



فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری  
دوره ۱۷ / شماره ۱ (پیاپی ۶۵) / بهار ۱۴۰۷  
صفحه ۱۱۵ تا ۱۳۹

## طراحی الگوی هیبریدی پیش بینی قیمت سهام مبتنی بر روش‌های سری زمانی و شبکه عصبی مصنوعی عمیق در بورس تهران

ژیلا احمدی

دانشجوی دکتری مهندسی مالی، گروه مدیریت، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران  
jinaahmadi@yahoo.com

حسن قدرتی قزالی

استادیار گروه مدیریت، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران (نویسنده مسئول)  
dr.ghodrati42@gmail.com

مهدی معدنچی زاج

استادیار گروه مدیریت مالی، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران  
ma.madanchi@iau.ac.ir

حسین جباری

استادیار گروه حسابداری و مدیریت، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران  
dr.hbmk@gmail.com

علی اکبر فرزین فر

استادیار گروه حسابداری و مدیریت، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران  
aliakbarfarzinfar@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۴

### چکیده

هدف مقاله حاضر پیش بینی قیمت سهام مبتنی بر روش‌های سری زمانی و شبکه عصبی مصنوعی عمیق در بورس اوراق بهادار تهران بوده است. پیش بینی به عنوان یکی از عناصر کلیدی تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، پیشامدهای آینده را با هدف کاهش ریسک تخمین می‌زند. بعلاوه، یکی از مهمترین اهداف علوم مالی و اقتصادی، پیش بینی است. دقت پیش بینی نیز از مهمترین عوامل مؤثر در انتخاب روش پیش بینی است. در این مطالعه از دو روش تغییر رژیم مارکوف و شبه عصبی با یادگیری عمیق در بازه زمانی ۱۳۹۰-۱۴۰۰ به منظور پیش بینی قیمت سهام استفاده گردید. جامعه آماری مطالعه حاضر شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران بوده است. نمونه آماری شامل ۱۱۵ شرکت انتخاب شده در بازه زمانی ذکر شده است. نتایج بدست آمده از مدل برآورد شده بیانگر این بود که مدل هیبریدی طراحی شده دارای قدرت پیش بینی بالاتری نسبت به مدل‌های سری زمانی و شبکه عصبی بوده است.

**واژه‌های کلیدی:** قیمت سهام، پیش بینی، بازار سرمایه، حجم معاملات، رگرسیون، شبکه عصبی با یادگیری عمیق.

## ۱- مقدمه

امروزه اهمیت پیش‌بینی و منافع حاصل از آن، جهت تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری (از ابعاد مختلف) بر کسی پوشیده نیست. از سوی دیگر، با توجه به اینکه یکی از اهداف اساسی مدل‌های اقتصادی، پیش‌بینی صحیح و دقیق متغیرهای اقتصادی جهت یاری‌رسانی به سیاست‌گذاران در اتخاذ تصمیمات صحیح و متناسب است، بدیهی است که هر چه مقادیر این پیش‌بینی‌ها دقیق‌تر باشد اتخاذ سیاست‌های لازم و بکارگیری ابزارهای متناسب با آن نیز می‌تواند به صورت مناسب‌تری صورت پذیرد. از این‌رو است که تحقیقات در زمینه الگوها و تکنیک‌های پیش‌بینی در دهه‌های اخیر شتاب بیشتری به خود گرفته است به طوری که امروزه بخش مهمی از ادبیات اقتصادی را به خود اختصاص داده است. در این راستا، به علت وجود روش‌های مختلف به منظور انجام پیش‌بینی‌ها در اقتصاد، می‌توان آنها را بر اساس قالب‌های مختلفی نیز تقسیم‌بندی نمود. پیش‌بینی قیمت‌های اوراق بهادار پذیرفته شده در بورس از مباحث چالش برانگیز دانش مدیریت مالی و سرمایه‌گذاری است و رویکردهای مختلفی در این خصوص وجود دارد که به طور کلی می‌توان به دو دسته عقلایی و رفتاری طبقه‌بندی کرد (مهربان‌پور و همکاران، ۱۴۰۱). رویکرد عقلایی عمدتاً شامل مباحثی است که مکتب مالی و سرمایه‌گذاری کلاسیک مطرح می‌سازد و مهمترین رویکرد عقلایی «رویکرد بنیادی» است که از محافل علمی و آکادمیک نشأت گرفته و بر اساس اصول اساسی و منطقی مالی، بیان می‌دارد که ارزش هر دارایی برابر با مجموع ارزش فعلی جریان‌های نقدی موردانتظار از آن دارایی است. در این رویکرد که درون‌نگر نیز نامیده می‌شود، با بررسی سه مقوله بازار، صنعت و شرکت، نسبت به خرید و فروش اوراق بهادار با استفاده از مدل‌های تنزیل جریان‌های نقدی و یا ارزیابی نسبی پرداخته می‌شود (عباس‌پور، ۱۳۸۱).

رویکرد رفتاری یا غیرعقلایی معتقد به وجود تأثیر مسائل روانشناسی و رفتاری در تصمیم‌گیری‌های مالی و سرمایه‌گذاری و بطور کلی قیمت‌گذاری است. این رویکرد سعی دارد با مطالعه همزمان جامعه‌شناسی، روانشناسی، رفتارشناسی، الگوهای تصمیم‌گیری و مدل‌های رفتاری به پیش‌بینی روند و جهت حرکت قیمت‌ها و روندها بپردازد. بعنوان مثال عکس‌العمل بیش از اندازه یا کمتر از اندازه و یا نحوه واکنش بازار به اطلاعات جدید و یا میزان حساسیت بازار به اخبار و اطلاعات خاص در این رویکرد موردتوجه قرار می‌گیرد (عباس‌پور، ۱۳۸۱).

برای کسانی که نقش روان‌شناسی در دانش مالی را به عنوان یک عامل اثرگذار بر بازارهای اوراق بهادار و تصمیمات سرمایه‌گذاری بدیهی می‌دانند، قبول تردید در مورد اعتبار مالی رفتاری دشوار است. درعین حال هنوز بسیاری از دانشگاهیان و فعالان حرفه‌ای طرفدار مکتب مالی کلاسیک، بررسی جنبه‌های رفتاری و تأثیر آن در تصمیمات مالی را به عنوان یک شاخه مستقل مطالعاتی باور ندارند. در طرف مقابل، طرفداران دانش مالی رفتاری اعتقاد راسخی دارند که آگاهی از تمایلات روانشناختی در عرصه سرمایه‌گذاری، کاملاً ضروری و نیازمند توسعه جدی دامنه مطالعاتی است (مهرآرا و همکاران، ۱۳۸۸).

پیش‌بینی به عنوان یکی از عناصر کلیدی تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، پیشامدهای آینده را با هدف کاهش ریسک تخمین می‌زند. بعلاوه، یکی از مهمترین اهداف علوم مالی و اقتصادی، پیش‌بینی است. دقت پیش‌بینی نیز از مهمترین عوامل مؤثر در انتخاب روش پیش‌بینی است. زیرا معمولاً پیش‌بینی‌ها صحیح نبوده و دارای خطا است. در چنین شرایطی به منظور استمرار حضور سرمایه‌گذاران به عنوان اصلی‌ترین ارکان بازار سرمایه، داشتن

یک مدل پیش بینی با خطای کم مورد علاقه تمام سرمایه گذاران می باشد. یکی از اهداف مدل های سری زمانی، پیش بینی است. هنگامی که یک مدل ساختاری مناسب وجود ندارد، می توان از مدل های سری زمانی برای پیش بینی استفاده کرد. به عبارت دیگر، در شرایطی که امکان استفاده از متغیرهای توضیحی به دلیل تعداد بسیار زیاد یا عدم دسترسی به مقادیر عددی آنها وجود ندارد، استفاده از مدل های سری زمانی شیوه مناسبی است (سوری، ۱۳۹۲).

نوآوری مطالعه حاضر در پیش بینی قیمت سهام با استفاده از ترکیب مدل سری زمانی و شبکه عصبی مصنوعی است که در این الگوی هیبریدی نسبت به مدل های دیگر دارای قدرت پیش بینی بالاتری بوده است. این در حالی است که مطالعات پیشین صورت گرفته از قبیل مهربان پور و همکاران (۱۴۰۱)، وطن پرست و همکاران (۱۳۹۸)، باباجانی و همکاران (۱۳۹۸)، دولو و حیدری (۱۳۹۶) و دولو و صفری (۱۳۹۵) اکثراً از روش شبکه عصبی و یا مدل های سری زمانی استفاده شده اما در مطالعه حاضر با یک رویکرد ترکیبی به مدلسازی پیش بینی قیمت پرداخت شده است. لازم به ذکر است که در خصوص مطالعه دولو و صفری (۱۳۹۵) نیز مدل هیبریدی طراحی شده در این مقاله بر اساس روش آریمما و شبکه عصبی غیرمصنوعی بوده کاملاً با مدل استفاده شده در مطالعه حاضر متفاوت بوده است. در این راستا مقاله حاضر به استفاده از مدل های هیبریدی به منظور پیش بینی قیمت سهام اقدام خواهد کرد. لذا مساله اصلی مقاله حاضر در استفاده از توانایی های مدل های شبکه عصبی و سری زمانی به منظور ارائه پیش بینی قیمت سهام در قالب یک رویکرد هیبریدی (ترکیبی) خواهد بود. لازم به ذکر است که در الگوهای هیبریدی مورد استفاده در مطالعات ذکر شده از تلفیق مدل شبکه عصبی و مدل ایستای سری زمانی به منظور پیش بینی قیمت سهام استفاده شده است اما در مطالعه حاضر سعی شده است که با استفاده از الگوهای پویا در طول زمان و همچنین ترکیب آن با مدل شبکه عصبی دقت بیشتری در پیش بینی قیمت ارائه گردد. ساختار مقاله حاضر در پنج بخش تنظیم شده است. در ادامه و در بخش دوم به بررسی مبانی نظری تحقیق و مطالعات پیشین پرداخته شده است. بخش سوم اختصاص به روش شناسی تحقیق دارد. بخش چهارم اختصاص به برآورد مدل داشته است و در نهایت در بخش انتهایی نتیجه گیری و پیشنهادات مطرح گردیده است.

## ۲. مبانی نظری

زمانیکه فرضیه بازار کارا که برخاسته از کار فاما بود در ۱۹۶۵ ارائه شد، موضوعات مربوط به کارایی بازار سرمایه مورد توجه انجمن سرمایه گذاران و محققان قرار گرفت. بازار سرمایه کارا بازاری است که قیمت سهام در آن به سرعت تعدیل شده و بازتابی از اثر اطلاعات در دسترس مربوط به سهام باشد. طی دودهمه اخیر بحث در مورد کارایی یا عدم کارایی بازار سرمایه با تولد EMH رو به رشد است (منجمی و همکاران، ۱۳۸۸).

