فصلنامــه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گــذاری
سال هشتم/ شماره سی‌ام/ تابستان ۱۳۹۸

بررسی قدرت تبیین سنجه‌های ریسک طیفی، منسجم، انحراف و شبکه‌های عصبی مصنوعی و کاربرد آن‌ها در انتخاب سبد بهینه سرمایه‌گذاری در بورس اوراق بهادار تهران

حمیدرضا کاتبی
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مالی دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب، تهران، ایران.
Katebi57@chmail.ir

غلامرضا زمردیان
استادیار عضو هیأت علمی دانشکده مدیریت دانشگاه آزاد واحد تهران مرکز، تهران، ایران.(نویسنده مسؤل).
gh.zomorodian@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۰۹

چکیده

هدف مطالعه حاضر مقایسه کارایی مدل‌های شبکه عصبی و سنجه‌های موجود در دسته سنجه‌های ریسک در تشکیل پرتفوی بهینه است. ابتدا اطلاعات سری زمانی مربوط به نرخ بازده شرکت‌های مختلف طی سال‌های ۹۵-۱۳۸۶ از بانک‌های اطلاعاتی سازمان بورس و اوراق بهادار ایران گردآوری شده و در چارچوب مدل‌های شبکه عصبی و سنجه‌های ریسک طیفی، انحراف و منسجم با استفاده از آزمونهای کوپیک ، کریستوفرسن و لوپز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. از نتایج آزمونهای کوپیک و کریستوفرسن برای مدل‌های شبکه عصبی و CVaR مشخص گردید مقدار آماره آزمون LR برای تمامی گروه شرکت‌های تحت بررسی بزرگ‌تر از مقدار بحرانی است؛ بر این اساس نتیجه‌گیری شد که عملکرد مدل‌های شبکه عصبی و معیار CVaR در سطح معنی‌داری ۵ درصد برای تمامی گروه شرکت‌ها قابل استناد می‌باشد و برای سنجه SE، آماره آزمون LR برای تمامی گروه شرکت‌ها کوچک‌تر از مقدار بحرانی است؛ که گویای آن است که عملکرد معیار SE برای تمامی گروه شرکت‌ها در سطح معنی‌داری ۵ درصد قابل استناد نمی‌باشد. از سوی دیگر، بر اساس نتایج آزمون کوپیک و کریستوفرسن برای سنجه VaR نیز، مقدار آماره آزمون LR برای شش گروه شرکت بزرگ‌تر از مقدار بحرانی و برای چهار گروه شرکت کوچک‌تر از مقدار بحرانی بوده است. بر این اساس می‌توان گفت که در مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی متوسط تعداد تخطی‌ها یا حالت استثنا در سطح معنی‌داری ۵ درصد کمتر از سنجه‌های ریسک طیفی، انحراف و منسجم می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ریسک طیفی، ریسک انحراف، ریسک منسجم، آزمون کوپیک، آزمون کریستوفرسن.

۱- مقدمه

سرمایه‌گذاری یکی از عوامل کلیدی در رشد اقتصادی کشورها محسوب می‌شود و بازار سرمایه به عنوان یکی از مهم‌ترین گزینه‌های سرمایه‌گذاری، جایگاه مناسبی برای جذب سرمایه‌ها بـه شـمار مـی‌رود و سـرمایه‌گـذاران حقیقی و حقوقی با در نظر گرفتن درجه ریسک‌پذیری و بازده مورد انتظار، سهام مورد نظر را انتخاب مـی‌کننـد. اعتماد و ثبات در بازار سرمایه و ارزش‌گذاری صحیح قیمت سهام می‌تواند به جذب هر چه بیشتر سرمایه کمـک کند و سرعت گردش معاملات و قدرت نقدشوندگی را افزایش دهد. در بازار سرمایه متنوع ساختن سـبد سـرمایه به عنوان راهکاری برای کاهش ریسک است، اما ممکن است به از دست دادن مقداری از بازده مورد انتظار منجر شود. در واقع، هرچه یک دارایی دارای بازده بالاتری باشد، ریسک بالاتری نیز دارد. در مـورد سـهام، راهکارهـای افزایش پراکندگی، پیشنهاد می‌کنند که هم‌زمان با سهامی که انتظار افزایش قیمت آن می‌رود؛ سهامی که رابطه معکوس با حرکات قیمتی سهم مورد نظر دارد نیز خریداری شود. هرچند کـه انتظـار مـی‌رود قیمـت سـهم دوم کاهش یابد؛ لیکن در جهت کاهش ریسک لازم است که این سهم نیز در سبد سرمایه قرار گیرد. به ایـن ترتیـب، در صورتی که قیمت‌ها مورد انتظار افزایش یابد؛ بازده سبد از بازده مورد انتظار سهم اول کمتر خواهد بود؛ لیکن در صورت کاهش قیمت‌ها، میزان ضرر متحمل شده توسط سبد نیز از میزان ضرر سهم اول کمتر خواهد بود. بـه این ترتیب، برای تشکیل سبد بهینه سرمایه‌گذاری، علاوه بر وارد کردن سهام مختلف به سبد، باید ریسک و بازده هر سهم و همچنین چگونگی وابستگی خطی قیمت سهام با یکدیگر مـورد توجـه و بررسـی قـرار گیـرد (کیـانی هرچگانی و همکاران، ۱۳۹۳). تئوری سبد سرمایه‌گذاری مارکویتز، با در نظر گرفتن هر سه مؤلفه ریسک، بازده و همبستگی، به بهینه‌سازی سبد سرمایه در سطوح مختلف ریسک و بازده مـی‌پـردازد. بـه بیـان دقیـق‌تـر، مـدل مارکویتز یک جواب بهینه به عنوان پاسخ مسئله تشکیل سبد سرمایه‌گذاری ارائه نمی‌کنـد؛ بلکـه مجموعـه‌ای از جواب‌ها را با توجه به میزان ریسک‌پذیری فرد سرمایه‌گذار تحت عنوان مرز کارا ارائه می‌دهد. روی مرز کـارا، بـه ازای سطح مشخصی از بازده، می‌توان سبد دارای کمترین ریسک و به ازای سطح مشخصی از ریسک، مـی‌تـوان سبد دارای بیشترین بازده را شناسایی کرد. به این ترتیب، انتخـاب جـواب بهینـه از روی مـرز کـارا، وابسـته بـه تمـایلات شخصـی سـرمایه‌گـذار خواهـد بـود (طالـب‌نیـاء و فتحـی، ۱۳۸۹). پـس از مـارکویتز، تئـوری سـبد سرمایه‌گذاری، به خصوص از بعد سنجه ریسک مورد انتقاد قرار گرفت. محققان اعتقاد داشتند که واریانس معیار خوبی برای سنجش ریسک نیست، چرا که حتی زمانی که بازده تاریخی از میانگین بازده بالاتر باشد، ایـن مقـدار اختلاف را به عنوان نوسان نامطلوب ثبت کرده و به واریانس اضافه می‌کند. این در حالی است که نوسانات مثبـت یا کسب بازده بالاتر از میانگین مطلوب سرمایه‌گذاران است و نباید حداقل سازی شود. برای رفع ایـن مشـکل از معیارهایی همچون نیمه واریانس و یا تکنیک‌هایی مثل سبد سرمایه‌گذاری سه هدفه با در نظـر گـرفتن چـولگی استفاده شد. مشکل بنیادین دیگری که در ادامه برای سرمایه‌گذاران پیش آمـد، ایـن بـود کـه واریـانس مفهـوم مشخصی از میزان ضرر را القا نمی‌کند. واریانس از نظر مفهومی فاصله‌ای از میانگین بازده است که در آن فاصله، ۶۸٪ بازده‌ها قرار می‌گیرند و بالاتر بودن آن به معنای زیادتر بودن این فاصله و قاعـدتاً بیشـتر بـودن پراکنـدگی بازده سهام است. اما این عدد از نظر ریاضی و آماری تعریف شده است و لذا برای سرمایه‌گذاران مفهـوم منطقـی

مشخصی ندارد. برای رفع این مشکل، سنجه‌های زیادی از جمله سنجه‌های ریسک طیفی معرفی شدند (نصرتی و پاکیزه، ۱۳۹۳). به صورت کلی سنجه‌های ریسک معرفی شده تا به امروز در سه دسته کلی سنجه‌های ریسک انحراف، سنجه‌های ریسک منسجم و سنجه‌های ریسک طیفی قرار می‌گیرند. از زمان شناسایی نواقص ذکر شده، همواره نظریه‌ها و مدل‌های جدید در باب سنجش ریسک و پیش‌بینی آن معرفی شدند. در باب سنجش ریسک، محققان به برآورد ریسک سرمایه‌گذاری با استفاده از سنجه‌های مختلف پرداخته و آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کرده‌اند (طالب‌نیاء و فتحی، ۱۳۸۹). در تحقیقات انجام شده تا به این زمان، اندازه‌گیری ریسک‌های طیفی در مقالات متعددی انجام شده است؛ اما بررسی و اندازه‌گیری این ریسک‌ها آن‌چنان که باید، به صورت کاربردی مورد توجه ویژه قرار نگرفته است. بر این اساس در این تحقیق، با استفاده از سنجه‌های موجود در دسته سنجه‌های ریسک طیفی، کارایی این سنجه‌ها با کارایی سنجه‌های تعریف شده در دسته سنجه‌های ریسک انحراف، سنجه‌های ریسک منسجم و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی مقایسه شده است و این سنجش کارایی، نیز از طریق آزمون کوپیک، کریستوفرسن و لوپز صورت پذیرفته است.

۲- مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

انتخاب سبد سرمایه‌گذاری، به معنای توزیع میزان مشخصی سرمایه در میان تعداد محدودی از فرصت‌های سرمایه‌گذاری به منظور بیشنه کردن بازده و در عین حال کنترل ریسک می‌باشد. اگرچه مزایای پراکنده‌سازی برای مدیریت ریسک برای مدت زمان بسیار زیادی شناخته شده بود؛ مارکویتز (۱۹۵۲) برای اولین بار در این زمینه، یک مدل ریاضی به منظور بهینه‌سازی مسئله سبد سرمایه پیشنهاد کرد که در آن، بازده به عنوان بازده مورد انتظار سبد و ریسک به معنای واریانس بازده حول میانگین تاریخی خود تعبیر شد. به صورت تجربی، مشاهده شد که اگر بازده به صورت نرمال توزیع شده باشد، واریانس معیار مناسبی برای سنجش ریسک می‌باشد؛ همچنین، واریانس به میزان دنباله توزیع حساس نبوده و به این ترتیب، با وجود نرمال بودن، واریانس نمی‌تواند به عنوان سنجه ریسک در مورد توزیع‌های با دنباله سنگین[۱] استفاده شود. تعداد زیادی سنجه ریسک برای حل مشکل مذکور که توانایی گرفتن اثرات دنباله‌های سنگین را داشته باشند، معرفی و توسعه داده شدند. ارزش در معرض خطر[۲] (VaR) یکی از این سنجه‌ها می‌باشد که مفهوم آن، دهک[۳] مشخصی از توزیع ضرر[۴] سبد می‌باشد (جوریون[۵]، ۲۰۰۶). ارزش در معرض خطر یکی از معیارهای پر استفاده در تحقیقات می‌باشد؛ به گونه‌ای که استفاده از آن برای بانک‌ها طبق پیمان بازل[۶]، اجباری می‌باشد. با این حال، نواقصی نیز برای استفاده از این معیار وجود دارد؛ از این جمله می‌توان به این موضوع اشاره کرد که ارزش در معرض خطر، تنها به احتمال رخ دادن ضررهای موجود در دنباله توزیع ضرر بستگی دارد و مکان قرارگیری این ضررها در توزیع را مورد توجه قرار نمی‌دهد. همچنین، ارزش در معرض خطر یک سنجه محدب[۷] نبوده و لذا، استفاده از آن در مدل مارکویتز باعث نیاز به مسائل عدد صحیح[۸] داشته و حل آن را مشکل می‌کند.

