فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار
شماره پنجاه و یک/ تابستان ۱۴۰۱
نوع مقاله : پژوهشی
صفحات : ۲۶۴-۲۴۱

مدل‌سازی پویای مبتنی بر GAS جهت پیش‌بینی و ارزیابی ارزش در معرض ریسک بیت‌کوین و طلا

محمدابراهیم سماوی[۱]
هاشم نیکومرام[۲]
مهدی معدنچی زاج[۳]
احمد یعقوب‌نژاد[۴]

تاریخ دریافت مقاله : ۱۴۰۰/۰۹/۲۷ تاریخ پذیرش مقاله : ۱۴۰۰/۱۰/۱۳

چکیده

گام اول مدیریت ریسک در حوزه سرمایه‌گذاری محاسبه با دقت بالای متغیر توضیح‌دهنده ریسک می‌باشد. یکی از معیارهای محاسبه پرکاربرد ریسک ارزش در معرض ریسک است که طی سه دهه اخیر همچنان مورد توجه پژوهشگران مالی بوده است. مدل‌های پارامتریک سنتی محاسبه ارزش در معرض ریسک دارای مفروضاتی هستند که با پیچیدگی و واقعیت فعلی بازارهای مالی تطابق ندارد و از طرفی به دلیل عدم‌پویایی در بازارهای پر تلاطم از دقت کافی برخوردار نیستند. از این رو هدف پژوهش حاضر، مدلسازی پویا و زمان متغیر با استفاده از تکنیکی با نام امتیاز خودبرازشی تعمیم یافته (GAS) در جهت برآورد ارزش در معرض ریسک بیت‌کوین و طلا با استفاده از داده‌های روزانه از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ میلادی با فرض توزیع تی‌استیودنت انجام شده و نتایج آن با نتایج مدل‌های شناخته شده AR و GARCH مقایسه گردیده است. یافته‌ها نشان داد که برای انس جهانی طلا مدل‌های GAS، GARCH و AR در سطح خطای ۵ درصد قابلیت تخمین ارزش در معرض ریسک را داشتند که از این بین مدل GAS بهترین عملکرد را داشت. برای رمزارز بیت‌کوین تنها دو مدل GAS و GARCH تخمین‌زننده مناسب ارزش در معرض ریسک می‌باشند که مدل GARCH ارجح‌تر است.

کلمات کلیدی

ارزش در معرض ریسک، بیت‌کوین، رمزارزها، طلا، مدل GAS.

۱-گروه مدیریت مالی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. m.e_samavi@yahoo.com
۲-گروه مدیریت مالی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) nikoomaram@srbiau.ac.ir
۳-گروه مدیریت مالی، واحد الکترونیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. madanchi@iauec.ac.ir
۴-گروه حسابداری، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. ahm.yaghobnezhad@iauctb.ac.ir

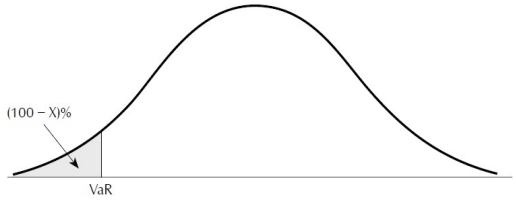
مقدمه

با نگاهی بر تاریخچه بحران‌های مالی و نوسانات غیرقابل تصور ناشی از آن در بازارهای مالی در جهان همانند تبدیل نظام نرخ ارز شناور در سال ۱۹۷۱ میلادی، شوک قیمت نفتی در سال ۱۹۷۳ میلادی، ریزش بی‌سابقه بازار سرمایه ایالات متحده در روز موسوم به دوشنبه سیاه در سال ۱۹۸۷، بحران بازار سرمایه ژاپن در سال ۱۹۸۹، بحران مالی آسیای جنوب شرقی در سال ۱۹۹۷، افت شدید قیمتی سهام بازار وال‌استریت در سپتامبر ۲۰۰۱، وقوع بحران مخرب بازارهای مالی در سال ۲۰۰۷-۲۰۰۸ میلادی و همچنین ریزش ناگهانی تمام بازارهای مالی شامل سهام، کامودیتی‌ها و رمزارزها به دلیل شیوع کرونا در اوایل سال ۲۰۲۰ میلادی، شواهدی مبتنی بر لزوم مدیریت ریسک و توجه سرمایه‌گذاران نهادی و حقیقی به متبلور می‌شود (نصیر و دو[۱]، ۲۰۱۸؛ آئلجبی و گیودیسی[۲]،۲۰۱۸؛ ترنزانو[۳]،۲۰۲۰ و یو و همکاران[۴]، ۲۰۲۱). بر این اساس شناسایی، اندازه‌گیری و همچنین مدیریت ریسک بالاخص در سه دهه اخیر یکی از اساسی‌ترین دغدغه‌های اصلی فعالین بازارهای مالی و همچنین پژوهشگران این حوزه در اقصی نقاط مختلف جهان بوده که مبین اهمیت والای آن است. پیچیدگی بازارهای مالی همانند جهانی شدن، نوآوری‌های مالی، پیشرفت‌های فناورانه، تدوین مقررات نوین، مقررات زدایی، افزایش ضریب نفوذ جهانی در بازارهای مالی و ... منجر به لزوم و ضرورت مدلسازی مالی نوین در جهت ارائه راهکاری کاراتر در جهت شناخت، اندازه‌گیری و مدیریت ریسک است (ثانی و آشتیانی، ۱۳۹۷). ارزش در معرض ریسک (VaR) از جمله معیارهای مهم در اندازه گیری ریسک بالاخص در زمان تلاطم‌های قیمتی است که به سادگی و تنها با یک عدد بیشترین میزان زیان در بازه زمانی معین و در سطح اطمینان مشخص را بیان می‌کند (کرزلک[۵]،۲۰۲۱). در بسیاری از متون مالی روش‌های پارامتریکی برای محاسبه ارزش در معرض ریسک بیان شده که مفروضاتی همچون توزیع خاص در مورد توزیع احتمال بازده دارایی، برقراری رابطه خطی بین عوامل ریسک بازار و قیمت دارایی، یا درجه دوم بودن تابع مطلوبیت سرمایه‌گذاران و .... در نظر گرفته شده که در دنیای واقعی به دلیل پیچیدگی بازارهای مالی، محیط بیرونی و عوامل اقتصادی این مفروضات نقض شده و مدل‌های مشتق شده از آن‌ها به اندازه کافی از کارایی لازم برخوردار نیستند (اسپادارو‌فا[۶] و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین مدلسازی پیش‌بینی توزیع بازده دارایی جهت محاسبه معیاری جدیدی از ارزش در معرض ریسک (VaR) که علاوه بر عدم وجود ایرادات وارده به مدل‌های سنتی، از دقت آن در شرایط تلاطمی بازار کاسته نشود، در این حوزه مغفول مانده است. از این رو با عنایت به چالش‌های موجود در اندازه‌گیری معیار ارزش در معرض ریسک و در راستای پوشش شکاف نظری، پژوهش حاضر به مدلسازی پویای ارزش در معرض ریسک انس جهانی طلا (گزینه سرمایه‌گذاری سنتی)

