فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار
دوره شانزده، شماره شصت و سه، تابستان ۱۴۰۴
نوع مقاله: علمی پژوهشی
صفحات: ۱۸۳-۱۵۷

ارائه مدل عوامل تبیین‌کننده قیمت سهام با استفاده از الگوریتم یادگیری عمیق و مقایسه آن با شبکه عصبی

مجتبی باوقار زعیمی[۱]، غلامرضا زمردیان[۲]، امیررضا کیقبادی[۳] و مهرزاد مینویی[۴]

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۰۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸

چکیده

این پژوهش باهدف توسعه و ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی قیمت سهام در بازار سرمایه ایران و با تمرکز بر بورس اوراق بهادار تهران انجام‌شده است. با توجه به اهمیت روزافزون تحلیل‌های هوشمند و تصمیم‌گیری دقیق در بازارهای مالی، این تحقیق تلاش دارد با بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، مدلی کارآمد و دقیق برای پیش‌بینی بلندمدت قیمت سهام ارائه دهد. جامعه آماری تحقیق شامل ۶۴۸ شرکت فعال پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۲ است. در این پژوهش، عملکرد دو الگوریتم قدرتمند یادگیری عمیق و شبکه عصبی مصنوعی مقایسه شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد مدل یادگیری عمیق، دقت قابل‌توجهی بالاتری نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی ارائه می‌دهد؛ به‌طوری‌که دقت پیش‌بینی و مقدار AUC در مدل یادگیری عمیق به ترتیب حدود ۷۳ درصد و ۸۰ درصد بوده، درحالی‌که این مقادیر برای مدل شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۷۰ درصد و ۷۷ درصد است. همچنین نتایج تحلیل ویژگی‌ها نشان می‌دهد قیمت پایانی روزانه و شاخص کل بورس بیشترین تأثیر را بر عملکرد مدل‌دارند، درحالی‌که متغیرهای اقتصادی همچون نرخ ارز دلار و قیمت سکه طلا در تعدیل روند قیمتی نقش معناداری ایفا می‌کنند. علاوه بر دقت بالاتر، مدل یادگیری عمیق از سرعت همگرایی بسیار بیشتری نیز برخوردار است و در کمترین زمان به سطح مطلوب دقت می‌رسد که این امر منجر به بهبود کارایی فرایند مدل‌سازی شده است. یافته‌های این تحقیق بر اهمیت بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در پیش‌بینی‌های مالی تأکید دارد و استفاده از مدل‌های یادگیری عمیق را به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تحلیل مالی و تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری بلندمدت توصیه می‌کند. این نتایج نه‌تنها برتری فناوری‌های هوشمند را در بازارهای مالی پویا و چندمتغیره ایران تأیید می‌کند، بلکه راهنمای عملی ارزشمندی برای سرمایه‌گذاران و تحلیل‌گرانی است که به دنبال ابزارهایی دقیق و سریع برای پیش‌بینی روند قیمت سهام هستند.

کلمات کلیدی:

پیش‌بینی قیمت سهام، الگوریتم یادگیری عمیق، شبکه عصبی، بورس اوراق بهادار

۱-گروه مدیریت مالی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. mojtaba7154@yahoo.com
۲-گروه مدیریت مالی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) gh.zomorodian@iau.ac.ir
۳-گروه حسابداری، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. acc1388@gmail.com
۴-گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. Mehrzad.minouei@iau.ac.ir

مقدمه

در بازارهای مالی جهانی، پیش‌بینی قیمت سهام یکی از مهم‌ترین مسائلی است که تأثیر مستقیمی بر تصمیمات سرمایه‌گذاران دارد (یائو و همکاران، ۲۰۲۲).

در سال‌های اخیر، الگوریتم‌های یادگیری عمیق به دلیل توانایی در استخراج ویژگی‌های سطح بالا و مدل‌سازی وابستگی‌های بلندمدت در داده‌های زمانی، جایگاه ویژه‌ای در تحلیل بازارهای مالی یافته است. این متدها توانسته‌اند کارایی پیش‌بینی‌ها را نسبت به مدل‌های سنتی افزایش دهند و تأثیر چشم‌گیری در توسعه روش‌های هوشمند در بازارهای مالی داشته باشند (کیم، ۲۰۲۳).

در بازارهای سرمایه عامل‌های مختلفی در پیش‌بینی قیمت سهام مؤثر است بنابراین سرمایه‌گذار جهت سرمایه‌گذاری سودآور با کمترین ریسک با چالش، تردید و خطا مواجه است. در راستای کاهش هزینه و بالا بردن سود سرمایه‌گذاری، تعیین عامل‌های تأثیرگذار و زمان مناسب جهت خریدوفروش از مهم‌ترین مسائلی است که هر سهام‌دار یا سرمایه‌گذار در بازار سرمایه بایستی به آن توجه ویژه داشته باشد. تاکنون روش‌های مختلفی جهت نیل به این اهداف معرفی‌شده‌اند که اغلب روش‌های آماری، هوشمند و ترکیبی هستند (عاملی، رمضانی، ۱۳۹۴). پیش‌بینی در بازارهای سرمایه همواره با چالش، تردید و خطا مواجه بوده است و روش‌های مورداستفاده دارای نقاط ضعفی هستند که کاربرد آن‌ها را با محدودیت مواجه می‌سازد. پیش‌بینی قیمت سهام همواره موضوعی چالش‌برانگیز برای پژوهش گران بوده است (پارک همکاران،۲۰۰۷). زارع و کرد لویی (۱۳۸۹) عنوان می‌دارند که متغیرهای بسیار زیادی در قیمت سهام تأثیرگذار می‌باشند که در این میان سهم شاخص‌های اقتصادی عمده را می‌توان بسیار بالا دانست که نرخ ارز (شامل نرخ دلار آمریکا و یورو)، قیمت طلا و قیمت نفت از آن جمله می‌باشند. نرخ بازدهی و عدم قطعیت بالا این بازار سبب گردیده تا سرمایه گذران از روش‌های متنوعی جهت تسهیل در فرآیند تصمیم‌گیری بهره گیرند (منجمی و همکاران ۱۳۸۸ و تیک نور۲۰۱۳). یکی از مهم‌ترین اطلاعات در بازار سرمایه برای سرمایه‌گذاران، اطلاعات قیمت سهام است که به‌طور اساسی دینامیک غیرخطی، نا پارامتریک و آشوب گونه است (جی کیم، ۲۰۰۲). این موضوع نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاران باید سری‌های زمانی را به‌کاربرده که نا ایستا و دارای ساختار آشوب گونه هست (چی، ۲۰۱۱)؛ بنابراین امروزه پیش‌بینی قیمت سهام نه‌فقط خیلی چالش‌انگیز هست بلکه موردعلاقه زیاد سرمایه‌گذاران است (چی، ۲۰۱۱). قیمت سهام و اطلاعات مربوط به آن معیاری است که ازنظر سهامداران بااهمیت محسوب و فعالان بازار سرمایه در تلاش هستند تا به‌صورت علمی قادر به‌پیش بینی سهام در آینده

باشند . از راه‌های کمک به سرمایه‌گذاران ارائه الگوهای نوین پیش‌بینی قیمت سهام است هر چه این پیش‌بینی‌ها به واقعیت نزدیک‌تر باشند، تصمیم‌های که بر اساس چنین پیش‌بینی‌های اتخاذ می‌شوند، صحیح‌تر خواهد بود (محمدی، صدر، ۱۳۹۷). با افزایش پیشرفت علمی، یادگیری رایانه‌ای در مقایسه با سرمایه‌گذاری سنتی، دارای انرژی، نظم و قابلیت پردازش داده‌های فوق‌العاده و بی‌نهایت است (ژای، ۲۰۲۰). درزمینهٔ روش‌های یادگیری رایانه‌ای می‌توان به مدل‌های بی‌شماری اشاره نمود که الگوریتم یادگیری عمیق و شبکه عصبی ازجمله مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین مدل‌ها در این زمینه است. آنچه در این پژوهش موردبررسی قرار گرفت ارائه مدل عوامل تبیین‌کننده قیمت سهام با استفاده از دو روش الگوریتم یادگیری عمیق و شبکه عصبی بوده که درنهایت قابلیت پیش‌بینی دو مدل بررسی و مدل مناسب پیشنهاد خواهد شد.

مبانی نظری، پیشینه پژوهش

یکی از گزینه‌های موجود جهت سرمایه‌گذاری نقدینگی، بورس و اوراق بهادار است. با توجه به ارتباطات غیرخطی موجود میان متغیرهای مؤثر بر قیمت سهام، شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از مناسب‌ترین رویکردهای موجود جهت پیش‌بینی قیمت سهام می‌باشند (خان بیگی، عبد الوند، ۱۳۹۶). برای اتخاذ تصمیمات اصولی سرمایه‌گذاری و تخصیص بهینه منابع سرمایه‌ای باید مدل‌های قیمت‌گذاری موجود را دائماً موردبررسی قرارداد و مدل‌های مناسب‌تر را معرفی نمود. نتایج پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهند که در بورس اوراق بهادار تهران اقلام نقدی سود و هم‌چنین جریانات نقد بیشتر از سایر اطلاعات حسابداری به‌عنوان معیاری برای خریدوفروش سهام پذیرفته‌شده‌اند (عرب صالحی و کمالی دهکردی، ۱۴۰۰). گرچه رفتار توده‌وار قیمت سهام در نظریات موجود عمدتاً بر اساس نوعی تقلید و تکرار رفتار تعریف می‌شود، اما ارائه مدل ریاضی که توانایی شناسایی این پدیده را داشته باشد، با دشواری همراه است. نظر به این‌که بازار سرمایه ایران با پدیده بسته شدن نماد مواجه است و این امر می‌تواند مقادیر قیمت سهام را تحت تأثیر قرار دهد (فرازمند و دیگران، ۱۳۹۹). با توجه به اینکه مسئله پیش‌بینی قیمت سهام یک مسئله یادگیری و بهینه‌سازی است (محمدی، صدر، ۱۳۹۷) ریسک و تغییرات قیمت سهام یک شرکت تابعی از انتقال اطلاعات آن از داخل به خارج است. از طریق تجزیه‌وتحلیل چسبندگی هزینه شرکت‌های موردبررسی استدلال می‌شود که ریسک عملیاتی نیز عاملی مهم است که بر ریسک سقوط قیمت سهام تأثیر می‌گذارد (مؤمنی و محمدی، ۱۴۰۰). شواهد بسیاری حاکی از پیچیده بودن سری‌های زمانی مانند قیمت‌های بازار سهام و تصادفی بودن آن است که این امر باعث می‌شود تا تغییرات