ارزش در معرض خطر شرطی[۱] و ریزش مورد انتظار[۲] معیارهای سنجش ریسک بسیار نزدیک به ارزش در معرض خطر هستند که دو نقیصه ذکر شده برای آن را نیز پوشش می‌دهند. این دو معیار، هر دو از سنجه‌های ریسک منسجم بوده و در عین محدب بودن، با استفاده از برنامه‌ریزی خطی[۳] قابل محاسبه می‌باشند (اباد[۴]و ینگار، ۲۰۱۴). تئوری سنجه‌های ریسک، در طول دو دهه اخیر تغییرات بسیار زیادی داشته است. آرتزنر[۵] و همکاران در سال ۱۹۹۹ مجموعه‌ای از شروط اولیه[۶] را تعبیه نمودند که سنجه‌های ریسک مورد استفاده در زمینه بانکداری، باید از لحاظ منطقی دارا باشند. سنجه‌های ریسک طیفی، تمامی این شروط را پوشش داده و تنها دسته‌ای از سنجه‌های ریسک هستند که هر شش شرط ذکر شده توسط آرتزنر را شامل می‌شوند. سنجه‌های ریسک طیفی، به طور کلی با اختصاص یک تابع وزنی به دهک‌های ضرر، به گونه‌ای که اوزان تخصیص داده شده روند نزولی دارند؛ میزان ضرر مورد انتظار سبد سرمایه‌گذاری را تعیین می‌کنند (آکربی و تاسش، ۲۰۰۲).

از جمله تحقیقات انجام شده مورد توجه در سال‌های اخیر که به زمینه استفاده از سنجه‌های ریسک طیفی به خصوص در مبحث سبد سرمایه‌گذاری پرداخته‌اند؛ می‌توان به آدام و همکاران (۲۰۰۸) اشاره کرد؛ آن‌ها با بررسی بازده تاریخی صندوق‌های پوشش ریسکی[۷] که تابع ضرر آن‌ها نرمال نبوده‌اند؛ به بررسی مسئله بهینه‌سازی سبد سرمایه به صورت استوار[۸] تحت محدودیت ریسک پرداخته‌اند. نتایج به دست آمده نشان دهنده این موضوع بوده است که استفاده از سنجه‌هایی که ریسک را بیشتر تخمین می‌زنند؛ منجر به بیشتر پراکنده شدن سبد بهینه‌سازی می‌شود. چن (۲۰۱۴) به بررسی و اندازه‌گیری ریسک بازار تحت پیمان بازل با استفاده از سنجه‌های ارزش در معرض خطر، ارزش در معرض خطر استرس شده[۹] و ریزش مورد انتظار پرداخت. در این مطالعه، با بررسی خواص سنجه‌های ریسک منسجم و طیفی پرداخته شده و ریزش مورد انتظار به عنوان یکی از رهیافت‌های توسعه داده شده به ارزش در معرض خطر، در دسته سنجه‌های ریسک منسجم قرار گرفته است که به خوبی قدرت تبیین ریسک را دارد. وانگ و همکاران (۲۰۱۵) به ارائه یک سنجه ریسک مقعر پرداخته و در ادامه، به تشکیل سبد سرمایه بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک مبادرت ورزیده‌اند. سنجه ریسک معرفی شده، ریزش مورد انتظار موزون[۱۰] بوده که در دسته سنجه‌های ریسک طیفی قرار می‌گیرد. نتایج به دست آمده نشان دهنده کارایی منطقی روش پیشنهادی بوده است. در میان تحقیقات داخلی نیز می‌توان به مطالعه سجاد و گرجی (۱۳۹۱) اشاره کرد که در آن ارزش در معرض خطر با استفاده از روش باز نمونه‌گیری بوت استرپ[۱۱] برآورد شد. آن‌ها از مفهوم ارزش در معرض خطر جهت محاسبه حداکثر ضرر مورد انتظار در مدل GHARCH استفاده کرده و با فرض این موضوع که بازده دارایی‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کند، اقدام به تصحیح تورش برآورد روش GHARCH با استفاده از روش بوت استرپ پرداختند. نتایج نشان دهنده کاهش میزان خطای برآورد ارزش در معرض خطر نسبت به روش کلاسیک بوده است. نبوی چاشمی و همکاران (۱۳۹۱) به رتبه‌بندی تخمین زننده‌های شرطی با استفاده از تاپسیس فازی[۱۲] پرداختند. آن‌ها در ابتدا سنجه‌های مختلف ارزش در معرض خطر را محاسبه و لیست کرده و سپس بسته به توانایی آن‌ها در تخمین سبد سرمایه‌گذاری بهینه با بازده مناسب، سنجه‌ها را رتبه‌بندی نمودند. طبسی و فلاح‌پور (۱۳۹۲) در تحقیقی با عنوان برآورد ارزش در معرض خطر با

استفاده از مدل ترکیبی به پیش بینی نوسانات شاخص کل و شاخص پنجاه شرکت برتر بر اساس ارزش در معرض خطر پرداخته‌اند و عملکرد آن را با استفاده از آزمون لوپز مورد سنجش قرار داده و آن را با مدل‌های سنتی مقایسه کرده‌اند و رأی به عملکرد مناسب‌تر روش پیشنهادی داده‌اند.

۳- فرضیه‌های پژوهش

فرضیه‌های این تحقیق عبارت است از:

- بین عملکرد سنجه‌های ریسک طیفی و سنجه‌های ریسک انحراف تفاوت معنی‌داری وجود دارد.
- بین عملکرد سنجه‌های ریسک طیفی و سنجه‌های ریسک منسجم تفاوت معنی‌داری وجود دارد.
- بین مرز کارای به وجود آمده توسط سنجه‌های طیفی، منسجم، انحراف و شبکه‌های عصبی مصنوعی تفاوت معنی‌داری وجود دارد.

۴- روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از لحاظ هدف کاربردی و از لحاظ ماهیت، یک پژوهش توصیفی است، زیرا از یک طرف وضع موجود را بررسی می‌کند و از طرف دیگر، رابطه بین متغیرهای مختلف را با استفاده از آزمون کوپیک، کریستوفرسن و لوپز بررسی می‌نماید. در این پژوهش ابتدا نرمالیتی و پایایی متغیرها بررسی خواهد شد؛ سپس با توجه به نتایج حاصله، با استفاده از آزمون کوپیک و کریستوفرسن عملکرد سنجه‌های ریسک طیفی، انحراف، منسجم و نیز مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی بررسی و در نهایت با استفاده از آزمون لوپز سنجه‌های ریسک فوق به لحاظ عملکرد و بهینگی رتبه‌بندی می‌شوند. علاوه بر این، مطالعه حاضر، در حوزه مطالعات پس رویدادی (استفاده از اطلاعات گذشته) قرار می‌گیرد و مبتنی بر اطلاعات واقعی است که نتایج آن با روش استقرایی به کل جامعه آماری قابل تعمیم خواهد بود. در مطالعه حاضر جهت رسیدن به اهداف مورد نظر گام‌های زیر انجام می‌شود:

۱) جمع آوری داده‌های مربوط به قیمت و استخراج بازده مربوطه به شرکت‌های مختلف در دوره زمانی ۹۵-۱۳۸۶.

۲) انتخاب معیارهای سنجش برای هر یک از سنجه‌های ریسک طیفی، انحرافی و منسجم.

۳) تخمین هر یک از سنجه‌ها برای شرکت‌های انتخاب شده در نمونه تحت بررسی.

۴) مدل‌سازی ریسک در چارچوب مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی.

۵) مقایسه عملکرد و رتبه‌بندی سنجه‌های مختلف ریسک با استفاده از آزمون کوپیک، کریستوفرسن و لوپز.

دسته‌های ایجاد شده برای سنجه‌های ریسک و دسته‌بندی‌هایی که می‌توان روی آن‌ها انجام داد، بسیار گسترده بوده و شامل سنجه‌های ریسک پدرسون و سچل[1]، سنجه‌های ریسک منسجم، سنجه‌های ریسک محدب، سنجه‌های ریسک طیفی، سنجه‌های ریسک انحراف، سنجه‌های ریسک پارامتریک، سنجه‌های ریسک

کوانتیل و دسته‌های متعدد دیگر می‌شوند. به این ترتیب، یک سنجه ریسک عملاً می‌تواند در چند دسته از سنجه‌ها قرار گیرد. در ادامه، به معرفی سنجه‌های ریسک مورد نظر این تحقیق شامل ارزش در معرض خطر (VaR)، ارزش در معرض خطر شرطی (CVaR) و واریانس پرداخته شده و نحوه محاسبه آن‌ها شرح داده می‌شود.

۴-۱- ارزش در معرض خطر (VaR)

ارزش در معرض خطر معمولا" به صورت یک آستانه برای ضرر احتمالی سبد سرمایه‌گذاری تعریف می‌گردد و یکی از پراستفاده‌ترین سنجه‌های ریسک در زمینه‌های مالی شامل مدیریت ریسک، کنترل مالی[۱]، گزارش‌های مالی[۲] و محاسبات تنظیمی سرمایه[۳] می‌باشد. توسعه‌های مختلف داده شده روی این سنجه، باعث ایجاد سنجه‌هایی نظیر ارزش در معرض خطر شرطی، ارزش در معرض خطر آنتروپی و ارزش مورد انتظار[۴] شده است. نحوه محاسبه این سنجه مطابق رابطه (۱) می‌باشد:

$$VaR_\alpha(L) = \lim_{L\to\infty} P(L > l) \leq 1 - \alpha \qquad (۱)$$

در این رابطه، L متغیر تصادفی ضرر سبد سرمایه‌گذاری و l آستانه تعیین شده برای میزان ضرر سبد می‌باشد. همچنین $1-\alpha$ سطح اطمینان مورد نظر می‌باشد. این سنجه، یکی از سنجه‌های ریسک منسجم می‌باشد.

۴-۲- ارزش در معرض خطر شرطی (CVaR)

این سنجه که با نام‌های ریزش مورد انتظار و ارزش در معرض خطر میانگین نیز شناخته می‌شود؛ به عنوان جانشینی برای ارزش در معرض خطر که به شکل توزیع متغیر تصادفی حساسیت بالایی داشت، توسعه داده شد. این سنجه که در سنجه‌های ریسک طیفی قرار می‌گیرد؛ به صورت رابطه (۲) محاسبه می‌گردد:

$$ES_\alpha = \int_0^\alpha VaR_\gamma(X)d\gamma = -1/\alpha(E[X\,1\{X \leq x_\alpha\}] + x_\alpha(\alpha - P[X \leq x_\alpha])) \qquad (۲)$$

در این رابطه، x_α کوانتیل α پایین داده‌ها و 1 متغیر باینتری نشان دهنده حضور یا عدم حضور در بازه مورد نظر است که در این فرمول قرار داشتن X در کوانتیل پایین داده‌ها می‌باشد؛ همچنین، X همان متغیر تصادفی توزیع ضرر سبد سرمایه‌گذاری می‌باشد.

