo (2015). "Convolutional LSTM Network: A Machine Learning Approach for Precipitation Nowcasting". *Proceedings of the 28th International Conference on Neural Information Processing Systems*: 802–810
 17. Siami-Namini, S., & Namin, A. S. (2018). Forecasting economics and financial time series: Arima vs. lstm. *arXiv preprint arXiv:1803.06386*.
 18. Song, Hyun Ah, and Soo-Young Lee. (2013). "Hierarchical Representation Using NMF." *Neural Information Processing*. Springer Berlin Heidelberg.
 19. Takeuchi, L., & Lee, Y. Y. A. (2013). Applying deep learning to enhance momentum trading strategies in stocks. In *Technical Report*. Stanford University.
 20. Ticknor, J. L. (2013). A Bayesian regularized artificial neural network for stock market forecasting. *Expert Systems with Applications*, 40(14), 5501–5506.
 21. Tkáč, M., & Verner, R. (2016). Artificial neural networks in business: Two decades of research. *Applied Soft Computing*, 38(1), 788–804.
 22. Wang, S., and Y. Luo. 2012. "Signal Processing: The Rise of the Machines." *Deutsche Bank Quantitative Strategy* (5 June).
 23. Wong, B., Bodnovich, T. A., Selvi, Y., (2003), *Neural Network Applications in Business: A review and analysis of the literature (1988-1995)*, *Decision support systems*. PP. 320-230.
 24. Zhong, X., & Enke, D. (2017). Forecasting daily stock market return using dimensionality reduction. *Expert Systems with Applications*, 67, 126-139.