سرمایه گذاری و انباشت سرمایه در تحول اقتصادی نقش بسزایی داشته است، اهمیت این عامل و نقش موثر آن را می توان به وضوح در سیستم کشورهای با نظام سرمایه داری مشاهده کرد. بدون شک بورس یکی از مناسب ترین جایگاه ها جهت جذب سرمایه های کوچک و استفاده از آنها جهت رشد یک شرکت، در سطح کلان و رشد شخصی فرد سرمایه گذار است. از آنجائی که هدف و تعریف سرمایه گذاری، به تعویق انداختن مصرف جهت

مصرف بیشتر و در آینده بهتر است، افراد با سرمایه‌گذاری، انتظار دستیابی به سود مورد انتظار خود را دارند. بنابراین مهمترین امر، در این زمینه، خرید یک سهم به قیمت پائین و فروش آن به قیمت بالاتر است که این موضوع، به معنی پیش‌بینی قیمت سهام است (رودپشتی و همکاران، ۱۳۹۰).

به طور کلی در پیش‌بینی دو هدف اساسی دنبال می‌شود؛ هدف اول مشخصاً برنامه‌ریزی مناسب است. برنامه‌ریزی به معنی تدوین و طراحی سیاست‌ها و الگوها و طرح‌ها و ایده‌ها برای آینده برای تأمین اهداف سازمانی یا اهداف سیستم است. بنابراین می‌توان گفت که برنامه‌ریزی نوعی پیش‌بینی است. هدف دوم از آشنائی و بکارگیری تکنیک‌های پیش‌بینی، تصمیم‌گیری است که در این پژوهش، هدف دوم مدنظر است.

از طرفی با توجه به نبودن اطلاعات دقیق در مورد عوامل موثر بر نوسان قیمت سهام در این بازار، پیش‌بینی تغییرات آن به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد. به این معنی که نوسانات قیمت سهام با استفاده از اطلاعات قابل دسترس عمومی غیرقابل پیش‌بینی است. ناشناخته بودن عوامل تأثیرگذار بر تغییرات قیمت سهام، همواره دلیلی برای روی آوردن به پیش‌بینی تغییرات قیمت سهام شرکتهاست. پیش‌بینی قیمت یا بازده سهام به کمک کشف الگوهای رفتاری، میزان کارائی پیش‌بینی را مشخص می‌کند. در واقع فرآیند مولد قیمت سهام را می‌توان به عنوان یک الگوی پویا بررسی کرد. فرآیند مزبور ممکن است به صورت خطی، غیرخطی، و تصادفی بدست آید.

روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی وجود دارد، اما هیچ کدام به طور کامل درست و دقیق نیستند (لیم<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷). در حالت کلی سه دسته روش برای تحلیل بازار وجود دارد که جهت گیری ضمنی آن‌ها نسبت به پیش‌بینی پذیری قیمت سهام از این قرار است:

### روش تحلیل بنیادی

تحلیل گران بنیادی، رفتار قیمت سهام را دارای حرکت تصادفی دانسته و با توجه به ارزش داخلی یک سهم اقدام به پیش‌بینی می‌نمایند. این گروه قیمت سهام در هر دوره را برابر با قیمت سهام در دوره قبل به علاوه بسیاری از عوامل تصادفی دیگر می‌دانند. به نظر می‌رسد طراحان آن در مقابل نتایج نظریه بازار کارا کاملاً تمکین می‌کنند. با توجه به آن که پیش‌بینی در این روش بر پایه اطلاعات موجود در سری زمانی بازار صورت نمی‌پذیرد، شکل ملایم نظریه بازار کارا آن را می‌پذیرد؛ در حالی که صورت دوم نظریه بازار کارا آن را به چالش می‌گیرد (چن و همکاران<sup>۲</sup>، ۱۹۸۶).

در بازار سرمایه ارزش سهام بر اساس میزان منافع آتی و اطمینان از تحقق آنها تعیین می‌گردد و هر اندازه اطمینان نسبت به کسب بازده بیشتر باشد مخاطره از دست دادن اصل سرمایه و سود آن کمتر می‌رسد. عوامل و متغیرهای متعددی در بازار سرمایه و در سطح کلان کشور بر روی قطعیت یا عدم قطعیت سود و نیز تغییرات قیمت دارایی‌های مالی اثر می‌گذارد. به همین خاطر روش بنیادین به بررسی دقیق عوامل محیطی که ممکن است بر روند حرکت قیمت سهام و به تبع آن بر بازده دارایی‌های مالی تأثیر گذارد می‌پردازد.

<sup>۱</sup> . Lim

<sup>۲</sup> . Chen and et al

### روش های تحلیل فنی (تکنیکال)

تحلیل گران فنی سعی در پیش بینی بازار، به وسیله دنبال کردن الگوهای موجود و استفاده از اطلاعات گذشته مربوط به بازار را دارند. این گروه معتقدند محاسبه ارزش ذاتی سهام باید بر اساس نمودار، جداول، الگوی تاریخی رفتار قیمت سهام و اطلاعات مالی انجام گیرد. این روش ها شواهدی از امکان پیش بینی محدود قیمت سهام بازار را ارائه می دهند. البته حتی ملایم ترین شکل نظریه بازار کارا نیز امکان پیش بینی بازار با استفاده از این روش را رد می کند (آذر و افسر، ۱۳۸۵).

تحلیل تکنیکی فرایند بررسی قیمت‌های تاریخی سهام در کوششی جهت تعیین قیمت‌های احتمالی آینده است. این کار بوسیله مقایسه روند انتظاری قیمت جاری با حرکت قیمت تاریخی قابل قیاس، انجام می‌گیرد تا نتیجه معقولی پیش‌بینی گردد. کارشناسان سنتی ممکن است این فرایند را به عنوان یک حقیقت این طور تعریف کنند که تاریخ خودش را تکرار می‌کند، حال آنکه دیگران به این گفته بسنده می‌کنند که باید از گذشته پند بگیریم. تحلیل تکنیکی دانشی تجربی است که در طی زمان تکامل یافته و افراد بسیاری در رشد و هدایت آن نقش داشته‌اند. بدون تردید پایه‌های تحلیل تکنیکی که امروز به طور گسترده در سراسر دنیا بکار برده می‌شود، توسط بررسی‌ها و نتیجه‌گیری‌های چارلز داو بنا نهاده شد.

تحلیل فنی بررسی تغییرات قیمت‌های گذشته به منظور پیش‌بینی تغییرات آتی قیمت‌ها است. تحلیل تکنیکی در زمینه سهام، و با هر ابزار قابل داد و ستدی که متأثر از نیروهای عرضه و تقاضا باشد کاربرد فراوانی دارد. تحلیلگر فنی اعتقاد دارد که روند قیمت‌ها تلقی سرمایه‌گذاران را از عوامل گوناگون سیاسی، اقتصادی، پولی و حتی روانشناسی نشان می‌دهد. هنر تحلیلگر فنی تعیین روند تغییرات قیمت‌ها و نگهداری سرمایه‌گذاری تا زمانی است که روند فعلی معکوس نشده است. تحلیل تکنیکی گاهی اوقات به دلیل آنکه از سابقه تغییرات بازار برای پیش‌بینی عرضه و تقاضا استفاده می‌کند روش تحلیل بازار یا تحلیل داخلی نیز نامیده می‌شود. تحلیلگر فنی اعتقاد دارد که بازار خود بهترین منبع برای بیان کسب اطلاعات است (آذر و افسر، ۱۳۸۵).

### روش های مبتنی بر هوش مصنوعی

این روش توسط افراد آشنا به تجزیه و تحلیل سیگنال و دانش یادگیری ماشین مطرح می‌گردد. این افراد معتقدند که بازارهای بورس دارای روند غیر ایستاست. پیش‌بینی رفتار شاخص‌های مختلف سهام و به ویژه پیش‌بینی قیمت سهام همواره یکی از موضوعات مورد علاقه در بین محققان علوم مهندسی، کامپیوتر و ریاضی بوده است. بر این اساس در طول سال‌های پیش‌الگوریتم‌ها و نرم افزارهای زیادی با پیچیدگی‌ها و ساختارهای متفاوت برای این منظور پیشنهاد شده است. در این میان الگوریتم‌های مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی، با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد آن به عنوان ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی و آنالیز داده‌های بورس مورد توجه قرار گرفت و بسیاری از محققین از مدل‌های شبکه عصبی به عنوان پیشگو استفاده می‌کردند. به دلیل پیچیدگی‌های بازار بورس و حجم بالای اطلاعات مورد پردازش، اغلب استفاده از یک سیستم ساده برای پیش‌بینی نتایج خوبی نمی‌

دهد. به همین دلیل محققان در سال‌های اخیر با ارائه مدل‌های هیبریدی و ترکیبی، سعی در ارائه سیستمی با پیچیدگی کمتر و کارایی و دقت بیشتر کرده‌اند (حسن و ناس<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷):

مدل‌های هیبریدی: این مدل‌ها اغلب به صورت مرکب از الگوریتم‌های مختلف دیگر مانند الگوریتم ژنتیک، فازی، مدل پنهانی مارکوف و یا شبکه عصبی در داخل یک سیستم است (سونگ و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹).

مدل‌های ترکیبی: این مدل‌ها اکثراً به صورت پیمانه‌ای و از سیستم‌های تابعی تشکیل شده‌اند که هر یک به صورت مستقل از هم عمل می‌کنند و کل سیستم عمل پیش‌بینی را انجام می‌دهد.

در سال‌های اخیر، محققان با ارائه مدل‌های مختلف با ساختارهای پیچیده و به خدمت گرفتن الگوریتم‌های گوناگون در یک سیستم، سعی در پیش‌بینی دقیق قیمت سهام داشته‌اند. در اکثر این مدل‌های پیش‌بینی‌کننده سیستم فقط با استفاده از اطلاعات یک شاخص (اکثراً قیمت سهام) به پیش‌بینی قیمت سهام پرداخته و یا از چند شاخص به عنوان ورودی یک شبکه چند ورودی بهره می‌برد.