آن‌ها را غیرقابل‌پیش‌بینی کند. این در حالی است که احتمال دارد این سری‌های زمانی فرآیندی غیرخطی پویای معین یا به عبارت بهتر آشوبی بوده و درنتیجه می‌توانند قابلیت پیش‌بینی داشته باشند (عبدالملکی و دیگران، ۱۳۹۹). این موضوع در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است و در مجامع مرتبط باهوش مصنوعی و یادگیری ماشین بسیار از آن یادشده است. یادگیری عمیق به زیرمجموعه‌ای از الگوریتم‌ها و روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین اشاره دارد که سعی می‌کند الگوهای پیچیده درداده تا را کشف و انتزاعات سطح بالا را مدل‌سازی کند، این خصوصیت یادگیری عمیق، موفقیت‌های چشم‌گیری را برای این نوع روش‌ها در حوزه یادگیری ماشین به ارمغان آورده است به‌طوری‌که در برخی زمینه‌ها مانند شناسایی اشیا عملکردی بهتر از انسان‌ها دارند. برخی از فن‌های یادگیری عمیق بر تحلیل و پیش‌بینی سری‌های زمانی تمرکز دارند که با کشف الگوهای ناشناخته از داده‌ها، ما را در پیش‌بینی یاری می‌کنند. با توجه به سیستم غیرخطی و آشوبناک بازار سهام، تحلیل سنتی از دقت کافی برخوردار نیستند (امین و دیگران، ۱۳۹۸)؛ با توجه به بررسی به‌عمل‌آمده در مقالات و پژوهش‌های پیشین این خلأ وجود دارد که تاکنون ترکیبی از متغیرهای بازار سهام و متغیرهای اقتصادی نظیر (قیمت نفت، قیمت سکه و قیمت دلار) وهم چنین مقایسه‌ی هم‌زمان دو روش شبکه عصبی و الگوریتم یادگیری عمیق جهت پیش‌بینی قیمت سهام استفاده نگردیده است لذا با توجه به دلایل زیر این پژوهش ضروری است

ضرورت و اهمیت تحقیق

با توجه به ویژگی‌های خاص بازار سرمایه ایران و نقش حیاتی آن در اقتصاد کشور، انجام پژوهش‌های کاربردی باهدف بهبود دقت پیش‌بینی قیمت سهام از اهمیت بسزایی برخوردار است. نتایج این پژوهش‌ها می‌تواند به سرمایه‌گذاران در اتخاذ تصمیمات آگاهانه‌تر، به مدیران شرکت‌ها در برنامه‌ریزی مالی و به سیاست‌گذاران در تنظیم بازار کمک کند (کمپیل و همکاران، ۱۹۹۷).

علاوه بر این، بررسی و ارزیابی کارایی الگوریتم‌های یادگیری عمیق در مقایسه با روش‌های سنتی پیش‌بینی، می‌تواند به درک بهتری از پتانسیل‌ها و محدودیت‌های این الگوریتم‌ها در بازارهای مالی نوظهور منجر شود. این امر به‌نوبه‌ی خود، می‌تواند راهنمایی برای توسعه‌ی مدل‌های پیش‌بینی کارآمدتر و متناسب با شرایط خاص این بازارها باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۰).

این پژوهش با تمرکز بر **بورس اوراق بهادار تهران**، سعی در ارائه و ارزیابی مدل‌های پیشرفته برای پیش‌بینی قیمت سهام دارد و به دلایل زیر ضروری است:

- **پیچیدگی بازارهای مالی:** بازارهای مالی پویا و تحت تأثیر عوامل متعدد (مالی، اقتصادی، سیاسی، اجتماعی) هستند. یادگیری عمیق قادر به درک و مدل‌سازی این پیچیدگی‌ها است.
- **نیاز به‌دقت بالاتر در پیش‌بینی:** دقت بالاتر در پیش‌بینی می‌تواند به سرمایه‌گذاران در اتخاذ تصمیمات بهتر و کاهش ریسک کمک کند.
- **مقایسه مدل‌های نوین با سنتی:** ارزیابی مزایا و معایب الگوریتم‌های یادگیری عمیق در مقایسه با شبکه‌های عصبی سنتی، به انتخاب روش‌های بهینه کمک می‌کند.
- **اهمیت متغیرهای کلان اقتصادی:** عوامل اقتصادی کلان مانند قیمت نفت، دلار و سکه، تأثیر قابل‌توجهی بر بازار سهام‌دارند و باید در مدل‌ها گنجانده شوند

و همچنین دلایل استفاده از متغیرهای اقتصادی نظیر (قیمت سکه، قیمت دلار و قیمت نفت) در این پژوهش را می‌توان تأثیر افزایش قیمت سکه و دلار که نشان‌دهنده تورم و نا اطمینانی اقتصادی باشد و ممکن است سرمایه‌گذاران را به سمت دارایی‌های امن سوق دهد و بر بازار سهام تأثیر منفی بگذارد؛ و تأثیر افزایش قیمت دلار بر صادرات و واردات شرکت‌های بورسی و همچنین افزایش قیمت نفت می‌تواند برای شرکت‌های نفتی و پتروشیمی مثبت باشد، اما برای صنایع مصرف‌کننده انرژی تأثیر منفی داشته باشد. در این پژوهش مدنظر است .

لذا از جنبه‌های نوآوری این پژوهش با تحقیقات پیشین می‌توان ترکیب متغیرهای (قیمت باز شدن، قیمت بسته شدن، کمترین قیمت، بیشترین قیمت، حجم معاملات، شاخص کل بورس، قیمت سکه، قیمت دلار، قیمت نفت) و استفاده هم‌زمان دو روش الگوریتم یادگیری عمیق و شبکه عصبی جهت پیش‌بینی قیمت سهام به‌منظور درک بهتر از مزایا و معایب هر دو رویکرد کمک کند و درنهایت منجر به بررسی تغییرات و ارائه یک مدل پیش‌بینی دقیق‌تر، کارآمدتر و دقیق‌تر در به‌منظور پیش‌بینی قیمت سهام ارائه گردد . می‌تواند با ارائه یک مدل پیش‌بینی دقیق‌تر، کارآمدتر و قابل‌اعتمادتر از مدل‌های پیشین، نوآوری داشته باشد و به درک بهتری از عوامل مؤثر بر قیمت سهام شرکت‌های بورسی کمک کند.

پیشینه تجربی

لین و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود نشان می‌دهند که شاخص‌های بازارهای بزرگ سهام دنیا را می‌توانند با ترکیبی از مدل‌های یادگیری عمیق و الگوریتم‌های تجزیه سیگنال پیش‌بینی کنند و در این زمینه از ساختارهای متنوعی در مدل‌های یادگیری عمیق و الگوریتم‌های تجزیه

سیگنال استفاده نمایند. آن‌ها در این تحقیق از اطلاعات شاخص سیاسی ۳۰۰ (CSI ۳۰۰) و اس آند پی ۵۰۰ (S&P ۵۰۰) در دوره زمانی ۲۰۱۹– تا ۲۰۰۹ استفاده نمودند و نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که مدل ترکیبی یادگیری عمیق با ساختار LSTM و الگوریتم CEEMDANدر پیش‌بینی‌های مالی و بازارهای نوظهور به‌عنوان مدل برتر و بهینه است. مرتضی مردادی (۱۴۰۲) در پژوهش خود به‌پیش بینی قیمت پایانی سهم "خودرو" در بورس تهران پرداخته و این پیش‌بینی بر اساس ویژگی‌های قیمت و فنی و با استفاده از الگوریتم‌های شبکه عصبی بازگشتی، حافظه کوتاه‌مدت ماندگار و واحد بازگشتی دروازه‌ای انجام‌شده است؛ و مقایسه نتایج آن حاکی از برتری این الگوریتم‌ها نسبت به شبکه عصبی بازگشتی است. سعیدی اقدم و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی با موضوع ارائه مدل پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری عمیق و کاربرد آن در قیمت‌گذاری سهام بانک‌های اسلامی را موردبررسی قراردادند و با استفاده از داده‌های ۳۲ متغیر برای شرکت‌های برتر بورس در سال ۱۳۹۹، نتایج نشان‌دهنده‌ی بهبود قابل‌توجه دقت پیش‌بینی است. جعفری وهمکاران (۱۴۰۲) . در پژوهشی از مدل شبکه عصبی بازگشتی و شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی قیمت روزانه سهام استفاده نمودند و نتایج تحقیق آن‌ها حاکی از این است که دقت مدل شبکه عصبی بازگشتی (RNN) ازلحاظ شاخص‌های آماری MSE و RMSE نسبت به ANN بهتر گزارش‌شده است. اسلامی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی از شبکه‌های عصبی عمیق برای پیش‌بینی قیمت سهام شرکت‌های بورس تهران استفاده نمودند و عملکرد آن با شبکه عصبی ساده مقایسه گردیده است. نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که مدل‌های عمیق توانایی بهتری در استخراج ویژگی و کاهش خطادارند.

