مهندسی صنایع و مدیریت شریف (تابستان ۱۴۰۳)
دوره‌ی ۴۰، شماره‌ی ۱، ص. ۱۰۵-۱۱۳، (پژوهشی)

Original Article

تعیین نسبت پویای پوشش ریسک بهینه برای نرخ ارز (دلار) با استفاده از قرارداد آتی طلا و پیش‌بینی آن: رویکرد مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

نجمه نشاط * **(استادیار)**
گروه مهندسی صنایع، دانشگاه میبد

در این تحقیق، به تعیین و پیش‌بینی نسبت پویای بهینه پوشش ریسک نرخ ارز با استفاده از قراردادهای آتی سکه طلا در بورس کالای ایران پرداخته می‌شود. رهیافت مورد استفاده در تعیین این نسبت، حداقل واریانس بوده و از مقایسه مدل‌های مختلف اقتصادسنجی به‌منظور بهینه‌کاوی این نسبت استفاده می‌گردد. با استفاده از داده‌های هفتگی بازده نقدی دلار و آتی سکه طلا از ابتدای سال ۱۳۹۶ تا ۸ مردادماه سال ۱۴۰۰، نسبت بهینه پوشش ریسک برای هر مدل محاسبه و با تشکیل پرتفوی و ارزیابی واریانس، میزان اثر بخشی مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفت که نتایج بیانگر برتری مدل پویای BEKK-GARCH بود. براساس نتیجه به‌دست آمده، از یک مدل شبکه عصبی پرسپترون به‌منظور پیش‌بینی این سری زمانی استفاده شد و نتیجه نشان داد مدل شبکه عصبی مدلی با کارایی بالا در پیش‌بینی این نسبت براساس بازده دارایی‌ها می‌باشد.

واژگان کلیدی: نسبت بهینه پوشش ریسک، پوشش متقاطع ریسک ارز، سبد دارایی بهینه، مدل شبکه عصبی پرسپترون.

neshat@meybod.ac.ir

۱. مقدمه

نرخ ارز در ایران با نوسانات شدیدی همراه است و ریسک ناشی از این نوسانات از جمله مقولاتی است که ذهن فعالان بخش‌های اقتصادی و سرمایه‌گذاران را به‌خود مشغول نموده است. در سال‌های اخیر در عرصه جهانی، ابزارهای متعدد مالی برای مدیریت این ریسک و تعیین استراتژی پوشش ریسک از جمله ابزارهای مشتقه ابداع شده و تکامل یافته‌اند. ابزار مشتقه، ابزارهایی مالی هستند که عمدتاً مبتنی یا مشتق از یک دارائی پایه است. به‌عبارتی ارزش آنها به ارزش دارایی دیگری بستگی دارد که به آن دارایی پایه می‌گویند. حجم مبادلات صورت گرفته برروی اوراق مشتقه، نشانگر اهمیت این ابزارها در بازارهای بین المللی است از جمله ساده‌ترین و پرکاربردترین ابزارهای مالی به‌جهت پوشش ریسک، قراردادهای آتی می‌باشد.

قرارداد آتی توافقی است برای خرید یا فروش یک دارایی مشخص در یک زمان مشخص و با یک قیمت مشخص که زمان آن نیز مربوط به آینده است. در واقع دربازارهای آتی خرید و فروش دارایی براساس توافق‌نامه‌های استاندارد شده صورت می‌گیرد به این معنا که افراد قراردادهای آتی را با یکدیگر خرید و فروش می‌کنند. این قراردادها مبتنی بر یک دارایی پایه است. به‌موجب این قرارداد، خریدار متعهد می‌شود که قیمت کالا را مطابق با آنچه که به‌هنگام قرارداد تعیین شده، در زمان سررسید پرداخت کرده و کالا را دریافت نماید. اشخاص و نهادهایی که نوسان قیمت دارایی پایه برروی آنها اثر نامطلوب می‌گذارد، می‌توانند با استفاده از قراردادهای آتی استراتژی‌های متفاوتی را اتخاذ نمایند. به‌عنوان مثال در ساده‌ترین استراتژی که به استراتژی پوشش ریسک ساده[1] معروف است، پوشش دهنده ریسک[2] دقیقاً به‌میزان موقعیت نقدی در بازار آتی موقعیت تعهدی اتخاذ می‌کند.[1] عوامل متعددی از جمله ریسک مبنا، حجم قراردادهای آتی و سررسیدهای مختلف باعث می‌شوند که این استراتژی برای پوشش ریسک لزوماً کارا نباشد. به‌عبارت دیگر برای تعیین استراتژی پوشش ریسک کارا نیاز به تعیین نسبت بهینه پوشش ریسک[3] است. نسبت بهینه پوشش ریسک به‌صورت نسبت موقعیت آتی به‌موقعیت نقدی و یا تعداد قرارداد آتی لازم، به‌ازای هر واحد دارائی نقدی تعریف می‌شود. به‌عبارت دیگر، نسبت بهینه پوشش ریسک، تعیین کننده تعداد قراردادهای آتی است که فرد باید

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۴۰۱/۸/۱۴، اصلاحیه ۱۴۰۲/۶/۲۶، پذیرش ۱۴۰۲/۸/۳.

استناد به این مقاله:
نشاط، نجمه، ۱۴۰۳. تعیین نسبت پویای پوشش ریسک بهینه برای نرخ ارز (دلار) با استفاده از قرارداد آتی طلا و پیش‌بینی آن: رویکرد مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی. مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۴۰(۱)، صص. ۱۰۵-۱۱۳. DOI:10.24200/J65.2023.61298.2327

برای مقابله با نوسان قیمت‌ها نگه‌داری کند. با بروز تغییرات ساختاری (بروز شوک‌های اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و غیره) در ایران، انتظار عاملان اقتصادی با بروز تحولات در طول زمان تغییر می‌کند و این درحالی است که مدل‌های پارامتریک از جمله مدل‌های رگرسیونی که با فرض ثابت بودن مقدار پارامترها در طول زمان توسعه یافته‌اند، نمی‌توانند گزینه‌های مناسبی برای تعیین نسبت بهینه پوشش ریسک باشند. به‌عبارت دیگر، محاسبه این ضرایب به‌صورت پویا در طی زمان ضروری به‌نظر می‌رسد بنابراین، با توجه به شرایط نااطمینانی حاکم بر این سری زمانی، استفاده از یک رویکرد ناپارامتریک برای پیش‌بینی این سری زمانی نسبت به روش‌های پارامتریک ارجح می‌باشد[۲] که در این پژوهش، برای اولین بار (براساس دانش نویسندگان) مورد توجه قرار می‌گیرد. بنابراین، این مطالعه، با معرفی مدل‌های پویا و شبکه عصبی مصنوعی به برآورد پویا از نسبت بهینه پوشش ریسک خواهد پرداخت که در طول زمان با در نظرگرفتن تمامی اطلاعات موجود متعادل می‌گردد. در ادامه مقاله‌ی حاضر، در پنج بخش کلی ارائه می‌شود. در بخش دوم و پس از بیان مقدمه به بیان پیشینه‌ی پژوهش پرداخته شده و در قسمت سوم، مبانی نظری ارائه خواهد شد. بخش چهارم این مقاله به معرفی روش پژوهش مورد استفاده و ارائه مدل پرداخته است و بخش پنجم به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

۲. پیشینه‌ی تحقیق

از سال ۱۹۶۰ تا کنون مدل‌ها و رویکردهای متعددی در زمینه محاسبه نسبت بهینه پوشش ریسک مورد بحث قرارگرفته‌اند. در دهه اخیر، آروری و همکاران (۲۰۱۵)[۴] به بررسی نسبت بهینه پوشش ریسک در سبد دارایی طلا و سهام با استفاده از روش‌های چند متغیره گارچ پرداختند و دریافتند که بین بازار سهام چین و بازار جهانی طلا همبستگی وجود دارد و اضافه کردن طلا به سبد دارایی منجر به بهبود عملکرد پوشش ریسک شده و همچنین روش VAR-GARCH برای محاسبه همبستگی بازارهای مالی بیشترین کارایی را دارد.[۳] در پژوهش بونگا، بونگا و یوموتک[۵] در سال ۲۰۱۶، عملکرد روش‌های سنتی و همین‌طور روش پویای گارچ مورد بررسی و ارزیابی قرارگرفت. نتایج بیانگر آن بود که روش گارچ و اصلاح خطای برداری کارایی بیشتری داشتند. اما ایرادی که به این مدل‌ها وارد است خطی بودن مدل‌ها است زیرا این مدل‌ها نمی‌توانند تخمین زننده‌ی خوبی برای تعیین نسبت پوشش ریسک در شرایط مختلف بازار باشند.[۴] در ایران نیز انصاری اردلی و همکاران (۱۳۹۶) برای محاسبه نسبت پوشش ریسک بهینه در بازارهای گاز طبیعی در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۰ – ۲۰۱۶ از مدل های OLS، BEEK-GARCH و VECM-GARCH استفاده کردند و نتایج نشان داد که قرارداد آتی ابزار مناسبی برای پوشش ریسک می‌باشد، مدل BEEK-GARCH بیشترین کارایی را در پوشش ریسک داشته و روش حداقل مربعات معمولی، از اثربخشی کمتری نسبت به بقیه مدل‌ها برخوردار است.[۵]