### مروری بر مطالعات پیشین

مهربان پور و همکاران (۱۴۰۱) به پیش‌بینی قیمت سهام با ارائه مدلی ترکیبی با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تئوری مجموعه‌های راف پرداختند. به این منظور، با استفاده از داده‌های قیمتی شرکت ایران خودرو، ابتدا تعدادی از شاخص‌های تکنیکال محاسبه شدند. به منظور کاهش بعد ماتریس تصمیم، به روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، متغیرهایی جدید به گونه‌ای انتخاب شدند که حداکثر ویژگی‌های داده‌های اولیه حفظ شود. از این متغیرها در ماتریس تصمیم، به عنوان مؤلفه‌های شرطی استفاده می‌شود و متغیر تصمیم، نوسان قیمت سهم در روز بعد می‌باشد. داده‌ها به روش‌های مختلف گسسته‌سازی و به دو دسته یادگیری و کنترل تقسیم شدند. سپس با استفاده از تئوری مجموعه‌های راف بر روی داده‌های یادگیری، قواعد تصمیم استخراج و اعتبار آنها بر روی داده‌های کنترل، ارزیابی شد. نتایج به دست آمده از مدل ترکیبی با نتایج حاصل از مدل مجموعه‌های راف مقایسه شد. با بررسی ضرایب متغیرهای اولیه در عامل‌های جدید این موضوع مهم قابل نتیجه‌گیری است که با حفظ بخش عمده خواص داده‌های اولیه، پنج متغیر اولیه قابل کاهش به دو عامل جدید بوده و قابلیت نام‌گذاری دارند که این موضوع نقش مهمی در کاهش تعداد قواعد تصمیم و ملموس بودن استفاده از آنها دارد. درصد پیش‌بینی‌های صحیح قواعد استخراج شده از مدل ترکیبی نسبت به مدل رقیب یعنی مدل مجموعه‌های راف، بیشتر و تعداد قواعد کمتر می‌باشد. به منظور بررسی استحکام مدل، داده‌های بازه سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۹۸ شرکت ایران خودرو و همچنین داده‌های سالیانه بانک صادرات ایران مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج با یافته‌های قبلی مطابقت داشتند.

وطن پرست و همکاران (۱۳۹۸) به پیش‌بینی قیمت سهام بر اساس شبکه عصبی LM-BP و برآورد نقطه بیش از حد توسط شمارش فواصل زمانی پرداختند. در این پژوهش برای تعیین روش پیش‌بینی قیمت سهام، یک شبکه عصبی LM-BP بر اساس سری‌های زمانی با توجه به قیمت باز، بالاترین قیمت، پایین‌ترین قیمت، قیمت

<sup>1</sup> . Hassan and Nath

<sup>2</sup> . Soong and et al

بسته و حجم معاملات ارائه شد. در این مطالعه، ۳۱۵ روز قیمت سهام را برای ایجاد ۱۰ نمونه انتخاب و مجموعه آزمون شامل قیمت سهام از روز ۳۱۶ تا روز ۳۲۰ را انتخاب و از شبکه عصبی LM-BP استفاده شده است. در این پژوهش، تعیین نقطه بحرانی بیش از حد، عدم تقارن و شمارش فواصل زمانی بررسی شد. منحنی MRE2-MRE1 رسم شده و دقت مربوط به بهترین پیش بینی شبکه عصبی BP بر اساس چند تکرار مستقل برآورد شد. پس آزمون نیز به روش آزمون کوپیک و آزمون کریستوفرسون انجام شد. نتایج نشان داد که پیش بینی قیمت سهام بر اساس شبکه عصبی LM-BP و برآورد نقطه بیش از حد توسط شمارش فواصل زمانی، نتایج بهتری نسبت به روش های موجود ارائه می دهد.

باباجانی و همکاران (۱۳۹۸) به پیش بینی قیمت سهام در بورس تهران با استفاده از شبکه عصبی بازگشتی بهینه شده با الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی پرداختند. این پژوهش با رویکرد ترکیبی، با به کارگیری شبکه عصبی بازگشتی مبتنی بر الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی (ABC-RNN)، درصدد ارائه مدلی بهینه برای پیش بینی قیمت سهام در بورس تهران است. برای این منظور با استفاده از داده های سهام پذیرفته شده در بازار اول تابلوی اصلی بورس تهران که طی سال های ۱۳۹۰ تا پایان سال ۱۳۹۴ مورد معامله قرار گرفته است، ضمن تعریف مؤلفه های تکنیکال و بنیادی متعدد، با به کارگیری فرآیند رگرسیون-همبستگی قدم به قدم (SRCS)، مؤلفه های مؤثر بر قیمت سهام انتخاب شده و به عنوان ورودی مدل تعریف می شود. در مرحله بعد، الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی (ABC) در یک فضای طراحی پارامتری، برای بهینه کردن وزن ها و تورش های شبکه عصبی بازگشتی بکار گرفته می شود. برای ارزیابی عملکرد مدل، از چندین معیار برای سهام شرکت های پذیرفته شده در بورس تهران استفاده می شود. نتایج نشان دهنده آن است که استفاده از شبکه عصبی بهینه شده با الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی، دقت قابل ملاحظه ای در مقایسه با سایر روش های پیش بینی دارد.

دولو و حیدری (۱۳۹۶) به پیش بینی شاخص سهام با استفاده از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و مدل های فرا ابتکاری جستجوی هارمونی و الگوریتم ژنتیک پرداختند. هدف پژوهش حاضر پیش بینی شاخص قیمت بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از مدل شبکه عصبی هیبریدی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و جستجوی هارمونی است. مربوط ترین ناگرهای تکنیکی به عنوان متغیرهای ورودی و تعداد بهینه نرون در لایه پنهان شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری ژنتیک و جستجوی هارمونی حاصل می گردد. مقادیر روزانه شاخص قیمت بورس اوراق بهادار تهران از تاریخ ۹۱/۱۰/۱ الی ۹۴/۹/۳۰ جهت پیش بینی شاخص قیمت و آزمون آن استفاده می شود. دقت پیش بینی سه مدل شبکه عصبی عادی، شبکه عصبی هیبریدی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی هیبریدی مبتنی بر جستجوی هارمونی بر اساس میزان خطای پیش بینی ارزیابی می گردد. نتایج حاصله نشان می دهد دقت پیش بینی مدل های فراابتکاری ژنتیک و جستجوی هارمونی در دوره آزمون بالاتر از شبکه عصبی عادی است. همچنین پیش بینی مدل شبکه عصبی هیبریدی مبتنی بر جستجوی هارمونی در دوره آزمون نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی هیبریدی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک از دقت بالاتری برخوردار است.

دولو و صفری (۱۳۹۵) به پیش بینی شاخص قیمت سهام با استفاده از مدل هیبریدی پرداختند. پیش بینی شاخص قیمت بازار سهام به علت تاثیرپذیری آن از بسیاری عوامل اقتصادی و غیراقتصادی همواره امری مهم و

چالش برانگیز بوده، به طوری که انتخاب بهترین و کارآمدترین مدل به منظور پیش بینی آن امری دشوار می باشد. از طرفی سری های زمانی دنیای واقعی، برای مثال سری زمانی شاخص قیمت سهام، به ندرت دارای ساختاری کاملاً خطی و یا غیرخطی است. مدل های هموارسازی نمایی، میانگین متحرک خودرگرسیون انباشته (آریمای) و شبکه عصبی خودرگرسیون غیرخطی می تواند برای پیش بینی بر اساس سری های زمانی استفاده گردد. در این پژوهش به منظور استفاده از مزیت های هریک از این مدل ها و کاهش خطای پیش بینی، روشی هیبریدی با استفاده از ترکیب خطی نتایج پیش بینی این مدل ها آزمون شده است. وزن های بکاررفته به منظور ترکیب نتایج با استفاده از الگوریتم ژنتیک و همچنین بکارگیری وزن های مساوی تعیین گردیده است. پس از مشخص شدن قابلیت پیش بینی پذیری سری زمانی مورد مطالعه (با استفاده از آزمون نسبت واریانس)، روش ترکیبی مذکور بر روی مقادیر ماهیانه شاخص قیمت بورس اوراق بهادار تهران بکار گرفته شد. نتایج بدست آمده نشان دهنده کاهش خطای پیش بینی های صورت گرفته توسط مدل هیبریدی (در حالت استفاده از وزن های مساوی) نسبت به مدل های تشکیل دهنده آن است.

حیدری زارع و کردلویی (۱۳۸۹) به پیش بینی قیمت سهام با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. در این مطالعه به پیش بینی قیمت سهام روز بعد در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از مدل پرسپترون چندلایه از شبکه های عصبی مصنوعی پرداخته شد؛ و با روش های مختلف سعی شد خطای این پیش بینی را بهبود بخشیده شود. متغیرهای بسیار زیادی در قیمت سهام تاثیر گذار می باشند که در این میان سهم شاخص های اقتصادی عمده را می توان بسیار بالا دانست، که نرخ ارز (شامل نرخ دلار آمریکا و یورو)، قیمت طلا و قیمت نفت از آن جمله می باشند. همچنین شاخص کل نیز به عنوان نماینده ای از کل شرکت های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران در نظر گرفته می شود، که این شاخص ها به عنوان متغیرهای مستقل جهت پیش بینی قیمت سهام مورد استفاده قرار گرفته اند.

آذر و افسر (۱۳۸۵) به مدل سازی پیش بینی قیمت سهام با رویکرد شبکه های عصبی فازی پرداختند. در این تحقیق، مدل شبکه های عصبی فازی پیش بینی قیمت سهام طراحی شده و از لحاظ شش معیار ارزیابی عملکرد با روش ARIMA مقایسه شده است، نتایج تحقیق بیانگر این حقیقت است که شبکه های عصبی فازی در تمامی شش معیار ارزیابی عملکرد بر روش ARIMA برتری داشته است و دارای ویژگی های منحصر بفرد همگرایی سریع، دقت بالا، و توانایی تقریب تابع قوی هستند و برای پیش بینی شاخص قیمت سهام مناسب می باشند.

سیریویانی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۲) به پیش بینی قیمت سهام با استفاده از روش هیبریدی پرداختند. در این مطالعه از الگوهای ۲۰ و ۵۰ روزه قیمت سهام به منظور پیش بینی استفاده شد. نتایج بدست آمده از این مطالعه بیانگر این بود که الگوهای شبکه عصبی مصنوعی و قواعد پیش بینی قدرت بالاتری نسبت به روش های سنتی در پیش بینی قیمت سهام دارند.

<sup>1</sup> Srivinyan and et al

ژو و کانگ<sup>۱</sup> (۲۰۲۰) در مقاله‌ی خود به مقایسه مدل‌های مختلف در پیش‌بینی نوسانات شاخص  $REIT$  پرداختند که در بین همه مدل‌ها، مدل‌های مبتنی بر حافظه بلندمدت ( $ARFIMA$  و  $FIGARCH$ ) بهترین و مدل‌های حافظه بلندمدت مبتنی بر عدم تقارن ( $EGARCH$  و  $FIEGARCH$ ) ضعیف‌ترین عملکرد را در امر پیش‌بینی داشتند. ایشان در این پژوهش از داده‌های روزانه شاخص کل طی دوره ۱۹۹۹/۰۵/۰۱ الی ۲۰۱۸/۳۰/۰۴ بهره بردند. بنابراین هرچند آنها نشان داده‌اند که مدل‌های دارای حافظه بلندمدت و غیرخطی دقت بیشتری در مقابل مدل‌های خطی دارند، ولی تأکید می‌کنند که، اگر چه مدل‌های غیرخطی در رابطه با حافظه بلندمدت می‌باشند ولی با روابط کوتاه‌مدت سازگاری دارند.