کیانی مأوی و همکاران (۱۳۹۲) در خصوص پیش‌بینی قیمت سهام شرکت نشان می‌دهد که پیش‌بینی به‌وسیله الگوریتم پس انتشار خطای استاندارد همراه با مؤمنتم بهتر ازBP استاندارد است. نتایج پژوهش مؤمنی و محمدی (۱۴۰۰) نشان می‌دهد که ریسک سقوط قیمت سهام یک شرکت تابعی از انتقال اطلاعات آن از داخل به خارج است. از طریق تجزیه‌وتحلیل چسبندگی هزینه شرکت‌های موردبررسی استدلال می‌شود که ریسک عملیاتی نیز عاملی مهم است که بر ریسک سقوط قیمت سهام تأثیر می‌گذارد. برای شرکت‌های دارای چسبندگی هزینه، احتمال ریسک سقوط کاهش می‌یابد. عرب صالحی و کمالی دهکردی (۱۴۰۰) اشاره به این موضوع دارند که برای اتخاذ تصمیمات اصولی سرمایه‌گذاری و تخصیص بهینه منابع سرمایه‌ای باید مدل‌های قیمت‌گذاری موجود را دائم″موردبررسی قرارداد و مدل‌های مناسب‌تر را معرفی نمود. نتایج پژوهش

عرب صالحی و کمالی دهکردی نشان می‌دهند که در بورس اوراق بهادار تهران اقلام نقدی سود و هم‌چنین جریانات نقد بیشتر از سایر اطلاعات حسابداری به‌عنوان معیاری برای خریدوفروش سهام پذیرفته‌شده‌اند. نتایج پژوهش خسروی نژاد و همکاران (۱۳۹۳) حاکی از این است که بین دو مدل خطی و غیرخطی در پیش‌بینی شاخص قیمت سهام اختلاف معنادار وجود ندارد. کیم و هان (۲۰۰۰) عنوان می‌دارد که الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی برای کاهش پیچیدگی آینده سری زمانی قیمت می‌تواند استفاده گردد. لنداس و همکارانش (۲۰۰۰) به‌پیش بینی شاخص با استفاده از شبکه عصبی اقدام کردند نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که استفاده از شبکه‌های عصبی از روش‌های خطی بهتر عمل می‌کنند. در سال ۲۰۱۸ لاماری اعتقاد داشت که اکثر ورودی‌های شبکه عصبی که برای پیش‌بینی نرخ تبادل استفاده می‌شوند تک متغیره بودند درحالی‌که ورودی‌های شبکه عصبی استفاده‌شده برای پیش‌بینی قیمت شاخص بازار و رشد اقتصادی در اکثر موارد چند متغیره بودند. یک مقایسه ترکیبی بین شبکه عصبی و سایر مدل‌ها ازنظر عملکرد پیش‌بینی وجود دارد. دلایل این امر ممکن است تفاوت‌های داده‌ای، سطوح پیش‌بینی و نوع مدل شبکه عصبی باشد. داس و پا دهی (۲۰۱۸) عنوان می‌دارند شبکه‌های عصبی مصنوعی دارای قابلیت یادگیری عالی هستند اما اغلب ناسازگاری و غیرقابل‌پیش‌بینی بودن را برای عملکرد داده‌های دارای اخلال نشان می‌دهند. نتایج پژوهش سانگ و همکارانش (۲۰۱۷) نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک یک روش نویدبخش برای انتخاب فوری شبکه عصبی مصنوعی است. پانگ و همکارانش (۲۰۱۸) استفاده از شبکه‌های عصبی نظارت‌شده به‌صورت فناوری یادگیری جهت طراحی یک پیش‌بینی برای سری‌های زمانی مالی پیشنهاد می‌کنند. در سال ۲۰۱۷ محمود و همکارانش یک مدل تشخیص عیب مطرح کردند، شبکه عصبی رگرسیونی تعمیم‌یافته هوشمند عمیق که یک مدل یادگیری عمیق نظارت‌شده است دارای دقت و سرعت پایینی است. نتایج تحلیل و شبیه‌سازی چا و همکارانش (۲۰۱۶) نشان می‌دهد که این الگوریتم می‌تواند برای سیگنال‌های موج پیوسته FM، فرانک، کوستاس و FSK/PSK به میانگین دقت تشخیص ۹۳/۴ درصدی یا بالاتر دست یابد. سا تو و همکارانش (۲۰۱۸) عنوان کردند که شبکه‌های یادگیری عمیق در مقایسه با روش‌های دستی سنتی برای استخراج ویژگی‌های مخفی بسیار مفید هستند. در سال ۲۰۱۸ آبنوس و همکارانش (۲۰۱۸) استفاده از نظریه یادگیری عمیق را برای مطالعه خصوصیات پاسخ فعالانه کاندید و تبدیل مسئله استخراج پاسخ به مسائل یادگیری ویژگی و دسته‌بندی پیشنهاد کردند که استفاده کردن از بردارهای واژه‌ای برای نشان دادن خصوصیات مسئله است. چو

ری و همکاران (۲۰۲۳) در این پژوهش یک مدل پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از یادگیری عمیق و تحلیل احساسات خبری ارائه می‌دهند و نتایج این تحقیق حاکی از آن است که مدل LSTM با ۱۰۰ دوره و ۶ لایه، بهترین دقت پیش‌بینی را بر اساس روندهای مالی گذشته ارائه داده است، کول کارانی و همکاران (۲۰۲۵) در پژوهشی با تحلیل داده‌های بورس بمبئی (BSE)، از روش‌های مختلفی مانند تحلیل سری‌های زمانی، یادگیری ماشین و یادگیری عمیق استفاده نمودند تا مؤثرترین مدل را برای پیش‌بینی قیمت سهام، با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن داده‌های مربوط به کو و ید-۱۹، شناسایی کنند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان می‌دهد که مدل‌های سری زمانی برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت، مدل‌های یادگیری ماشین برای تعمیم بهتر و مدل‌های یادگیری عمیق برای پیش‌بینی بلندمدت مناسب‌تر هستند. چو دوری و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای به مقایسه مدل‌های یادگیری عمیق (MLP)، RNN، LSTM، CNNبا مدل ARIMA در پیش‌بینی بازار سهام می‌پردازند. در این تحقیق داده‌های بورس‌های ((NSEبا تمرکز بر (Tata Motors) و (NYSE) مورداستفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد مدل‌های یادگیری عمیق، به‌ویژه CNN، در ثبت روندهای غیرخطی و الگوهای فصلی، عملکرد بهتری نسبت به ARIMA دارند. این مطالعه، توانایی مدل‌های یادگیری عمیق در سازگاری با شرایط پویای بازار و تشخیص الگوهای پیچیده را نشان می‌دهد، ضمن آنکه به چالش‌های هر مدل نیز اشاره می‌کند. نا یک و همکاران (۲۰۲۴) در این تحقیق نشان دادند که مدل‌های یادگیری عمیق می‌توانند برای پیش‌بینی قیمت سهام، به‌ویژه شاخص S&P 500 ، در مقایسه با مدل‌هایCNN ، LSTMوGRU ، مدل-N BEATSکه به‌طور خاص برای داده‌های سری زمانی طراحی‌شده، عملکرد بهتری در پیش‌بینی از خود نشان دهند .همچنین نتایج نشان می‌دهد که استفاده از N-BEATS می‌تواند به بهبود دقت پیش‌بینی و ارائه اطلاعات ارزشمند به سرمایه‌گذاران و تحلیلگران مالی کمک کند لای و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای یک مدل ترکیبی CNN-LSTM ارائه می‌دهند که از نقاط قوت هر دو شبکه CNN) برای استخراج ویژگی و LSTM برای تحلیل سری‌های زمانی (برای بهبود دقت پیش‌بینی استفاده می‌کند .نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان می‌دهد که مدل CNN-LSTM در مقایسه با مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر سری‌های زمانی، از دقت بالاتری برخوردار است.

بیشنو و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای به مقایسه چهار مدل یادگیری عمیق (شامل پرسپترون چندلایه، شبکه‌های عصبی بازگشتی، حافظه بلندمدت کوتاه‌مدت و شبکه‌های عصبی کانولوشن) درزمینه پیش‌بینی قیمت سهام پرداخته‌اند. داده‌های تاریخی بورس اوراق بهادار هند (NSE) و

نیویورک (NYSE) به‌عنوان مبنای این پژوهش مورداستفاده قرارگرفته است. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که مدل شبکه‌های عصبی کانولوشن (CNN) باوجوداینکه بر اساس داده‌های بورس هند آموزش داده‌شده بود، توانست قیمت سهام بورس نیویورک را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کند. این عملکرد برتر در مقایسه با سایر مدل‌ها و مدل سنتی میانگین متحرک خود رگرسیونی تجمعی، نشان‌دهنده توانایی بالقوه شبکه‌های عصبی عمیق در تحلیل و پیش‌بینی روندهای بازار سهام و همچنین وجود الگوهای مشترک در بازارهای مختلف سهام است. تی و همکاران (۲۰۲۴) در این مقاله به بررسی سه نوع مدل پیش‌بینی شاملCNN ، RNNو مدل‌های ترکیبی می‌پردازند. نتایج پژوهش‌های آن‌ها حاکی از این است که مدل‌های ترکیبی از دقت بالاتری برخوردارند و الگوهای پیچیده‌تری را ثبت می‌کنند. پیشرفت‌های یادگیری ماشین می‌تواند به بهبود این مدل‌ها و پیش‌بینی‌های مالی کمک کند.

با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته قبلی در داخل و خارج کشور، در این پژوهش سؤالات زیر مورد آزمون قرار گرفت:

مهم‌ترین سؤالات پژوهش حاضر عبارتنداز:

- ✓ سؤال اول: مدل الگوریتم یادگیری عمیق چگونه مدلی برای پیش‌بینی قیمت سهام است؟
- ✓ سؤال دوم: مهم‌ترین متغیرهای پیش‌بینی قیمت سهام بر اساس مدل الگوریتم یادگیری چه متغیرهایی می‌باشند؟
- ✓ سؤال سوم: مدل شبکه عصبی چگونه مدلی برای پیش‌بینی قیمت سهام است؟
- ✓ سؤال چهارم: مهم‌ترین متغیرهای پیش‌بینی قیمت سهام بر اساس مدل شبکه عصبی چه متغیرهایی می‌باشند؟
- ✓ سؤال پنجم: کدام مدل، الگوریتم یادگیری عمیق یا شبکه عصبی، در پیش‌بینی قیمت سهام بهتر عمل می‌کند؟

روش پژوهش

این پژوهش از نوع پژوهش‌های کاربردی و برحسب نحوه گردآوری داده‌ها، از نوع توصیفی (همبستگی) و مقیاس اندازه‌گیری داده‌ها نسبی است. جامعه آماری این پژوهش شامل کلیه

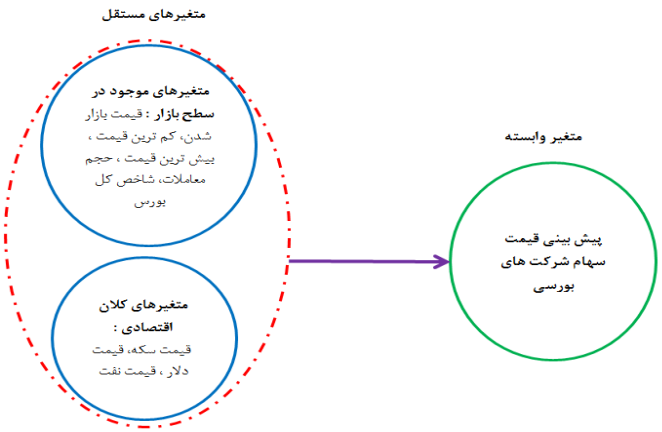
شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران در بین سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۲ است؛ که دارای ویژگی‌های زیر بوده‌اند:

۱) سال مالی شرکت‌ها منتهی به پایان اسفندماه باشد. ۲) جزء مؤسسات مالی و اعتباری نباشند. ۳) اطلاعات بازاری سهام آن‌ها موجود باشد.۴) شرکت‌ها در طول دوره پژوهش، تغییر سال مالی نداده باشند.