فرزانگان در مطالعه خود در سال (۱۳۹۷) عملکرد پوشش ریسک بازار نقدی و آتی طلا را در بازه‌ی زمانی سال های ۸۹ تا ۹۵ و با روش‌های ADCC، GO- GARGH و GARCH مبتنی بر کاپیولا مورد بررسی قرار داد. نتایج بیانگر آن بود که اتخاذ موقعیت فروش در قرارداد آتی سکه باعث کاهش ریسک پورتفوی شده و مدل GO-GARGH نسبت به سایر مدل‌ها برتری دارد.[۶] مطالعه‌ای که در سال ۱۳۹۸ توسط صیادی و همکاران با هدف برآورد نسبت بهینه پوشش ریسک پویا انجام شد مدل‌های چند متغیره گارچ مانند DCC-BEEK-CCC برای برآورد نسبت بهینه پوشش ریسک و براساس سری زمانی قیمت نقدی نفت خام سبک و سنگین و قیمت آتی WTI و در بازه‌ی زمانی ژانویه ۱۹۸۵ تا دسامبر ۲۰۱۷ مورد استفاده قرارگرفتند و نتیجه این بود استفاده از مدل BEEK-GARCH در قراردادهایی با سررسید یک ماهه بیشترین کارایی را دارد.[۷]

احمد سادورسکی و شارما[۶] از مدل‌های گارچ چندمتغیره در سال ۲۰۱۸ به‌منظور تخمین پوشش ریسک سهام‌های انرژی استفاده کردند[۸] و همچنین ملکی و رافعی (۱۳۹۷) نسبت بهینه پوشش ریسک آتی‌های سکه بهارآزادی را با مدل‌های ایستای OLS[۷] و مدل‌های پویای مارکوف سوئیچینگ مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج بیانگر این موضوع بود که مدل‌های مارکوف سوئیچینگ عملکردی بهتر از OLS از لحاظ کاهش واریانس و افزایش مطلوبیت دارند.[۹] درسال (۲۰۱۹) لای و همکاران[۸] عملکرد پوشش ریسک به‌وسیله قراردادهای آتی را با استفاده از داده‌های شاخص S&P ۵۰۰ بررسی کردند. در این پژوهش آزمون‌های درون نمونه‌ای و برون نمونه‌ای با استفاده از مدل‌های حداقل مربعات معمولی، مدل اصلاح خطای برداری و چند متغیره گارچ انجام گرفت و نتایج نشان داد که در آزمون درون نمونه‌ای به‌ترتیب حداقل مربعات معمولی، اصلاح خطای برداری و چندمتغیره گارچ دارای بیشترین کارایی می‌باشد و این در حالی است که در آزمون برون نمونه‌ای مدل‌های حداقل مربعات معمولی و اصلاح خطای برداری عملکرد ضعیف‌تری از مدل‌های چندمتغیره گارچ داشتند.[۱۰]

پس از آن، وانگ و همکاران (۲۰۱۹)[۹] به ارزیابی عملکرد پوشش ریسک قیمت نفت بااستفاده از قرارداد آتی آن پرداختند. در این مطالعه، نسبت پوشش ریسک به‌دو روش حداقل واریانس و حداقل ریسک و با استفاده از مدل‌های سنتی ایستا و مدل‌های پویا مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاکی از آن بود که در روش حداقل واریانس، مدل‌های پویا کاراترند و در روش حداقل ریسک، مدل DCC-GARCH کارایی بیشتری دارد.[۱۱] بای (۲۰۱۹)[۱۰] در مقاله‌ای به‌روش حداقل واریانس و با استفاده از مدل‌های چندمتغیره گارچ شامل DCC، GO و BEEK پرداخت. در این مطالعه از داده‌های روزانه در بازار شاخص سهام S&P۵۰۰، DAX۳۰ و KOSPI۲۰۰ به‌منظور پوشش ریسک استفاده گردید و نتایج حاکی از آن بود که مدل‌های پویای چند متغیره گارچ مدل‌های مناسبی به‌جهت تعیین این نسبت می‌باشند.[۱۲] در پژوهشی که توسط برزآبادی فراهانی و همکاران در سال ۱۴۰۰ انجام گرفت، نویسندگان به مدل‌سازی برآورد نسبت بهینه پوشش روزانه ریسک سکه طلا با توجه به قراردادهای آتی زعفران، از طریق توابع کاپولا و تجزیه موجک و ترکیب این دو مدل پرداختند. نتایج بررسی با توجه به رویکردهای ایستا و متغیر زمانی نشان داد که بازار آتی زعفران توانایی برآورد نسبت پوشش ریسک بازار نقدی سکه طلا را دارا بوده و سرمایه گذاران می‌توانند از این بازار جهت پوشش ریسک خود استفاده نمایند؛ ضمن آنکه لحاظ وابستگی ساختاری براساس توابع کاپولا و تجزیه موجک، موجب برآورد نسبت بهینه دقیق‌تری از پوشش در افق‌های زمانی میان مدت و بلندمدت می‌شود.[۱۳]

در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۳ انجام گرفت و عملکرد پوشش ریسک چهار قرارداد آتی کالا در برابر نوسانات قیمت بیت کوین مورد بررسی قرارگرفت؛ مدل‌هایی برای تخمین همبستگی‌های شرطی و نسبت‌های پوشش بهینه متغیر با زمان بین بازده معاملات آتی مس، گاز، طلا، نفت خام و بیت‌کوین توسعه یافتند. نتایج تجربی این مطالعه نشان داد که گاز و طلا دارای مزایای پوششی برای بیت کوین هستند. در این بین، نفت خام عملکرد پوششی ضعیفی را نشان داد. از نتایج نسبت‌های پوششی

یک گام جلوتر، مشخص شد که نسبت‌های پوشش ریسک در سال ۲۰۱۸ به‌دلیل رکود اقتصادی کاهش یافته و در اوایل سال ۲۰۲۰ به‌دلیل تأثیر COVID − ۱۹ افزایش یافته است.[۱۴]

۳. مبانی نظری

به‌طورکلی تحقیقات در حوزه نسبت بهینه پوشش ریسک را می‌توان در دو دسته حداقل‌کننده ریسک و حداکثرکننده مطلوبیت برشمرد. به‌منظور تعیین نسبت بهینه پوشش ریسک ابتدا باید تابع هدف انتخاب و با بهینه‌سازی آن نسبت پوشش ریسک بهینه را استخراج کرد. در روش‌های حداقل‌کننده ریسک، تعیین معیار ریسک اهمیت بسیاری دارد. یکی از رایج‌ترین معیارهای ارزیابی ریسک، واریانس می‌باشد. روش‌های حداکثرکننده مطلوبیت، علاوه بر ریسک، بازدهی انتظاری که جزء محدودیت اصلی روش‌های حداقل می‌باشد را در نظر گرفته و همزمان بازدهی و ریسک را در تابع هدف مورد استفاده قرار می‌دهد. برای دستیابی به‌هدف پوشش ریسک لازم است تا واریانس ارزش سبد سرمایه‌گذاری را به‌صفر رساند.[۱۵] براین اساس، نسبت پوشش ریسک با حداقل واریانس را می‌توان ایجاد نمود به‌طوری‌که:

$$R_S = \frac{S_{t_1} - S_{t_0}}{S_{t_0}} \qquad (۱)$$

R_S نرخ بازده در بازار نقدی و S_{t_0} و S_{t_1} ارزش دارایی در بازار نقدی زمان‌های t_0 و t_1 می‌باشد.