۴-۳- واریانس

واریانس، قدیمی و پرکاربردترین سنجه ریسک در ادبیات کلاسیک مدیریت و اندازه‌گیری ریسک مالی بوده است. این سنجه به عنوان ریسک سبد سرمایه‌گذاری، اولین بار توسط مارکویتز در مدل بهینه‌سازی سبد سرمایه به کار برده شد و در واقع، گشتاور مرکزی دوم توزیع بازده سبد سرمایه‌گذاری می‌باشد. به این ترتیب، می‌توان واریانس را با استفاده از رابطه (۳) محاسبه کرد:

$$\sigma^2 = E[(\mathrm{X} - \bar{X})^2] \quad (۳)$$

استفاده از واریانس به عنوان سنجه ریسک، انتقادات زیادی را همراه داشت. از جمله این انتقادات، عدم انعطاف‌پذیری این سنجه نسبت به نوع توزیع بازده و در نظر گرفتن بازده بالاتر از حد مورد انتظار به عنوان ریسک سرمایه‌گذاری بوده است. لیکن به دلیل سادگی محاسباتی و مفهومی، این سنجه به پرکاربردترین سنجه ریسک مدیریت ریسک کلاسیک تبدیل شد.

۴-۴- آزمون کوپیک

پیش از محاسبه ارزش در معرض ریسک ضروری است تا آزمون راست آزمایی و اطمینان برای این که آیا مدل VaR به کار گرفته شده به میزان کافی ریسک واقعی حدی را نشان می‌دهد یا خیر، انجام شود. برای این منظور، معمولاً آزمون اطمینان که توسط کوپیک[۱] (۱۹۹۵) معرفی شده، به کار گرفته می‌شود. برای انجام آزمون کوپیک از آماره نسبت راستنمایی (LR_{POF}) استفاده می‌شود که دارای توزیع کای دو می‌باشد. فرمول این آزمون به صورت رابطه (۴) می‌باشد.

$$LR_{\mathrm{POF}} = 2\ln\left(\frac{V^f(1-V)^{T-f}}{a^f(1-a)^{T-f}}\right) \quad (۴)$$

در رابطه فوق، f، بیان‌گر تعداد شکست‌ها یا تعداد دفعاتی است که زیان واقعی از زیان برآورد شده توسط VaR بزرگ‌تر است. T نیز بیان‌گر تعداد پیش‌بینی‌های انجام شده توسط مدل VaR، V نسبت شکست و a سطح خطا یا معنی‌داری می‌باشد. پس از محاسبه مقدار آماره نسبت راستنمایی، مقدار آماره آزمون با مقدار بحرانی مقایسه شده و در صورتی که مقدار آماره LR بزرگ‌تر از مقدار بحرانی باشد، فرضیه صفر مبنی بر مناسب بودن مدل VaR در سطح معنی‌داری مورد نظر تائید شده و در نتیجه نتایج مدل قابل استناد و مناسب می‌باشد (جلالی نائینی و همکاران، ۱۳۹۲).

۴-۵- آزمون کریستوفرسن

این آزمون شناخته‌شده‌ترین آزمون پوشش شرطی می‌باشد که توسط کریستوفرسن[۲] (۱۹۹۸) ارائه شده است. آزمون کریستوفرسن علاوه بر نرخ صحیح پوشش، احتمال وابستگی یک استثنا در یک روز بر بازده روز گذشته را نیز مورد بررسی قرار می‌دهد. آزمون کریستوفرسن استقلال شکست‌ها و پیروزی‌ها را از یکدیگر نشان می‌دهد، به عبارتی نشان می‌دهد که شکست‌ها و پیروزی‌ها ارتباطی با یکدیگر دارند و یا ندارند. آماره مربوطه این آزمون برای استقلال استثنائات نسبت درست نمایی است که به صورت رابطه (۵) محاسبه می‌شود. اگر آماره

محاسبه شده توسط این آزمون از آماره مقدار بحرانی کای دو در سطح اطمینان مورد نظر کمتر باشد، نشان دهنده این موضوع است که شکست‌ها و پیروزها از یکدیگر مستقل می‌باشند.

$$LR_{ind} = 2Ln\frac{(1-\hat{\pi}_{01})^{T00}\hat{\pi}_{01}^{T01}(1-\hat{\pi}_{11})^{T10}\hat{\pi}_{11}^{T11}}{\hat{a}^{T1}(1-\hat{a})^{T0}} \quad (۵)$$

با ترکیب این آماره استقلال با آزمون کوپیک (LR_{POF})، می‌توان آزمون توامی را بـه دسـت آورد کـه هـر دو ویژگی یک مدل ارزش در معرض ریسک خوب – نرخ شکست صحیح و استقلال استثنائات یا پوشش شرطی- را مورد بررسی قرار می‌دهد. این آزمون توام را می‌توان به صورت رابطه (۶) بیان نمود:

$$LR_{CC} = LR_{ind} + LR_{POF} \quad (۶)$$

(جلالی نائینی و همکاران، ۱۳۹۲).

۴-۶- آزمون لوپز

آزمون کوپیک دقت مدل‌های ارزش در معرض ریسک را به لحاظ آماری مورد بررسی قرار می‌دهد. چنان چه دقت یک مدل به لحاظ آماری رد نشود، مدل قابل قبول خواهد بود. اما در بسـیاری از مـوارد چنـدین مـدل در اختیار داریم و پس آزمون‌ها دقت برخی از آن‌ها را مورد تائید قرار می‌دهد. بدیهی است که در این هنگام انتخاب از میان مدل‌های تائید شده به عنوان مسئله‌ای پیش روی مدیریت ریسک قرار می‌گیرد و لذا در این هنگام می‌توان از آزمون لوپز[1] استفاده نمود. آزمون لوپز بر اساس تابع زیان محاسبه و به صورت رابطه (۷) تعریف می‌شود:

$$C = \begin{cases} 1if \rightarrow L_t > VaR_t \\ 0if \rightarrow L_t \le VaR_t \end{cases} \quad (۷)$$

بر اساس رابطه فوق در صورتی که میزان زیان واقعی در یک روز بیشـتر از مقـدار ارزش در معـرض ریسـک باشد، بیان‌گر حالت استثنا یا وضعیت تخطی بوده و برای آن روز مقدار عددی یک و در غیر ایـن صـورت مقـدار صفر در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس در آزمون لوپز تعداد تخطی‌ها یا اسـتثناها محاسـبه شـده و سـپس بـا توجه به تابع درجه دوم زیر مدل‌ها رتبه‌بندی می‌شوند. هر مدلی که دارای تخطی کمتری باشد، رتبه آن مناسب بوده و لذا به عنوان مدل بهینـه در بـرآورد ارزش در معـرض ریسـک انتخـاب مـی‌شـود (رهنمـای رودپشـتی و قندهاری، ۱۳۹۴).

۴-۷- روش و ساختار شبکه‌های عصبی مصنوعی

امروزه با توسعه روش‌های هوش مصنوعی در برآورد پارامترهای گونـاگون، مـدل‌هـای همچـون شـبکه‌هـای عصبی مصنوعی با توجه به ویژگی‌هایی چون سرعت بـالا، مصـونیت در برابـر نـویز، قابلیـت تعلـیم و عمومیـت و مقاومت در برابر تغییر پارامترها، قابلیت خود را به منزلـه ابـزاری قدرتمنـد نشـان داده‌انـد و بـرای حـل مسـائل

غیرخطی و پیچیده، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. یک شبکه عصبی مصنوعی، ایده‌ای است برای پردازش اطلاعات که از سیستم عصبی زیستی الهام گرفته شده و مانند مغز به پردازش اطلاعات می‌پردازد و با اغماض زیاد می‌توان آن‌ها را مدلی الکترونیکی از ساختار عصبی مغز انسان نامید و در واقع، با تقلید از شبکه‌های عصبی بیولوژیکی مثل مغز انسان ساخته شده‌اند و با ترکیب ویژگی‌هایی همچون قدرت یادگیری، تعمیم‌دهی به داده‌های جدید، پردازش موازی و تصمیم‌گیری، قابلیت حل کامل مسائلی پیچیده با ماهیتی خطی یا غیرخطی را دارند (نقاده و فیروزان، ۱۳۹۶). شبکه عصبی با استفاده از ساختار محاسباتی پیچیده ارتباط درون نرون‌ها، توانایی واکنش به تغییرات و تطابق با محیط داده‌ها را به وجود می‌آورد. شبکه عصبی مصنوعی با پردازش داده‌های موجود، دانش یا قوانین نهفته در ورای داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کند و بر اساس محاسبت بر روی داده‌های عددی یا مثال‌ها، قوانین کلی را فرا می‌گیرد (زراء نژاد و حمید، ۱۳۸۸).

شبکه عصبی یک سیستم پردازش اطلاعات است که دارای ویژگی‌های مشترکی با شبکه‌های عصبی طبیعی است. شبکه عصبی مصنوعی تعمیم یافته مدل‌های ریاضی تشخیص انسان بر اساس زیست شناسی عصبی هستند و بر پایه فرضیات زیر استوار است (فاست، ۱۳۹۲):

۱) پردازش اطلاعات در اجزای ساده‌ای با تعداد فراوان، به نام نرون‌ها[1] صورت می‌گیرد.
۲) سیگنال‌ها در بین نرون‌های شبکه از طریق پیوندها یا اتصالات[2] آن‌ها منتقل می‌شوند.
۳) هر پیوند وزن[3] مربوط به خود را دارد که در شبکه‌های عصبی رایج، در سیگنال‌های انتقال یافته از آن پیوند ضرب می‌شود.
۴) هر نرون یک تابع فعال‌سازی[4] (معمولاً غیرخطی) را بر روی ورودی‌های خود که جمع وزن‌دار سیگنال‌های ورودی است، اعمال می‌کند تا سیگنال خروجی خود را تولید نماید.

با توجه به فرضیات فوق می‌توان یک شبکه عصبی را با ویژگی‌های زیر مشخص نمود (فاست، ۱۳۹۲):

۱) الگوی پیوندهای بین نرون‌های مختلف آن شبکه که ساختار یا معماری شبکه نامیده می‌شود.
۲) روش تعیین وزن‌های روی پیوندهای شبکه که آن را الگوریتم آموزش یا یادگیری می‌نامند.
۳) تابع فعال‌سازی شبکه که هر نرون روی ورودی‌های خود اعمال می‌کند.

یک شبکه عصبی متشکل از تعداد بسیار زیادی اجزای پردازشگر ساده است که نرون، واحد، سلول یا گره نامیده می‌شود. هر نرون به وسیله پیوندها یا یال‌های جهت‌داری که هر یک وزن مربوط به خود را دارند، به نرون‌های دیگر وصل می‌شود. این وزن‌ها اطلاعات به کار رفته توسط شبکه برای حل مسئله را نشان می‌دهند. هر نرون یک حالت درونی دارد که فعال‌سازی یا سطح فعالیت آن نامیده می‌شود و تابعی از ورودی‌های دریافتی آن است. به طور مثال یک نرون، فعال‌سازی خود را در قالب یک سیگنال به چندین نرون دیگر منتقل می‌کند. باید توجه کرد که یک نرون می‌تواند در هر لحظه فقط یک سیگنال بفرستد که این سیگنال می‌تواند به چندین نرون دیگر فرستاده شود (فاست، ۱۳۹۲).

از مهم‌ترین ویژگی‌های شبکه‌های عصبی، قابلیت یادگیری آن‌ها است. قابلیـت یـادگیری عبـارت از توانـایی تنظیم پارامترهای شبکه در مسیر زمان و با شرایط مختلف است؛ با این هدف که شبکه آموزش داده شـده بـرای یک وضعیت خاص، علیرغم تغییرات کوچک شرایط محیطی، بتواند کارآمدی خود را حفظ کند. پـس از آمـوزش لازم، شبکه می‌تواند در صورت برخورد با یک ورودی جدید که در جریان آمـوزش بـا آن مواجـه نشـده باشـد، از فرایند درون‌یابی استفاده کند و خروجی مناسبی را ارائه نماید. به عبارت دیگر، شبکه بر اساس آموزش، الگوریتم را می‌آموزد و رابطه تحلیل مناسبی را برای تعدادی از نقاط در فضا به دست می‌آورد (منهاج، ۱۳۸۷).