لذا، از تمام شرکت‌های فعال در بورس اوراق بهادار در بین سال‌های ۱۳۹۲ تا پایان سال ۱۴۰۲ که واجدالشرایط بوده‌اند استفاده‌شده است. اطلاعات موردنیاز این پژوهش در بخش‌های مربوط به ادبیات موضوع از منابع کتابخانه‌ای و اطلاعات مالی شرکت‌ها از بورس اوراق بهادار و نرم‌افزار ره‌آورد نوین جمع‌آوری‌شده است.

مدل پژوهش

مدل مفهومی مورداستفاده در این پژوهش به شرح زیر است:



نمودار ۱: مدل مفهومی تحقیق (منبع: برگرفته از یافته‌های محقق از بخش ادبیات موضوع پژوهش)

معرفی متغیرهای مدل

متغیر وابسته

متغیر وابسته مورداستفاده در این کار پژوهشی متغیر قیمت سهام است که از اطلاعات موجود در سایت بورس اوراق بهادار تهران برای شرکت‌های نمونه استخراج گردیده است.

متغیرهای مستقل

متغیرهای مستقل مورداستفاده در این کار پژوهشی به دودسته متغیرهای موجود در سطح بازار

و متغیرهای کلان به شرح زیر تقسیم می‌شود:

متغیرهای مستقل موجود در سطح بازار عبارت‌اند از: قیمت بازار شدن، کم‌ترین قیمت، بیش‌ترین قیمت، حجم معاملات، شاخص کل بورس. اطلاعات مربوط به این متغیرها از اطلاعات موجود در سایت بورس اوراق بهادار تهران برای شرکت‌های نمونه استخراج گردیده است.

متغیرهای مستقل کلان عبارت‌اند از: قیمت سکه، قیمت دلار، قیمت نفت. اطلاعات مربوط به این شاخص‌ها از سایت بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران استخراج گردیده است.

- **قیمت دلار:** افزایش دلار معمولاً بر شرکت‌های صادراتی مثبت و بر شرکت‌های وارداتی منفی است. در بازارهای نوظهور، تغییرات نرخ ارز تأثیر مستقیم بر ارزش سهام دارد و این پارامتر نشان‌دهنده وضعیت تعادل تجاری و قدرت خرید پول ملی است. (موسوی و همکاران،۲۰۲۱).
- **قیمت نفت:** برای کشورهای صادرکننده نفت، کاهش قیمت نفت باعث کاهش درآمدهای دولت و افت‌سهام‌می‌شود. برای‌صنایع‌مصرف‌کننده‌انرژی، افزایش‌قیمت‌نفت‌هزینه تولید را بالا می‌برد.
- **قیمت سکه:** به‌عنوان نمادی از تورم و نا اطمینانی اقتصادی، افزایش قیمت سکه می‌تواند سرمایه‌گذاران را به سمت دارایی‌های امن سوق داده و بر بازار سهام تأثیر بگذارد

جدول ۱- تشریح متغیرهای مستقل و وابسته مورداستفاده در پژوهش

نام متغیر	نماد	دسته	توضیحات
قیمت باز شدن	Open	درون شرکتی	قیمتی که در ساعت شروع معاملات به ازای هر سهم معامله می‌شود.
کم‌ترین قیمت	Low	درون شرکتی	کم‌ترین قیمت که در بازه زمانی روزانه به ازای هر سهم معامله می‌شود.
بیش‌ترین قیمت	High	درون شرکتی	بیش‌ترین قیمت که در بازه زمانی روزانه به ازای هر سهم معامله می‌شود.
قیمت بسته شدن	Close	درون شرکتی	آخرین قیمتی که در پایان روز معاملاتی به ازای هر سهم معامله می‌شود.
حجم معاملات	Volume	درون شرکتی	حجم معاملات صورت گرفته به ازای هر روز معاملاتی
شاخص کل بورس	TEOIX	کلان اقتصادی	شاخص روزانه قیمتی بورس
قیمت سکه	coin	کلان اقتصادی	قیمت روزانه سکه
قیمت دلار	Dollar	کلان اقتصادی	قیمت روزانه دلار آمریکا
قیمت نفت	Oil	کلان اقتصادی	قیمت روزانه نفت برنت

روش آزمون سؤالات پژوهش

با توجه به اینکه یافته‌های اغلب این پژوهش‌ها، حاکی از برتری روش‌های هوش مصنوعی نسبت به مدل‌های خطی آماری است؛ لذا با توجه به ضعف‌های روش‌های خطی و مزایای روش‌های

غیرخطی در پیش‌بینی، به‌عنوان نمونه قابلیت انطباق بیشتر با مسائل جهان واقعی، عملکرد پیش‌بینی بهتر و عدم وابستگی به مفروضات خاص، پژوهش حاضر به ارائه مدلی جهت پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از دو مدل الگوریتم یادگیری عمیق و شبکه عصبی می‌پردازد:

یادگیری ماشین معمولاً به دودسته پیش‌بینی کننده (یادگیری نظارت‌شده) و توصیف‌کننده (یادگیری بدون ناظر) تقسیم می‌شود:

در یادگیری نظارت‌شده هدف پیدا نمودن یک الگویی مناسب جهت پیش‌بینی متغیر هدف بر اساس مجموعه‌ای از متغیرهای پیشگو یا (خصیصه یا ویژگی) است. معمولاً متغیر هدف را با y به‌عنوان خروجی و متغیرهای پیشگو یا ویژگی‌ها را x نشان داده و از مدل زیر استفاده می‌گردد.

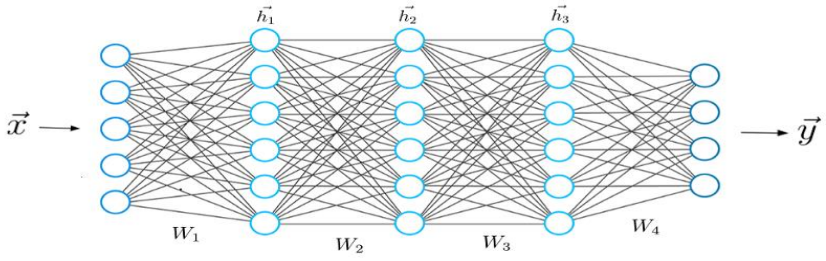
$$D = \{(X_i . y_i)\}_{i=1}^{N}$$

اما در حالت دوم که یادگیری بدون ناظر است هدف پیدا کردن الگویی مناسب در جهت توصیف هرچه بهتر روابط بین داده‌ها است، در حالت یادگیری فاقد نظارت مجموعه داده‌های آموزشی فاقد متغیر هدف است و ما تنها با مجموعه‌ای از ورودی‌ها سروکار داریم.

$$D = \{(X_i)\}_{i=1}^{N}$$

در پژوهش حاضر به دلیل وجود یک متغیر هدف و ناظر که همان متغیر قیمت شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران است، درمیابیم باید از رویکرد یادگیری نظارت‌شده استفاده شود و از سوی دیگر به دلیل کمی یا پیوسته بودن مقیاس متغیر هدف؛ مسئله به فرم رگرسیون تعریف‌شده و درنهایت پیش‌بینی‌های حاصل از دو الگوریتم قدرتمند یادگیری ماشین (بردار پشتیبان رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی) با استفاده از دو معیار Accuracy و Sensitivity با یکدیگر مقایسه شده و مدل نهایی به جهت بهترین مدل پیش‌بینی ارائه می‌گردد.

در پژوهش حاضر از شبکه‌های عصبی چندلایه (MLP) برای پیش‌بینی قیمت استفاده می‌نماییم که ساختار کلی آن به‌صورت زیر است:



نمودار ۱- طرح‌واره‌ای نمادین از ساختار یک شبکه عصبی عمیق چندلایه با اتصالات کامل

شکل فوق ساختار یک شبکه MLP با سه لایه پنهان را نشان می‌دهد که در هر لایه شش نورون قرار دارد. بسته به نوع پیچیدگی مسئله و حجم داده‌ها متخصص یادگیری ماشین تعداد لایه‌های پنهان، تعداد نورون‌ها و توابع فعال‌سازی هر لایه را تعیین می‌کند.

یافته‌های پژوهش

قلمرو زمانی مورداستفاده در این تحقیق سال‌های بین ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۲ می‌باشد لذا داده‌های موردمطالعه در این تحقیق، مربوط به سال‌های ۱۳۹۲ تا پایان سال ۱۴۰۲ است. کل نمونه آماری موردبررسی در طول قلمرو زمانی پژوهش ۶۴۸ شرکت در صنایع مختلف بوده‌اند و با توجه به اینکه داده‌های جمع‌آوری‌شده مربوط به ۱۰ سال است و متغیرها به شکل روزانه موردمحاسبه و مدنظر قرار گرفتند.