$$R_f = \frac{F_{t_1} - F_{t_0}}{F_{t_0}} \qquad (۲)$$

R_f در معادله‌ی فوق نرخ بازده در بازارهای قراردادهای آتی و F_{t_0} و F_{t_1} ارزش دارایی در بازار قراردادهای آتی در زمان‌های t_0 و t_1 است. و بازده سبد سرمایه‌گذاری شامل: موضع معاملاتی خرید دربازار نقدی و موضع معاملاتی فروش در بازار آتی:

$$R_h = \frac{S_{t_1} - S_{t_0} - N \times (F_{t_1} - F_{t_0})}{S_{t_0}} = R_S - h \times R_f$$
$$R_h = \frac{S_{t_1} - S_{t_0} - N \times (F_{t_1} - F_{t_0})}{S_{t_0}} = R_S - h \times R_f \qquad (۳)$$

N تعداد قراردادهای آتی و h برابر با نسبت پوشش ریسک می‌باشد.

$$\mathrm{var}(R_h) = \mathrm{var}(R_s) + h^2 \mathrm{var}(R_f) - 2 \times h \times \mathrm{cov}(R_s, R_f) \qquad (۴)$$

با در نظرگرفتن این واقعیت که با کاهش واریانس که نمایانگر ریسک است، کارایی پوشش ریسک افزایش می‌یابد، لذا می‌توان نوشت:

$$\frac{\partial \mathrm{var}(R_h)}{\partial h} = 2 \times h \times \mathrm{var}(R_f) - 2\mathrm{cov}(R_s, R_f)$$

نسبت پوشش ریسک حداقل‌کننده واریانس h^* به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$h* = \frac{\mathrm{cov}(R_s, R_f)}{\mathrm{var}(R_f)} \qquad (۵)$$

تعداد قراردادهای آتی که به‌منظور پوشش ریسک بایستی مورد استفاده قرار گیرد از فرمول زیر به‌دست می‌آید:

$$N^* = h^* \frac{S_{t_0}}{F_{t_0}} \qquad (۶)$$

با در نظرگرفتن این واقعیت که با کاهش واریانس که نمایانگر ریسک است، کارایی پوشش ریسک افزایش می‌یابد و در نهایت نرخ بهینه پوشش ریسک برابر است با:

$$h = \rho \frac{\sigma S}{\sigma F} \qquad (۷)$$

در معادله رگرسیونی، ضریب بتا همان نرخ بهینه پوشش ریسک است در شرایطی که مفروضات رگرسیون کلاسیک برقرار باشد خواهیم داشت:

$$\sigma S_t = \alpha + \beta \sigma F_t + \varepsilon_t \qquad (۸)$$

لازم بذکر است که این مدل، تغییرات قیمت نقدی و آتی موجود در بازار در گذر زمان را نادیده می‌گیرد و این موضوع باعث کاهش کارایی آن در تعیین نسبت بهینه پوشش ریسک می‌شود. این درحالی است که مشکل مذکور در مدل‌های خودرگرسیون برداری مرتفع گردیده است. یک مدل خودرگرسیون برداری براساس معادلات ساختاری، از خطاهای دوره‌های قبل به‌منظور تعیین مقدار فعلی استفاده می‌کند. در الگوی خود رگرسیون برداری فرض براین است که کلیه متغیرها در سطح مانا می‌باشند. وجود هم‌انباشتگی در این گام مهم است و برای بررسی آن از آزمون‌هایی از جمله آزمون یوهانسن ـ جوسیلیوس استفاده می‌شود. در این آزمون ابتدا تعداد بردارهای هم انباشتگی با آماره‌های اثر و حداکثر مقادیر ویژه تعیین و پس از اثبات وجود بردار هم‌انباشتگی، با وارد کردن بردار هم‌انباشتگی در مدل خودرگرسیون‌برداری، مدل تصحیح خطا حاصل می‌شود؛ اگر چه ناهمسانی واریانس در این مدل‌ها نادیده گرفته‌می‌شود. در واقع در این مدل‌ها از گشتاورهای نمونه‌ای غیر شرطی به‌جای گشتاورهای نمونه‌ای شرطی استفاده می‌شود. از این‌رو، برای بهبود نسبت بهینه پوشش ریسک، از مدل‌های ناهمسان شرطی خودرگرسیون برداری استفاده می‌شود که در آن‌ها ماتریس واریانس کواریانس شرطی به‌جای غیرشرطی تشکیل می‌شود. این قابلیت موجب می‌شود که امکان تغییر نسبت پوشش ریسک بهینه در طول زمان وجود داشته‌باشد؛ در حالی‌که در مدل‌های قبل نسبت بهینه پوشش ریسک در طول زمان ایستا در نظر گرفته می‌شد. رویکرد مدل‌سازی گارچ چندمتغیره به‌عنوان رویکردی توانمند در مدل‌سازی پویای این نسبت به‌کرات در مطالعات اخیر مورد استفاده قرار گرفته است از جمله مدلی که در آن نیازی به جداسازی الگوی واریانس کواریانس نبود این مدل تحت عنوان مدل همبستگی‌های شرطی ثابت گارچ‌برداری شده (CCC) [۱۱] معرفی شد.[۱۶]

۴. روش‌شناسی پژوهش

به‌منظور تعیین پوشش بهینه ریسک نرخ ارز با استفاده از قراردادهای آتی طلا و پیش‌بینی آن، داده‌های مربوط به قیمت آتی سکه طلا طرح امام و نرخ ارز از ابتدای سال (۱۳۹۶ یکم فروردین ۹۶) تا ۸ مرداد ماه سال ۱۴۰۰ جمع‌آوری گردید. سری زمانی نرخ ارز از سایت مرکز آمار ایران و قیمت آتی سکه طلا طرح امام از شرکت بورس کالای ایران استخراج شد. برای تعیین نسبت بهینه پوشش ریسک ایستا و پویا سری زمانی هفتگی داده‌های مذکور در همین بازه‌زمانی استفاده شد. با عنایت به نوسانات زیاد قیمتی در بازه‌زمانی یک‌روزه، سری زمانی هفتگی داده‌ها در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد تا در بازه زمانی یک هفته‌ای بسیاری از نوسانات یکدیگر را خنثی نمایند. به‌جهت دستیابی به‌سری زمانی هفتگی ابتدا بایستی سری زمانی روزانه آتی سکه طلا جمع آوری و سری‌زمانی هفتگی از آن استخراج شود. به‌منظور فراهم‌سازی سری‌زمانی هفتگی قیمت آتی سکه، طلا، قیمت تسویه‌ی روزانه

قراردادهایی با نزدیک‌ترین سررسید استفاده شد که برای استفاده از قیمت آتی، با فرا رسیدن سررسید قرارداد بایستی از داده‌های مربوط به قرارداد آتی بعدی استفاده نمود که این اتفاق منجر به وقوع یک جهش نامتعارف در قیمت‌ها می‌شود که برای مقابله با این اتفاق و هموارسازی داده‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد که در این پژوهش یک میانگین وزنی از قیمت قرارداد در روزهای نزدیک به سررسید قرارداد فعلی و روزهای ابتدایی قرارداد بعدی با نزدیکترین سررسید جهت هموارسازی استفاده می‌شود.

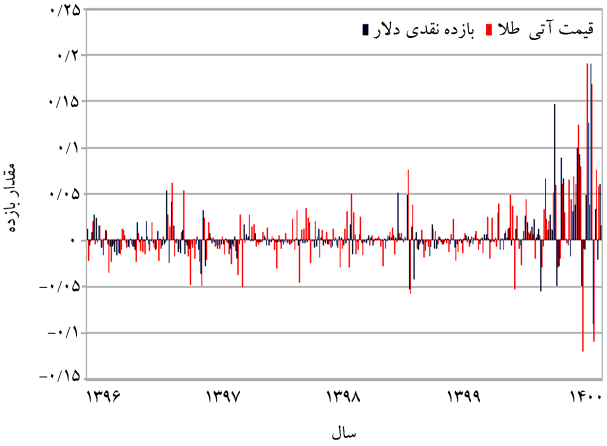
فرضیه اول در این پژوهش آن است که رابطه معناداری بین نرخ ارز دلار در بازار آزاد و قیمت سکه طلا طرح امام در بازار آتی وجود دارد. فرض دوم آن است که امکان پوشش ریسک نرخ ارز دلار در بازار آزاد به‌وسیله قیمت آتی سکه طلا وجود دارد. از این‌رو ابتدا خصوصیات آماری متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش و ضریب همبستگی بین آنها بررسی می‌شود (جدول ۱).