الاجید<sup>۳</sup> (۲۰۱۹) به بررسی رفتار بازده در بازارهای سهام آفریقا با بکارگیری مدل‌های دارای ویژگی حافظه بلندمدت پرداخته است. در این تحقیق علاوه بر مدل‌سازی بازده سهام، به پیش‌بینی این متغیر در با نظر گرفتن شرایط وجود ریسک و ویژگی بازگشت به میانگین نیز پرداخته شده است. نتایج این تحقیق وجود نوسانات خوشه‌ای، کشیدگی زیاد و همچنین اثرات اهرمی را در داده‌های مورد بررسی نشان می‌دهند و همچنین این داده‌ها دارای ویژگی حافظه بلندمدت می‌باشند.

کیتیکاراساکون و تسه<sup>۴</sup> (۲۰۱۸) با استفاده از مدل‌های  $ARFIMA-FIGARCH$  بازارهای سهام آسیا را که دارای توزیع پهن دنباله هستند را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در این پژوهش به منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی بازار سهام آسیا به بررسی واریانس شاخص بورس این بازار پرداخته شده است که، هدف نگارنده این بوده است که به این مطلب دست یابد که آیا واریانس در این بازارها نامحدود است یا اینکه فقط دارای واریانس بزرگ می‌باشند؟ نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که توزیع داده‌ها دارای دنباله پهن بوده و این داده‌ها دارای واریانس محدود می‌باشند و همچنین این بازارها ویژگی‌های دیگر بازارهای مالی از جمله ویژگی حافظه بلندمدت را دارا هستند. یینگ‌وی و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۷) با بکارگیری مدل شبکه عصبی فازی به بررسی بازارهای سهام تایوان پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش بیانگر برتری مدل‌های شبکه عصبی فازی بر مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و مدل‌های آماری از جمله مدل‌های سری‌زمانی بوده است.

چین‌چو و لین‌چن<sup>۶</sup> (۲۰۱۶) به بررسی رابطه میان بازار سهام و بازارهای حقیقی اقتصاد با بکارگیری تجزیه موجک پرداختند. به همین منظور شاخص قیمت سهام و  $REIT$  را به اجزاء نوسانات تجزیه کردند و سپس آزمون علیت گرنجر را برای متغیرهای مذکور انجام دادند. نتایج این پژوهش بیان‌کننده ارتباط تقریباً همجمع (نه کاملاً) بوده است همچنین رفتار متغیرهای نامبرده نه تنها در طول زمان بلکه در طول فرکانس‌های مختلف بسیار متفاوت بوده‌اند.

<sup>1</sup> Zhou and Kang

<sup>2</sup> Tokyo Stock Exchange = REIT Index

<sup>3</sup> Alagidede

<sup>4</sup> Kittiakarasakun & Tse

<sup>5</sup> Ying Wei & Liang Chen & Hwa Ho

<sup>6</sup> Chin Chou & Lin Chen

بویاسیوگلا و اوسی<sup>۱</sup> (۲۰۱۰) با استفاده از مدل شبکه عصبی فازی بازده سهام کشور ترکیه را پیش‌بینی کرده و به این نتیجه دست یافتند که پیش‌بینی انجام گرفته شده توسط این مدل ۹۸/۳٪ به مقدار واقعی بازده سهام ترکیه مطابقت داشته است.

بکیروس<sup>۲</sup> (۲۰۱۰) با بهره‌جویی از مدل شبکه عصبی فازی به مطالعه رفتار سوداگران بازارهای سهام جهان پرداخته است. ایشان بیان می‌دارند که بکارگیری مدل‌های شبکه عصبی فازی به منظور پیش‌بینی رفتار سوداگران در بازارهای سهام مخصوصاً بازارهای سهام آسیای جنوب شرقی بسیار کارا است.

اتسالاکیس و والاوانیس<sup>۳</sup> (۲۰۰۹) با استفاده از مدل *ANFIS* به پیش‌بینی روند قیمت روز آینده‌ی سهام در زمینه شاخص بورس نیویورک و آسیا پرداخته‌اند و نتایج این پژوهش بیانگر این امر هستند که مدل مذکور توانایی زیادی در پیش‌بینی متغیرهای نامبرده داشته است.

ترینکل<sup>۴</sup> (۲۰۰۶) با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (*ANN*)، شبکه عصبی فازی (*ANFIS*) و همچنین مدل *ARMA* به پیش‌بینی بازده سهام سه شرکت دولتی در آمریکا پرداخت. نتیجه این پژوهش برتری مدل‌های شبکه عصبی را نسبت به مدل‌های رگرسیونی در زمینه پیش‌بینی نشان داده است.

کیوک<sup>۵</sup> (۲۰۰۵) با بکارگیری مدل شبکه عصبی الگوریتم *ANFIS* به پیش‌بینی رفتار سرمایه‌گذاران در بازار سهام آمریکا پرداخته است. ایشان نیز مانند سایر محققین به این نتیجه دست یافتند که مدل شبکه عصبی الگوریتم *ANFIS* با دقت بالایی به پیش‌بینی رفتار متغیرها می‌پردازد و در این مورد خاص نتیجه بدین گونه بوده است که این مدل قادر به پیش‌بینی دقیق رفتار سرمایه‌گذاران و همچنین قیمت سهام (یکی عوامل تعیین کننده قیمت سهام، تصمیمات سرمایه‌گذاران در خرید و فروش آن می‌باشد) بوده است.

گئورگسکو و دینوکا (۲۰۰۵) با بکارگیری شبکه عصبی سری‌زمانی، الگوریتم *NNARX*، به پیش‌بینی در بازارهای سهام رومانی پرداختند. در این تحقیق به بالاتر بودن دقت مدل‌های شبکه عصبی و مدل‌های رگرسیونی غیرخطی در مقابل رگرسیون‌های خطی در بازارهای مالی اشاره شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که، مدل‌های شبکه عصبی سری‌زمانی (*NNARX*) کارایی بیشتری نسبت به مدل‌های غیرخطی رگرسیونی در بازارهای سهام رومانی داشته است.

### ۳. روش شناسی تحقیق

این پژوهش از نظر طبقه‌بندی به لحاظ هدف، پژوهشی کاربردی است و از نظر روش، شبه آزمایشی و از نوع پس‌رویدادی است. همچنین از نظر طبقه‌بندی پژوهش برحسب روش از نوع همبستگی و نحوه‌ی گردآوری داده‌ها، این پژوهش توصیفی-تحلیلی است و از مطالعات کتابخانه‌ای جهت جمع‌آوری اطلاعات استفاده شده است.

<sup>1</sup> Boyacioglu & Avci

<sup>2</sup> Bekiros

<sup>3</sup> Atsalakis & Valavanis

<sup>4</sup> Trinkle

<sup>5</sup> Quek

پژوهش‌های توصیفی به بررسی شرایط موجود جهت شناخت بیشتر به منظور کمک به فرآیند تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. پژوهش حاضر، از نظر زمان انجام پژوهش، سری زمانی؛ از نظر نتایج پژوهش، کاربردی؛ از نظر فرآیند اجرای پژوهش، ترکیبی؛ از نظر هدف پژوهش، توصیفی-تحلیلی (و از نوع مطالعه موردی) و از نظر منطق اجرای پژوهش، استقرایی است.

بطور کلی پیش بینی‌های مالی و اقتصادی براساس داده‌های سری زمانی به دو گروه تقسیم می‌شوند: خطی و غیرخطی. پیش بینی‌های خطی را می‌توان در دسته خانواده ARMA (AR, ARIMA, ARFIMA)، آرچ و گارچ، مدل‌های VAR و... قرار داد و از پیش بینی‌های غیرخطی می‌توان به شبکه‌های عصبی، الگوی مارکوف، ماشین بردار پشتیبان (SVM)، روش‌های فازی، الگوریتم ژنتیک، مدل بیزین و... اشاره کرد. هر کدام از مدل‌های خطی و غیرخطی ایراداتی دارند. پیروی داده‌ها از توزیع نرمال، استقلال خطی متغیرهای مستقل، همسانی واریانس‌ها، نرمال بودن توزیع جملات اخلال از ایرادات الگوهای خطی است و ایراد اصلی مدل‌های غیرخطی در برآورد تعداد زیاد پارامترهاست که از درجه آزادی مدل کم می‌کند.

الگوی پیش بینی قیمت مبتنی بر یادگیری شبکه عمیق، کاستی‌ها و وابسته بودن به فروض محدود کننده را نداشته و دقت بالاتر و نتایج مناسب تری را نسبت به الگوهای کلاسیک ارائه می‌دهد. (حق و همکاران، ۲۰۲۰؛ توانا و همکاران، ۲۰۱۸).

یادگیری عمیق به عنوان یک تکنیک یادگیری ماشین بوده است که به سیستم‌ها آموزش داد که آنچه را که برای انسان طبیعی بوده است، مانند انسان انجام داده و این یادگیری بر اساس الگو و نمونه است. در بیشتر الگوهای یادگیری عمیق از ساختار شبکه عصبی استفاده می‌گردد، به همین دلیل الگوهای یادگیری عمیق غالباً به عنوان ساختارهای عصبی عمیق معرفی می‌گردد. واژه عمیق معمولاً به تعداد لایه‌های پنهان در رویکرد شبکه عصبی اشاره می‌کند. شبکه‌های عصبی سنتی تنها شامل ۲-۳ لایه مخفی بوده، در حالی که روش شبکه‌های عمیق می‌توانند تا ۱۵۰ لایه را شامل شوند.

مدل‌های هیبریدی به جای استفاده از یک روش پیش بینی، از مجموعه‌ای از روش‌های پیش بینی استفاده می‌کنند. مطابق نظریه هوانگ و ژانگ هیچ مدلی در همه شرایط کارایی خوبی نخواهد داشت و مدل‌های ARIMA و شبکه عصبی مصنوعی نمی‌توانند به تنهایی برای پیش بینی سری زمانی مناسب باشند چرا که مدل‌های ARIMA خطی، نتایج مطلوبی ارائه نمی‌کند. بعبارتی هر یک از مدل‌ها در کنار نقاط قوت خود، دارای نقاط ضعفی هستند که استفاده از مدل‌های هیبریدی می‌تواند این ضعف‌ها را پوشش و خطاها را کمتر کند.