و رمزارز بیت‌کوین (گزینه سرمایه‌گذاری مدرن) با استفاده از تکنیک‌های آماری سری زمانی و بهره‌گیری از روشی با نام امتیاز خودبرازشی تعمیم یافته[۷] (GAS) پرداخته، همچنین نتایج این مدل نوین با مدل‌های سنتی GARCH و AR مقایسه شده است. در ادامه، پژوهش پیش رو چنین نگاشته شده که در ابتدا مبانی نظری پژوهش بیان و پیشینه مطالعات تجربی مرتبط با آن مرور شده است. سپس، فرضیه‌های پژوهش ارائه و روش تحقیق آن شامل مدلسازی با تکنیک GAS تشریح شده است. در گام بعدی، نتایج حاصل از آزمون فرضیه‌ها تجزیه و تحلیل شده و در نهایت بر اساس جمع‌بندی و نتیجه‌گیری به عمل آمده چند توصیه کاربردی و پژوهشی ارائه شده است.

مبانی نظری:

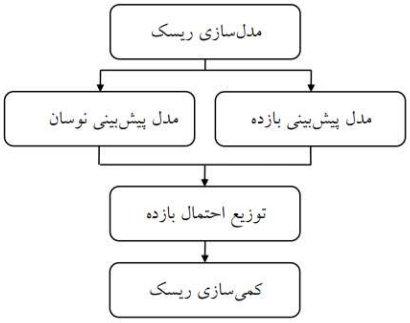
در مبانی نظری ریسک مالی به صورت گسترده، به درجه عدم‌اطمینان نسبت به بازدهی دارایی‌ها و سایر ابزارهای مالی در آینده تعریف شده است (قرنی و گلزار[۸]، ۲۰۲۱). با پیشرفت روزافزون دانش مهندسی مالی، معیارهای پیچیده‌تری جایگزین واریانس جهت اندازه‌گیری سنجه ریسک شدند که یکی از این موارد، سنجه‌های اندازه‌گیری بعد نامطلوب ریسک است. از پرکاربردترین سنجه‌های اندازه‌گیری ریسک نامطلوب، معیار ارزش در معرض ریسک است که مفهوم آن اولین بار به عنوان یک معیار جدید جهت کمی کردن ریسک در سال ۱۹۶۳ توسط بائومل[۹] پیشنهاد شد (الکساندر و بابتیساب[۱۰]، ۲۰۰۲ و بساک و همکاران[۱۱]، ۲۰۱۹). ارزش در معرض ریسک معیاری جهت اندازه‌گیری ریسک که عمدتا ناشی از ریسک بازار است که نحوه اندازه‌گیری آن در سال ۱۹۹۴ توسط جی‌پی‌مورگان ارائه گردید که از آن به بعد به عنوان یک معیار مهم برای سنجش ریسک در نظر گرفته شده است. حداکثر زیان مورد انتظار، در یک دوره زمانی مشخص و در یک سطح احتمال معین، تعریف سنجه ارزش در معرض ریسک است.



شکل ۱. نمایش ارزش در معرض ریسک با فرض جامعه نرمال

پس از گذشت بیش از دو دهه از معرفی معیار ارزش در معرض ریسک هم اکنون این معیار توسط سازمان‌ها و نهادهای مالی معتبری همچون بازار بورس و اوراق بهادار نیویورک، کمیسیون نظارت بر بورس و اوراق بهادار ایالات متحد امریکا، سایر بانک‌های مرکزی، بیمه‌های مرکزی و سازمان‌های نظارتی بر