قابل مشاهده است که نرخ ارز دلار با آتی سکه طلا همبستگی بالایی دارد و سری زمانی قیمت این داده به‌منظور شفافیت بیشتر در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

همانطورکه در شکل ۱ دیده می‌شود، نوسانات نرخ ارز دلار با آتی سکه طلا

جدول ۱. خلاصه خصوصیات آماری قیمت نقدی دلار در بازار آزاد و آتی سکه طلا طرح امام.

	نرخ ارز دلار به ریال	قیمت آتی سکه طلا به ریال
تعداد	۲۲۷	۲۲۷
میانگین	۳۹۸۱۷٫۶۷	۱۲۵۲۵۵۱۳
میانه	۳۵۰۹۰	۱۰۵۶۵۹۵۷
حداکثر	۱۱۲۹۶۰	۴۲۸۶۱۵۲۳
حداقل	۳۰۴۸۰	۸۵۰۸۹۸۴
انحراف معیار	۱۴۱۲۸٫۴۱	۵۸۴۱۶۷۸
چولگی	۳٫۳۷۵۵۰۷	۳٫۳۱۸۰۸۰
کشیدگی	۱۴٫۹۳۵۱۶	۱۴٫۷۴۸۸۴
جارک ـ برا	۱۷۷۸٫۳۹۶	۱۷۲۲٫۱۱۵
ضریب همبستگی	۰٫۹۹۱۴۲۸	



شکل ۱. سری زمانی بازده نقدی دلار و آتی سکه طلا.

طرح امام در بسیاری از مواقع همسو بوده که این موضوع بیانگر آن است که امکان پوشش ریسک نرخ ارز دلار با آتی سکه طلا وجود دارد. با عنایت به لزوم تعیین نسبت بهینه پوشش ریسک به‌بازده قیمت نقدی دلار و آتی سکه طلا، خصوصیات آماری موارد مذکور در قالب جدول ۲ بررسی می‌شود:

برای تعیین نسبت پوشش ریسک بهینه رویکردهای متفاوتی وجود دارد که پرکاربردترین این روش‌ها، حداقل واریانس می‌باشد که در این پژوهش مورد استفاده قرار می‌گیرد. قبل از تعیین نسبت بهینه پوشش ریسک، ابتدا ریشه واحد بودن سری‌های زمانی (مانایی) با استفاده از آزمون دیکی فلور تعمیم‌یافته بررسی می‌شود. نتایج آزمون به‌صورت جدول ۳ قابل ارائه می‌باشد.

همانطورکه در جدول قابل مشاهده است بازده نقدی دلار در سطح صفر در سه‌حالت بدون عرض از مبدا و روند، با عرض از مبدا و با عرض از مبدا و روند مانا نیست و با یکبار تفاضل‌گیری مانا می‌شود. در حالی‌که بازده آتی سکه طلا در همه‌ی حالات مانا‌ست، لذا می‌توان گفت که بازده نقدی دلار و آتی سکه طلا با یکبار تفاضل‌گیری مانا می‌شود.

۱.۴. برآورد مدل رگرسیون خطی معمولی

نتایج حاصل از برآورد نسبت پوشش ریسک دلار با آتی سکه طلا به‌روش رگرسیون خطی معمولی مقدار $p_{value} = ۰٫۰۰ > ۰٫۰۵$ را برای فرض صفر β یا همان

جدول ۲. خلاصه خصوصیات آماری بازده نقدی دلار و بازده آتی سکه طلا.

	بازده نقدی نرخ ارز	بازده آتی سکه طلا
تعداد	۲۲۷	۲۲۷
میانگین	۰٫۰۰۵۷۷۴	۰٫۰۰۶۴۵۶
میانه	۰٫۰۰۰۸۸۶	۰٫۰۰۲۴۱۹
حداکثر	۰٫۱۹۲۷۱۵	۰٫۱۹۳۱۸۶
حداقل	۰٫۰۸۸۸۱۶	-۰٫۱۱۸۱۵۲
انحراف معیار	۰٫۰۲۷۰۶۴	۰٫۰۳۱۵۷۰
چولگی	۲٫۸۶۹۳۳۵	۱٫۵۵۰۱۱۶
کشیدگی	۱۸٫۷۰۵۷۰	۱۲٫۷۳۰۴۳
جارک-برا	۲۶۴۴٫۵۶۴	۹۸۶٫۴۳۶۰
ضریب همبستگی	۰٫۶۵۷۷۴۲	

جدول ۳. نتایج آزمون دیکی فلور تعمیم یافته.

تفاضل سطح	آماره t		احتمال		مفروضات آزمون
	بازده نقدی دلار	بازده آتی سکه طلا	بازده نقدی دلار	بازده آتی سکه طلا	
صفر	۲٫۲۲	-۳٫۴۱۳	۰٫۹۹	۰٫۰۰۰۷	بدون عرض
یک	-۸٫۹۵	-۱۰٫۸۴۰	۰٫۰	۰٫۰۰۰	از مبدا
صفر	۱٫۷۶	-۳٫۸۲۴	۰٫۹۹	۰٫۰۰۳۱	با عرض
یک	-۹٫۰۹	-۱۰٫۸۴	۰٫۰۰	۰٫۰۰۰	از مبدا
صفر	۰٫۶۰	-۳۲٫۳۲	۰٫۹۹	۰٫۰۰۰	با عرض از مبدا
یک	-۹٫۴۹	-۱۰٫۸۹	۰٫۰۰	۰٫۰۰۰	و روند

نسبت بهینه پوشش ریسک برابر با صفر نتیجه می‌دهد؛ بنابراین، فرض صفر رد شده و مقدار β پذیرفته می‌شود و نسبت پوشش ریسک بهینه دلار با آتی سکه طلا حاصل از روش رگرسیون معمولی برابر با مقدار ۰/۵۶۳۸۵۶ تعیین می‌گردد.

۲.۴. برآورد مدل رگرسیونی خود رگرسیون ـ برداری

برای برآورد نسبت پوشش ریسک بهینه با مدل خودرگرسیون ـ برداری ابتدا بایستی تعداد وقفه بهینه را مشخص نمود برای این منظور تعداد وقفه بهینه براساس معیارهای مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. در جدول ۴ خلاصه‌ای از تعداد وقفه بهینه با سه معیار شوارتز، حنان کویین و آکاییک قابل مشاهده می‌باشد.[۱۷]

در انتخاب تعداد وقفه بهینه برای داده‌هایی که به‌صورت سری زمانی هستند هنگامی‌که داده‌ها تعدادی کمتر از ۱۰۰ داشته باشند، از معیار شوارتز، هنگامی‌که مقداری بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ داشته باشند از معیار حنان کویین و هنگامی‌که مقداری بیش از ۲۰۰ داشته باشند از معیار آکاییک استفاده می‌شود. از آنجایی که تعداد داده‌ها ۲۲۷ می‌باشد، از معیار آکاییک به‌منظور انتخاب تعداد وقفه بهینه استفاده می‌شود، لذا تعداد وقفه بهینه برابر ۷ می‌باشد.

۳.۴. آزمون علیت گرنجر

در برآورد مدل خودرگرسیون برداری بایستی همه متغیرها بریکدیگر تأثیرگذار باشند، یعنی هر متغیر علت متغیر دیگر باشد. در این آزمون فرض صفر آن است که یک متغیر، علت متغیر دیگر نیست. با توجه به مقدار p_{value} برابر با $\alpha = ۰/۰۵ > ۰/۰۰۰۶$ است، لذا فرض صفر در هر دو حالت رد شده و می‌توان گفت تغییر در بازده آتی سکه طلا باعث تغییر در بازده نقدی دلار شده و از طرفی تغییر در بازده نقدی دلار باعث تغییر در بازده آتی سکه طلا می‌شود و یک رابطه‌ی دوسویه بین متغیرها وجود دارد.

برآورد ضرایب مدل خودرگرسیون برداری و تعیین نسبت بهینه پوشش ریسک با استفاده از ماتریس واریانس ـ کواریانس جملات خطا انجام می‌شود که اگر فرض بر این باشد $var(\varepsilon_{ft}) = \delta_{ff}$ و $cov(\varepsilon_{ft}, \varepsilon_{st}) = \delta_{fs}$ آنگاه نسبت پوشش ریسک بهینه برابر است با:

$$h = \frac{\delta_{fs}}{\delta_{ff}} \qquad (۹)$$

به‌طوریکه با توجه به محاسبات انجام شده مقدار نسبت پوشش ریسک بعد از تخمین مقدار var از تقسیم کواریانس جملات خطای بازده‌های نقدی دلار و آتی سکه طلا به واریانس جملات خطای بازده آتی سکه طلا برابر با ۰/۵۲۵۳۲۲ تعیین می‌گردد.