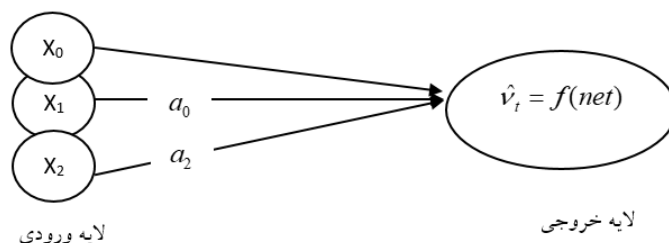
ساده‌ترین شکل شبکه عصبی تنها دو لایه دارد، لایه ورودی و لایه خروجی شبکه عصبی همچون یک سیستم ورودی-خروجی عمل می‌کند و ارزش نرون‌های ورودی را برای محاسبه ارزش نرون‌های خروجی مورد استفاده قرار می‌دهد. هر نرون، به وسیله یک دایره و ارتباط میان نرون‌ها به وسیله یک فلش نشان داده می‌شود

<sup>1</sup> Input Layer  
<sup>2</sup> Output Layer  
<sup>3</sup> Neuron

خروجی  $y$  و ورودی‌های  $x_0, x_1, x_2$  بردارهای  $1 \times n$  هستند که در آن  $n$  تعداد مشاهدات است در این مثال، اطلاعات منحصر از ورودی‌ها به خروجی‌ها حرکت می‌کنند بنابراین مدل مورد بحث به شبکه عصبی پیشخور معروف است (شکل ۱) ارتباط میان یک ورودی و یک خروجی به وسیله یک وزن  $a$  که بیانگر اهمیت نسبی ورودی مذکور در محاسبه ارزش خروجی است، مشخص می‌شود به این ترتیب ارزش نرون خروجی مشاهده  $t$ ، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Net_t = a_0x_{0t} + a_1x_{1t} + a_2x_{2t} = \sum_{i=0}^2 a_i x_{it} \quad (1)$$

سپس نرون خروجی، ارزش بدست آمده را با استفاده از یک تابع تبدیل یا فعال ساز که با  $f(x)$  نشان داده می‌شود، پردازش می‌کنند.



شکل (۱): مدل شبکه عصبی پیشخور

در ساده ترین شکل شبکه عصبی پیشخور، تابع فعال ساز خطی است. برای مثال  $f(x) = x$  ارزش بدست آمده از رابطه ۱ و یک تابع فعال ساز خطی، خروجی نهایی شبکه را برای مشاهده  $t$  به صورت زیر می‌سازد:

$$\hat{y}_t = f(Net_t = a_0x_{0t} + a_1x_{1t} + a_2x_{2t}) = a_0x_{0t} + a_1x_{1t} + a_2x_{2t} \quad (2)$$

معمولاً یکی از ورودی‌ها برای مشاهدات دارای یک است و جمله اریب نامیده می‌شود. اگر بپذیریم که  $x$  جمله اریب باشد، در آن صورت خروجی شبکه از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\hat{y}_t = a_0x_{0t} + a_1x_{1t} + a_2x_{2t} \quad (3)$$

همانطور که مشاهده می‌شود، یک شبکه عصبی پیشخور با دو لایه و تابع فعال ساز خطی مشابه مدل رگرسیون خطی چند متغیره است. نرون‌های ورودی همان متغیرهای مستقل یا رگرسورها هستند و نرون خروجی همان برآورد متغیر وابسته است. وزن‌های مختلف شبکه نیز، مشابه پارامترهای مدل رگرسیون و جمله اریب نیز همان

<sup>1</sup> Bias

عرض از مبدا یا جمله ثابت در مدل رگرسیون است. در صورتی که وقفه های متغیر وابسته را به مجموعه ورودی ها اضافه کنیم، در آن صورت به شبکه ای مشابه با مدل اتور گرسو خطی دست می یابیم. رویکرد دوم مورد استفاده در این مطالعه مدل تغییر رژیم مارکوف است. به منظور تشریح این مدل فرض کنید که  $s_t$  یک متغیر تصادفی است که می تواند تنها مقادیر صحیح  $\{1, 2, \dots, N\}$  را اختیار کند. و همچنین فرض کنید احتمال اینکه متغیر تصادفی  $s_t$  مقدار  $j$  را در زمان  $t$  بگیرد تنها به مقادیر گذشته بستگی داشته باشد.

$$P\{s_t = j | s_{t-1} = i, s_{t-2} = k, \dots\} = P\{s_t = j | s_{t-1} = i\} = P_{ij} \quad (4)$$

در این صورت به فرآیند بالا، زنجیره مارکوف  $n$  حالتی گفته می شود که توابع انتقال آن به صورت  $\{P_{ij}\}$   $i, j = 1, 2, \dots, N$  می باشد. تابع انتقال  $P_{ij}$  احتمال انتقال از حالت  $i$  به حالت  $j$  را نشان می دهد. همچنین رابطه زیر همواره برقرار است (همیلتون، ۱۹۹۴).

$$P_{i1} + P_{i2} + \dots + P_{iN} = 1 \quad (5)$$

توابع انتقال را در یک ماتریس  $N \times N$  به نام  $P$  نشان می دهند.

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{21} & \dots & P_{N1} \\ P_{12} & P_{22} & \dots & P_{N2} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ P_{1N} & P_{2N} & \dots & P_{NN} \end{pmatrix}$$

با استفاده از راه حل بازگشتی می توان معادله رگرسیون به دست آمده در مرحله قبل را به صورت زیر نوشت.

$$\xi_{t+m} = v_{t+m} + P v_{t+m-1} + P^2 v_{t+m-2} + \dots + P^{m-1} v_{t+1} + P^m \xi_t \quad (6)$$

که در آن  $P^m$ ، ماتریس انتقالی است که  $m$  بار در خودش ضرب شده است. با توجه به معادله بالا پیش بینی  $m$  دوره ای برای یک زنجیره مارکوف به صورت زیر است (همیلتون، ۱۹۹۴).

$$E(\xi_{t+m} | \xi_t, \xi_{t-1}, \dots) = P^m \xi_t \quad (7)$$

درایه  $i$  زام بردار  $\xi_{t+m}$  عدد یک را اختیار خواهد کرد اگر  $s_{t+m} = j$  باشد و در غیر این صورت عدد صفر را اختیار خواهد کرد. درایه  $j$  زام بردار  $E(\xi_{t+m} | \xi_t, \xi_{t-1}, \dots)$  نشان دهنده احتمال اختیار مقدار  $j$  توسط  $s_{t+m}$  به شرط آنکه در زمان  $t$  مقدار  $i$  را اختیار کرده باشد، می باشد. به طور مثال معادله بالا می تواند به صورت زیر باشد.

$$\begin{pmatrix} P\{s_{t+m} = 1 | s_t = i\} \\ P\{s_{t+m} = 2 | s_t = i\} \\ \vdots \\ P\{s_{t+m} = N | s_t = i\} \end{pmatrix} = P^m e_i$$

که در آن  $e_i$  نشان‌دهنده ستون  $i$  ام ماتریس  $I_N$  می‌باشد. احتمال اینکه یک مشاهده در زمان  $t$  دارای رژیم  $i$  باشد و  $m$  دوره بعد در زمان  $t+m$  در رژیم  $j$  باشد، را به صورت  $P\{s_{t+m} = j | s_t = i\}$  نشان می‌دهیم و توسط سطر  $j$  ام و ستون  $i$  ام ماتریس  $P^m$  مشخص می‌شود.

نمونه این تحقیق شامل کلیه شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار است. برای همگن کردن داده‌ها، شرکت‌های پذیرفته شده بایستی در شرایطی باشند که در سالهای ۱۳۹۰ الی ۱۴۰۰ در بازار بورس اوراق بهادار، به صورت فعال (شرکت‌هایی که در ۲/۳ روزهای معاملاتی مورد معامله قرار گرفته است) حضور داشته باشند. از خصوصیت‌های انتخاب این نمونه در دسترس بودن، حذف شدن بسیاری از متغیرهای مزاحم و نیز مقابله با مشکل بسته بودن مکرر و طولانی نمادها در ایران است.

#### ۴. بر آورد مدل

هدف این مطالعه استفاده از رویکرد شبکه عصبی، مدل رگرسیونی تغییر رژیم مارکوف و مدل هیبریدی به منظور پیش بینی قیمت سهام است. در این پژوهش برای آزمون فرضیات به کمک نرم افزارهای Eviews و MATLAB آزمون‌های مورد نظر انجام شده است. داده‌هایی که برای این تحقیق به کار گرفته شده‌اند، لگاریتم داده‌های روزانه قیمت سهام است. داده‌های مورد استفاده به صورت ۵ روز فعال در بازار مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. در جدول زیر آماره‌های توصیفی مربوط به لگاریتم این سه متغیر آورده شده است.

جدول (۱) - آماره توصیفی متغیر مورد استفاده در این تحقیق

آماره	لگاریتم قیمت سهام
میانگین	۱.۳۴۷۸
حداکثر	۳.۹۷۸۸
حداقل	-۱.۴۱۰۴
انحراف معیار	۰.۲۶۳۰
چولگی	-۰.۳۵۳۶
کشیدگی	۳.۳۹۴۴
جارك-برا	۴.۵۳۸۱ (۰.۸۳۴۵)
لجانگ-باکس	۱۲۵۳ (۰.۵۷۹)

منبع: نتایج حاصل از تحقیق

با توجه به آماره جارک-برا، مقدار محاسباتی این آماره برای سری قیمت مشاهده شده که فرضیه صفر مبنی بر نرمال بودن این سری را نمی‌توان رد کرد. همچنین مقدار محاسباتی آماره لجانگ-باکس در ده دوره وقفه برای سری قیمت بیانگر این است که فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود خودهمبستگی را نمی‌توان رد کرد. در بخش دوم برای جلوگیری از انجام رگرسیون های کاذب در تحقیق ابتدا ایستایی متغیرها مورد بررسی قرار گرفته که برای این منظور از آزمون لوین، لین و چو (LLC) استفاده شده است. با استفاده از آزمون‌های صورت گرفته این موضوع که آیا سری مورد استفاده فرایندی ایستا (با مرتبه انباشتگی صفر) و یا واگرا (با مرتبه انباشتگی غیر صفر) دارند، بررسی می‌شود. نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که در سطح معنی داری ۰/۵ و ۱۰/ در سطح، آماره آزمون و سطح معنی داری برای هر متغیر لگاریتم قیمت سهام بیانگر وجود ریشه واحد در این متغیر بوده و این متغیر با یکبار تفاضل گیری ایستا شده است.