جدول ۲- نتایج آماری توصیف متغیرهای مستقل و وابسته

متغیرها	میانگین	میانه	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	دامنه
Open	۵۳۴۱،۱۳۹۸۶	۱۵۷۴	۱۳۶۵۶،۲۱۸۹	۱۵	۷۴۹۲۶۰	۷۴۹۲۴۵
High	۵۴۵۷،۹۸۱۷۲	۱۶۰۵	۱۳۹۵۱،۲۲۱۶	۱۵	۷۴۹۲۶۰	۷۴۹۲۴۵
Low	۵۱۹۱،۲۶۷۹۴	۱۵۴۰	۱۳۲۰۸،۷۷۹۵	۱۴	۶۹۰۰۰۰	۶۸۹۹۸۶
Close	۵۳۲۳،۳۶۷۳۲	۱۵۷۲	۱۳۵۸۳،۵۴۱۹	۱۴	۷۴۹۲۶۰	۷۴۹۲۴۶
Volume	۵۲۷۲۱۶۲،۷۵	۵۷۰۲۷۳،۵	۳۸۰۷۳۶۳۳،۸	۱	۶۱۰۴۷۵۰۲۱۴	۶۱۰۴۷۵۰۲۱۳
TEPIX	۱۷۴۸۸۱،۹۵۳	۷۹۳۹۳،۸	۲۹۳۲۳۰،۳۰۶	۱۱۱۷۸،۵	۲۰۶۵۱۱۴،۳	۲۰۵۳۹۳۵،۸
Coin	۲۲۸۰۱۷۵۴	۱۲۰۳۲۰۰۰	۲۰۹۴۳۴۷۴،۵	۲۴۸۰۰۰۰	۱۱۳۴۹۰۰۰۰	۱۱۱۰۱۰۰۰۰
Dollar	۶۴۶۸۲،۳۱۸۸	۳۷۳۸۰	۵۰۵۱۶،۳۰۲۴	۹۹۱۰	۲۲۹۴۱۰	۲۱۹۵۰۰
Oil	۶۹،۵۵۹۴۸۵۷	۶۳،۶۹	۲۴،۸۸۰۲۱۷۹	۹،۱۲	۱۲۸،۱۴	۱۱۹،۰۲

منبع: یافته‌های پژوهشگر

با توجه به مقادیرمیانگین متغیرها وانحراف معیار آن‌ها درمیابیم در بازه زمانی ۱۰ ساله‌ای که از داده‌ها دراختیارداریم، دامنه‌نوسان و پراکندگی بالایی حول‌میانگین وجوددارد. اگر به مقادیر کمینه، بیشینه و دامنه‌تغییرات این متغیرها نیز توجه کنیم، این مقدار بالای انحراف معیار توجیه‌می‌گردد.

اهمیت نرمال بودن توزیع داده‌ها بدین سبب است که در استنباط‌های آماری نظیر مدل رگرسیون خطی معمولاً نرمال بودن توزیع متغیر وابسته یکی از پیش‌فرض‌های اساسی است، حال‌آنکه در رویکرد یادگیری ماشین این مشکل مرتفع شده و اساساً معقول استنباط بر روی پارامترها مطرح نیست بنابراین اگر متغیر وابسته یا هدف از توزیع نرمال پیروی نکند خللی در انجام

کار پیش نمی‌آید و این‌یک مزیت محسوب می‌شود.

آزمون سؤالات پژوهش

آزمون سؤالات پژوهش با استفاده از مدل یادگیری عمیق

جهت بررسی نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از مدل یادگیری عمیق، ابتدا مجموعه داده‌ها را به دو قسمت آموزشی و آزمایشی تقسیم‌شده‌اند. بدین‌صورت که ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد برای آزمایش در نظر گرفته‌شده است بدین ترتیب از مجموع ۶۴۸ شرکت، ۳۴۰۳۰۵ داده به مجموعه آموزش و ۸۵۷۷۵ داده به مجموعه آزمایش تخصیص یافت. همچنین داده‌های متعلق به ۵ شرکت به‌طور مجزا مورد ارزیابی با استفاده از مدل‌های ساخته‌شده قرار گرفت.

جدول ۳- نتایج دقت پیش‌بینی مدل یادگیری عمیق

شرح مدل	Accuracy	Sensitivity	Specificity	(Specificity)۱FPR
یادگیری عمیق	٪۷۳	٪۶۹	٪۷۶	٪۲۴

با توجه به جدول شماره ۳ متوجه می‌شویم که مدل یادگیری عمیق دارای دقت ٪۷۳ با حساسیت ٪۶۹ است که ضرایب به‌دست‌آمده جهت پیش‌بینی قیمت سهام از کفایت لازم برخوردارند. درنتیجه می‌توان چنین اذعان نمود که مدل یادگیری عمیق از کفایت لازم جهت پیش‌بینی قیمت سهام برخوردار است.

جدول ۴- ماتریس درهم‌ریختگی مدل یادگیری عمیق

توضیحات	negative	positive	شرح
Total positive (-۱)	۹۱۴۰	۳۳۰۸۷	TRUE
Total negative (۱)	۲۹۷۴۰	۱۴۵۹۲	FALSE

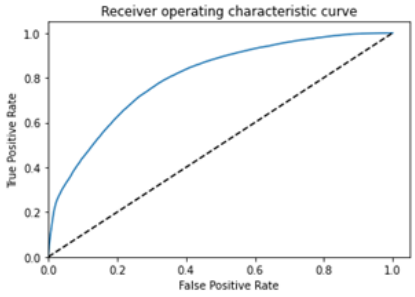
با توجه به جدول ۳ درمی‌یابیم که مدل یادگیری عمیق می‌تواند با دقت ٪۷۳ پیش‌بینی صحیح انجام دهد. همچنین اگر بخواهیم نتایج آزمون را بر اساس سطوح تابع هدف (باینری) به‌صورت مجزا بررسی کنیم می‌توانیم از مفاهیم Sensitivity (نرخ مثبت صحیح) و Specificity (نرخ منفی صحیح) استفاده کنیم. با توجه به جدول ۴، در مدل یادگیری عمیق نرخ مثبت صحیح و نرخ منفی صحیح به ترتیب برابر ٪۶۹ و ٪۷۶ است؛ یعنی مدل توانسته ٪۶۹ از روندهای نزولی و ٪۷۶ از روندهای صعودی را به‌درستی تشخیص دهد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت برای پیش‌بینی روند

قیمتی روزانه شرکت‌های بورسی با استفاده از متغیرهای کلان و درون شرکتی مدل یادگیری عمیق می‌تواند رهیافت مناسبی باشد. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر، نتایج تحقیق سا تو و همکارانش (۲۰۱۸) در خصوص مناسب بودن مدل‌های یادگیری عمیق جهت پیش‌بینی قیمت سهام را مورد تائید قرار می‌دهد؛ لذا در پاسخ به این سؤال که مدل الگوریتم یادگیری عمیق چگونه مدلی برای پیش‌بینی قیمت سهام است؟

بر اساس **جدول شماره ۳**، مدل یادگیری عمیق توانسته به‌دقت (Accuracy) معادل ۷۳ درصد دست یابد؛ شاخص حساسیت (Sensitivity) آن ۶۹٪ و ویژگی (Specificity) معادل ۷۶٪ بوده است. این مدل علاوه بر نرخ مثبتِ صحیح مناسب، خطای مثبتِ کاذب نسبتاً پایینی (FPR = ۲۴٪) دارد؛ و طبق **جدول شماره ۴ (ماتریس درهم‌ریختگی)**، مدل ۳۳۰۸۷ نمونه‌ی مثبت و ۲۹,۷۴۰ نمونه‌ی منفی را صحیح تشخیص داده است که این تعداد، میزان قدرت تمیز دهی مدل را در شرایط واقعی بازار نشان می‌دهد.

همچنین، AUC **معادل ۸۰٪** بر روی منحنی ROC نشان‌دهنده "قابلیت پیش‌بینی قوی" است. این سطح از دقت و قدرت تمایز، به‌ویژه با توجه به شرایط پر نوسان و غیرخطی بازار سرمایه ایران، اهمیت مدل عمیق را برجسته می‌کند. ازنظر کاربری، سرعت‌بالای هم‌گرایی این مدل به ارتقاء تصمیم‌سازی سرمایه‌گذاران و تحلیل‌گران در محیط‌های پرتلاطم مالی یاری می‌رساند

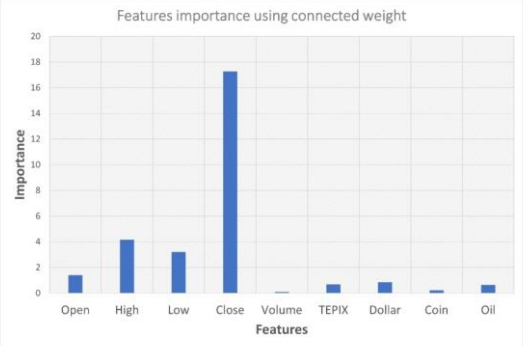
از دیگر نتایج قابل ارزیابی، منحنی مشخصه عملکرد (ROC) است که با ترسیم نسبت نرخ مثبت صحیح (True positive rate) برحسب نرخ مثبت کاذب (False positive rate) ایجاد می‌شود. با توجه به متغیر بودن آستانه مقادیر آن، یک نمودار پیوسته است.



نمودار ۲- منحنی مشخصه عملکرد مدل یادگیری عمیق

معیار دیگری که قابل‌بررسی است، AUC یا همان سطح زیر منحنی مشخصه عملکرد (ROC) است که نشان‌دهنده قدرت تشخیص یا درستی نتایج یک آزمون است. درستی نتایج آزمون به

این بستگی دارد که روش آزمون چقدر توانایی تفاوت درست نشان دادن نتـایج مثبـت صـحیح (TP) و منفی صحیح (TF) را دارد. اگر این عدد به یک نزدیک باشد، به معنای آن است که میـزان نرخ مثبت صحیح بالا است و روش آزمون از قدرت تشخیص یا درستی مناسبی برخوردار اسـت. بـا توجه به توضیحات داده‌شده مقدار AUC به ازای آزمون مدل یادگیری عمیق برابر ۸۰٪ اسـت کـه طبق قوانین کلی ارائـه‌شـده توسـط Hosmer، آزمـون از قـدرت تشـخیص عـالی برخـوردار اسـت درحالی‌که این معیار برای مدل شبکه عصبی برابر ۷۷٪ است که طبق قوانین کلی ارائه‌شده توسـط Hosmer، آزمون از قدرت تشخیص قابل قبولی برخوردار است.



نمودار ۳- نمودار اهمیت ویژگی‌ها بر پیش‌بینی متغیر هدف در مدل یادگیری عمیق

با توجه به نمودار شماره ۳ که میزان اهمیت متغیرهای ورودی بر پیش‌بینی روند قیمتی روزانه سهام شرکت‌های موردمطالعه را نشان می‌دهند، درمیابیم متغیر Close که نماد قیمت بسته شدن معاملات روزانه است و البته متغیری درون شرکتی است، بیشترین تأثیر را بر روی متغیر هدف یعنی روند قیمتی روزانه، هم در مدل یادگیری عمیق دارد؛ و پس‌ازآن متغیر High که نماد بیشترین قیمت معاملات روزانه است در اولویت پایین‌تر اهمیت قرار دارد. از متغیرهای کلان اقتصادی نیز قیمت آزاد دلار و شاخص کل بورس به ترتیب با نمادهای Dollar و TEPIX از اهمیت بالاتری نسبت به دیگر شاخص‌های کلان اقتصادی بر روند قیمتی روزانه برخوردار هستند؛ لذا در پاسخ به سؤال ۲ که " مهم‌ترین متغیرهای پیش‌بینی قیمت سهام بر اساس مدل الگوریتم یادگیری چه متغیرهایی می‌باشند؟" طبق **نمودار شماره ۳ (نمودار اهمیت متغیرها در مدل یادگیری عمیق)**، بیش‌ترین وزن و تأثیرگذاری بر پیش‌بینی روند قیمتی روزانه مربوط به متغیر **قیمت بسته شدن** (Close) است که به‌عنوان نماینده واقعی‌ترین قیمت ثبت‌شده هرروز شناخته

می‌شود. پس‌ازآن، **بیش‌ترین قیمت** (High) جایگاه دوم را دارد، نشان‌دهنده حساسیت مدل به قله‌های نوسان روزانه است. از متغیرهای کلان، **قیمت دلار آزاد** (Dollar) و **شاخص کل بورس** (TEPIX) در رده‌های بعدی اهمیت قرار دارند.