بورس عمده کشورهای جهان به عنوان استانداردی جهت مدیریت یکپارچه ریسک استفاده می‌کنند. طی سه دهه اخیر از روش‌های گوناگونی به منظور مدلسازی ریسک و اندازه‌گیری معیار ارزش در معرض ریسک توسط محققان ارائه گردیده که بکارگیری هر کدام از آنها به علت در نظر گرفتن فروض و مقدمات غیر مشابه، به نتایج متفاوتی ختم می‌شود (چئونگ و همکاران[۱۲]، ۲۰۲۰). روش واریانس-کوواریانس از اولین روش‌های محاسبه سنجه ارزش در معرض ریسک استو به دلیل اینکه مبتنی بر فرض نرمال بودن توزیع بازدهی دارد، در حالی که در واقعیت توزیع بازده دارایی‌های مالی از نرمال پیروی نمی‌کند و توزیع آن دارای دنباله پهن است(کاون[۱۳]، ۲۰۲۱). به مرور زمان جهت حل مشکل روش واریانس-کوواریانس، رویکرد شبیه‌سازی تاریخی معرفی شد به صورتی که جهت برآورد آینده مبتنی بر این فرض است که تاریخ حتما تکرار می‌شود، که رویکرد هم به دلیل اینکه خوشه‌بندی داده‌های مالی را در نظر نمی‌گرفت، دارای نقصان بود (مهرانی و همکاران، ۱۴۰۰). در گذر زمان، با توجه به اینکه نوسانات بازده به یکدیگر در زمان وابستگی دارند و بدین ترتیب ارتباط دادن یک توزیع غیرشرطی به بازده دارایی‌ها راه‌حل مناسبی به نظر نمی‌رسد (شاهزاد[۱۴] و همکاران، ۲۰۱۸). برای ارائه مدلسازی ریسک باید دو جزء اصلی آن شامل پیش‌بینی بازدهی و پیش‌بینی نوسانات را لحاظ کرد. با کنار هم قرار گرفتن این دو جزء، پازل کلی مدلسازی ریسک کامل می‌گردد و امکان کمی‌سازی ریسک فراهم می‌آید زیرا این دو جزء تصویری از توزیع احتمال بازدهی دارایی ارائه می‌کنند.



شکل ۱. فلوچارت دو بخشی مدل‌سازی ریسک

با توجه به پیشینه مبانی نظری، مساله اصلی عدم وجود مدلی پویا با دقت قابل قبولی است که حتی در شرایط تلاطمی بازار از دقت آن کاسته نشود و بتواند توزیع بازدهی دارایی‌های مالی را پیش‌بینی کند و با دقت بیشتری مدلسازی جهت برآورد ارزش در معرض ریسک نماید، مغفول مانده است. اخیراً مدل‌های

جدید چندمتغیره از طبقه مدل‌های امتیاز محور[15] توسط باساک و همکاران[16] (۲۰۱۹)، در تکمیل مطالعات کریل و همکاران[17] (۲۰۱۳) و هاروی[18] (۲۰۱۳) به منظور مدلسازی میانگین و واریانس شرطی بازده دارایی های مالی ارائه شده است. مدل SD عموماً با نام امتیاز خودبرازشی تعمیم یافته[19] GAS یا مدل‌های امتیاز شرطی پویا[20] مورد اشاره قرار می‌گیرند. این مدل‌ها چارچوبی عمومی برای مدل‌سازی تغییرات زمانی[21] در مدل‌های پارامتریک است. همچنین روش GAS بر خلاف مدل‌های سنتی توانایی پاسخگویی شوک‌های اقتصادی و تلاطم‌های قیمتی ناشی از آن دارد، دارای قیود محدود کننده غیر واقعی نمی‌باشد و علاوه بر آن دارای ویژگی زمان متغیری می‌باشد که منجر به تبیین مدل پیش‌بینی کننده پویا می‌شود. به کار بستن و مدل‌سازی ریسک با تکنیکی که دارای ویژگی‌های مذکور باشد و به صورت پویا توزیع بازدهی را پیش‌بینی کند، مغفول مانده است. از این رو جهت پوشش شکاف نظری، این مقاله به معرفی روش کاربردی GAS در سنجش ارزش در معرض ریسک پرداخته است. در ادامه از این روش جهت پیش‌بینی ارزش در معرض ریسک انس طلای جهانی و رمزارز بیت‌کوین استفاده شده و نتایج با روش‌های غیرخطی AR و GARCH مقایسه شده است.

مروری بر پیشینه پژوهش

در طول دهه‌های گذشته، بخش عظیمی از مطالعات تئوریک و تجربی صرف فرموله کردن مدل‌های نوسان پذیری مناسب شده است. با مطالعه معروف مندلبرت[22] در سال ۱۹۶۳ بر روی نوسانات قیمت‌های پنبه، اکنون اقتصاددانان می‌دانند که حرکت برونی هندسی استاندارد که در سال ۱۹۰۰ توسط باچلیر[23] مطرح شد قادر به توضیح این حقایق تجربی نیست (رهنمای رودپشتی و کلانتری دهقی، ۱۳۹۳). در روش‌های پارامتریک برآورد ارزش در معرض ریسک در دهه اول ۲۰۰۰ میلادی پژوهشگران بسیاری به این مهم دست یافتند که مدل GARCH قابلیت بهتری نسبت به مدل واریانس-کوواریانس، میانگین متحرک، ARCH و شبیه‌سازی مونت کارلو دارد (برنز[24]، ۲۰۰۱؛ میتنیک و پائوللا[25]، ۲۰۰۳؛ جیوت و لاورنت[26]، ۲۰۰۴؛ پالارو و هوتا[27]، ۲۰۰۶ و نری و لیما[28]، ۲۰۰۷). طلا که به عنوان دارایی کم‌ریسک و امن شناخته می‌شود از این رو تا قبل از سال ۲۰۱۲ صرفا مطالعات فراوانی در مورد همبستگی طلا با سایر دارایی‌ها و همچنین عوامل موثر بر قیمت طلا پرداخته شده بود. برای نخستین بار در سال ۲۰۱۲، تراک و لیانگ[29] در پژوهشی به محاسبه ارزش در معرض ریسک طلا پرداختند. در این پژوهش آنها با استفاده از مدل‌های خطی و فرض نرمال بودن جامعه ارزش در معرض ریسک طلا را محاسبه کردند که بهترین مدل را AR و T-ARCH معرفی کردند. از سمتی دیگر در حوزه رمزارزها، برای نخستین بار در سال ۲۰۱۶، بوئویور و رفک[30] در پژوهشی به برآورد ارزش معرض در ریسک و همچنین برآورد بازدهی