جدول (۲) - آزمون ریشه واحد متغیر تحقیق

متغیر	آماره آزمون	سطح معنی داری
لگاریتم قیمت سهام	-۳.۹۹	-۲.۹۴

منبع: نتایج حاصل از تحقیق

برای بررسی رابطه بین قیمت سهام شرکت با قیمت روز بعد سهام در سطح میانگین، در این تحقیق دو معادله رگرسیونی تخمین زده می‌شود. معادله اول یک معادله رگرسیونی کلاسیک با در نظر گرفتن تغییر رژیم است و معادله دوم یک مدل خودرگرسیون برداری جابه‌جایی مارکوف مخفی است. تعداد رژیم‌ها در هر دو معادله برابر دو در نظر گرفته شده است. در ادامه نتایج تخمین و تحلیل مربوط به هر مدل آورده شده است. مدل کلاسیک رگرسیون ساده با در نظر گرفتن رژیم، به صورت زیر آورده شده است.

$$\Delta LP_{it} = c_{s_t} + \alpha_{1,s_t} \Delta LP_{it-1} + \alpha_{2,s_t} \Delta LP_{it-2} + \varepsilon_{it,s_t}$$

در معادله بالا، اندیس  $s_t$  که زیر تمامی پارامترها و همچنین باقیمانده مدل آورده شده است، نشان‌دهنده تغییر رژیم پارامترها است. تمامی متغیرها تنها با یک وقفه وارد مدل شده‌اند و دلیل آن هم این است که وقفه‌های بالاتر از یک در هیچ‌یک از رژیم‌ها معنی دار نیستند. نکته مهم وابسته بودن باقیمانده به تغییر رژیم است. دلیل این امر تغییر واریانس معادله تخمین زده شده در رژیم‌های لحاظ شده است. نتایج تخمین مدل کلاسیک رگرسیون با دوررژیم در جدول زیر آورده شده است.

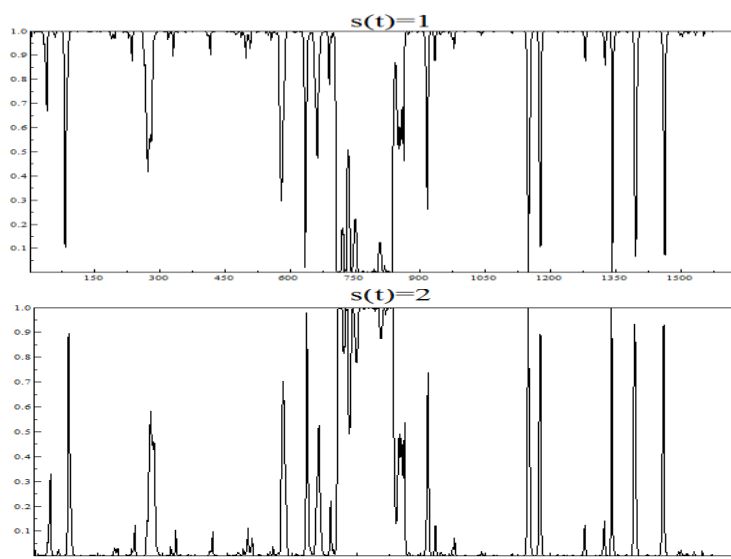
## جدول ۳- تخمین مدل تحقیق با روش رگرسیون کلاسیک با رویکرد مدل مخفی تغییر رژیم مارکوف

۱. تخمین پارامترها		
$s_t = 2$	$s_t = 1$	
-۰.۰۰۲۱ (۰/۰۰)	۰.۰۰۷۸ (۰/۰۰)	عرض از مبدأ
۰.۰۹۸ (۰/۰۲)	۰.۰۷۱ (۰/۰۱)	$\Delta LP_{t-1}$
۰.۰۳۵ (۰/۰۲)	۰.۰۲۳ (۰/۰۱)	$\Delta LP_{t-2}$
۰.۰۵۲ (۰/۰۰)	۰.۰۱۹ (۰/۰۳)	واریانس
۱۲.۳۱	۹۰.۰۹	مدت زمان متوسط هر رژیم
۲. ماتریس احتمال انتقال		
$i=2$	$i=1$	
۰.۰۸۱	۰.۹۸	$j=1$
۰.۰۹۱۸	۰.۰۱۱	$j=2$

منبع: نتایج حاصل از تحقیق

در قسمت بالایی جدول تخمین ضرایب مدل در دو رژیم یک و دو آورده شده است. همانطور که از روی نمودار احتمال‌های هموار شده مشخص است، رژیم یک مربوط به دوران بالاترین قیمت و رژیم دو مربوط به دوران پایین‌ترین قیمت در اقتصاد است. اعداد داخل پرانتز سطح معنی‌داری هستند. نتایج بدست آمده بیانگر معنی‌داری تمامی ضرایب برآورد شده در سطح خطای ۵ درصدی بوده است. علاوه بر این مشاهده گردید که وقفه اول و دوم تغییرات لگاریتم قیمت سهم اثرات مثبت و معنی‌داری بر قیمت سهام داشته است. واریانس نیز در رژیم دو، یعنی رژیم کمترین قیمت بیشتر از رژیم یک است. که این با تئوری سازگاری دارد. چراکه در زمان مربوط به پایین‌ترین قیمت نااطمینانی در بازار افزایش می‌یابد و قیمت‌های بازار بی‌ثبات می‌شوند. همانطور که در نمودارهای بازده قیمتی مشخص است در بازه زمانی پایین‌ترین قیمت بازده قیمت منجر به تلاطم و نااطمینانی بیشتر در بازار سهام را نشان می‌دهد. مدت زمان متوسط از طریق احتمال‌های بدست آمده از ماتریس انتقال محاسبه می‌شود. درایه اول ماتریس انتقال نشان‌دهنده احتمال ماندن در رژیم یک می‌باشد. با استفاده از این مفهوم می‌توان مدت زمان متوسط رژیم یک را با استفاده از رابطه  $1/(1 - P_{11})$  به دست می‌آید. با جایگذاری احتمال ۰.۹۸۸ در این رابطه به عدد ۹۰.۰۹ روز می‌رسیم. به همین ترتیب می‌توانیم با استفاده از رابطه  $1/(1 - P_{22})$  مدت زمان متوسط رژیم دو را به دست آوریم. که به عدد ۱۲.۳۱ روز می‌رسیم. یعنی تعداد روزهای زمان پایین‌ترین قیمت کمتر از تعداد روزهای زمان بالاترین قیمت است. ماتریس انتقال نیز در پایین جدول ضرایب آورده شده است. درایه اول احتمال آنکه فرآیند در زمان  $t$  در رژیم یک باشد و در زمان  $t+1$  نیز در رژیم یک باقی بماند را نشان می‌دهد. که در اینجا برابر

است با ۰.۹۸. یعنی احتمال اینکه بازار امروز در حالت بالاترین قیمت باشد و فردا نیز در همین رژیم باقی مانده باشد برابر است با ۰.۹۸. درایه دوم احتمال اینکه فرآیند در زمان  $t$  در رژیم دو باشد و در زمان  $t+1$  به رژیم یک منتقل شده باشد را نشان می‌دهد. که در اینجا برابر است با ۰.۰۸. یعنی احتمال اینکه امروز بازار در حالت پایین ترین قیمت باشد و فردا از پایین ترین قیمت خارج شده باشد برابر است با ۰.۰۸. که البته این مقدار کوچک کاملاً طبیعی است. چون احتمال تغییر رژیم آنهم در یک روز بسیار پایین است. و به همین ترتیب درایه سوم احتمال اینکه فرآیند در زمان  $t$  در رژیم یک باشد و در زمان  $t+1$  در رژیم دو باشد را نشان می‌دهد. یعنی تنها ۰.۰۱ احتمال دارد که اگر بازار امروز در بالاترین قیمت باشد، فردا به حالت پایین ترین قیمت برود. که این مقدار کوچک نیز کاملاً طبیعی می‌باشد. نکته مهمی از مقایسه این دو احتمال به دست می‌آید و آن هم این است که احتمال رفتن به پایین ترین قیمت کمتر از احتمال خارج شدن از آن است. و درآیه آخر نیز احتمال ماندن در رژیم دو در دو روز متوالی را نشان می‌دهد. یعنی به احتمال ۰.۹۱ اگر امروز بازار در رکود باشد، فردا نیز در حالت پایین ترین قیمت باقی خواهد ماند.



نمودار (۱) - احتمال‌های هموار شده در رژیم نوسانات پایین و بالا

نمودارهای احتمال‌های هموار شده در نمودار بالا نشان داده شده است. محور عمودی این نمودار نشان‌دهنده احتمال می‌باشد که مقدار پیوسته صفر تا یک را اختیار می‌کند و محور افقی نشان‌دهنده زمان است که در این تحقیق از داده‌های روزانه استفاده شده است. در نتیجه محور افقی تعداد روزها را نشان می‌دهد. در واقع این نمودارها عکس یکدیگر هستند. در نمودار بالایی، در زمان نمودار بیشتر نزدیک احتمال یک است و در بازه زمانی

پایین ترین قیمت بیشتر احتمال‌ها نزدیک به صفر می‌باشد. به همین دلیل نمودار اولی را نمودار مربوط به رژیم یک یا همان بالاترین قیمت و نمودار دومی را نمودار مربوط به رژیم دو یا همان پایین ترین قیمت در نظر گرفته می‌شود.

همانطور که از نتایج تخمین مدل کلاسیک رگرسیون با در نظر گرفتن رژیم مشخص است، بازه قیمت تنها در زمان بالاترین قیمت بر روی قیمت روز بعد سهام شرکت تأثیرگذار است و در زمان پایین ترین قیمت ضرایب معنی دار نیستند. از طرفی ضریب قیمت در زمان بالاترین قیمت مثبت است، در نتیجه مثبت بودن ضریب به این معنا است که کاهش در قیمت باعث افزایش قیمت روز بعد سهام شرکت بر اساس انتظارات و تقاضای بیشتر برای سهام شرکت می‌شود. که این نیز با تئوری سازگاری دارد.

در بخش دوم به منظور پیش بینی قیمت سهم از مدل شبکه عصبی استفاده شده است، با توجه به وجود ساختار غیرخطی و نیز انعطاف‌پذیری قابل توجه این مدل در یافتن (یادگیری) فرم تصریحی غیرخطی بین داده‌های ورودی و خروجی، در قیاس با روش‌های سنتی، کاربرد وسیعی در مدل‌سازی و پیش‌بینی سیستم‌های آشوبی دارند. در این راستا، مشکل‌ترین مرحله‌ی انجام پیش‌بینی‌ها با شبکه‌های عصبی که تأثیر فراوانی بر دقت پیش‌بینی دارد، انتخاب معماری مناسب شبکه‌های عصبی است. اما از یک سو تاکنون روش و متدولوژی استاندارد برای انتخاب معماری شبکه‌ی عصبی (یا به عبارت دیگر انتخاب متغیرهای شبکه) معرفی نشده است و از سوی دیگر معماری‌های مختلف و فراوانی را می‌توان برای شبکه‌های عصبی متصور بود. لذا، عمدتاً از روش آزمون و خطا جهت انتخاب شبکه‌ی مناسب استفاده می‌شود.