جدول ۴. خلاصه‌ای از تعداد وقفه بهینه با سه معیار.

وقفه‌ها	شوارتز (SC)	حنان کویین (AIC)	آکاییک AI(C)
۰	−۸/۹۴۵۳۳۱	−۸/۹۶۳۷۲۳	−۸/۹۷۶۱۸۲
۱	−۸/۹۰۶۵۷۷	−۸/۹۶۱۷۵۵	−۸/۹۹۹۱۳۰
۲	−۸/۹۴۹۹۹۷	−۹/۰۴۱۹۶۰	−۹/۱۰۴۲۵۳
۳	−۸/۹۵۹۵۱۹	−۹/۰۸۸۲۶۸	−۹/۱۷۵۴۷۸
۴	−۸/۹۰۵۷۴۸	−۹/۰۷۱۲۸۲	−۹/۱۸۳۴۰۸
۵	−۸/۸۷۸۲۹۰	−۹/۰۸۰۶۰۹	−۹/۲۱۷۶۵۲
۶	−۸/۸۷۶۶۸۸	−۹/۱۱۵۷۹۳	−۹/۲۷۷۷۵۳
۷	−۸/۸۵۴۵۳۲	−۹/۱۳۰۴۲۲	−۹/۳۱۷۳۰۰

۴.۴. برآورد مدل تصحیح خطای برداری (ECM)

برای تعیین نسبت بهینه پوشش ریسک به‌روش تصحیح خطای برداری (ECM) لازم است تا وجود یا عدم وجود یک رابطه بلند مدت بین متغیرهای مورد نظر مورد بررسی قرارگیرد بدین‌خاطر از آزمون هم‌انباشتگی یوهانسون استفاده می‌شود.

با توجه به نتایج آزمون همبستگی یوهانسون در جدول ۵، می‌توان دریافت که یک بردار هم‌انباشتگی بین قیمت دلار و آتی سکه طلا موجود می‌باشد پس می‌توان گفت با روش تصحیح خطای برداری می‌توان روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت بین قیمت دلار و آتی سکه طلا را برآورد کرد. به‌دلیل انباشته بودن قیمت دلار و آتی سکه طلا از یک‌مرتبه، نیازی به تفاضل‌گیری از آنها نیست و رابطه بلندمدت بین این دو متغیر با استفاده از خود آنها با وجود ریشه واحد بودن آنها تخمین زده می‌شود. نسبت پوشش ریسک بهینه بعد از تخمین مدل VECM از تقسیم کواریانس جملات خطای بازده‌های نقدی دلار و آتی سکه طلا به واریانس جملات خطای بازده آتی سکه طلا بدست می‌آید که برابر ۰/۵۲۷۹۸ می‌باشد. مطابق با نتایج به‌دست آمده، در مورد جملات خطا در مدل خودرگرسیون برداری همبستگی وجود داشته و از طرفی اثرات آرچ قابل مشاهده می‌باشد. از این‌رو، احتمال بهبود مدل‌های ایستا با مدل‌های پویای گارچ وجود دارد.

۵.۴. برآورد نسبت بهینه پوشش ریسک با استفاده از مدل‌های پویا

همان‌طورکه از خروجی مدل‌ها مشخص است، نسبت بهینه پوشش ریسک در مدل‌های OLS، VAR، ECM در طول زمان مقدار ثابتی در نظر گرفته شده است و این‌گونه تلقی شده که از دوره‌ای به دوره‌ی دیگر تغییر نمی‌کند. این درحالی است که می‌دانیم پوشش ریسک در دوره‌های مختلف ثابت نبوده و در طول زمان تغییر می‌کند اما در مدل‌های مختلف گارچ نسبت پوشش ریسک بهینه در طول زمان ثابت نبوده و همواره درحال تغییر فرض می‌شود. بنابراین انتظار می‌رود که تخمین نسبت بهینه پوشش ریسک با استفاده از مدل‌های VECH-GARCH، CCC-GARCH و BEEK- GARCH نتایج دقیق‌تری را نتیجه دهد.

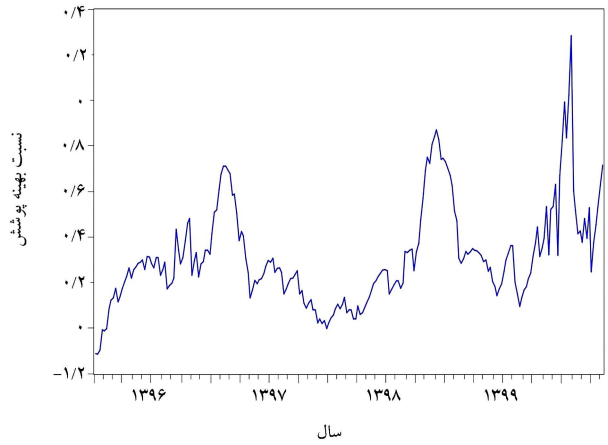
در تخمین مدل‌های پویای VECH-GARCH، CCC-GARCH و BEEK-GARCH، ابتدا تخمین پارامترهای مدل انجام می‌شود که برای انجام این‌کار از نرم‌افزار ایویوز استفاده می‌شود. پس از تخمین پارامترها، با هدف تعیین نسبت بهینه پوشش ریسک، بایستی ماتریس کواریانس آن تشکیل شود. در انتها، همان‌طورکه بیان شد، از تقسیم کواریانس شرطی بین بازده نقدی قیمت دلار و بازده آتی سکه

جدول ۵. خلاصه نتایج آزمون هم‌انباشتگی یوهانسون برای تعیین تعداد بردار هم‌جمعی در مفیدترین حالت.

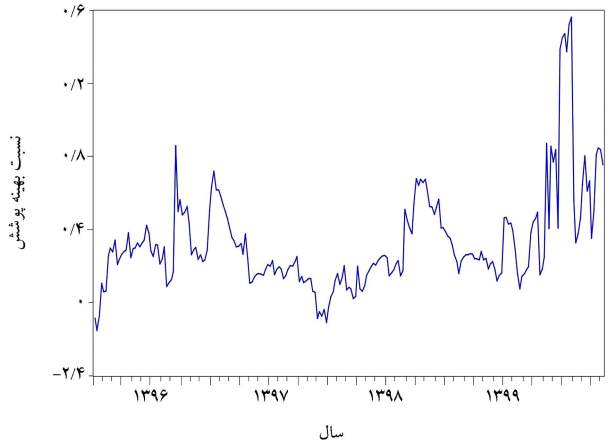
فرضیات	آماره اثر		حداکثر مقادیر ویژه	
	مقدار آماره	احتمال	مقدار آماره	احتمال
فقدان بردار	۳۷/۲۹۸۳۶	۰/۰۰۰	۳۷/۲۹۲۹۹	۰/۰۰۰
حداکثر یک بردار	۰/۰۰۵۳۶۵	۰/۹۵۱۹	۰/۰۰۵۳۶۵	۰/۹۵۱۹

جدول ۶. خصوصیات آماری نسبت‌های بهینه پوشش ریسک پویا.