بیت‌کوین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های GARCH برای دارایی‌هایی همچون بیت‌کوین که دارای نوسانات بسیار شدیدی است، توانایی پیش‌بینی با خطای کمتری دارند. زیجینگ و ژانگ[۳۱] (۲۰۱۶) از مدل‌های همخانواده GARCH جهت تخمین نوسانات و همچنینی ارزش در معرض ریسک انس طلای جهانی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که این مدل‌ها قابلیت تخمین بهتری نسبت به مدل‌های سنتی برای برآورد ارزش در معرض ریسک طلا دارند. چو و همکاران[۳۲] (۲۰۱۷) در پژوهشی به برآورد ارزش در معرض ریسک هفت رمزارز پرداختند و دریافتند که مدل‌های GARCH نسبت به مدل‌های ARIMA تخمین بهتری برای معیار ارزش در معرض ریسک هستند. در پژوهشی دیگری جنتیلا وهمکاران[۳۳]، در سال ۲۰۱۸ در یافتند مدل‌های خانواده GARCH قابلیت مناسبی جهت تخمین ارزش در معرض ریسک انس طلا دارند. در سال ۲۰۱۹، پراتیوی و همکاران[۳۴] دریافتند که مدل‌هایی که قابلیت پیش‌بینی توزیع بازدهی داشته باشند معیار مناسب‌تری جهت تخمین طلا هستند. در سال ۲۰۱۹ در دو پژوهش انجام شده توسط چن و کیو[۳۵] و همچنین ونگ و همکاران[۳۶] به این نتیجه رسیدند که مدل‌های غیرخطی که ناهمسانی واریانس را در نظر می‌گیرند توانایی بهتری جهت پیش‌بینی بازدهی فلزات گرانبها همانند طلا، نقره و ... دارند. همچنین در سال ۲۰۱۹ فاخفه و جریبی[۳۷] در مقاله‌ای به برآورد توزیع بازدهی رمزارزها پرداختند و نتایج آنها نشان دهنده برتری مدل‌های GARCH نسبت به مدل‌های خطی بود که برای پیش‌بینی ارزش در معرض ریسک رمزارزها، استفاده از این مدل‌ها را موثر دانستند. . وانگ و همکاران[۳۸] (۲۰۲۱) در پژوهشی با استفاده از مدلسازی GARCH-EVT تخمینی جهت برآورد ارزش‌درمعرض‌ریسک طلا زدند که نسبت به مدل GARCH توانایی بهتری داشت. بوردکین و تائو[۳۹] در سال ۲۰۲۱ دریافتند که مدل‌هایی که خاصیت متغیر-زمان داشته باشند، عملکرد بهتری در تلاطم‌های مالی جهت برآورد ارزش در معرض ریسک طلا دارند. فونگ و همکاران[۴۰] (۲۰۲۱) انواع مدل‌های غیرخطی جهت پیش‌بینی قیمت و برآورد ارزش در معرض ریسک ۲۴۵ رمزارز به بته آزمون گذاشتند و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های GARCH به صورت ویژه TGARCH توانایی پیش‌بینی بازده و ارزش در معرض ریسک با خطای ۱ درصد، بیش از ۸۰ درصد از رمزارزهای مورد مطالعه را دارد.

در پژوهش‌های داخلی از روش‌های پارامتریک جهت تخمین ارزش در معرض خطر برای شاخص بورس اوراق بهادار استفاده شده است، که روش‌های خانواده GARCH نسبت به AR و ARIMA ترجیح داده شده است (رهنمای رودپشتی و همکاران، ۱۳۹۱ ؛ فلاح پور و همکاران، ۱۳۹۴ و زمردیان و همکاران، ۱۳۹۸). تعداد معدودی پژوهش در حوزه مورد برآورد ارزش در معرض طلا انجام شده که در ادامه آورده شده است. در سال ۱۳۹۳ فلاح پور و احمدی با ترکیب توابع گارچ و کاپولا، ارزش در معرض

ریسک نفت و انس جهانی طلا پرداختند. نتایج آنها نشان داد که این مدل‌ها دقت بالاتری نسبت به مدل‌های سنتی داشته است. در پژوهشی دیگر فلاح‌پور و دیگران (۱۳۹۴) با ترکیب سه مدل ناهمسانی واریانس GARCH، EGARCH و TGARCH به برآورد ارزش در معرض ریسک برای نفت و طلا پرداخته‌اند. نتایج نشان‌دهنده آن بود که دقت برآورد ارزش در معرض خطر بازار طلا اعتبار کمتری به بازار نفت دارد و معتبرترین مدل از بین سه مدل آزمون شده مدل TGARCH و توزیع تی‌استیودنت بجای توزیع نرمال است. در پژوهشی مهراسا و محمدی در سال ۱۳۹۸، با توجه به نتایج پژوهش خود جهت برآورد ارزش در معرض ریسک کامودیتی‌ها مدل‌های توسعه یافته GARCH را پیشنهاد کردند. در سال ۱۳۹۹، بیگ‌خورمیزی و رافعی در پژوهشی با استفاده از الگوی FIAPARCH-CHUNG بهترین مدل جهت برآورد ارزش در معرض ریسک قراردادهای آتی سکه است که در نوسانات عملکرد قابل قبولی داشته است. کشاورزحداد و زابل (۱۳۹۹) در پژوهشی دریافتند که جهت برآورد ارزش در معرض ریسک طلا توزیع تی‌استیودنت بهتر از توزیع نرمال عمل می‌کند. همچنین از بین مدل‌های گارچ، مدل PGARCH بهترین برآورد ارزش در معرض ریسک برای انس طلای جهانی دارد و نسبت به مدل‌های خطی ارجحیت دارد. در سال ۱۳۹۹، زمانی و همکاران در پژوهشی جهت پیش‌بینی ارزش در معرض ریسک به این نتیجه رسیدند که مدل‌های غیرخطی چند متغیره نسبت به مدل‌های GARCH از دقت بیشتری برخوردار بوده است.