به طور کلی منظور از شبکه‌ی عصبی مصنوعی در این بخش، شبکه‌های عصبی چندلایه‌ی پیشخور (*MFNN*) است. این شبکه‌ها تابع سه جزء عمده می‌باشند، که عبارتند از: (۱) تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌ها در هر لایه. (۲) تابع آموزش (تابع تبدیل) مورد استفاده. (۳) وزن شبکه‌ی عصبی مصنوعی. بنابراین، همانطور که پیش‌تر گفته شد نخستین گام در مدل‌سازی مدل‌های شبکه‌های عصبی، معماری شبکه است. زیرا برای مثال انتخاب دقیق تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌ها، توانایی شبکه را در ارائه هر چه بهتر ارتباط بین داده‌های ورودی و خروجی، فراهم می‌نماید. از سوی دیگر توابع تبدیل (آموزش) مختلف نیز وظیفه‌ی تعدیل وزن‌های شبکه را با تکرار فرآیند آموزش و بالتبع کاهش میزان خطای میان خروجی شبکه و ارزش متغیرهای ورودی بر عهده دارد.

با توجه به اهمیت معماری شبکه، در این قسمت پیش‌از مقایسه‌ی انواع مختلف مدل‌های شبکه‌ی عصبی پیشخور، نکات مربوط به معماری شبکه را بیان می‌نمائیم. نخست اینکه جهت پیدا نمودن میزان نرون بهینه سعی شده تا به کمک کد نویسی در نرم‌افزار مطلب، شبکه‌های مختلفی را با نرون‌های متفاوت مورد ارزیابی قرار دهیم. از این‌رو، تعداد ۲ الی ۲۰ نرون در شبکه‌های دو و سه لایه مورد مورد ارزیابی قرار گرفت که هر کدام ۳۰ بار آموزش (*Train*) شده و جهت مقایسه عملکرد (*Performance*) آنها، مجموع خطای داده‌های تست (*Test*) را که ۳۰٪ از کل داده‌ها را به خود اختصاص می‌دهند (به صورت رندوم)، را در مدل‌های مختلف ملاک قرار داده‌ایم. در نهایت اینکه تعداد نرون بهینه برابر ۸ نرون بوده و تعداد لایه بهینه برابر ۲ لایه بوده است. نکته قابل توجه دیگر، انتخاب

الگوریتم آموزش بوده که از میان الگوریتم‌های مختلف نظیر الگوریتم‌های شبه نیوتن<sup>۱</sup> (شامل توابع *Trainoss* و *Trainbfg*)، روش گرادیان توأم<sup>۲</sup> (شامل توابع *Traincgf*، *Traincgb*، *Traincgp*، *Trainscg*)، توابع *Trainbfg*، *Trainbr*، *Trainngd*، *Trainngdm*، *Traingda*، *Traingdx* و تابع آموزش لونبرگ-مارکوات (*TrainLm*)، بهترین عملکرد از آن الگوریتم آموزش<sup>۳</sup> *Traincgp* بوده است. بنابراین ترکیب بهینه عوامل شبکه عصبی *MFNN* به قرار زیر است:

جدول (۴) - ترکیب بهینه عوامل طراحی شبکه عصبی (معماری شبکه)

ارزش	عامل طراحی
شبکه عصبی چندلایه‌ی پیشخور	نوع شبکه
۸ نرون	تعداد نرون‌های بهینه
۲ لایه	تعداد لایه بهینه
<i>PURLIN</i>	تابع پیش‌پردازش
گرادیان توأم پولاک-ریبیر ( <i>TRAINCGP</i> )	تابع تبدیل

منبع: نتایج حاصل از تحقیق

پس از اتمام طراحی شبکه، اینکه از چه متغیرهایی جهت تبیین رفتار سری مورد مطالعه، استفاده شود خود دارای اهمیت فراوانی است. از این‌رو، جهت مدل‌سازی رفتار قیمت سهام، از وقفه‌های آن و متغیر مجازی و سری نوسانات قیمت سهام استفاده شده است. توجه بکارگیری این متغیرها نیز بدین صورت است که، به علت وجود شکست‌های ساختاری موجود در سری مذکور از متغیر مجازی استفاده شده و نیز به سبب اینکه این سری دارای واریانس ناهمسانی شرطی است، وقفه اول سری نوسانات حاصل از مدل را به عنوان یک متغیر ورودی شبکه استفاده نمودیم. همچنین، به کمک الگوریتم ژنتیک (مدل *GMDH*) نیز تعداد وقفه بهینه مورد نیاز شبکه را تعیین نمودیم که این مقدار برابر ۵ وقفه به دست آمد. در نهایت پس از به دست آمدن شبکه‌ی نهایی، به کمک آن به شبیه‌سازی مقادیر آتی متغیر وابسته خواهیم پرداخت، و بر اساس آن مقادیر آماره‌ی محاسبه‌ی خطای پیش‌بینی را محاسبه خواهیم نمود.

جدول (۵) - نتایج تخمین مدل شبکه عصبی

مدل	MSE	RMSE
ورودی مدل: <i>GARCH</i>	۰/۰۰۰۰۲۶۳	۰/۰۰۳۱۳
ورودی مدل: <i>ARMA</i>	۰/۰۰۰۰۳۷۴	۰/۰۰۴۰۶

منبع: نتایج حاصل از تحقیق

<sup>1</sup> Quasi-Newton

<sup>2</sup> Conjugate Gradient

<sup>3</sup> Conjugate Gradient Polak-Ribière

همانطور که از جدول فوق پیداست، بر اساس ورودی شبکه، دو مدل مختلف برآورد گردیده است. نتایج این دو مدل نشان می‌دهد که مدل دوم از قدرت پیش‌بینی بالاتری برخوردار است. در نهایت در بخش انتهایی با ورودی مدل‌های رگرسیونی شامل ARMA، GARCH و تغییر رژیم مارکوف در مدل شبکه عصبی به برآورد مدل با رویکرد یادگیری عمیق پرداخته شده است. با توجه به مفاهیم مدل، و با توجه به اینکه هدف از این پژوهش، پیش‌بینی سری قیمت سهام طی دوره مورد بررسی است، ابتدا به برآورد بهترین مدل بر اساس وقفه‌های مختلف سری قیمت سهام پرداخته و سپس با توجه به وجود اثرات واریانس ناهمسانی شرطی در این سری، از وقفه اول سری حاصل از مدل به عنوان متغیر برونزا و همچنین به کمک وقفه‌های مختلف سری قیمت سهام و بر اساس معیار  $RMSE$  به استخراج بهترین مدل شبکه عصبی با رویکرد یادگیری عمیق پرداخته می‌شود. نخستین گام در مدل‌سازی کلیه‌ی مدل‌های غیرخطی مبتنی بر شبکه‌های عصبی، تعیین ترکیب بهینه عوامل طراحی شبکه عصبی با همان «معماری شبکه» است.

جدول (۶) - نتایج تخمین مدل با شبکه عصبی مبتنی بر یادگیری عمیق

ارزش	عامل طراحی
شبکه عصبی پویا	نوع شبکه
۸ نرون	تعداد نرون‌های بهینه
۲ لایه	تعداد لایه بهینه
$(TANSIG)$ tangent sigmoid transfer function	تابع پیش‌پردازش
لونیگ-مارکوات ( $TRAINLM$ )	تابع تبدیل

منبع: نتایج حاصل از تحقیق

در ادامه به برآورد هر یک از شبکه‌های عصبی با وقفه‌های مختلف پرداخته و سپس به شبیه‌سازی داده‌های خارج از نمونه بر اساس هر یک از شبکه‌ها پرداخته شده است:

جدول (۷) - نتایج تخمین انواع مدل شبکه عصبی مصنوعی با یادگیری عمیق

مدل	MSE	RMSE
NNAR(2)	۰/۰۰۰۰۳۳۲	۰/۰۰۵۷۶
NNAR(3)	۰/۰۰۰۰۳۳۵	۰/۰۰۵۷۹
NNAR(4)	۰/۰۰۰۰۳۳۳	۰/۰۰۵۶۸
NNAR(5)	۰/۰۰۰۰۳۴۲	۰/۰۰۵۸۵
NNAR(6)	۰/۰۰۰۰۳۷۱	۰/۰۰۶۰۹

منبع: نتایج حاصل از تحقیق

بر اساس جدول (۷)، مدل با وقفه چهار (با بکارگیری چهار وقفه از سری قیمت سهام) با توجه به معیارهای  $MSE$  و  $RMSE$  در بین سایر مدل‌ها از بهترین عملکرد برخوردار بوده است. همچنین، همانطور که گفته شد، به علت وجود تلاطم (نوسانات) در سری قیمت سهام، از وقفه اول سری نوسانات قیمت سهام، به عنوان یک متغیر برونزا جهت بهبود عملکرد مدل فوق استفاده می‌گردد. در نهایت به مقایسه نتایج حاصل از رگرسیون یا تغییر رژیم مارکوف و شبکه عصبی و مدل هیبریدی در پیش بینی قیمت سهام پرداخته شده است.

جدول (۸) - مقدار خطاهای پیش بینی با استفاده از مدل‌های مختلف

مدل	$MSE$	$RMSE$
مدل شبکه عصبی	۰/۰۰۰۰۴۹۸	۰/۰۰۶۴۶
مدل تغییر رژیم مارکوف	۰/۰۰۰۰۳۲۳	۰/۰۰۵۶۸
مدل هیبریدی	۰/۰۰۰۰۲۱۵	۰/۰۰۴۲۹

منبع: نتایج حاصل از تحقیق

همانطور که نتایج جدول (۸) نشان می‌دهد، مدل سوم (هیبریدی) دارای خطای پیش بینی کمتری نسبت به مدل مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی و مدل تغییر رژیم مارکوف بوده و بنابراین دارای دقت پیش‌بینی بیشتری است.