این یافته تأیید می‌کند که ترکیب داده‌های درون شرکتی و پارامترهای کلان اقتصادی، دید جامعی را به مدل داده و باعث افزایش دقت پیش‌بینی‌شده است. شایان‌ذکر است که این نتیجه با مطالعات روز دنیا و ایران (مانند سومی و همکاران، کیم، لای و همکاران) همخوانی دارد.

آزمون سؤالات پژوهش با استفاده از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)

جهت بررسی نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی، ابتدا مجموعه داده‌ها را به دو قسمت آموزشی و آزمایشی تقسیم‌شده‌اند. بدین‌صورت که ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد برای آزمایش در نظر گرفته‌شده است بدین ترتیب از مجموع ۶۴۸ شرکت، ۳۴۰,۳۰۵ داده به مجموعه آموزش و ۸۵,۷۷۵ داده به مجموعه آزمایش تخصیص یافت. همچنین داده‌های متعلق به ۵ شرکت به‌طور مجزا مورد ارزیابی با استفاده از مدل‌های ساخته‌شده قرار گرفت.

جدول ۵- نتایج دقت پیش‌بینی مدل شبکه عصبی

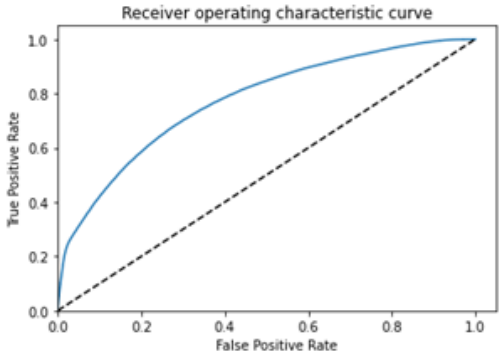
شرح مدل	Accuracy	Sensitivity	Specificity	FPR (1- Specificity)
شبکه عصبی	٪۷۰	٪۶۸	٪۷۲	٪۲۸

جدول ۶- ماتریس درهم‌ریختگی مدل یادگیری عمیق

توضیحات	negative	positive	شرح
Total positive (۱-)	۱۱۸۸۹	۳۰۳۳۸	TRUE
Total negative (۱)	۳۰۱۸۳	۱۴۱۴۹	FALSE

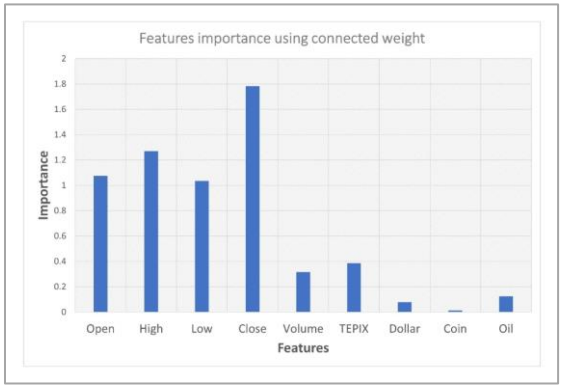
با توجه به جدول ۶، در مدل شبکه عصبی نرخ مثبت صحیح و نرخ منفی صحیح به ترتیب برابر ٪۶۹ و ٪۷۶ است؛ یعنی مدل توانسته ٪۶۹ از روندهای نزولی و ٪۷۶ از روندهای صعودی را به‌درستی تشخیص دهد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت برای پیش‌بینی روند قیمتی روزانه شرکت‌های بورسی با استفاده از متغیرهای کلان و درون شرکتی مدل شبکه عصبی نیز می‌تواند رهیافت مناسبی باشد؛ لذا در پاسخ به سؤال ۳ پژوهش حاضر" مدل شبکه عصبی چگونه مدلی برای پیش‌بینی قیمت سهام است؟" مدل ANN، طبق جداول ۵ و ۶ نتایج، دقتی معادل ٪۷۰، حساسیت ٪۶۸ و ویژگی ٪۷۲ داشته است. این آمار، علیرغم عملکرد خوب، نسبت به مدل

یادگیری عمیق پایین‌تر است و قدرت تشخیص مدل ANN در تفکیک روندهای بازار تا حدی ضعیف‌تر از مدل DL ارزیابی‌شده است (= AUC ۷۷%). با توجه به پیچیدگی و غیرخطی بودن داده‌های بازار سهام ایران، ANN هرچند موفق به استخراج برخی الگوهای مهم شده، اما در ترکیب وابستگی‌های بلندمدت و واکنش به شوک‌های اقتصادی کندتر عمل می‌کند. همچنین همگرایی این مدل نسبت به مدل عمیق زمان‌برتر بوده و این مسئله برای کاربری‌های با نیاز به‌سرعت پاسخ سریع، یک محدودیت محسوب می‌شود.



نمودار ۴ – منحنی مشخصه عملکرد مدل شبکه عصبی

مقدار AUC به ازای آزمون مدل یادگیری عمیق برابر ۷۷٪ است که طبق قوانین کلی ارائه‌شده توسط Hosmer، آزمون از قدرت تشخیص عالی برخوردار است.



نمودار ۵ – نمودار اهمیت ویژگی‌ها بر پیش‌بینی متغیر هدف در مدل شبکه عصبی

با توجه به نمودار شماره ۵ که میزان اهمیت متغیرهای ورودی بر پیش‌بینی روند قیمتی روزانه سهام شرکت‌های موردمطالعه را نشان می‌دهند، درمیابیم متغیر Close که نماد قیمت بسته شدن معاملات روزانه است و البته متغیری درون شرکتی است، بیشترین تأثیر را بر روی متغیر هدف

یعنی روند قیمتی روزانه، هم در مدل شبکه عصبی دارد؛ و پس‌ازآن متغیر High که نماد بیشترین قیمت معاملات روزانه است در اولویت پایین‌تر اهمیت قرار دارد. از متغیرهای کلان اقتصادی نیز قیمت آزاد دلار به ترتیب با نمادهای Dollar و TEPIX از اهمیت بالاتری نسبت به دیگر شاخص‌های کلان اقتصادی بر روند قیمتی روزانه برخوردار هستند؛ لذا در پاسخ به این سؤال که " مهم‌ترین متغیرهای پیش‌بینی قیمت سهام بر اساس مدل شبکه عصبی چه متغیرهایی می‌باشند؟" تحلیل‌ها نشان می‌دهند که متغیرهای اثرگذار در مدل ANN تقریباً مشابه مدل یادگیری عمیق است؛ یعنی قیمت بسته شدن، بیش‌ترین قیمت، قیمت دلار و شاخص کل بورس (TEPIX) بیشترین سهم را در دقت مدل‌دارند. این امر مطالعات قبلی را مبنی بر غلبه متغیرهای قیمتی روزانه و داده‌های پولی تأیید می‌کند.

البته مدل ANN نسبت به مدل یادگیری عمیق حساسیت کمتری به نوسانات غیرمنتظره و جهش‌های ناگهانی بازار نشان می‌دهد و در اولویت‌بندی متغیرها، وزن آن‌ها اندکی متفاوت است، اما درمجموع همین عوامل کلیدی (,شاخص کل بورس، قیمت بسته شدن، بیشترین قیمت، قیمت دلار) مشترکاً تأثیرگذارترین تلقی شده‌اند.

بررسی مقایسه‌ای دو مدل یادگیری عمیق و شبکه عصبی در پیش‌بینی قیمت سهام

لذا در پاسخ به سؤال ۵ پژوهش حاضر و با توجه به جدول شماره درمی‌یابیم که مدل یادگیری عمیق می‌تواند با دقت ۷۳٪ پیش‌بینی صحیح انجام دهد درحالی‌که این دقت برای مدل شبکه عصبی ۷۰٪ است.

جدول ۷- مقایسه نتایج دقت پیش‌بینی مدل شبکه عصبی

شرح مدل	Accuracy	Sensitivity	Specificity	FPR (۱- Specificity)
شبکه عصبی	٪۷۰	٪۶۸	٪۷۲	٪۲۸
یادگیری عمیق	٪۷۳	٪۶۹	٪۷۶	٪۲۴

همچنین اگر بخواهیم نتایج آزمون را بر اساس سطوح تابع هدف (باینری) به‌صورت مجزا بررسی کنیم می‌توانیم از مفاهیم Sensitivity (نرخ مثبت صحیح) و Specificity (نرخ منفی صحیح) استفاده کنیم. با توجه به جدول ۷، در مدل یادگیری عمیق نرخ مثبت صحیح و نرخ منفی صحیح به ترتیب برابر ۶۹٪ و ۷۶٪ است؛ یعنی مدل توانسته ۶۹٪ از روندهای نزولی و ۷۶٪ از روندهای صعودی را به‌درستی تشخیص دهد. همچنین با توجه به جدول ۷، در مدل شبکه عصبی نرخ مثبت صحیح و نرخ منفی صحیح به ترتیب برابر ۶۸٪ و ۷۲٪ است؛ بنابراین می‌توان نتیجه

گرفت تقریباً در همه شاخص‌های اصلی (دقت، حساسیت، ویژگی، AUC) مدل یادگیری عمیق نسبت به مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی روند قیمتی روزانه شرکت‌های بورسی با استفاده از متغیرهای کلان و درون شرکتی بهتر ظاهرشده است: دقت بالاتر (۷۳ در مقابل ۷۰ درصد)، حساسیت و ویژگی بیشتر، AUC بالاتر (۸۰ به ۷۷ درصد) و سرعت یادگیری و همگرایی کاملاً بالاتر از نتایج این مقایسه می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نه‌تنها نشان داد مدل‌های یادگیری عمیق (Deep Learning) دارای دقت و قدرت پیش‌بینی بالاتری نسبت به شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) مرسوم هستند، بلکه از منظر ساختاری و کاربردی نیز استفاده از داده‌های ترکیبی (اطلاعات بازار سهام و متغیرهای اقتصادی کلان) اثربخشی مدل را به‌صورت معناداری افزایش می‌دهد. دقت ۷۳٪ و AUC معادل ۸۰٪ در مدل یادگیری عمیق، در مقایسه با دقت ۷۰٪ و AUC معادل ۷۷٪ درANN ، اثبات می‌کند که رویکردهای عمیق‌تر و پیشرفته‌تر در محیط‌های پرتلاطم و چندمتغیری مالی ایران بسیار موفق‌تر عمل می‌کنند.