فرضیه‌های پژوهش

فرضیه اول: امتیاز خودبرازشی تعمیم یافته (GAS) از منظر میزان زیان برآورد مدل بهتری جهت اندازه‌گیری ارزش‌درمعرض‌ریسک برای‌رمزارز بیت‌کوین نسبت به روش‌های‌سنتی AR و GARCH دارد.

فرضیه دوم: امتیاز خودبرازشی تعمیم یافته (GAS) از منظر میزان زیان برآورد مدل بهتری جهت اندازه‌گیری ارزش‌درمعرض‌ریسک برای انس‌طلای‌جهانی نسبت‌به روش‌های‌سنتی AR و GARCH دارد.

روش شناسی پژوهش

این پژوهش با هدف مدلسازی معیاری نوین جهت اندازه‌گیری ریسک در راستای مدیریت ریسک سرمایه‌گذاری نگاشته شده، در نتیجه از نوع کاربردی می‌باشد. رویکرد این پژوهش به دلیل استفاده از بازده قیمتی روزانه تاریخی انس جهانی طلا و رمزارز بیت‌کوین به صورت پس رویدادی است. قلمروی زمانی داده‌های مورد استفاده در این پژوهش مربوط به لگاریتم بازده قیمتی روزانه طلا از سال ۲۰۱۰ الی ۲۰۲۰ میلادی شامل ۲،۸۹۷ مورد و رمزارز بیت کوین به دلیل اینکه داده‌های تاریخی آن از سال

۲۰۱۳ موجود می‌باشد، از سال ۲۰۱۳ شامل ۲،۷۰۷ مورد داده قیمتی تا انتهای سال ۲۰۲۰ میلادی وجود دارد. در این راستا ابتدا قیمت دارایی‌های مالی منتخب از منابع اطلاعاتی معتبر، برای داده قیمتی بیت‌کوین از سایت کوین‌دسک[۴۱] و انس طلای جهانی از سایت یاهوفایننس[۴۲] استخراج شده، سپس بازده دارایی‌های مذکور به روش $x_t = Ln(P_t/P_{t-1})$ محاسبه می‌شود. آنگاه در گام اول خواص سری زمانی بازده دو دارایی مذکور بررسی و ارزیابی وسپس مانایی مقادیر توسط آزمون ADF سنجیده می‌شوند می‌شوند. جهت مدل‌سازی جدید در راستای برطرف نمودن ضعف مدل‌های سنتی، در گام بعدی تحقیق با تقسیم نمونه به دو گروه آموزش و آزمون، با استفاده از روش GAS، توزیع شرطی بازده دارایی‌ها برای گروه آموزش برآورد و مدل‌سازی می‌شود.

مطابق نتایج پدور و همکاران (۲۰۲۰)، GAS اینگونه است که با تعریف $Y_t \in \mathcal{R}^N$ به صورت یک بردار تصادفی N بعدی در زمان t با توزیع شرطی ذیل تصریح می شود:

$$Y_t|Y_{1;t-1} \sim p(Y_t; \theta_t) \quad (۱)$$

که در آن $Y_{1;t-1} \equiv (Y'_1, \dots, Y'_{t-1})$ مقادیر قبلی Y_t را تا زمان t-1 نگه داشته و $\theta_t \subseteq \mathcal{R}^J$ بردار پارامترهای زمان متغیر است که کاملا $p(.)$ را نمونه سازی می‌کند و مشروط بر $Y_{1;t-1}$ است. زمان متغیر بودن بردار θ_t ویژگی اصلی مدل GAS، مبتنی بر امتیاز توزیع شرطی فوق بوده و شامل مولفه خودرگرسیو ذیل است:

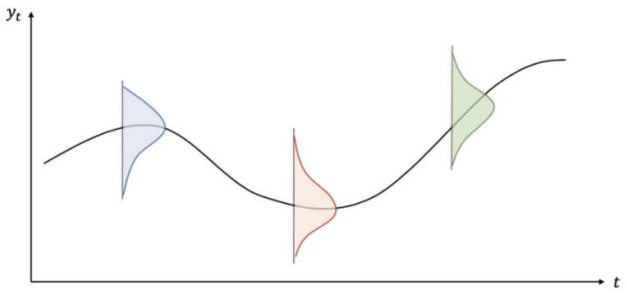
$$\theta_{t+1} \equiv \alpha + \phi \varrho_t + \varphi \theta_t \quad (۲)$$

که در آن α، ϕ و φ ماتریس‌های ضرایب که تحولات θ_t را کنترل نموده و لازم است از داده‌ها با روش حداکثر راستنمایی برآورد شود. برداری که متناسب است با امتیاز توزیع شرطی توسط ϱ_t نشان داده می‌شود و به صورت ذیل است:

$$\varrho_t \equiv \vartheta_t(\theta_t) \nabla_t(Y_t, \theta_t) \quad (۳)$$

که در آن $\vartheta_t = J * J$ یک ماتریس مقیاس دهی مثبت معین است که در زمان t معلوم است و $\nabla_t(Y_t, \theta_t) \equiv \frac{\partial \ln p(Y_t, \theta_t)}{\partial \theta_t}$ امتیاز توزیع شرطی است که در θ_t محاسبه شده است.