خصوصیت دیگر این مدل‌ها حساسیت کمتر آن‌ها نسبت به وجود خطا در ورودی‌ها به علت پردازش توزیعی اطلاعات می‌باشد. در این سیستم فعالیت‌های پیچیده با ساختاری موازی انجام می‌شـود و بـه جـای آنکـه تمـام فعالیت‌ها را یک واحد محاسباتی انجام دهد، تعداد زیادی واحدهای محاسبات ساده به صورت مشترک انجـام آن را به عهده دارند. این تقسیم کار پیامد مثبت دیگری نیز در پی دارد و آن این است که چون تعداد زیادی نـرون در یک زمان درگیر فعالیت هستند، سهم هر یک از نرون‌ها چندان حائز اهمیت نیست. بنـابراین وجـود خطـا در یکی از آن‌ها و نتیجه آن تأثیر چندانی بر روی سایر واحدهای محاسباتی نخواهد داشت (طرازکار، ۱۳۸۴). پس از آنکه مثال‌های اولیه به شبکه آموزش داده شد، شبکه می‌تواند در مقابل یک ورودی آموزش داده نشده قرار گیرد و یک خروجی مناسب ارائه نماید.

یک شبکه عصبی معمولاً از سه لایه ورودی، پنهان و خروجی تشکیل شده است. لایه ورودی فقط اطلاعـات را دریافت می‌کند و مشابه متغیر مستقل عمل می‌کند. لذا تعداد نرون‌های لایه ورودی بر اساس طبیعت مسـئله تعیین می‌شود و بستگی به تعداد متغیرهای مستقل دارد. لایه خروجی نیز همانند متغیر وابسـته عمـل کـرده و تعداد نرون‌های آن بستگی به تعداد متغیرهای وابسته دارد. اما بر خلاف لایه‌های ورودی و خروجی، لایـه پنهـان هیچ مفهومی را نشان نمی‌دهد و صرفاً یک نتیجه میانی در فرایند محاسبه ارزش خروجـی هسـتند. محققـین از روابط مختلفی از جمله $2n+1, 2n, n, n/2$ برای تعیین تعداد نرون‌های لایه مخفی استفاده نموده‌اند که در ایـن روابط n تعداد نرون‌های لایه ورودی می‌باشد. اما هیچ کدام از روابط فـوق بـرای تمـام مسـائل کـارایی ندارنـد و بهترین روش جهت تعیین تعداد نرون بهینه روش آزمون و خطاست (نجفی و طرازکار، ۱۳۸۵). هر یک از نرون-ها، ورودی‌ها را دریافت نموده و پس از پردازش روی آن‌ها، یک سیگنال خروجی تولید می‌نمایند. لذا هر نرون در شبکه به عنوان مرکز پردازش و توزیع اطلاعات عمل مـی‌کنـد و ورودی و خروجـی مخصـوص بـه خـود را دارد (مهرابی بشرآبادی و کوچک‌زاده، ۱۳۸۸).

مدل ریاضی تک نرونی که در شبکه‌های عصبی مورد استفاده قرار می‌گیرد در شکل (۸) نشان داده شـده اسـت. تابع نهاده-ستانده مربوط به این نرون به صورت زیر نشان داده می‌شود (امینیان، ۲۰۰۷):

$$y(x,r) = a = F(n) \qquad (۸)$$

اگر $a=F(n)=n$ باشد، تک نرون به صورت خطی عمـل مـی‌کنـد. در حـالی کـه $a=F(n)\neq n$ باشـد، نـرون رفتـار غیرخطی خواهد داشت. تابع فعال‌سازی نرون ($a=F(n)$) به وسیله طراح شبکه انتخاب می‌شود.

نرون‌ها بلوک‌های تشکیل دهنده شبکه عصبی‌اند که کار پیچیده‌ای انجام می‌دهند. یک شبکه عصبی ممکن است شامل چندین لایه نرون باشد که این نرون‌ها در لایه‌های مختلف یا یکسان از طریق وزن‌های قابل تنظیم به هم می‌پیوندند. وضعیت اتصال نرون‌ها، تعداد لایه‌ها، تعداد نرون‌ها در هر لایه و انتخاب تابع فعال‌سازی هر نرون، مجموعا معماری شبکه عصبی را تعریف می‌کنند. شبکه عصبی به عنوان یک ابزار مهم برای مطالعه مسائل زیادی در علوم مختلف استفاده می‌شود. یک مسئله مهم مدل‌سازی داده‌ها و پیش‌بینی است. مجموعه داده‌ها به صورت $(x_1,y_1),(x_2,y_2)\ldots\ldots\ldots(x_n,y_n)$ در دسترس است؛ اما تابع فعال‌سازی اساسی از داده‌های ورودی x_i به داده-های خروجی $y_i(i=1,\ldots,n)$ ناشناخته است. در حالت کلی، x می‌تواند برداری از مرتبه R باشد $x=(x_1,x_2,\ldots,x_R)$. برای نشان دادن مواردی که خروجی y به چندین داده ورودی بستگی دارد. یک شبکه عصبی تلاش می‌کند تا یک مدل تقریبی $y'(x)$ را نسبت به $y(x)$ از طریق انتخاب پارامترهای انتخابی $r=(w,b)$ پیدا کند، به منظور آموزش رابطه داده-ستانده مطلوب که به وسیله داده‌ها شرح داده می‌شود. w و b به ترتیب وزن داده‌ها و اریب را در شبکه نشان می‌دهند (امینیان، ۲۰۰۷). در مورد نحوه کار نرون‌ها سه نکته مهم وجود دارند. در واقع اطلاعات مورد نیاز یک نرون برای تولید یک مقدار خروجی، در ورودی و خود نرون موجود است و هیچ اطلاعاتی در مورد سایر قسمت‌های شبکه مورد نیاز نیست. دوم آنکه نرون تنها یک مقدار خروجی تولید می‌کند، که این مقدار خروجی از طریق ارتباطات، به عنوان ورودی به نرون دیگر وارد شده و یا به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته می‌شود. سوم آنکه هر نرون به صورت مستقل عمل می‌نماید. یعنی خروجی هر نرون تنها وابسته به ورودی آن نرون است (طرازکار، ۱۳۸۴). در مقایسه مدل شبکه عصبی با مدل‌های رگرسیونی می‌توان اینگونه اظهار داشت که ورودی‌های شبکه عصبی همان متغیر مستقل و خروجی‌های آن متغیر وابسته است. وزن‌های مختلف شبکه نیز، مشابه پارامترهای مدل رگرسیون و جمله اریب نیز همان عرض از مبدا یا جمله ثابت در مدل رگرسیون است. در صورتی که وقفه‌های متغیر وابسته را به مجموعه ورودی‌ها اضافه کنیم، در آن صورت شبکه‌ای مشابه با مدل اتو رگرسیو خطی[1] (AR) دست می‌یابیم. به طور کلی نقش نرون‌ها در شبکه عصبی، پردازش اطلاعات است و این امر در شبکه‌های عصبی مصنوعی به وسیله یک پردازش ریاضی که همان تابع فعال‌سازی است، انجام می‌شود. تابع فعال‌سازی می‌تواند خطی یا غیر خطی باشد. یک تابع فعال‌سازی، بر اساس نیاز خاص مسئله‌ای که قرار است به وسیله شبکه عصبی حل شود، از سوی طراح انتخاب می‌شود. برای مثال، زمانی که ارزش‌های خروجی مسئله تنها صفر و یک است، دیگر استفاده از یک تابع فعال‌سازی خطی مناسب نیست و باید از توابع دیگری که بر اساس مقادیر ورودی مختلف، تنها مقادیر صفر و یک را نتیجه دهند، استفاده کرد. برای بهره-برداری واقعی از توانایی شبکه‌های عصبی دربخش‌هایی از شبکه، از توابع فعال‌سازی غیرخطی استفاده می‌کنند. به صورت ایده‌آل، تابع فعال‌سازی باید پیوسته و مشتق‌پذیر و یکنواخت باشد، زیرا این مسئله عمل پیدا کردن ضرایب مقتضی الگوریتم بهتر را تسهیل می‌کند (قدیمی و مشیری، ۱۳۸۱).

قلمرو موضوعی مورد پیمایش تحقیق، حوزه مالی است. همچنین جامعه آماری این پژوهش، شامل کلیه شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران می‌باشد. قلمرو زمانی انجام این تحقیق نیز یک دوره زمانی

۱۰ ساله براساس صورت‌های مالی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵ شرکت‌های نمونه می‌باشد. در پژوهش حاضر برای تعیین نمونه آماری، از روش حذف سیستماتیک استفاده شده و از بین شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران در مجموع ۹۵ شرکت از ۱۰ صنعت (شامل صنعت خودرو و ساخت قطعات، فلزات اساسی و محصولات فلزی، محصولات غذایی و آشامیدنی، مواد و محصولات دارویی، ماشین‌آلات و تجهیزات، سیمان و آهک و گچ، لاستیک و پلاستیک، فرآورده‌های نفتی، کانی‌های غیرفلزی و کاشی و فنی و مهندسی) به عنوان نمونه آماری انتخاب شدند. لازم به ذکر است که جهت گردآوری اطلاعات در زمینه مبانی نظری و ادبیات تحقیق، از منابع کتابخانه‌ای استفاده شده است. همچنین داده‌های مورد نیاز جهت محاسبه متغیرهای پژوهش، از بانک‌های اطلاعاتی«تدبیر پرداز» و «ره آورد نوین» استخراج شده است. در صورت ناقص بودن داده‌های موجود در این بانک اطلاعاتی، به آرشیوهای دستی موجود در کتابخانه‌ی سازمان بورس اوراق بهادار و سایت اینترنتی مدیریت پژوهش، توسعه و مطالعات اسلامی- سازمان بورس اوراق بهادار مراجعه گردید. پس از جمع آوری داده-هایی که برای انجام تحقیق مورد نیاز است، انتخاب ابزاری مناسب به منظور محاسبه و تجزیه و تحلیل اطلاعات مربوط به متغیرها اهمیت خاصی دارد. به منظور انجام محاسبات و آماده نمودن داده‌ها به اطلاعات مورد نیاز تحقیق و همچنین تجزیه و تحلیل آن‌ها، از نرم افزارهای Excel، Eviews10 و R استفاده شده است.