##### ۵. نتیجه گیری

با توجه به اهمیت بازارهای مالی در جهان و تاثیر پذیری و تاثیر گذاری این بازارها بر اقتصاد واقعی، در این تحقیق سعی شده است که به پیش بینی قیمت سهام شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران پرداخته شود. بدین منظور پس از معرفی ویژگی‌های بازارهای مالی و روش‌های تعیین قیمت سهام‌ها در بازارهای سهام، و همچنین معرفی بورس اوراق بهادار و شاخص قیمت بورس، بیان شد که قیمت سهام متاثر از یک سری عوامل درونی و بیرونی است که این عوامل بیرونی خود به دو دسته عوامل سیاسی و اقتصادی تقسیم گردید. پس از تقسیم بندی عوامل، به بیان تئوری‌های مختلفی که سعی در بررسی روش‌های پیش بینی قیمت با رویکردهای شبکه عصبی، روش تغییر رژیم مارکوف و روش هیبریدی پرداخته شد. در این مطالعه از اطلاعات آماری در بازه زمانی ۱۳۹۰-۱۴۰۰ به منظور پیش بینی قیمت سهام استفاده گردید. جامعه آماری مطالعه حاضر شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران بوده است. نمونه آماری شامل ۱۱۵ شرکت انتخاب شده در بازه زمانی ذکر شده است. نتایج بدست آمده از مدل برآورد شده بیانگر این بود که مدل هیبریدی طراحی شده دارای قدرت پیش بینی بالاتری نسبت به مدل‌های سری زمانی و شبکه عصبی بوده است. مقایسه نتایج حاصل از مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که از نقطه نظر معیارهای ارزیابی عملکرد پیش بینی، پیش بینی قیمت سهام روز بعد توسط مدل ترکیبی شبکه عصبی و مارکوف دقیقتر از سری زمانی است و این امر نشان دهنده تأیید فرضیه تحقیق مبنی بر کارایی مدل هیبریدی در قدرت پیش بینی قیمت است. لازم به ذکر است که مطالعه حاضر تأیید کننده نتایج

مطالعه درودی و ابراهیمی (۱۳۹۵)، باجلان و فلاح‌پور (۱۳۹۶) و دولو و حیدری (۱۳۹۷) بوده است. نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر در مقایسه با مطالعات پیشین به دلیل تلفیق مدل شبکه عصبی و همچنین مدل تغییر رژیم مارکوف دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌های سری زمانی از قبیل لاجیت و پروبیت داشته است. بر طبق نتایج ارائه شده در این تحقیق، می‌توان پیشنهادات زیر را در جهت ارتقا سطح دانش سرمایه‌گذاران و سیاستگذاران و در نتیجه بهبود وضعیت سرمایه‌گذاری در بورس در زمینه پیش‌بینی قیمت سهام بیان نمود که این نتایج برگرفته از بررسی فرضیه تحقیق است؛

همانطور که مشخص گردید در زمان مربوط به پایین‌ترین قیمت نااطمینانی در بازار افزایش می‌یابد بنابراین شرکت‌های برای افزایش در بازدهی خود بهتر است از سیاست‌های تثبیتی در زمینه کاهش در نوسانات قیمت سهام خود استفاده کنند.

علاوه بر این نتایج نشان دهنده تاثیر وقفه قیمت سهام شرکت در دوران بالا بودن قیمت‌ها بر قیمت سهام در روز بعد بود. بنابراین در راستای سیاست‌گذاری و پیشنهاد برای خرید سهام می‌توان با شناسایی پایین‌ترین قیمت به خرید این سهام در راستای افزایش در سوددهی پرداخت.

#### فهرست منابع

- آذر، عادل و افسر، امیر (۱۳۸۵)، مدل‌سازی پیش‌بینی قیمت سهام با رویکرد شبکه‌های عصبی فازی، فصلنامه پژوهش‌نامه بازرگانی، ۴۰، ۳۳-۵۲.
- باباجانی، جعفر، تقوا، محمدرضا، بولو، قاسم، عبدالهی، محسن (۱۳۹۸)، پیش‌بینی قیمت سهام در بورس تهران با استفاده از شبکه عصبی بازگشتی بهینه شده با الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی. راهبرد مدیریت مالی، (۲)۷، ۲۲۸-۱۹۵.
- دولو، مریم و حیدری، تکتتم (۱۳۹۶)، پیش‌بینی شاخص سهام با استفاده از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و مدل‌های فرا ابتکاری جستجوی هارمونی و الگوریتم ژنتیک، اقتصاد مالی، ۱۱(۴۰)، ۱-۲۴.
- دولو، مریم، صفری، علی (۱۳۹۵)، پیش‌بینی شاخص قیمت سهام با استفاده از مدل هیبریدی. فصلنامه بورس اوراق بهادار، ۹(۳۵)، ۸۱-۱۰۱.
- عباس‌پور، محمد رضا (۱۳۸۱)، پیش‌بینی قیمت سهام شرکت ایران خودرو به کمک شبکه‌های عصبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس.
- مهرآرا، محسن، معینی، علی، احراری، مهدی (۱۳۸۸)، الگوسازی و پیش‌بینی شاخص بورس اوراق بهادار تهران و تعیین متغیرهای موثر بر آن، پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، ۱۷(۵۰)، ۵۱-۳۱.
- مهربان پور، محمدرضا، آذر، عادل، شهرامی بابکان، مجید (۱۴۰۱)، پیش‌بینی قیمت سهام با ارائه مدلی ترکیبی با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تئوری مجموعه‌های راف، پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری، (۲)۷، ۱۶۷-۱۳۷.

وطن پرست، محمدرضا، اسدی، مسعود، محمدی، شعبان، بابایی، عباس (۱۳۹۸)، پیش بینی قیمت سهام بر اساس شبکه عصبی LM-BP و برآورد نقطه بیش از حد توسط شمارش فواصل زمانی: شواهدی از بورس اوراق بهادار، مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۱۰(۳۹)، ۲۱۸-۱۹۳.

هال، جان (۱۳۸۴)، مبانی مهندسی مالی و مدیریت ریسک، ترجمه: سجاد سیاح و علی صالح آبادی، بخش تحقیقات شرکت کارگزاری مفید، تهران: گروه رایانه تدبیرپرداز.

Abbasi, E., & Abouec, A. (2018), "Stock price forecast by using neuro-fuzzy inference system", Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, No. 36, PP 320–323.

Atsalakis, G. S., & Valavanis, K. P. (2019), "Forecasting stock market short term trends using a neuro-fuzzy based methodology", Expert Systems with Applications, No. 36(3), PP 10696–10707.

Bley, J., (2019), "Are GCC Stock Markets Predictable?", Emerging Markets Review, Vol. 12, PP. 217–237.

Boyacioglu, M.C., Avci, D. (2010), "An Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS) for the prediction of stock market return: The case of the Istanbul Stock Exchange", Expert Systems with Applications, No. 37, pp 7908–7912.

Briatka, L., (2006), "How Big is Big Enough? Justifying Results of the i.i.d Test Based on the Correlation Integral in the Non-Normal World", Working Paper Series, ISSN. 1211-3298, No. 308, PP. 1-34.

Cadenas, Erasmo & Rivera, Wilfrido (2010), "Wind speed forecasting in three different regions of Mexico, using a hybrid ARIMA-ANN model", Renewable Energy, No. 35.

Chuang, W.I., Liu, H.H., Susmel, R., (2012), "The bivariate GARCH approach to investigating the relation between stock returns, trading volume, and return volatility", Global Finance Journal, In Press, Uncorrected Proof, Available online 13, Elsevier.

Guresen, Erkam & Kayakutlu, Gulgun & Daim, u. Tugrul (2021), "Using artificial neural network models in stock market index prediction", Expert Systems with Applications.

Jibendu Kumar Mantri, Dr. P.Gahan and B.B.Nayak, (2010), "Artificial neural networks- an application to stock market volatility", International Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 2(5), pp 1451-1460.

Kumar, Ujjwal & Jain, V. K (2010), "ARIMA forecasting of ambient air pollutants (O3, NO, NO2 and CO)", publisher: Springer.

Lee, J.W., Lee, K.E., Rikvold, P.A., (2004), "Multifractal Behavior of the Korean Stock market Index KOSPI", Working Paper.

Qui-yong Z., Xiaoyu Z., Duan F.(2015), "Prediction Model of Stock Prices Based on Correlative Analysis and Neural Networks", Second International Conference on Information and Computing Science, pp: 189-192, IEEE.

Rubio, O.B., Rivero, S.S., Rodriguez, F.F., (2012), "Non-Linear Forecasting Methods: Some Applications to the Analysis of Financial Series", Fundacion de Estudios Economia Aplicada (FEDEA), Vol. 01, PP. 1-23.

Tong-Seng Q. (2015), "Using Neural Network for DJIA Stock Selection", Engineering Letters, EL\_15\_1\_19, pp 15:31.

Xiu, J., Jin, Y., (2017), "Empirical Study of ARFIMA Model Based On Fractional Differencing", Physica-A, No. 377, PP. 137-184.

Yamashita T., Kotaro Hirasawa, Jinglu Hu (2017), "Application of Multi-Branch Artificial neural networks to Stock Market Prediction", Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, Montreal, Canada.

- Ying Wei, L., Liang Chen, T., Hwa Ho, T. (2020), "A hybrid model based on adaptive-network-based fuzzy inference system to forecast Taiwan stock market", *Expert Systems with Applications*, No. 38, pp 13625–13631.
- Zhou, Jian & Kang, Zhixin (2020), "A Comparison of Alternative Forecast Models of REIT Volatility", *Journal of Real Estate Finance Economics*, PP. 275-294.

## **Designing a Hybrid Model for Stock Price Prediction Based on Time Series and Deep Artificial Neural Network Models in Tehran Stock Exchange**

### **Zhila Ahmadi**

PhD Candidate in Financial Engineering, Department of Management, Kashan Branch, Islamic Azad University, Kashan, Iran  
jinaahmadi@yahoo.com

### **Hassan Ghodrati Ghaza'ani**

Assistant Professor, Department of Management, Kashan Branch, Islamic Azad University, Kashan, Iran  
(Corresponding Author)  
dr.ghodrati42@gmail.com

### **Mahdi Ma'danchi Zaj**

Assistant Professor, Department of Financial Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran  
ma.madanchi@iaua.ac.ir

### **Hossein Jabbari**

Assistant Professor, Department of Accounting and Management, Kashan Branch, Islamic Azad University, Kashan, Iran  
dr.hbmk@gmail.com

### **Ali Akbar Farzinfar**

Assistant Professor, Department of Accounting and Management, Kashan Branch, Islamic Azad University, Kashan, Iran  
aliakbarfarzinfar@gmail.com

### **Abstract**

This article aimed to predict stock prices in the Tehran Stock Exchange using time series and deep artificial neural network models. Forecasting, as one of the critical components of management decision-making, estimates the future events in order to mitigate the risk. Furthermore, forecasting is one of the most critical objectives of the financial and economic sciences. The accuracy of the forecast is also a critical factor in the selection of a forecasting model. Two models of Markov regime-switching and deep artificial neural network were employed in this study to forecast stock prices during the 2011-2021 period. The companies that were admitted to the Tehran Stock Exchange comprised the statistical population of the current investigation. The statistical sample includes 115 companies that were selected during the specified time frame. Results indicated that the designed hybrid model exhibited a higher predictive power than the time series and neural network models.

**Keywords:** Stock Price, Forecasting, Capital Market, Trading Volume, Regression, Deep Artificial Neural Network.