به خاطر مکانیسم زمان متغیری که برای پارامترهای توزیع در نظر گرفته شده، توزیع شرطی یک مدل GAS قابلیت این را دارد که به طور پیوسته بر حسب داده های منظور شده تغییر یابد و یک مدل پویا می‌باشد. فرضاً، اگر سری زمانی جهش های تلاطمی چشمگیری داشته باشد، مدل می‌تواند این رفتار را از طریق ماهیت زمان متغیر پارامترها ضبط کند. این ویژگی در نمودار زیر نمایش داده شده است.



شکل ۲. نمودار چارچوب GAS دارای قابلیت توزیع شرطی سری زمانی به طور پیوسته بر حسب داده‌ها

نوآوری اصلی در این روش استفاده از امتیاز مقیاس‌بندی شده برای پیش بردن تغییرات زمانی در پارامتر θ_t است. این کار شکل توزیع شرطی را مستقیم به پویایی‌های خود θ_t متصل می‌کند.

بردار ابرپارامترهای Φ با حداکثر راستنمایی به فرمت زیر است.

$$\widehat{\Phi_t} = \arg\max_{\Phi} \sum_{t=1}^{N} \ln p(Y_t, \theta_t) \qquad (۴)$$

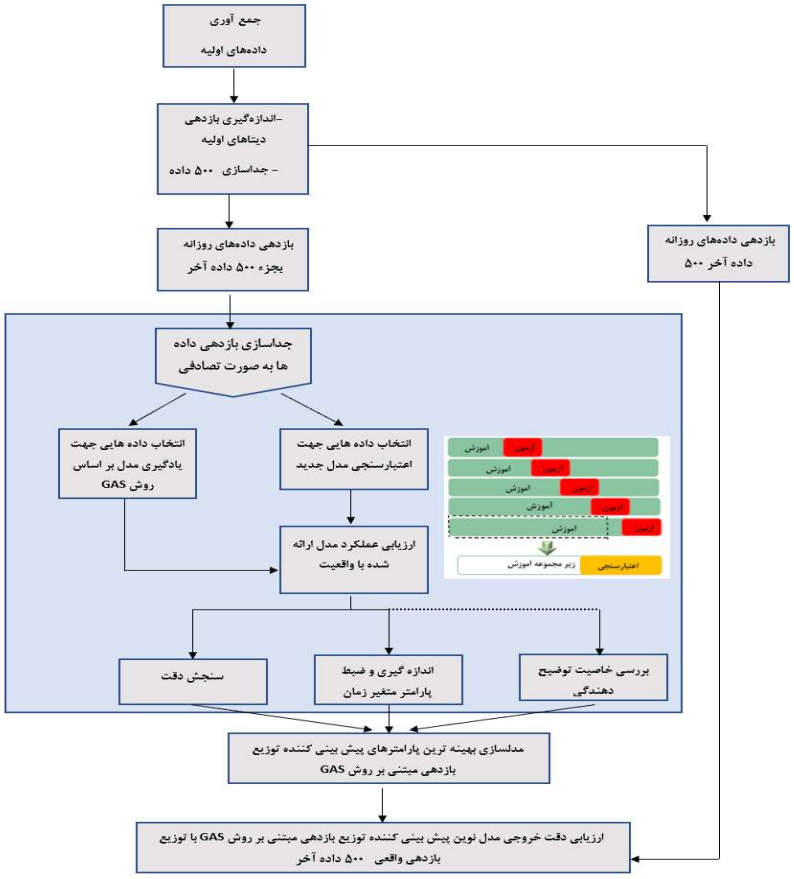
قابل تخمین و ارزیابی تابع لگاریتم-راستنمایی مدل GAS ساده است. با توجه اینکه مدل فرم بسته است، کافی است به $ln\, p(Y_t, \theta_t)$ برای هر مقدار Φ نگاه کرد. جهت پیش‌بینی و شبیه‌سازی سناریوهای آتی، جزئیات فرآیند پیش‌بینی و فاصله اطمینان بیرون نمونه برای پارامترهای زمان متغیر بحث شده است، که فرآیند آن به صورت ذیل است:

۱. با توجه به $\widehat{\Phi_t}$ و حالت فیلتر شده $\widehat{\theta_{t+1}}$، S مقدار $Y_{t+1}^1, \ldots, Y_{t+1}^S$ از چگالی شرطی برآورد شده در t+1 تولید می شود: $Y_{t+1} \sim p(Y_{t+1}; \widehat{\theta_{t+1}})$ به ازای s=1،…،S.

۲. با استفاده از $Y_{t+1}^1, \ldots, Y_{t+1}^S$ و مولفه $\theta_{t+1} \equiv \alpha + \phi\varrho_t + \varphi\theta_t$ مقادیر فیلتر شده $\widehat{\theta_{t+2}^1}, \ldots, \widehat{\theta_{t+2}^S}$ بدست می آید.

۳. با تکرار مراحل ۱ و ۲ به تعداد H مرتبه برای H گام به جلو، مقادیر جدیدی از Y و θ به ازای هر سناریوی s تولید می‌شود.

وقتی فرآیند به اتمام رسید، S سناریو برای مشاهدات درون افق پیش‌بینی، Y_{t+k}^S به ازای k=1،…،H و s=1،…،S در محیط نرم‌افزار R شبیه‌سازی می‌شوند. در فلوچارت زیر مدل‌سازی ریاضی پیش‌بینی توزیع بازدهی با روش GAS جهت برآورد ارزش در معرض ریسک نمایش داده شده است.