مقایسه با سایر تحقیقات

مطابق با سایر پژوهش‌های داخلی و خارجی مانند "لین و همکاران (۲۰۲۱)" و "جعفری و همکاران (۱۴۰۲)" که نشان دادند شبکه‌های یادگیری عمیق به‌ویژه LSTM و CNN در استخراج ویژگی‌های پیچیده و مدل‌سازی الگوهای آشوبناک سری‌های زمانی بازار سهام برتر از مدل‌های سنتی یا حتی ANN هستند، نتایج این تحقیق نیز بر همین یافته‌ها صحه می‌گذارد. مطالعاتی همچون "چو دوری و همکاران (۲۰۲۴)" و "بیشنو و همکاران (۲۰۲۴)" نیز تأکیددارند که مدل‌های ترکیبی و عمیق مثل (CNN-LSTM) مواجهه با داده‌های واقعی بازار و شناسایی رفتارهای غیرخطی، عملکرد دقیق‌تر و پایدارتری نسبت به ARIMA و حتی ANN داشته‌اند. همچنین نتایج مشابهی در ایران نیز مشاهده‌شده؛ پژوهش‌هایی مانند "اسلامی و همکاران (۱۴۰۱)" نیز حاکی از برتری شبکه‌های عصبی عمیق بر مدل‌های ساده‌تر در بازار سهام تهران بوده است. در این تحقیق نیز همان‌طور که جدول‌ها، نمودارها و تحلیل متغیرها نشان دادند، اضافه کردن متغیرهایی همچون (قیمت دلار و سکه در کنار معیارهای بازار سهام) قیمت بسته شدن، بیشترین قیمت و شاخص کل بورس، به‌صورت چشم‌گیری قدرت مدل را افزایش داد و این همسویی با پژوهش‌های جدید جهانی و پژوهش‌های مشابه داخلی توجه برانگیز است.

و درمجموع، این پژوهش ضمن معرفی مدلی ترکیبی و نوآورانه، به سه نتیجه اصلی دست‌یافت:

مدل یادگیری عمیق در پیش‌بینی و مدل‌سازی بازار پرتلاطم و غیرخطی سهام ایران، پایداری و دقت بیشتری دارد و ابزار مناسب‌تری در اختیار فعالان مالی قرار می‌دهد.

توجه به متغیرهای کلان اقتصادی (قیمت دلار، سکه و نفت) نقش کلیدی در بهبود پیش‌بینی ایفا می‌کند و باید آن‌ها را در هر مدل حرفه‌ای مدل‌سازی بازار سهام ایران لحاظ نمود.

پژوهش حاضر به‌طور کاربردی پیشنهاد می‌کند که برای تدوین استراتژی‌های سرمایه‌گذاری، سیاست‌گذاری مالی و حتی توسعه سامانه‌های تحلیل بازار، حتماً رویکردهای مبتنی بر یادگیری عمیق و داده‌های ترکیبی به کار گرفته شوند؛ و درنهایت پیشنهادهای کاربردی به شرح زیر جهت پژوهش‌های آینده ارائه می‌نماید .

۱ . **برای سرمایه‌گذاران و شرکت‌های مشاوره مالی:** بهره‌گیری از مدل‌های یادگیری عمیق با ترکیبی از داده‌های بازار سهام و شاخص‌های کلان (قیمت ارز، سکه، نفت) می‌تواند سبدهای سرمایه‌گذاری را بهینه‌تر و ریسک تصمیم‌گیری را کاهش دهد. توصیه می‌شود در پلتفرم تحلیل و سیگنال دهی از این مدل‌ها استفاده گردد.

۲ . **برای سازمان بورس و سیاست‌گذاران:** پیشنهاد می‌شود زیرساخت داده‌ای بازار سرمایه را به‌گونه‌ای ارتقا دهند که پایش لحظه‌ای قیمت‌ها و شاخص‌های اقتصادی امکان‌پذیر باشد تا مدل‌های یادگیری عمیق با داده‌های بروزتر تغذیه شوند و هشدارهای پیش‌نگری دقیق‌تری برای تنظیم مقررات و مدیریت ریسک ارائه گردد.

۳ . **برای پژوهشگران و توسعه‌دهندگان:** لازم است تحقیقات آینده روی بهبود ساختارهای شبکه‌ای (مثلاً LSTM، CNN، شبکه‌های ترکیبی) و همچنین آزمون مدل‌ها در شرایط شوک اقتصادی و با ورود سایر متغیرهای رفتاری، روان‌شناختی و سیاسی نیز متمرکز شود.

۴ **برای رشد بازار سرمایه:** با توسعه مدل‌های هوشمند و تحلیل‌های پیش‌بینی محور، می‌توان شفافیت و اعتماد سرمایه‌گذاران را به بازار داخلی افزایش داد؛ این موضوع در بلندمدت منجر به افزایش نقد شوندگی و رشد بازار خواهد شد.

درنهایت، حرکت به سمت هوشمند سازی پیش‌بینی بازار سرمایه، ضرورتی انکارناپذیر در اقتصاد امروز است و پژوهش حاضر مدلی علمی و کاربردی برای جهت‌دهی آینده این حوزه پیشنهاد می‌کند.

منابع

۱) احمدخان‌بیگی، سهیل؛ عبدالوند، ندا. (۱۳۹۶). پیش‌بینی قیمت سهام با رویکرد ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم رقابت استعماری مبتنی بر تئوری آشوب. فصلنامه علمی و پژوهشی راهبرد مالی، ۵(۳)، ۲۷-۷۳.

۲) اخگر، محمد امید؛ امینی، پیمان؛ مرادی، آزاده. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر عملکرد زیست‌محیطی بر ریسک سقوط قیمت سهام با تأکید بر ارتباطات سیاسی در بورس اوراق بهادار تهران. پژوهش‌های حسابداری مالی، (انتشار آنلاین: ۲ شهریور).

۳) حیدری‌زارع، بهزاد؛ کردلویی، حمیدرضا. (۱۳۸۹). پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. فصلنامه مالی، ۷(۱۷)، ۴۹-۵۶.

۴) خسروی‌نژاد، علی‌اکبر؛ شعبانی‌صدرپیشه، مرجان. (۱۳۹۳). ارزیابی خطی و غیرخطی در پیش‌بینی شاخص قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران. فصلنامه علوم اقتصادی، ۲۷، ۵۱-۶۴.

۵) زین‌الدینی، شبنم؛ کریمی، محمدشریف؛ خانزادی، آزاد. (۱۳۹۹). بررسی اثر تکانه‌های قیمت نفت بر عملکرد بازار سهام ایران. نشریه اقتصاد مالی (اقتصاد مالی و توسعه)، ۱۴(۵۰)، ۱۴۵-۱۶۹.

۶) شاکری، عباس. (۱۳۸۷). نظریه‌ها و سیاست‌های اقتصاد کلان. تهران: پارس نویسا.

۷) عاملی، احمد؛ رمضانی، ملیحه. (۱۳۹۴). پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از شبکه عصبی فازی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و مقایسه با شبکه عصبی فازی. تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، زمستان ۱۳۹۴، شماره ۲۲، ۲۲-۲۵.

۸) عبدالملکی، امیرحسین؛ حمیدیان، محسن‌علی؛ باغانی. (۱۳۹۹). بررسی وجود ویژگی فراکتال در قیمت و بازده سهام شرکت‌های بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از مدل غیرخطی ARIFM. فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۱۱(۴۴)، ۲۰۷-۲۲۶.

۹) عرب‌صالحی، مهدی؛ کمالی دهکردی، علیرضا. (۱۴۰۰). بررسی مقایسه‌ای مدل‌های تنزیلی ارزش‌گذاری سهام در شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران. فصلنامه علمی چشم‌انداز مدیریت، ۱۱(۳۳)، ۱۲-۳۲.

۱۰) فرازمند، سجاد؛ اسدی، غلامحسین؛ عبده‌تبریزی، حسین؛ حمیدی‌زاده، محمدرضا. (۱۳۹۹). بررسی رفتار توده‌وار قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران. فصلنامه علمی و پژوهشی اقتصاد مقداری، (انتشار آنلاین: ۱۲ اسفند).

۱۱) کریمی‌دستگردی، امین؛ زمانی‌بروجنی، فرساد. (۱۳۹۸). مروری بر روش‌های یادگیری عمیق برای پیش‌بینی بازارهای مالی. کنگره ملی پژوهشات بنیادین در مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات.

۱۲) کیان‌ماوی، رضا؛ صیادی‌نیک، کامران. (۱۳۹۲). کاربرد الگوریتم‌های مختلف یادگیری در پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از شبکه عصبی. مجله مدیریت توسعه و تحول، ۷۵-۸۱.

۱۳) محمدی، محسن؛ صدر، ندا. (۱۳۹۷). ارائه روشی جهت پیش‌بینی قیمت سهام بازار بورس با رویکرد یادگیری عمیق (مطالعه موردی: بازار بورس). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته کامپیوتر، دانشکده فنی مهندسی اشراق بجنورد.

۱۴) مومنی، اکبرسادات؛ محمدی، محمد. (۱۴۰۰). بررسی رابطه بین چسبندگی هزینه و ریسک سقوط قیمت سهام در شرکت‌های پذیرفته شده در سازمان بورس اوراق بهادار تهران. فصلنامه علمی تخصصی رویکردهای پژوهشی نوین در مدیریت و حسابداری، شماره ۶۲، ۷۳-۹۰.

۱۵) میرهاشمی‌دهنوی، سیدمحمد. (۱۳۹۴). آثار نامتقارن شوک‌های قیمت نفت بر بازار سهام: مطالعه موردی کشورهای صادرکننده نفت. فصلنامه سیاست‌های مالی و اقتصادی، ۷۷، ۱۱-۷۱۱.