۵- یافته‌های پژوهش

با توجه به نتایج بیشترین میانگین بازده مربوط به گروه شرکت‌های فنی و مهندسی بوده است. این شرکت-ها طی دوره ۹۵-۱۳۸۶ به طور متوسط سالانه ۹۷ درصد بازده داشته‌اند که بالاتر از متوسط سایر شرکت‌ها و صنایع است. همچنین بر اساس نتایج بیشترین میزان نرخ بازده نیز مربوط به یکی از شرکت‌های گروه مواد و محصولات دارویی بوده که مقدار آن برابر با ۳۱/۵۷ بوده است. تحلیل نتایج نشان داد که شرکت دارویی رازک در سال ۸۶ معادل ۳۱۵۷ درصد بازده داشته است. لازم به ذکر است که کمترین میزان بازده و یا به عبارت دیگر زیان نیز برابر با ۴۲/۲۵- می‌باشد که این مقدار نیز مربوط به یکی از شرکت‌های گروه مواد و محصولات دارویی بوده است. بر اساس تحلیل نتایج، شرکت دارویی امین در سال ۹۲ معادل ۴۲۲۵ درصد زیان را تجربه نموده است. در نهایت بیشترین میزان انحراف معیار متغیر نرخ بازده نیز مربوط به گروه شرکت‌های مواد و محصولات دارویی است، بر این اساس می‌توان گفت که این شرکت‌ها بیشترین پراکندگی بازده را طی دوره مورد بررسی داشته‌اند. همچنین در پژوهش حاضر جهت بررسی نرمال بودن متغیرها از آزمون جارگوبرا (JB) استفاده شد. با توجه به نتایج مشخص شد که تمامی متغیرهای تحت بررسی غیرنرمال هستند. بر این اساس در برآوردهای آتی در سری‌های تحت بررسی به جای توزیع نرمال از توزیع چوله نرمال[1](snorm) استفاده می‌شود. از سوی دیگر در انواع مدل‌های اقتصادی و مالی همانند بحث نرمال بودن متغیرها، پایا بودن (پایایی) متغیرها نیز بسیار مهم می‌باشد؛ چرا که عدم بررسی این موضوع باعث می‌گردد که نتایج حاصل از برآورد الگوها کاذب و از اطمینان لازم برخوردار نباشد. در مطالعه حاضر جهت انجام آزمون پایایی از آزمون لوین لین چو (LLC) استفاده شده است.

نتایج حاصل از آزمون فوق نشان داد که همه سری‌های تحت بررسی پایا می‌باشند. این بدان معنی است که گشتاورهای ثابتی برای کلیه بازده‌ها وجود داشته و بنابراین امکان وجود رگرسیون کاذب در برآوردهای آتی رد می‌گردد.

در ادامه جهت دستیابی به اهداف مورد نظر در این مطالعه با استفاده از الگوی شبکه عصبی پر سپترون چند لایه (MLP) برای گروه صنایع و شرکت‌های مختلف مقادیر بازده با استفاده از وقفه‌های این متغیرها شبیه-سازی شده است. برای این منظور وقفه‌های متغیر بازده به عنوان متغیرهای ورودی (s) و بازده به عنوان متغیر خروجی (p) وارد مدل شبکه عصبی شدند. در ادامه با توجه به مراحل انجام کار در مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، متغیرهای ورودی (sها) به سه زیر مجموعه مجزا تحت عنوان داده‌های آموزش (S1)، داده‌های اعتبارسنجی[1] (S2) و داده‌های آزمون (S3) تقسیم، و بر این اساس ۶۰ درصد از داده‌ها به عنوان داده‌های آموزش و به ترتیب ۱۵ و ۲۵ درصد داده‌ها به امر اعتبارسنجی و آزمون اختصاص داده شده است. سپس با استفاده از شبکه پرسپترون چند لایه، ساختارهای مختلفی طراحی گردید. جهت تعیین تعداد لایه مخفی برای هر شبکه، بر اساس تجربیات گذشته دو لایه مخفی برای هر شبکه در نظر گرفته شده و تعداد نرون‌ها در لایه‌های مخفی نیز بین ۴ تا ۱۰ نرون متغیر بوده است. برای توابع فعالیت در لایه مخفی و خروجی از آن جا که تابع تانژانت هایپربولیک در ساختارهای مختلف دارای عملکرد بهتری است، از این تابع به عنوان تابع فعالیت در لایه مخفی و خروجی استفاده شده است. همچنین با توجه به مزیت بالای الگوریتم آموزش مومنتم نسبت به سایر الگوریتم‌های آموزش، جهت فرار از دام مینیمم محلی[2]، برای تصحیح وزن‌ها و به دست آوردن وزن‌های بهینه شبکه از الگوریتم آموزش مومنتم و جهت آموزش و یادگیری شبکه به ترتیب از نرخ‌های آموزش و یادگیری ۰/۱ و ۰/۵ استفاده شده است. با توجه به توضیحات ارائه‌شده، ساختارهای متفاوت ایجاد، که این ساختارها، از لحاظ تعداد لایه‌ها و تابع فعالیت لایه مخفی و خروجی یکسان و تنها در تعداد نرون‌های لایه مخفی و خروجی متفاوت بوده‌اند. از آنجا که تعداد نرون‌ها در لایه مخفی بین ۴ تا ۱۰ نرون متغیر بوده است در مجموع ۷۰ شبکه برای گروه صنایع و شرکت‌های مختلف طراحی و در نهایت با توجه به معیار حداقل MSE داده‌های آموزش، شبکه مناسب برای هر یک از صنایع و شرکت‌ها انتخاب شد. جدول (۱) نتایج مربوط به مشخصات بهترین شبکه‌ها را برای هر یک از صنایع و شرکت‌های مختلف نشان می‌دهد. همان طور که از اطلاعات جدول فوق قابل مشاهده است شبکه‌های ۷، ۶، ۵، ۶، ۷، ۶، ۱، ۲، ۳ و ۲ به عنوان بهترین ساختار که دارای حداقل MSE هستند، برای صنعت خودرو و ساخت قطعات، فلزات اساسی و محصولات فلزی، محصولات غذایی و آشامیدنی، مواد و محصولات دارویی، ماشین‌آلات و تجهیزات، سیمان و آهک و گچ، لاستیک و پلاستیک، فرآورده‌های نفتی، کانی‌های غیرفلزی و کاشی و فنی و مهندسی انتخاب شدند.

جدول ۱- مشخصات شبکه‌ها برای گروه صنایع و شرکت‌ها

گروه شرکت‌ها	شماره شبکه	تعداد نرون در لایه مخفی	حداقل MSE
صنعت خودرو و ساخت قطعات	۷	۱۰	۰/۰۱۸۹
فلزات اساسی و محصولات فلزی	۶	۹	۰/۰۰۰۰
محصولات غذایی و آشامیدنی	۵	۸	۰/۰۳۵۷
مواد و محصولات دارویی	۶	۹	۰/۰۱۶۴
ماشین‌آلات و تجهیزات	۷	۱۰	۰/۰۶۵۰
سیمان و آهک و گچ	۶	۹	۰/۰۲۳۶
لاستیک و پلاستیک	۱	۴	۰/۰۷۷۲
فرآورده‌های نفتی	۲	۵	۰/۰۷۶۴
کانی‌های غیرفلزی و کاشی	۳	۶	۰/۰۲۷۱
فنی و مهندسی	۲	۵	۰/۰۵۷۳

برای آن که خروجی حاصل از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی از اطمینان مناسبی برخوردار باشد و مشاهدات با بالاترین درجه صحت و کمترین خطا شبیه‌سازی شوند، لازم است نتایج معیارهای دقت پیش بینی شبکه عصبی مصنوعی برای بهترین ساختار در هر یک از صنایع و شرکت‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرند. به طور معمول جهت مقایسه دقت پیش بینی شبکه عصبی مصنوعی در ساختارهای مختلف طراحی شده از معیارهای میانگین مجذور خطا (MSE)، میانگین مجذور خطای استاندارد نرمال شده (NMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و ضریب همبستگی (R) استفاده می‌شود. جدول (۲) آماره‌های مربوط به معیارهای دقت پیش بینی شبکه عصبی مصنوعی را برای بهترین ساختار طراحی شده برای هر یک از صنایع و شرکت‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این جدول مشخص است که شبکه‌های ۷، ۶، ۵، ۶، ۷، ۶، ۱، ۲، ۳ و ۲ از قابلیت مناسبی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی داده‌های آزمون برخوردار هستند. همان‌گونه که از نتایج قابل مشاهده است به عنوان مثال ضریب همبستگی (R) میان مقادیر واقعی و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط شبکه‌ها برابر با ۰/۷۴۰۲، ۰/۷۲۴۵، ۰/۸۲۲۲، ۰/۹۵۹۱، ۰/۷۴۱۳، ۰/۹۴۹۶، ۰/۷۸۶۳، ۰/۵۵۴۱، ۰/۷۵۱۹ و ۰/۵۵۷۷ می‌باشد که گویای این واقعیت است که شبیه‌سازی مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده به نحو مطلوبی صورت پذیرفته است.

جدول ۲- نتایج معیارهای دقت پیش‌بینی شبکه عصبی مصنوعی

گروه شرکت‌ها	معیارهای دقت شبکه			
	MSE	NMSE	MAE	R^2
صنعت خودرو و ساخت قطعات	۰/۰۶۲۲	۰/۴۵۶۴	۰/۱۶۹۸	۰/۷۴۰۲
فلزات اساسی و محصولات فلزی	۰/۳۵۰۷	۰/۴۸۶۶	۰/۴۳۵۲	۰/۷۲۴۵
محصولات غذایی و آشامیدنی	۰/۲۵۲۷	۰/۳۴۷۳	۰/۳۳۲۸	۰/۸۲۲۲
مواد و محصولات دارویی	۰/۳۶۴۶	۰/۱۳۰۵	۰/۳۹۲۵	۰/۹۵۹۱
ماشین‌آلات و تجهیزات	۰/۱۹۰۴	۰/۵۱۳۶	۰/۳۶۸۲	۰/۷۴۱۳
سیمان و آهک و گچ	۰/۳۶۸۲	۰/۲۴۱۰	۰/۴۱۹۷	۰/۹۴۹۶
لاستیک و پلاستیک	۰/۰۶۵۹	۰/۷۸۸۳	۰/۲۰۹۳	۰/۷۸۶۳
فرآورده‌های نفتی	۱/۰۳۶۱	۱/۲۶۸	۰/۷۸۸۸	۰/۵۵۴۱
کانی‌های غیرفلزی و کاشی	۰/۴۰۸۰	۰/۶۴۲۳	۰/۴۸۲۶	۰/۷۵۱۹
فنی و مهندسی	۰/۲۳۷۷	۰/۷۱۸۳	۰/۰۷۱۰	۰/۵۵۷۷

جهت استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی برای تبیین ریسک، پس از انتخاب سری بازده‌های شرکت‌های سرمایه‌گذاری منتخب حاصل از بهترین ساختار شبکه، معیار ریسک برای هر یک از گروه شرکت‌ها محاسبه شده است؛ در ادامه میزان دقت و عملکرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در تبیین ریسک از طریق پس آزمایی آزمون کوپیک و کریستوفرسن مورد بررسی قرار گرفته است.

برای انجام آزمون کوپیک از آماره نسبت راست نمایی (LR) استفاده شده که دارای توزیع کای دو می‌باشد. در این آزمون پس از محاسبه آماره LR، مقدار آماره این آزمون با مقدار بحرانی مقایسه شده و در صورتی که مقدار آماره LR بزرگ‌تر از مقدار بحرانی باشد، فرضیه صفر مبنی بر مناسب بودن مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در سطح معنی‌داری مورد نظر پذیرفته شده و در نتیجه نتایج مدل فوق قابل استناد و مناسب می‌باشد. جدول (۳) نتایج آزمون کوپیک را برای گروه شرکت‌های تحت بررسی در سطح معنی‌داری ۵ درصد نشان می‌دهد. همان گونه که از نتایج جدول فوق مشخص است برای مدل ریسک طراحی شده توسط مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی مقدار آماره آزمون LR برای تمامی گروه شرکت‌ها بزرگ‌تر از مقدار بحرانی است؛ بر این اساس می‌توان گفت که عملکرد این مدل‌ها جهت تبیین ریسک در سطح معنی‌داری ۵ درصد برای تمامی شرکت‌ها قابل استناد می‌باشد؛ بر این اساس می‌توان گفت که مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل‌سازی ریسک دارای عملکرد نسبتاً مناسبی هستند.