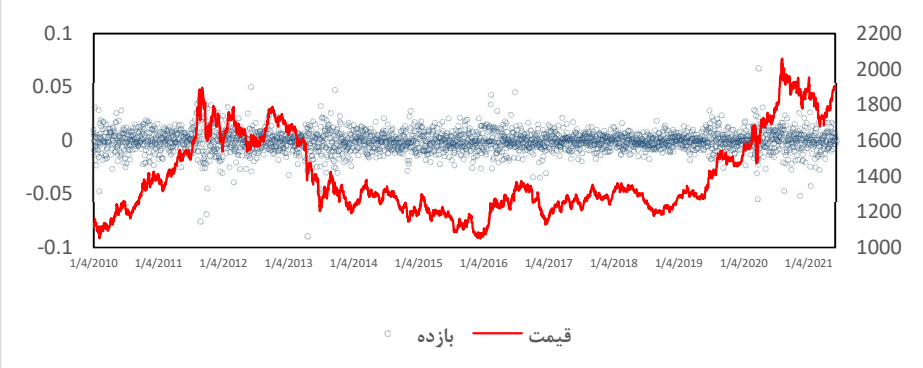
شکل ۳. فلوچارت مدل‌سازی پیش‌بینی توزیع بازدهی برآورد VaR با روش GAS

در گام چهارم با بررسی برآوردها خواص پارامترهای توزیع و ویژگی‌هایی نظیر زمان متغیر بودن احتمالی آنها قابل آزمون خواهد بود. سپس در گام پنجم بر اساس مدل‌های برآورد شده توزیع شرطی یک گام به جلوی بازده دارایی‌ها پیش‌بینی شده و برای ارزیابی صحت و دقت پیش بینی‌ها از آزمون‌های آماری متناسب و داده‌های گروه آموزش بهره برده شده است. این فرآیند با بررسی پوشش صحیح[۴۳] دم چپ[۴۴] توزیع شرطی و غیرشرطی بازده آغاز می‌شود. به این منظور آزمون‌های پوشش صحیح غیرشرطی[۴۵] (UC) ابتدا توسط کوپیک[۴۶] و پوشش صحیح شرطی[۴۷] (CC) توسط کریستوفرسن[۴۸] ارائه شد، تفاوت اصلی بین دو روش در خصوص توزیعی است که در نظر دارند (بوردکین و تائو[۴۹]، ۲۰۲۱). UC پوشش

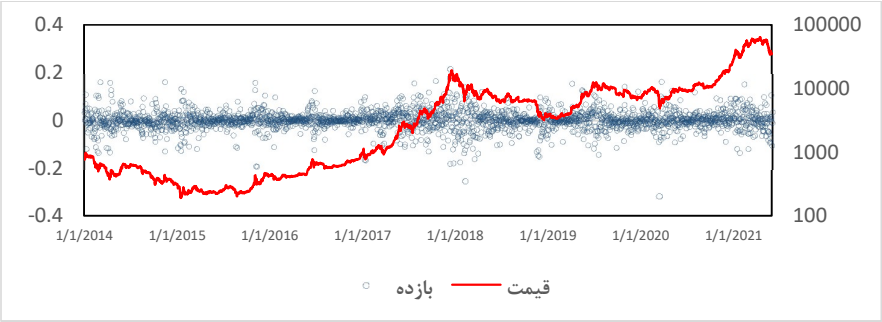
صحیح دم چپ توزیع حاشیه‌ای بازده را در نظر می‌گیرد، در حالی که CC با چگالی شرطی کار می‌کند. به عبارتی دیگر، UC نسبت تعداد تجاوز انتظاری در سطح اطمینان انتخابی (۵ درصد) را حین دوره پیش‌بینی (۵۰۰ دوره) برابر با ۲۵ مرتبه در این پژوهش در نظر می‌گیرد. یکی از آزمون‌هایی پر کاربرد برای مدل‌های پویا ارائه شده است، آزمون انگل و مانگنالی[۵۰] است که به نام آزمون کوانتیل پویا[۵۱] (DQ) شناخته می‌شود و هر دوی UC و CC را تواما آزمون می‌کند (آردیا[۵۲] و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین برای مقایسه، در گام پنجم نتایج روش پیشنهادی مدل GAS را با روش‌های سنتی نظیر مدل‌های GARCH و AR با روش‌های مقایسه‌ای برای انتخاب مدل بهتر باید به کار گرفته شده‌اند. این کار با تعریف یک تابع زیان[۵۳] انجام می‌گیرد که متداول‌ترین آن نسبت زیان صدکی[۵۴] است. با محاسبه زیان صدکی برای هر دوره پیش‌بینی و محاسبه میانگین کل دوره پیش‌بینی به ازای هر مدل، آنگاه می‌توان با مقایسه متوسط زیان صدکی مدل‌های مختلف مدل ارجح‌تر را شناسایی نمود. به این منظور نسبت زیان صدکی تعریف می‌شود که حاصل تقسیم متوسط زیان صدکی مدل اول به مدل دوم است. اگر این نسبت کوچکتر از یک شود آنگاه مدل اول نسبت به مدل دوم ارجحتر است (شیخ و همکاران[۵۵]، ۲۰۲۰). سرانجام مدل نهایی با بیشترین دقت جهت برآورد ارزش در معرض ریسک برای رمزارز بیت‌کوین و انس طلای جهانی مورد بحث قرار گرفته است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها و آزمون فرضیه‌ها:

در نمودارهای زیر روند لگاریتم قیمت طلا، بیت‌کوین و بازده لگاریتمی آنها در دوره نمونه نمایش داده شده است. برای آشنایی بهتر با سری‌های زمانی بازده دارایی‌های تحت بررسی، در جدول ۱ آمار توصیفی داده‌ها گزارش شده است.