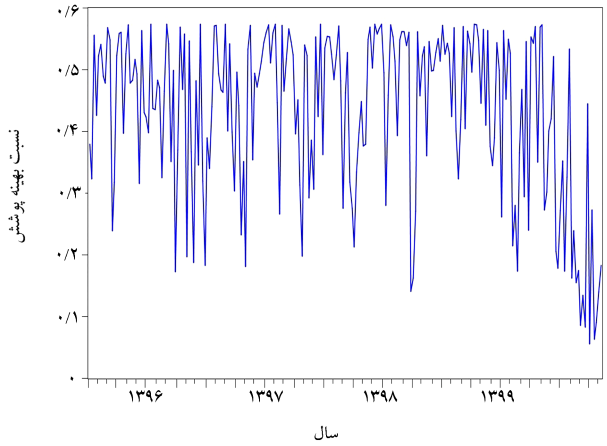
	VECH−GARCH(۱, ۱)	BEKK−GARCH(۱, ۱)	CCC−GARCH(۱, ۱)
تعداد مشاهدات	۲۲۷	۲۲۷	۲۲۷
میانگین	۰٫۳۱۵۰۹۳	۰٫۳۲۹۲۲۱	۰٫۴۳۱۹۵۴
میانه	۰٫۲۷۱۶۵۱	۰٫۲۵۶۲۱۲	۰٫۴۷۷۶۸۵
حداکثر	۱٫۲۸۵۱۲۸	۱٫۵۶۳۱۴۷	۰٫۵۷۳۳۲۱
حداقل	-۰٫۱۱۴۵۱۰	-۰٫۱۵۲۲۶۲	۰٫۰۵۵۴۷۴
انحراف معیار	۰٫۲۲۰۲۸۳	۰٫۲۷۶۱۷۲	۰٫۱۳۵۰۰۷
چولگی	۱٫۱۳۱۱۱۲	۱٫۹۸۱۴۶۴	-۰٫۸۹۹۲۶۱
کشیدگی	۴٫۷۲۰۳۶۵	۸٫۶۴۶۷۱۵	۲٫۷۸۶۳۸۹
آماره چارک برا	۷۹٫۳۹۷۹۳	۴۵۰٫۱۲۳۸	۳۱٫۰۲۶۲۵



شکل ۲. مقادیر نسبت پوشش ریسک بهینه با استفاده از مدل VECH-GARCH.



شکل ۳. مقادیر نسبت پوشش ریسک بهینه با استفاده از مدل BEEK-GARCH.



شکل ۴. مقادیر نسبت پوشش ریسک بهینه با استفاده از مدل CCC-GARCH.

جدول ۷. کارایی پوشش ریسک با استراتژی‌های مختلف.

استراتژی	واریانس سبد	درصد کاهش واریانس
بدون پوشش	۰٫۰۰۱۲۱۰۳۷	-
OLS	۰٫۰۰۰۶۸۸۱۹۳	۰٫۴۳۱۴۱۹
VAR	۰٫۰۰۰۶۸۶۸۰۹	۰٫۴۳۲۵۶۳
VECM	۰٫۰۰۰۶۸۶۸۹۶	۰٫۴۳۲۴۹۱
VECH-GARCH	۰٫۰۰۰۷۰۲۴۸۶	۰٫۴۱۹۶۱۱
BEKK-GARCH	۰٫۰۰۰۳۳۰۵۱۹	۰٫۷۲۶۹۲۷
CCC-GARCH	۰٫۰۰۰۴۸۸۸۹۹	۰٫۵۹۶۰۷۵
پوشش ریسک ساده	۰٫۰۰۰۷۱۳۲۷	۰٫۴۱۰۷۰۱

طلا به واریانس شرطی بازده آتی سکه طلا نسبت بهینه پوشش ریسک بدست می‌آید که در شکل ۲ تا ۴ قابل مشاهده می‌باشد.

جمع‌بندی نتایج حاصل از اجرای مدل‌های پویا در جدول ۶، قابل مشاهده می‌باشد.

پس از محاسبه نسبت بهینه پوشش ریسک با استفاده از مدل‌های ایستا و پویا، اقدام به تشکیل پورتفوی براساس نسبت‌های به‌دست آمده شده است. ارزیابی کارایی رویکردهای اتخاذ شده درکاهش ریسک پورتفوی با استفاده از شاخص e انجام می‌شود:

$$e = ۱ - \frac{v(H)}{v(U)} \qquad (۱۰)$$

به‌طوریکه $v(H)$ برابر واریانس پورتفوی پوشش داده شده و $v(U)$ واریانس پورتفوی بدون پوشش ریسک می‌باشد. جدول ۷ واریانس سبد دارایی و درصد کاهش واریانس را برای مدل‌های مختلف مورد بحث نشان می‌دهد.

براساس نتایج حاصل، می‌توان این‌گونه عنوان کرد همه مدل‌های OLS، VAR و VECM دارای کارایی یکسانی در تعیین نسبت پوشش ریسک بهینه و کاهش ریسک پورتفوی داشتند و از بین سه‌مدل پویای گارچ BEKK-GARCH، VECH-GARCH و CCC-GARCH مدل VECH-GARCH در مقایسه با استراتژی پوشش ریسک ساده بهبود کارایی چندانی نداشته و این درحالی است که دو مدل BEKK-GARCH و CCC-GARCH کارایی نسبتاً بالایی داشتند و مدل BEKK-GARCH بهترین کارایی را در مقایسه با سایر مدل‌ها در کاهش ریسک پورتفوی داشته است.

در نهایت برای پاسخ به این سوال که از بین استراتژی‌های و مدل‌های مورد استفاده در تعیین نسبت پوشش ریسک بهینه کدامیک کارایی بالاتری دارد، می‌توان این‌گونه عنوان کرد که براساس نتایج این بررسی، بهترین استراتژی و مدل جهت تعیین نسبت بهینه پوشش ریسک، مدل پویای BEKK-GARCH می‌باشد. در کل براساس نتایج، می‌توان این‌چنین بیان کرد که بین قیمت نقدی دلار و آتی سکه طلا رابطه معنی‌داری وجود دارد و به این دلیل امکان پوشش ریسک متقاطع قیمت دلار با قیمت آتی سکه طلا بوده و این استراتژی به‌میزان قابل توجهی ریسک پورتفوی را کاهش می‌دهد.

نتایج حاکی از وجود عدم قطعیت در مقدار این نسبت در طی زمان و وجود الگوهای معنی‌دار از وابستگی به داده‌های دوره‌های قبلی در سری‌زمانی نسبت پوشش ریسک می‌باشد که برتری استفاده از روش‌های ناپارامتریک از قبیل شبکه عصبی مصنوعی را برای پیش‌بینی مقادیر آتی این سری زمانی توجیه می‌نماید. براساس مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۳ توسط شیرازی و همکارانش با عنوان «مقایسه پوشش و ریسک‌های مالی: از رگرسیون تا شبکه عصبی مصنوعی» انجام شد، برتری رویکرد شبکه عصبی نسبت به‌روش‌های موجود اثبات گردید.[۱۸]

۶.۴. مدل MLP در شبکه عصبی به‌جهت پیش‌بینی نسبت بهینه پوشش ریسک

مدل شبکه عصبی مصنوعی به‌عنوان یکی از شاخه‌های هوش مصنوعی از ساختار نرون‌های مغز انسان الگوبرداری شده است. آنها در عمل، مجموعه‌ای از مدل‌های غیرخطی انعطاف‌پذیر هستند که قادر به کشف الگوهای موجود در داده‌ها بوده و در خلال پردازش داده‌های تجربی، اطلاعات و یا قوانین پنهان در داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند.[۱۹] یکی از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی که در پیش‌بینی کاربرد دارد، مدل شبکه عصبی پرسپترون می‌باشد که در این مطالعه، به‌منظور پیش‌بینی نسبت بهینه پوشش ریسک (محاسبه شده توسط روش پویای BEKK-GARCH) مورد استفاده قرارمی گیرد. شبکه‌های پرسپترون چندلایه، جزء پرکاربردترین مدل‌های شبکه عصبی برای مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی به‌شمار می‌آیند. این نوع شبکه‌ها از جمله روش‌های مدل‌سازی هستند که قادر به تخمین موارد غیرخطی متعدد در داده‌ها هستند و یک چارچوب محاسبه انعطاف‌پذیر برای انواعی از مسائل غیرخطی علی‌الخصوص سریهای زمانی ارائه می‌نمایند.[۲۰]

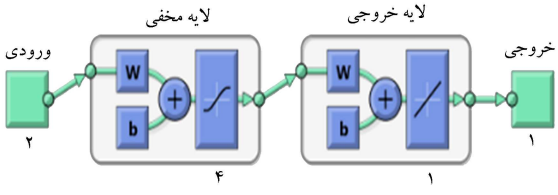
بازده نقدی دلار و آتی سکه طلا از ابتدای سال ۱۳۹۶ تا ۸ مردادماه سال ۱۴۰۰، به‌عنوان متغیرهای ورودی پرسپترون پیشنهادی و مقدار بهینه پوشش ریسک به‌عنوان متغیر خروجی درنظر گرفته شد. لازم به‌ذکر است از مقادیر به‌دست آمده از مدل پویای BEKK-GARCH به‌عنوان داده‌های تاریخی نسبت بهینه پوشش ریسک مربوط به این بازه استفاده شد. تعداد مشاهدات برابر با ۲۲۷ می‌باشد که از این تعداد ۷۰٪ آن یعنی ۱۵۹ داده به‌عنوان داده‌های آموزش، ۱۵٪ آن یعنی تعداد ۳۴ داده به‌عنوان داده‌های صحه‌گذاری و ۱۵۵ دیگر آن یعنی ۳۴ داده بعنوان داده‌های تست در نظرگرفته شد.