جدول ۳- آزمون کوپیک برای بررسی عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در سطح ۵ درصد

گروه شرکت‌ها	آماره LR	مقدار بحرانی	سطح معنی‌داری	فرضیه H_0
صنعت خودرو و ساخت قطعات	۶/۴۵۸	۳/۸۴۱	۰/۰۴۱	قبول
فلزات اساسی و محصولات فلزی	۷/۷۹۵	۳/۸۴۱	۰/۰۲۷	قبول
محصولات غذایی و آشامیدنی	۶/۲۱۱	۳/۸۴۱	۰/۰۴۲	قبول
مواد و محصولات دارویی	۹/۳۶۹	۳/۸۴۱	۰/۰۰۹	قبول
ماشین‌آلات و تجهیزات	۹/۵۸۹	۳/۸۴۱	۰/۰۰۷	قبول
سیمان و آهک و گچ	۶/۸۹۶	۳/۸۴۱	۰/۰۳۹	قبول
لاستیک و پلاستیک	۷/۴۲۳	۳/۸۴۱	۰/۰۲۸	قبول
فرآورده‌های نفتی	۷/۳۴۹	۳/۸۴۱	۰/۰۲۸	قبول
کانی‌های غیرفلزی و کاشی	۸/۲۰۰	۳/۸۴۱	۰/۰۲۲	قبول
فنی و مهندسی	۸/۹۱۱	۳/۸۴۱	۰/۰۲۱	قبول

آزمون کریستوفرسن استقلال شکست‌ها و پیروزی‌ها را از یکدیگر نشان می‌دهد، به عبارتی نشان می‌دهد که شکست‌ها و پیروزی‌ها ارتباطی با یکدیگر دارند و یا ندارند. اگر آمارLR محاسبه شده توسط این آزمون از مقدار بحرانی آماره LR در سطح اطمینان مورد نظر بزرگ‌تر باشد، نشان دهنده این موضوع است که شکست‌ها و پیروزی‌ها از یکدیگر مستقل می‌باشند. جدول (۴) نتایج آزمون کریستوفرسن را برای گروه شرکت‌های تحت بررسی در سطح معنی‌داری ۵ درصد نشان می‌دهد. همان گونه که از نتایج جدول فوق مشخص است برای مدل ریسک طراحی شده توسط مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی مقدار آماره آزمون LR برای تمامی گروه شرکت‌ها بزرگ‌تر از مقدار بحرانی است؛ بر این اساس می‌توان بیان نمود، که این آزمون برای همه گروه شرکت‌های جامعه آماری مورد بررسی در سطح اطمینان ۵ درصد پذیرفته شده است و این موضوع بدان معنی است که فرضیه صفر که نشان دهنده استقلال پیروزی‌ها و شکست‌ها از یکدیگر می‌باشد، مورد تائید قرار گرفته است؛ یعنی این که پیروزی‌ها و شکست‌ها با یکدیگر دارای ارتباط نمی‌باشند.

به منظور بررسی عملکرد سنجه‌های ریسک طیفی از معیار ارزش در معرض خطر شرطی(CVaR) استفاده شده است. میزان دقت و عملکرد معیار CVaR از طریق پس آزمایی آزمون کوپیک و کریستوفرسن مورد بررسی قرار گرفته است. برای انجام آزمون کوپیک از آماره نسبت راست نمایی (LR) استفاده شده است. در این آزمون پس از محاسبه آماره LR، مقدار آماره این آزمون با مقدار بحرانی مقایسه شده و در صورتی که مقدار آماره LR بزرگ‌تر از مقدار بحرانی باشد، فرضیه صفر مبنی بر مناسب بودن مدل CVaR در سطح معنی‌داری مورد نظر پذیرفته شده و در نتیجه نتایج مدل فوق قابل استناد و مناسب می‌باشد. جدول (۵) نتایج آزمون کوپیک را برای گروه شرکت‌های تحت بررسی نشان می‌دهد. همان گونه که از نتایج جدول فوق مشخص است برای مدل CVaR مقدار آماره آزمون LR برای تمامی گروه شرکت‌ها بزرگ‌تر از مقدار بحرانی است؛ بر این اساس می‌توان گفت که

عملکرد معیار CVaR در سطح ۵ درصد برای تمامی شرکت‌ها قابل استناد می‌باشد؛ بنابراین می‌توان گفت که معیار CVaR به عنوان یکی از سنجه‌های ریسک طیفی جهت مدل‌سازی ریسک دارای عملکرد مناسبی است.

جدول ۴-آزمون کریستوفرسن برای بررسی عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در سطح ۵ درصد

گروه شرکت‌ها	آماره LR	مقدار بحرانی	سطح معنی‌داری	فرضیه H_0
صنعت خودرو و ساخت قطعات	۱۱/۷۳۴	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
فلزات اساسی و محصولات فلزی	۱۴/۱۰۱	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
محصولات غذایی و آشامیدنی	۱۳/۲۲۱	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
مواد و محصولات دارویی	۱۷/۹۰۸	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
ماشین‌آلات و تجهیزات	۱۹/۰۰۱	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
سیمان و آهک و گچ	۱۳/۵۸۱	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
لاستیک و پلاستیک	۱۳/۴۶۵	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
فرآورده‌های نفتی	۱۳/۷۷۱	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
کانی‌های غیرفلزی و کاشی	۱۷/۹۲۰	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
فنی و مهندسی	۱۵/۱۲۱	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول

جدول ۵- نتایج آزمون کوپیک برای بررسی عملکرد سنجه‌های ریسک طیفی (CVaR) در سطح ۵ درصد

گروه شرکت‌ها	آماره LR	مقدار بحرانی	سطح معنی‌داری	فرضیه H_0
صنعت خودرو و ساخت قطعات	۶/۰۷۱	۳/۸۴۱	۰/۰۴۷	قبول
فلزات اساسی و محصولات فلزی	۷/۱۲۱	۳/۸۴۱	۰/۰۳۰	قبول
محصولات غذایی و آشامیدنی	۶/۴۱۹	۳/۸۴۱	۰/۰۴۱	قبول
مواد و محصولات دارویی	۹/۱۱۵	۳/۸۴۱	۰/۰۱۰	قبول
ماشین‌آلات و تجهیزات	۹/۰۰۹	۳/۸۴۱	۰/۰۱۱	قبول
سیمان و آهک و گچ	۶/۷۷۰	۳/۸۴۱	۰/۰۴۰	قبول
لاستیک و پلاستیک	۷/۲۳۴	۳/۸۴۱	۰/۰۲۷	قبول
فرآورده‌های نفتی	۷/۱۷۷	۳/۸۴۱	۰/۰۲۸	قبول
کانی‌های غیرفلزی و کاشی	۸/۱۴۳	۳/۸۴۱	۰/۰۲۲	قبول
فنی و مهندسی	۸/۹۰۰	۳/۸۴۱	۰/۰۲۱	قبول

آزمون کریستوفرسن استقلال شکست‌ها و پیروزی‌ها را از یکدیگر نشان می‌دهد، به عبارتی نشان می‌دهد که شکست‌ها و پیروزی‌ها ارتباطی با یکدیگر دارند و یا ندارند. اگر آمارLR محاسبه شده توسط این آزمون از مقدار

بحرانی آماره LR در سطح اطمینان مورد نظر بزرگ‌تر باشد، نشان دهنده این موضوع است که شکست‌ها و پیروزها از یکدیگر مستقل می‌باشند. جدول (۶) نتایج آزمون کریستوفرسن را برای گروه شـرکت‌هـای تحـت بررسـی در سطح معنی‌داری ۵ درصد نشان می‌دهد. همان گونه که از نتایج جدول فوق مشخص اسـت بـرای مـدل CVaR مقدار آماره آزمون LR برای تمامی گروه شرکت‌ها بزرگ‌تر از مقدار بحرانی است؛ بر ایـن اسـاس مـی‌تـوان بیـان نمود، که این آزمون برای همه گروه شرکت‌های جامعه آماری مورد بررسی در سطح اطمینان ۵ درصـد پذیرفتـه شده است و این موضوع بدان معنی است که فرضیه صفر که نشان دهنده اسـتقلال پیـروزی‌هـا و شکسـت‌هـا از یکدیگر می‌باشد، مورد تائید قرار گرفته است، یعنی این که پیروزی‌ها و شکست‌ها با یکدیگر دارای ارتباط نمـی-باشند.

جدول ۶- نتایج آزمون کریستوفرسن برای بررسی عملکرد سنجه‌های ریسک طیفی (CVaR) در سطح ۵ درصد

گروه شرکت‌ها	آماره LR	مقدار بحرانی	سطح معنی‌داری	فرضیه H_0
صنعت خودرو و ساخت قطعات	۱۱/۵۲۱	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
فلزات اساسی و محصولات فلزی	۱۳/۳۰۸	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
محصولات غذایی و آشامیدنی	۱۲/۸۳۹	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
مواد و محصولات دارویی	۱۷/۸۷۴	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
ماشین‌آلات و تجهیزات	۱۸/۹۱۹	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
سیمان و آهک و گچ	۱۳/۴۷۷	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
لاستیک و پلاستیک	۱۳/۲۹۶	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
فرآورده‌های نفتی	۱۳/۵۷۲	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
کانی‌های غیرفلزی و کاشی	۱۷/۹۳۴	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
فنی و مهندسی	۱۵/۱۳۲	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول

به منظور بررسی عملکرد سنجه‌های ریسک انحراف از معیار انحراف معیار (SE) استفاده شده اسـت. میـزان دقت و عملکرد معیـار SE نیـز هماننـد سـنجه‌هـای ریسـک طیفـی از طریـق پـس آزمـایی آزمـون کوپیـک و کریستوفرسن مورد بررسی قرار گرفته است. جدول (۷) نتایج آزمون کوپیـک را بـرای گـروه شـرکت‌هـای تحـت بررسی در سطح معنی‌داری ۵ درصد نشان می‌دهد. همان گونه که از نتایج جدول فوق مشخص است برای سنجه SE مقدار آماره آزمون LR برای تمامی گروه شرکت‌ها کوچک‌تر از مقدار بحرانی است؛ لذا بر این اساس می‌تـوان گفت که عملکرد معیار SE برای تمامی گروه شرکت‌ها در سطح معنی‌دار ۵ درصد قابـل اسـتناد نمـی‌باشـد. بـه عبارت دیگر معیار SE به عنوان یکی از سنجه‌های ریسـک انحـراف جهـت مـدل‌سـازی ریسـک دارای عملکـرد مناسبی نیست.

جدول ۷- نتایج آزمون کوپیک برای عملکرد سنجه‌های ریسک انحراف (SE) در سطح ۵ درصد

گروه شرکت‌ها	آماره LR	مقدار بحرانی	سطح معنی‌داری	فرضیه H_0
صنعت خودرو و ساخت قطعات	۰/۱۵۹	۳/۸۴۱	۰/۶۹۱	رد
فلزات اساسی و محصولات فلزی	۰/۱۷۱	۳/۸۴۱	۰/۶۳۴	رد
محصولات غذایی و آشامیدنی	۰/۲۰۹	۳/۸۴۱	۰/۵۸۱	رد
مواد و محصولات دارویی	۰/۳۴۵	۳/۸۴۱	۰/۵۱۱	رد
ماشین‌آلات و تجهیزات	۰/۲۱۵	۳/۸۴۱	۰/۵۸۰	رد
سیمان و آهک و گچ	۰/۲۰۲	۳/۸۴۱	۰/۵۸۶	رد
لاستیک و پلاستیک	۰/۲۰۲	۳/۸۴۱	۰/۵۸۶	رد
فرآورده‌های نفتی	۰/۷۵۸	۳/۸۴۱	۰/۴۹۱	رد
کانی‌های غیرفلزی و کاشی	۰/۱۹۵	۳/۸۴۱	۰/۲۹۱	رد
فنی و مهندسی	۰/۲۰۲	۳/۸۴۱	۰/۵۸۶	رد

جدول (۸) نتایج آزمون کریستوفرسن را برای گروه شرکت‌های تحت بررسی در سطح معنی‌داری ۵ درصد نشان می‌دهد. همان گونه که از نتایج جدول فوق مشخص است برای مدل SE مقدار آماره آزمون LR برای تمامی گروه شرکت‌ها کوچک‌تر از مقدار بحرانی است؛ بر این اساس می‌توان بیان نمود، که این آزمون برای همه گروه شرکت‌های جامعه آماری مورد بررسی در سطح اطمینان ۵ درصد رد شده است و این موضوع بدان معنی است که فرضیه صفر که نشان دهنده استقلال پیروزی‌ها و شکست‌ها از یکدیگر می‌باشد، مورد تائید قرار نگرفته است، یعنی این که پیروزی‌ها و شکست‌ها با یکدیگر دارای ارتباط می‌باشند.