۱۶) نمازی، محمد؛ کیامهر، محمدمهدی. (۱۳۸۶). پیش‌بینی بازده روزانه سهام شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. پژوهشات مالی، ۱۱۵-۱۳۴.

۱۷) سعیدی‌اقدم، مهران؛ صادقی، احمد؛ بحیرایی، علیرضا؛ حاجی‌اصغری، سید یوسف. (۱۴۰۱). ارائه مدل پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری عمیق و کاربرد آن در قیمت‌گذاری سهام بانک‌های اسلامی. نشریه اقتصاد و بانکداری اسلامی، ۱۱(۴۱)، ۱۱۷-۱۳۴.

۱۸) اسلامی، سجاد؛ میرعمادی، نیما. (۱۴۰۱). پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق. نشریه سیستم‌های هوشمند رایانه‌ای، ۱۲(۴)، ۲۵۴-۲۶۸.

۱۹) مرادی، مرتضی. (۱۴۰۲). پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از شبکه عصبی بازگشتی، واحد بازگشتی دروازه‌ای و حافظه کوتاه‌مدت ماندگار: بررسی شرکت ایران‌خودرو. نهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، مشهد.

۲۰) جعفری، سعید؛ عباسی، علی. (۱۴۰۲). مدل‌سازی و پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از شبکه عصبی بازگشتی و مقایسه با ANN. نشریه فناوری اطلاعات و داده‌کاوی ایران، ۹(۱)، ۷۷-۸۹.

21) A. Churi, D. Chakraborty, R. Khatwani, G. Pinto, P. Shah and R. Sekhar, "Stock Price Prediction using Deep Learning and Sentiment Analysis," 2023

2nd International Conference on Futuristic Technologies (INCOFT), Belagavi, Karnataka, India, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/INCOFT60753.2023.10425124.
22) Bishnu Padh Ghosh, Mohammad Shafiquzzaman Bhuiyan, Debashish Das, Tuan Ngoc Nguyen, Rasel Mahmud Jewel, Md Tuhin Mia, Duc M Cao, & Rumana Shahid. (2024). Deep Learning in Stock Market Forecasting: Comparative Analysis of Neural Network Architectures Across NSE and NYSE. Journal of Computer Science and Technology Studies, 6(1), 68-75
23) Campbell, J. Y., Lo, A. W., & MacKinlay, A. C. (1997). The Econometrics of Financial Markets. Princeton University Press.
24) Cha K H, Hadjiiski L M, Samala R K, et al. Bladder Cancer Segmentation i n CT for Treatment Response Assessment: Application of Deep-Learning Convolution NeuralNetwork Pilot Study[J]. Tomography A Journal for Imaging Research, 2016, 2(4):421-429.
25) Chih, M. H., (2011), a hybrid procedure for stock price prediction by integrating self-organizing map and genetic programming, Expert Systems with Applications 38, 14026–14036
26) Das S P, Padhy S. A novel hybrid model using teachinglearningbased optim ization and a support vector machine for commodity futures index forecasting[J]. International Journal of Machine Learning & Cybernetics, 2018, 9(1):97-111.
27) Göçken M, Özçalıcı, Mehmet, Boru A, et al. Integrating metaheuristics and Artificial Neural Networks for improved stock price prediction[J]. Ex pert Systems with Applications,2016,44(C):320-331.
28) Jie W, Wang J. Forecasting stochastic neural network based on financ ial empirical mode decomposition[J]. Neural Networks, 2017, 90:8-20.
29) Kim, J., & Kim, M. (2023). Enhancing stock price forecasting with deep recurrent neural networks. Expert Systems with Applications
30) Kim, K. J., Han, I., (2000), Genetic algorithms approach to feature discrimination in artificial neural networks for the prediction of stock price index, Published by Elsevier science, Ltd, Expert systems with applications, 19, PP. 125 132.
31) Kulkarni, M.S., Vijayakumar Bharathi, S., Perdana, A. et al. A Quest for Context-Specific Stock Price Prediction: A Comparison Between Time Series, Machine Learning and Deep Learning Models. SN COMPUT. SCI. 6, 335 (2025). https://doi.org/10.1007/s42979-025-03848-y
32) Lahmiri S. A Technical Analysis Information Fusion Approach for Stock Pr ice Analysis and Modeling[J]. Fluctuation & Noise Letters, 2018, 17(1):1850007

33) Lai, H., Yong, C., & Wang, Q. (2022). Stock Price Prediction Based on Spatio-Temporal Coupling with Deep Learning. BCP Business & Management, 26, 476-484.
34) Lin, Y; Yan, Y; Xu, J; Liao, Y; & Ma, F. (2021). Forecasting stock index price using the CEEMDAN-LSTM model. The North American Journal of Economics and Finance, 57, 101421.
35) Mahmud M, Kaiser M S, Hussain A, et al. Applications of Deep Learning a nd Reinforcement Learning to Biological Data. [J]. IEEE Transactions on Neur al Networks & Learning Systems, 2017, 29(6):2063-2079.
36) Meihua Xie, Haiyan Li, Yuanjun Zhao. (2020). Blockchain financial investment based on deep learning network algorithm.Journal of Computational and Applied Mathematics,vol(372)
37) Md Salim Chowdhury, Norun Nabi, Md Nasir Uddin Rana, Mujiba Shaima, Hammed Esa, Anik Mitra, Md Abu Sufian Mozumder, Irin Akter Liza, Md Murshid Reja Sweet, & Refat Naznin. (2024). Deep Learning Models for Stock Market Forecasting: A Comprehensive Comparative Analysis. Journal of Business and Management Studies, 6(2), 95-99
38) Mousavi, S., & Khodabandeh, A. (2021). "The Impact of Exchange Rate Fluctuations on Stock Prices in Iran," Journal of Economic Research
39) Naik, B. Samuel, V C Karthik, B. Manjunatha, Veershetty, Harish Nayak, G. H., B S Varshini, Halesha P, and S Govinda Rao. 2024. "Stock Price Forecasting Using N-Beats Deep Learning Architecture". Journal of Scientific Research and Reports 30 (9):483-94. https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i92373.
40) Oh, K. J., Kim, K. J., (2002), Analyzing stock market tick data using piecewise nonlinear model, Expert System with Applications, 22(3), 249–255
41) Pang X, Zhou Y, Pan W, et al. An innovative neural network approa ch for stock market prediction[J]. Journal of Supercomputing, 2018(1):1-21.
42) Sato M, Horie K, Hara A, et al. Application of deep learning to the classific ation of images from colposcopy: [J]. Oncology Letters, 2018, 15(3):3518-3523.
43) SongW, Song W,Song W,etal.A Double-Layer Neural Network Framework for High-Frequency Forecasting[J]. Acm Transactions on Management Information Systems, 2017, 7(4):1-17
44) Ti, Z. (2024) "Stock Prediction using Deep Learning: A Comparison", Transactions on Computer Science and Intelligent Systems Research, 6, pp. 346–351
45) Ubbens J, Cieslak M, Prusinkiewicz P, et al. The use of plant models in deep learning: an application to leaf counting in rosette plants: [J]. Plant Methods, 2018, 14(1):6.

46) Yao, Y., Zhang, X., & Wang, L. (2022). Comparative analysis of deep learning models for stock market forecasting. Knowledge-Based Systems
47) Zhang, S., et al. (2020). Stock Price Prediction Using LSTM Networks in Emerging Markets. Journal of Forecasting, 39(7), 1015-1028

یادداشت‌ها

---

1. Sibabrata Das
2. Min-Hsiung Chih
3. Murat Göçken
4. Wei Jie
5. Kyeong-Ju Kim
6. Sami Lahmiri
7. Md. Mahmud
8. Meihua Xie
9. Shibo Zhang
10. K. J. Oh
11. Xiao Pang
12. Masahiro Sato
13. Wei Song
14. Justin Ubbens
15. Seyed Mousavi
16. Yong Lin
17. Ankita Churi
18. Mrunalini S. Kulkarni
19. Yuan Yao
20. Jin Kim
21. Md Salim Chowdhury
22. B. Samuel Naik
23. Hao Lai
24. Bishnu Padh Ghosh
25. Zhiyuan Ti
26. Deep Neural Network
27. Accuracy
28. China Securities Index
29. Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition with Adaptive Noise
30. Recurrent Neural Network(RNN)
31. AutoRegressive Integrated Moving Average(ARIMA)

Developing a Model of Stock Price Determinants Using Deep Learning Algorithm and Its Comparison with Artificial Neural Network

Mojtaba Baghegar Zaeimi[1]
Gholamreza Zomorodian[2]
Amirreza Keyghobadi[3]
Mehrzad Minouei[4]

Receipt: 25/05/2024 **Acceptance: 16/02/2025**

Abstract

The This study aims to develop and evaluate stock price prediction models in Iran's capital market, focusing on the Tehran Stock Exchange. Given the increasing significance of intelligent analysis and precise decision-making in financial markets, this research proposes an efficient and accurate model for long-term stock price forecasting by employing advanced artificial intelligence and machine learning techniques. The research population consists of 648 active companies listed on the Tehran Stock Exchange from 2013 to 2023. The study compares the performance of two robust algorithms: deep learning and artificial neural networks. Findings reveal that the deep learning model offers superior prediction accuracy over the neural network model, achieving approximately 73% accuracy and an AUC of 80%; in comparison, the neural network model achieves 70% and 77% for these metrics, respectively. Feature analysis indicates that the daily closing price and the overall stock index have the most substantial impact on model performance, whereas economic variables such as the US dollar exchange rate and gold coin prices significantly affect trend adjustments. Beyond improved accuracy, the deep learning model demonstrates a much higher convergence speed, reaching the optimal accuracy level in less time, thus enhancing the efficiency of the modeling process. The findings underscore the critical role of modern technologies in financial forecasting and advocate the adoption of deep learning models as effective tools for financial analysis and long-term investment decisions. These results not only confirm the superiority of intelligent technologies within Iran's dynamic and multifaceted financial markets but also offer practical guidance for investors and analysts seeking accurate and timely stock price predictions

Keywords

Deep Learning Algorithm ,Neural Network, Stock Exchange ,Stock Price Prediction

1-Department of Financial Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. mojtaba7154@yahoo.com
2-Department of Financial Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. (Corresponding Author) gh.zomorodian@iau.ac.ir
3-Department of Accounting, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. . acc1388@gmail.com
4-Department of Industrial Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Mehrzad.minouei@iau.ac.ir