در فرایند یادگیری شبکه، ابتدا داده‌های مربوط به آموزش به شبکه ارائه می‌گردد و وزن‌های اولیه اتصالات مابین نرون‌ها به‌صورت تصادفی توسط شبکه انتخاب و پس از بارگذاری داده‌های مجموعه آموزش و تنظیم وزن‌های شبکه، اولین گروه از داده‌ها به‌عنوان ورودی به شبکه اعمال می‌شود. سپس خروجی شبکه با استفاده از توابع و الگوریتم یادگیری محاسبه شده و با خروجی مطلوب مقایسه می‌گردد. در مرحله بعد شبکه با استفاده از بایاس محاسبه شده، وزن‌های شبکه را تغییر می‌دهد و این عملیات برای کل داده‌های آموزش اعمال می‌گردد که پس از اعمال هر ورودی، وزن‌های شبکه به‌هنگام می‌گردند. هربار تکرار فرآیند فوق یک تکرار نام دارد و بعد از هر تکرار میانگین مربعات خطا محاسبه شده (MSE) و با مقدار هدف مقایسه می‌شود؛ در صورتی‌که خطا بزرگتر از خطای هدف باشد دوباره یک سیکل دیگر تکرار می‌شود. در اینجا شرط توقف آموزش رسیدن به گرادیان خطای نزدیک به صفر است. جدول ۸ نتایج در لحظه توقف را برای توپولوژی‌های مختلف نشان می‌دهد.

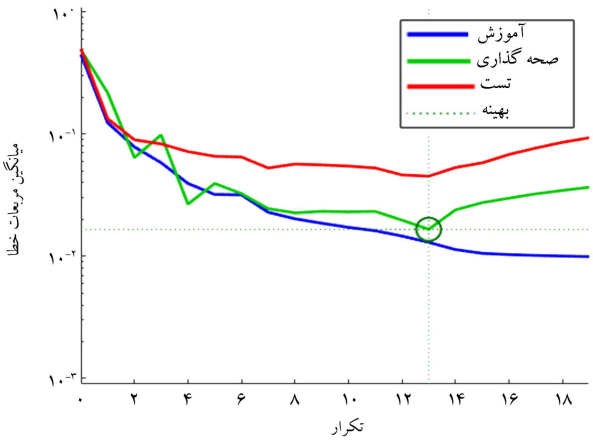
بهترین شبکه پیشنهادی بر اساس تابع عملکرد میانگین مربعات خطا، مربوط به توپولوژی شماره ۲ با کمترین MSE داده‌های تست می‌باشد که مقداری برابر با ۰٫۰۱۶۶ برای مرحله آموزش و ۰٫۰۴۹۱ مربوط به مرحله تست را دارا می‌باشد. همچنین خروجی‌های این مدل، R بسیار نزدیک به عدد ۱ را دارد؛ ۰٫۹۷۱ و ۰٫۸۸۱۱ به‌ترتیب ضریب R مربوط به مرحله آموزش و تست این شبکه می‌باشد. صحه‌گذاری شبکه‌های عصبی، در اصل همان بررسی میانگین مربعات خطا و گرادیان خطا در حین فرآیند آموزش می‌باشد که درصورتی که مدل برازش شده در سطح عملکرد قابل قبولی با توجه به معیارهای مناسب برازش باشد، فرایند آموزش به‌معنای دست‌یابی به مدل قابل قبول متوقف می‌شود. در ادامه توپولوژی برتر مطابق با شکل ۵ و مراحل آموزش، صحه‌گذاری و تست مدل در شکل ۶ قابل مشاهده می‌باشد. همانطورکه مشاهده می‌شود فرآیند آموزش پس از ۱۳ بار تکرار داده‌ها به بهترین مقدار خود برای مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های شبکه رسیده است.

جدول ۸. نتایج در لحظه توقف در مرحله‌ی آموزش و تست در تعداد لایه‌ها و نسبت‌های متفاوت در داده‌ها.

	داده های آموزش		داده های تست	
#	نرون لایه مخفی	MSE	R	MSE	R
۱	۳	۰٫۰۲۴۳	۰٫۹۴۳	۰٫۰۷۰۱	۰٫۵۰۳۱
۲	۴	۰٫۰۱۶۶	۰٫۹۷۱	۰٫۰۴۹۱	۰٫۸۸۱۱
۳	۵	۰٫۰۶۸۱	۰٫۹۸۰	۰٫۰۹۳۰	۰٫۷۴۱۰
۴	۶	۰٫۰۲۵۷	۰٫۹۴۳	۰٫۰۶۲۲۸	۰٫۸۵۱۱



شکل ۵. توپولوژی شبکه پرسپترون پیشنهادی شامل ۴ نرون در لایه میانی و یک نرون در لایه خروجی.



شکل ۶. نمودارهای آموزش، صحه‌گذاری و تست در مراحل مختلف تکرار داده‌ها.

جدول ۹. پیش بینی ۵ دوره آتی با استفاده از شبکه برتر.

نام دوره	مقدار پیش بینی شده
دوره اول	۰٫۸۵۱۱
دوره دوم	۰٫۹۰۳۰
دوره سوم	۱٫۱۰۴
دوره چهارم	۱٫۳۷۰
دوره پنجم	۱٫۲۳۸

با استفاده از شبکه انتخاب شده (توپولوژی شماره ۲)، نسبت‌های بهینه پوشش ریسک برای هفته‌های آتی مطابق با جدول ۹ محاسبه گردید.

۵. جمع بندی و نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر به‌جهت نوسانات شدید نرخ ارز دلار در ایران، مهار نوسانات و پوشش ریسک آن مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. یکی از روش‌های کارا در جهت کاهش ریسک استفاده از قرارداد آتی و پوشش ریسک متقاطع جهت کاهش ریسک پورتفوی می‌باشد. هدف از این پژوهش، بررسی امکان پوشش ریسک متقاطع نرخ ارز با آتی سکه طلا در بازار مالی ایران است؛ به‌عبارت دیگر، این پژوهش به‌دنبال بررسی این موضوع است که با تشکیل یک سبد دارایی شامل دلار و آتی سکه طلا، ریسک نوسانات دلار را تا حد امکان پوشش داده و کاهش دهد.

در این پژوهش، ابتدا مشخصات آماری دلار و آتی سکه طلا و همچنین همبستگی بین این دو دارایی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که بین نرخ ارز دلار و قیمت آتی سکه طلا رابطه معناداری وجود دارد. بنابراین، به‌دلیل وجود رابطه معنادار بین این دو دارایی، فرضیه دوم مبنی بر امکان پوشش ریسک نرخ ارز دلار با آتی سکه طلا مورد آزمون قرار گرفت و پذیرفته شد که این نتیجه‌گیری با نتایج حاصل از تحقیقات مهرآرا و همکاران (۱۳۹۷) همخوانی دارد.[۲۱]

همچنین نتایج نشان داد که از بین مدل‌های مختلف، مدل پویای BEKK-GARCH دارای بهترین عملکرد در کاهش ریسک پورتفوی بوده که این نتیجه با نتایج تحقیقات صیادی و همکاران (۱۳۹۸) و لای (۲۰۱۹) که بر اساس داده‌های مربوط به دارایی نفت خام انجام شده است، همخوانی دارد.[۷و۱۰] همچنین، از یک مدل عصبی مصنوعی پرسپترون به‌منظور پیش‌بینی نسبت پویای بهینه پوشش ریسک بر اساس بازده قیمت دارایی‌ها استفاده گردید که نتایج بیانگر کارایی قابل قبول این مدل و همچنین افزایش کارایی پیش‌بینی با استفاده از بازده دارایی‌ها به‌جای قیمت دارایی‌ها بود.