جدول ۸- نتایج آزمون کریستوفرسن برای عملکرد سنجه‌های ریسک انحراف (SE) در سطح ۵ درصد

گروه شرکت‌ها	آماره LR	مقدار بحرانی	سطح معنی‌داری	فرضیه H_0
صنعت خودرو و ساخت قطعات	۰/۳۳۵	۵/۹۹۱	۰/۴۰۳	رد
فلزات اساسی و محصولات فلزی	۰/۳۳۴	۵/۹۹۱	۰/۴۱۴	رد
محصولات غذایی و آشامیدنی	۰/۴۳۵	۵/۹۹۱	۰/۳۱۱	رد
مواد و محصولات دارویی	۰/۷۱۱	۵/۹۹۱	۰/۳۴۱	رد
ماشین‌آلات و تجهیزات	۰/۴۵۴	۵/۹۹۱	۰/۳۸۰	رد
سیمان و آهک و گچ	۰/۴۲۲	۵/۹۹۱	۰/۳۵۶	رد
لاستیک و پلاستیک	۰/۳۹۳	۵/۹۹۱	۰/۳۷۶	رد
فرآورده‌های نفتی	۱/۵۰۸	۵/۹۹۱	۰/۲۷۱	رد
کانی‌های غیرفلزی و کاشی	۰/۴۵۷	۵/۹۹۱	۰/۱۸۱	رد
فنی و مهندسی	۰/۳۶۱	۵/۹۹۱	۰/۳۶۶	رد

برای بررسی عملکرد سنجه‌های ریسک منسجم از معیار ارزش در معرض خطر (VaR) استفاده شده اسـت. دقت و عملکرد معیار فوق نیز از طریق آزمون کوپیک مورد بررسی قرار گرفته اسـت. جـدول (۹) نتـایج آزمـون کوپیک را برای گروه شرکت‌های تحت بررسی نشان می‌دهد. همان گونه که از نتایج مشـخص اسـت بـرای مـدل VaR مقدار آماره آزمون LR برای شش گروه شرکت بزرگ‌تر از مقدار بحرانی و برای چهار گروه شرکت کوچک‌تر از مقدار بحرانی است؛ لذا فرضیه صفر مبنی بر مناسب بودن مدل VaR برای چهار گروه شرکت رد اما برای شش گروه شرکت دیگر تائید می‌گردد. با توجه به این نتایج مشخص است که عملکرد معیار VaR در سطح معنی‌داری ۵ درصد برای شش گروه شرکت قابل استناد اما برای چهار گروه شرکت دیگر قابل استناد نمی‌باشد.

جدول ۹- نتایج آزمون کوپیک برای بررسی عملکرد سنجه‌های ریسک منسجم (VaR) در سطح ۵ درصد

گروه شرکت‌ها	آماره LR	مقدار بحرانی	سطح معنی‌داری	فرضیه H_0
صنعت خودرو و ساخت قطعات	۶/۳۴۷	۳/۸۴۱	۰/۰۴۵	قبول
فلزات اساسی و محصولات فلزی	۷/۰۰۷	۳/۸۴۱	۰/۰۳۰	قبول
محصولات غذایی و آشامیدنی	۶/۵۸۶	۳/۸۴۱	۰/۰۴۲	قبول
مواد و محصولات دارویی	۰/۲۵۵	۳/۸۴۱	۰/۵۰۰	رد
ماشین‌آلات و تجهیزات	۰/۶۶۵	۳/۸۴۱	۰/۳۴۴	رد
سیمان و آهک و گچ	۷/۳۹۳	۳/۸۴۱	۰/۰۳۰	قبول
لاستیک و پلاستیک	۸/۴۱۸	۳/۸۴۱	۰/۰۱۹	قبول
فرآورده‌های نفتی	۰/۸۵۰	۳/۸۴۱	۰/۲۹۱	رد
کانی‌های غیرفلزی و کاشی	۰/۱۴۱	۳/۸۴۱	۰/۷۹۱	رد
فنی و مهندسی	۸/۶۲۱	۳/۸۴۱	۰/۰۱۸	قبول

جدول (۱۰) نتایج آزمون کریستوفرسن را برای گروه شرکت‌های تحت بررسی نشان می‌دهد. همان گونه که از نتایج جدول مشخص است برای مدل VaR مقدار آماره آزمون LR برای شش گـروه شـرکت‌هـا کوچـک‌تـر از مقدار بحرانی و برای چهار گروه شرکت بیشتر از مقدار بحرانی است؛ بر این اساس می‌توان بیـان نمـود، کـه ایـن آزمون برای شش گروه از شرکت‌های جامعه آماری در سطح اطمینان ۹۵ پذیرفتـه و بـرای چهـار گـروه شـرکت دیگر رد شده است؛ این موضوع بدان معنی است که فرضیه صفر که نشان دهنده استقلال پیروزی‌ها و شکست‌ها از یکدیگر می‌باشد، برای شش گروه شرکت مورد تائید قرار گرفته و برای چهار گروه شرکت نیز مورد تائیـد واقـع نشده است.

جدول ۱۰- نتایج آزمون کریستوفرسن برای بررسی عملکرد سنجه‌های منسجم (VaR) در سطح ۵ درصد

گروه شرکت‌ها	آماره LR	مقدار بحرانی	سطح معنی‌داری	فرضیه H_0
صنعت خودرو و ساخت قطعات	۱۲/۰۵۹	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
فلزات اساسی و محصولات فلزی	۱۲/۸۸۱	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
محصولات غذایی و آشامیدنی	۱۳/۱۷۴	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
مواد و محصولات دارویی	۰/۵۰۲	۵/۹۹۱	۰/۴۶۷	رد
ماشین‌آلات و تجهیزات	۱/۳۸۰	۵/۹۹۱	۰/۳۲۴	رد
سیمان و آهک و گچ	۱۴/۴۷۱	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
لاستیک و پلاستیک	۱۵/۴۸۸	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول
فرآورده‌های نفتی	۱/۶۰۸	۵/۹۹۱	۰/۲۸۲	رد
کانی‌های غیرفلزی و کاشی	۰/۳۱۵	۵/۹۹۱	۰/۶۸۰	رد
فنی و مهندسی	۱۵/۲۵۱	۵/۹۹۱	۰/۰۰۰	قبول

چنان چه دقت یک مدل به لحاظ آماری رد نشود، مدل قابل قبول خواهد بود. اما در بسیاری از موارد چندین مدل در اختیار داریم و پس‌آزمون‌ها دقت برخی از آن‌ها را مورد تائید قرار می‌دهد. در این هنگام انتخاب از میان مدل‌های تائید شده به عنوان مسئله‌ای پیش روی مدیریت ریسک قرار می‌گیرد و لذا در این هنگام می‌توان از آزمون لوپز استفاده نمود. بر این اساس در ادامه برای رتبه‌بندی عملکرد سنجه‌های ریسک از پس آزمون لوپز استفاده شده است. در این آزمون در صورتی که میزان زیان واقعی در یک روز بیشتر از مقدار پیش‌بینی شده باشد، بیان‌گر حالت استثنا یا وضعیت تخطی بوده و برای آن روز مقدار عددی یک و در غیر این صورت مقدار صفر در نظر گرفته می‌شود. نتایج حاصل از پس آزمون لوپز برای گروه شرکت‌های تحت بررسی در سطح معنی‌داری ۵ درصد در جدول (۱۱) ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول فوق، نمره تابع زیان در آزمون لوپز برای مدل شبکه عصبی مصنوعی کمتر از ریسک منسجم (VaR)، ریسک انحراف (SE) و ریسک طیفی (CVaR) است؛ به عبارت دیگر بر این اساس می‌توان گفت که در مدل شبکه عصبی مصنوعی متوسط تعداد تخطی‌ها یا حالت استثنا در سطح معنی‌داری ۵ درصد کمتر از سایر مدل‌ها می‌باشد و لذا این مدل‌ها در مقایسه با سنجه‌های ریسک طیفی، انحراف و منسجم از توانایی و عملکرد نسبتاً مناسب‌تری جهت الگوسازی ریسک برخوردار هستند.

جدول ۱۱- نتایج آزمون لوپز در سطح معنی‌داری ۵ درصد

گروه شرکت‌ها	مدل شبکه عصبی مصنوعی	سنجه‌های ریسک طیفی (CVaR)	سنجه‌های ریسک انحراف (SE)	سنجه‌های ریسک منسجم (VaR)
صنعت خودرو و ساخت قطعات	۰/۲۵	۰/۳۵	۱/۶۸	۰/۵۷
فلزات اساسی و محصولات فلزی	۰/۳۸	۰/۴۴	۰/۵۴	۰/۵۴
محصولات غذایی و آشامیدنی	۰/۲۲	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵
مواد و محصولات دارویی	۰/۲۷	۰/۳۶	۰/۸۵	۰/۳۶
ماشین‌آلات و تجهیزات	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۵۸	۰/۱۸
سیمان و آهک و گچ	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۵۲	۰/۱۸
لاستیک و پلاستیک	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۲۷	۰/۰۳
فرآورده‌های نفتی	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۱۸
کانی‌های غیرفلزی و کاشی	۰/۲۶	۰/۲۷	۱/۵۲	۰/۳۱
فنی و مهندسی	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۲۹	۰/۱۸

۶- نتیجه‌گیری و بحث

در این مطالعه، ابتدا اطلاعات سری زمانی مربوط به نرخ بازده صنایع و شرکت‌های مختلف که برای یک دوره زمانی ۱۰ ساله از بانک‌های اطلاعاتی سازمان بورس و اوراق بهادار ایران گردآوری شده‌اند، در چارچوب آمار توصیفی تفسیر و سپس در چارچوب مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و آمار استنباطی و با استفاده از سنجه‌های ریسک طیفی، انحراف و منسجم با استفاده از آزمون کوپیک و کریستوفرسن و نیز آزمون لوپز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. با توجه به نتایج آزمون کوپیک و کریستوفرسن برای مدل‌های شبکه عصبی و CVaR مشخص گردید که مقدار آماره آزمون LR برای تمامی گروه شرکت‌های تحت بررسی بزرگ‌تر از مقدار بحرانی است؛ لذا بر این اساس نتیجه‌گیری شد که عملکرد مدل‌های شبکه عصبی و معیار CVaR برای تمامی گروه شرکت‌ها قابل استناد می‌باشد. اما بر اساس نتایج آزمون کوپیک و کریستوفرسن برای سنجه SE، آماره آزمون LR برای تمامی گروه شرکت‌ها گویای آن است که عملکرد معیار SE برای تمامی شرکت‌ها قابل استناد نمی‌باشد. از سوی دیگر، بر اساس نتایج آزمون کوپیک و کریستوفرسن برای سنجه VaR نیز، مقدار آماره آزمون LR برای شش گروه شرکت بزرگ‌تر از مقدار بحرانی و برای چهار گروه شرکت کوچک‌تر از مقدار بحرانی بوده است؛ لذا مناسب بودن مدل VaR برای چهار گروه شرکت رد اما برای شش گروه شرکت دیگر تائید شد. به عبارت دیگر عملکرد معیار VaR برای شش گروه شرکت قابل استناد اما برای چهار گروه شرکت دیگر قابل استناد نمی‌باشد. در نهایت نیز نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بر اساس نتایج آزمون لوپز، نمره تابع زیان در آزمون لوپز برای مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی کمتر از سنجه‌های ریسک طیفی، انحراف و منسجم است؛ به عبارت دیگر در مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی متوسط تعداد تخطی‌ها یا حالت استثنا کمتر از سنجه‌های ریسک طیفی، انحراف و منسجم می‌باشد. اگر چه تاکنون دقیقاً مطالعه‌ای مشابه مطالعه حاضر انجام نشده اما