یکی از ساده‌ترین ابزارها برای کاهش ریسک در شرایط نااطمینانی محیطی، استفاده از قراردادهای آتی و به‌کارگیری استراتژی‌های پوشش ریسک می‌باشد. با عنایت به تورم بالا، در سال‌های اخیر در ایران و همچنین وجود عدم قطعیت در شرایط محیطی، استفاده از ابزارهای پوشش ریسک سرمایه‌گذاری در بازار سرمایه مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند.[۲۲] آنچه در این مطالعه هدف‌گذاری می‌شود، شناسایی رویکرد برتر از بین رویکردهای موجود در محاسبه و پیش‌بینی نسبت بهینه پوشش ریسک با عنایت به ماهیت پویای این نسبت و همچنین نااطمینانی‌های محیطی است. بدون شک عملکرد رویکردهای مبتنی بر مدل‌سازی (پارامتریک) یا شبیه‌سازی همچون شبکه‌های عصبی مصنوعی که بر اساس یادگیری و همچنین اطلاعات قبلی شکل می‌گیرند. در شرایطی‌که اثرات سیاسی، اقتصادی و اجتماعی بر جامعه‌ای حکم‌فرما باشد، تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. اما آنچه در این مطالعه هدف‌گذاری می‌شود، مقایسه عملکرد رویکردهای موجود و به‌کارگیری رویکرد برتر برای تخمین این نسبت و پیش‌بینی آن با یک رویکرد ناپارامتریک است (رویکردی که در شرایط نااطمینانی محیطی بهتر عمل می‌کند). لازم بذکر می‌باشد استفاده از رویکرد ناپارامتریک شبکه عصبی مصنوعی فازی که در مطالعه قبلی نویسنده، توسعه یافته است.[۲۳] به‌عنوان مطالعه آتی توصیه می‌گردد. از دیگر موضوعات قابل توجه، محاسبه و لحاظ نمودن مقدار ارزش در معرض خطر به‌عنوان یک ملاک ارزیابی پوشش ریسک و تقویت کار با استفاده از تحلیل هیپ در تعیین مقدار نسبت پوشش ریسک، می‌تواند در مطالعات آتی مورد مطالعه قرارگیرد. همچنین، با عنایت به نتایج مطالعات قبلی در به‌کارگیری مدل‌های پارامتریک، می‌توان ادعای بهبود شبکه عصبی مصنوعی غلتان (خودرگرسور) برای پیش‌بینی دقیق‌تر، این نسبت را مطرح و مورد آزمون قرارداد.

پانوشت‌ها

1. Naive Approach
2. Hedger
3. Optimal Hedge Ratio
4. Arouri et al
5. Bonga-Bonga & Umoetok
6. Sadorsky & Sharma
7. Ordinary Least Square
8. Lai et al
9. Wang et al
10. Bai et al
11. Constant Conditional Correlation

منابع (References)

1. Farzanegan, E., 2018. Bahar-azadi gold coin hedging strategies: A comparison of ADCC, GO-GARCH and Copula-GARCH approaches. *Iranian Journal of Economic Research*, *23*(75), pp.137-166. https://doi.org/10.22054/ijer.2018.9124.
2. Buyukkara, G., Kucukozmen, C.C. and Uysal, E.T., 2022. Optimal hedge ratios and hedging effectiveness: An analysis of the Turkish futures market. *Borsa Istanbul Review*, *22*(1), pp.92-102. https://doi.org/10.1016/j.bir.2021.02.002.
3. Arouri, M.E.H., Jouini, J. and Nguyen, D.K., 2011. Volatility spillovers between oil prices and stock sector returns: Implications for portfolio management. *Journal of International Money and Finance*, *30*(7), pp.1387-1405. https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2011.07.008.
4. Bonga-Bonga, L. and Umoetok, E., 2016. The effectiveness of index futures hedging in emerging markets during the crisis period of 2008-2010: Evidence from South Africa. *Applied Economics*, *48*(42), pp.3999-4018. https://doi.org/10.1080/00036846.2016.1150948.
5. Ansari Ardali, Z., Musavi., M. H. and kordbacheh, H., 2017. Estimating the optimal rate of risk hedge and the difference that optimal hedging makes in the natural gas market. *QEER 2017*, *13*(53), pp.35-60. [In Persian].
6. Farzanegan, E. 2018. Bahar-azadi gold coin hedging strategies: A comparison of ADCC, GO-GARCH and Copula-GARCH approaches. *Iranian Journal of Economic Research*, *23*(75), pp.137-166. doi: 10.22054/ijer.2018.9124.
7. Sayadi, M., Ebrahimi, M. and Jashni, P., 2019. Analysis of the dynamic optimal hedging ratio and its effectiveness by M-GARCH Models: A case study for Iran crude oil spot price. [In Persain].
8. Ahmad, W., Sadorsky, P. and Sharma, A., Optimal hedge ratios for clean energy equities. *Journal of Economic Modelling*, *72*, pp.278-295. [In Persian]. https://doi.org/10.1016/j.econmod.2018.02.008.;
9. Maleki, M. and Meysam Rafei, M., 2018. Optimal hedge ratio of bahar azadi coin futures: Application of markov regime switching models. *Journal of Econometric Modeling*, *3*(2), pp.23-47. [In Persian]. https://doi.org/10.22075/jem.2019.14891.1176.
10. Lai, Y.S., 2019. Evaluating the hedging performance of multivariate GARCH models. *Asia Pacific Management Review*, *24*(1), pp.86-95. https://doi.org/10.1016/j.apmrv.2018.07.003.
11. Wang, Y., Geng, Q. and Meng, F., 2019. Futures hedging in crude oil markets: A comparison between minimum-variance and minimum-risk frameworks. *Energy*, *181*, pp.815-826. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.226.
12. Bai, Y., Pan, Z. and Liu, L., 2019. Improving futures hedging performance using option information: Evidence from the S&P 500 index. *Finance Research Letters*, *28*, pp.112-117. https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.04.014.
13. Borzabadi, F.M., Gholizadeh, M. and Chirani, E., 2021. Dynamic modeling of estimating the optimal hedge ratio of gold coin with saffron futures contracts. https://doi.org/10.22034/jse.2020.11238.1450
14. Joo, Y.C. and Park, S.Y., 2023. Hedging bitcoin with commodity futures: An analysis with copper, gas, gold, and crude oil futures. *Gas, Gold, and Crude Oil Futures*. https://doi.org/10.2139/ssrn.4355765.
15. Ederington, L.H., 1979. The hedging performance of the new futures markets. *The Journal of Finance*, *34*(1), pp.157-170. https://doi.org/10.2307/2327150.
16. Buyukkara, Goknur, C. Coskun K., and Tolga Uysal, E., 2022. Optimal hedge ratios and hedging effectiveness: An analysis of the Turkish futures market. Borsa Istanbul Review. *22*(1), pp.92-102. https://doi.org/10.1016/j.bir.2021.02.0022.
17. Amini, P. and Khashei, M., 2021. INTPOCARIMAUEEMD. *Sharif Journal of Industrial Engineering & Management*, *37*(1), pp.3-12. https://doi 10.24200/J65.2021.53326.1993.
18. Shirazi, A. and Fard, F.S.N., 2023. Financial hedging and risk compression, A journey from linear regression to neural network. *arXiv preprint arXiv:2305.04801*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.04801.
19. Jena, P.R., Majhi, R., Kalli, R., Managi, S. and Majhi, B., 2021. Impact of COVID-19 on GDP of major economies: Application of the artificial neural network forecaster. *Economic Analysis and Policy*, *69*, pp.324-339. https://doi.org/10.1016/j.eap.2020.12.013.
20. Neshat, N., Mahlooji, H. and Kaya, M., 2022. A new ANN approach for time series analysis. *Scientia Iranica*. https://doi.org/10.24200/sci.2022.58046.5536.
21. Mehrara, M., Elahi, N., Eslami Bidgoli, S. and Shahabadi Farahani, A., 2018. Study the optimal hedge ratio in exchange rate and gold in developing and newfound financial markets: Case study of Tehran stock exchange and Istanbul. *Journal of Econometric Modelling*, *3*(2), pp.1-21. [In Persian]. https:// doi: 10.22075/jem.2018.16015.1214.
22. Agha Babaei, Mohammad Ebrahim, Legal., 2020. Investigating the effectiveness of gold coin futures to cover the risk of stock price fluctuations. *Financial Engineering and Securities Management*, *21;43*(11), pp.131-50.
23. Torabi, A., Pashapour Nazari, S. and Neshat, N., 2013. A Novel approach of artificial neural networks modeling based on fuzzy regression approach for forecasting purposes: The case of liquid gas price in Japan's market. *Advances In Industrial Engineering*, *47*(1), pp.15-24. https:// doi: 10.22059/jieng.2013.35507.