نتایج مطالعه حاضر با نتایج حاصل از مطالعه نوروزاده (۱۳۸۵) در مورد کارایی روش ارزش در معرض خطر در بازار سرمایه تهران و نیز مطالعه لطفعلی (۱۳۸۵)که با استفاده از روش میانگین موزون نمایی ریسک سبد سهامی را به کمک VaR برآورده کرده و همچنین مطالعه شاهمرادی و زنگنه (۱۳۸۶) که به محاسبه VaR برای شاخص عمده بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از روش‌های پارامتریک پرداخته‌اند، مشابهتی را نشان می‌دهد. همچنین نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه زمردیان (۱۳۹۴) که در آن توان تبیین مدل‌های ناپارآمتریک و مدل‌های شبکه عصبی در سنجش میزان ارزش در معرض خطر پرتفوی شرکت‌های سرمایه‌گذاری جهت تعیین پرتفوی بهینه در بازار سرمایه ایران مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است، مشابهت فراوان دارد. از نظر روش استفاده شده و نیز نتایج به دست آمده، مطالعه حاضر با مطالعه رهنمای رودپشتی و قندهاری (۱۳۹۴) در زمینه برآورد ارزش در معرض خطر مبتنی بر محدودیت بر ارزیابی عملکرد مدیریت پرتفوی فعال در بورس اوراق بهادار تهران، مشابهت فراوانی دارد. با توجه به نتایج حاصل از مطالعه، پیشنهادهای زیر ارائه شده است:

۱) نتایج حاصل از آزمون کوپیک و کریستوفرسن و نیز آزمون لوپز نشان می‌دهد که مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی نسبت به سنجه‌های ریسک طیفی (CVaR)، سنجه‌های ریسک انحراف (SE) و منسجم (VaR) از اعتبار مناسب و قابل اتکاتری جهت سنجش ریسک بازار برخوردار می‌باشند و از لحاظ قدرت پیش‌بینی نیز میان آن‌ها تفاوت معنی‌دار وجود دارد. لذا با توجه به اعتبار مناسب و قابل اتکای مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی و مدل‌سازی ریسک بازار، پیشنهاد می‌گردد که مدیران پرتفوی در صنایع و شرکت‌های مختلف با استفاده از این مدل‌ها به صورت روزانه، هفتگی و یا ماهانه، حداکثر زیان محتمل پرتفوی موجود خود را برآورد نموده و اقدامات مقتضی را برای مصون‌سازی پرتفوی از چنین زیان‌های انجام دهند.

۲) از آن‌جا که تابع توزیع بازده صنایع و شرکت‌ها در مطالعه حاضر دارای توزیع نرمال نبوده است به صورت کلی می‌توان گفت که استفاده از روش واریانس جهت اندازه‌گیری ریسک از کارایی لازم برخوردار نبوده است. چرا که صنایع با بازده و پراکندگی بالاتر، واریانس بالاتری نیز دارند. این امر، ضرورت استفاده از معیار دیگری به جز واریانس را برای اندازه‌گیری ریسک، نشان می‌دهد چرا که با در نظر گرفتن واریانس به عنوان ریسک، به احتمال زیاد صنایع دارای واریانس بالا در پرتفوی قرار نمی‌گیرند. نکته مهم دیگر این است که تحت چنین شرایطی صنایعی که به سمت راست یا چپ چوله دارند، توزیع بازده صنایع دنباله سنگینی در قسمت ضرر یا سود داشته و این موضوع هم مهر تأییدی بر بهتر بودن استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی نسبت سایر سنجه‌ها برای اندازه‌گیری ریسک است. با توجه به توضیحات فوق مشخص است که کارایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی نسبت به سنجه‌های طیفی، منسجم و انحراف بیشتر است. بر این اساس پیشنهاد می‌شود در بهینه‌سازی پرتفوی شرکت‌ها و صنایع مختلف از این مدل‌ها استفاده شود.

فهرست منابع

* زراءنژاد، منصور، حمید، شهرام، (۱۳۸۸)، "پیش‌بینی نرخ تورم در اقتصاد ایران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پویا (دیدگاه سری زمانی)"، فصلنامه اقتصاد مقداری، (۱)۶: ۱۶۷-۱۴۵.
* زمردیان، غلامرضا. (۱۳۹۴). "مقایسه توان تبیین مدل‌های ناپارآمتریک و مدل‌های شبکه عصبی در سنجش میزان ارزش در معرض خطر پرتفوی شرکت‌های سرمایه‌گذاری جهت تعیین پرتفوی بهینه در بـازار سـرمایه ایران"، مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۲۴: ۹۰-۷۳.
* رهنمای رودپشتی، فریدون، قندهاری، شراره، (۱۳۹۴). "برآورد ارزش در معرض خطر مبتنی بر محدودیت بر ارزیابی عملکرد مدیریت پرتفوی فعال در بورس اوراق بهادار تهران"، مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۱۱۳-۹۱.
* سجاد، رسول، گرجی، مهسا. (۱۳۹۱). "برآورد ارزش در معرض خطر با استفاده از روش باز نمونه‌گیری بوت استرپ"، فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۱(۱): ۱۶۴-۱۳۷.
* شاهمرادی، اصغر، زنگنه، محمد، (۱۳۸۶). "محاسبه ارزش در معرض خطر برای شاخص‌های عمده بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از روش پارامتریک"، مجله تحقیقات اقتصادی، ۴۲(۲): ۱۳۹-۱۲۱.
* طالب نیا، قدرت اله، فتحی، مریم. (۱۳۸۹). "ارزیابی مقایسه‌ای انتخاب پرتفوی بهینه سهام در بـورس اوراق بهادار تهران از طریق مدل‌های مارکویتز و ارزش در معرض خطر"، مجله مطالعات مالی، ۶: ۹۳-۷۱.
* طرازکار، محمد حسن، (۱۳۸۴)، "پیش‌بینی قیمت برخی محصولات زراعی در استان فارس، کـاربرد شـبکه عصبی مصنوعی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه اقتصادکشاورزی دانشگاه شیراز.
* فاست، لوران. (۱۳۹۲). "مبانی شبکه‌های عصبی، ساختارها، الگوریتم‌ها و کاربردها"، ترجمه ویسـی، هـادی، مفاخری، کبری و باقری شورکی، سعید. نشر نص، تهران.
* قدیمی، محمدرضا، مشیری، سعید، (۱۳۸۱)، "مدل‌سازی و پیش‌بینی رشد اقتصادی ایران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی"، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۱۲: ۱۲۷-۹۵.
* کیانی هرچگانی، مائده، نبوی چاشمی، سیدعلی، معماریان، عرفان، (۱۳۹۳)، "بهینه‌سازی سبد سهام بر اساس حداقل سطح پذیرش ریسک کل و اجزای آن با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک"، فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری، ۳(۱۱): ۱۶۴-۱۲۵.
* مهرابی بشرآبادی، حسین، کوچک‌زاده، سمیه، (۱۳۸۸)، "مدل‌سازی و پیش‌بینی صادرات محصولات کشاورزی ایران: کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی"، مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی، (۱)۲۳: ۵۸-۴۹.
* منهاج، محمد باقر، (۱۳۸۷)، "مبانی شبکه‌های عصبی (هوش محاسباتی)"، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، مرکز نشر پرفسور حسابی، چاپ پنجم.
* نبوی چاشمی، سیدعلی، پورباباگل، حمزه، داداش پورعمرانی، احمد، (۱۳۹۱). "ارزیابی عملکرد تخمین زننده‌های ارزش در معرض خطر با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، دانش سرمایه‌گذاری، ۱(۱): ۴۲-۱۳.

* نصرتی، هاشم، پاکیزه، کامران، (۱۳۹۳)، "تخمین ذخیره سرمایه ریسک عملیاتی در صنعت بانکداری با استفاده از رویکرد توزیع زیان (LDA)"، مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۲۰: ۲۶-۱.
* نقاده، حمیده، فیروزان سرنقی، توحید، (۱۳۹۶)، "ارائه الگویی برای تعیین نرخ سود در عقود مبادله‌ای با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی"، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، (۱)۱۷: ۷۲-۴۵.
* نوروززاده، پیام، (۱۳۸۵). "کارایی روش‌های اندازه‌گیری دارایی در خطر در بورس تهران"، همایش آینده‌پژوهی، فناوری و چشم‌انداز توسعه، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
* Abad, C., and Iyengar, G. (2014). "Portfolio selection with multiple spectral risk constraints", SIAM Journal on Financial Mathematics, 6(1), 467-486.
* Aminian, F, Surez, E, Dante Aminian, M, and Walz, D. (2007). "Forecasting Economic Data with Neural Networks", Journal of Computational Economics, 28: 71–88
* Artzner, P, Delbaen, F, Eber J.M, and Heath, D. (1999), Coherent measures of risk. Mathematical Finance, 9:203–28.
* Christoffersen, P. F. (1998). "Evaluating Interval Forecasts", International Economic Review, 39(4): 841-862.
* Kupiec, P. (1995). "Techniques for Verifying the Accuracy of Risk Measurement Models," Journal of Derivatives, 73-84.
* Lopez, J. (1999). "Methods for Evaluating Value-at-Risk estimates, Federal Reserve Bank of San Francisco", Economic Review, 2: 3-17.
* Jorion, P. (2006). "Value at risk: the new benchmark for managing financial risk (3 ed.)".
* *Rockafellar, R. T, and Uryasev, S. (2002). "Conditional value-at-risk for general loss distributions", Journal of Banking and Finance, 26:1443–1471

یادداشت‌ها

1. Heavy Tailed
2. Value at Risk
3. Quantile
4. Loss Distribution
5. Jorion
6. Basel Accord
7. Convex
8. Integer Programming
9. Conditional Value at Risk
10. Expected Shortfall
11. Linear Programming
12. Abad and Iyengar
13. Artzner
14. Axioms
15. Hedge Fund
16. Robust
17. Stressed Value at Risk
18. Weighted Expected Shortfall
19. Bootstrap Resampling Method
20. Fuzzy Pederson and Satchell's Class

[21.] Financial Control
[22.] Financial Reporting
[23.] Computing Regulatory Capital
[24.] Expected Value Topsis
[25.] Kupiec test
[26.] Christofferssen
[27.] Lopez test
[28.] Neuron
[29.] Connection
[30.] Weight
[31.] Activation Function
[32.] Atuo Regressive
[33.] skew-normal distribution
[34.] Cross Validation
[35.] local minima