نمودار ۱. لگاریتم قیمت اونس طلای جهانی و بازدهی آن



نمودار ۲. لگاریتم قیمت رمزارز بیت‌کوین و بازدهی آن

از دو نمودار بالا مشخص است که پراکندگی بازدهی روزانه رمزارز بیت‌کوین بیشتر از انس جهانی طلا است که به دلیل نوظهوری این دارایی نوین می‌باشد. همچنین جهت آماره‌های توصیفی بازدهی روزانه رمزارز بیت‌کوین و انس جهانی طلا شامل میانگین، میانه، بیشینه، کمینه، انحراف معیار، چولگی، کشیدگی و تعداد مشاهدات به همراه نتیجه آزمون جارک-برا جهت تشخیص وجود نرمالی توزیع بازده دارایی‌ها به شرح جدول زیر است.

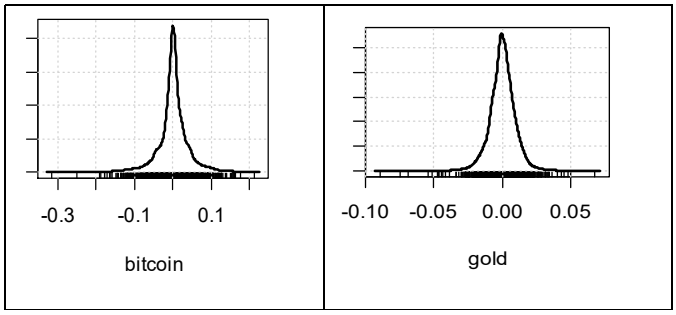
جدول۱. آمار توصیفی داده‌ها

آماره	بازده طلا	بازده بیت‌کوین
میانگین	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱۴
میانه	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱۳
بیشینه	۰/۰۶۷۹	۰/۲۱۴۵
کمینه	-۰/۰۸۹۱	-۰/۳۱۵۹
انحراف معیار	۰/۰۱۰۰	۰/۰۳۹۸
چولگی	-۰/۵۰۰۶	-۰/۳۹۲۶
کشیدگی	۶/۹۷۷۰	۵/۲۵۲۷
آزمون جارک-برا (ارزش احتمال آزمون)	۵۹۹۶ (۰,۰۰۰)	۳۱۸۱ (۰,۰۰۰)
تعداد مشاهدات	۲،۸۹۷	۲،۷۰۷

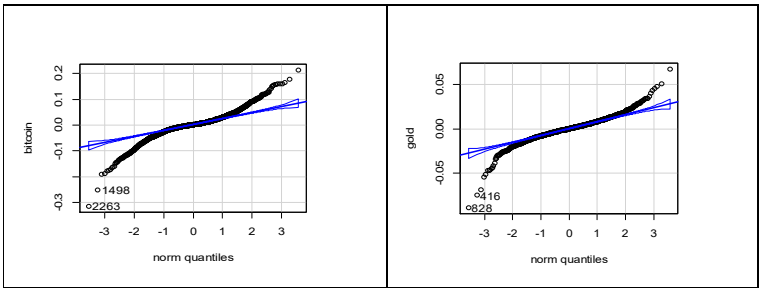
منبع: یافته‌های پژوهش

اصلی‌ترین شاخص مرکزی، میانگین است که نشان دهنده مرکز ثقل توزیع است و شاخص مناسبی جهت نمایش مرکزیت داده‌ها است. مقدار میانگین بازدهی بیت‌کوین تقریبا ۷ برابر بازدهی روزانه انس

جهانی طلا است که نشان از برتری آن در زمینه بازدهی دارد. از طرفی انحراف معیار، به عنوان مهمترین شاخص پراکندگی در آمار توصیفی برای بیت‌کوین حدود چهار برابر انحراف معیار بازدهی طلا است که نشان از ریسک بالای این دارایی رمزنگاری شده دارد. همچنین با توجه به اینکه سطح معناداری متغیرهای آزمون جارک-برا برای بازدهی روزانه رمزارز بیت‌کوین و طلا کمتر از ۵ درصد می‌باشد، نشان از این دارد که توزیع بازدهی این دو دارایی نرمال نیست. از این رو جهت بررسی بهتر در نمودارهای ۳ و ۴ توزیع چگالی و نمودار چندک-چندک بازده دو دارایی ترسیم شده است.



نمودار ۳. توزیع چگالی بازده رمزارز بیت‌کوین و انس طلای جهانی



نمودار ۴. نمودار چندک-چندک بازده رمزارز بیت‌کوین و انس طلای جهانی

منبع: یافته‌های پژوهش

همانطور که از نمودارهای مذکور نیز ملاحظه می‌شود، مطلقاً توزیع نرمال در مورد بازده این دارایی‌ها برقرار نیست. از این رو مدل‌های دارای توزیع شرطی تی‌استیودنت گزینه بهتری برای مدلسازی بازده دو دارایی جهت برآورد ارزش در معرض ریسک هستند. قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها جهت مدلسازی، در ابتدا باید با آزمون‌های ریشه واحد درجه مانایی متغیرها را بررسی نمود زیرا نامانایی داده‌های سری زمانی باعث می‌شود که تمامی استنباط‌های آماری بر مبنای نظریه مجانبی استاندارد[۵۶] بی‌اعتبار شوند. در جدول ۲ نتایج آزمون های ریشه واحد ADF برای دو متغیر بازده گزارش شده است.

جدول۲. آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته

آزمون ریشه واحد	بازده طلا	بازده بیت‌کوین
وقفه بهینه (معیار آکائیک)	۱۴	۱۳
آماره آزمون	-۱۴/۱	-۱۳/۲
ارزش احتمال	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش

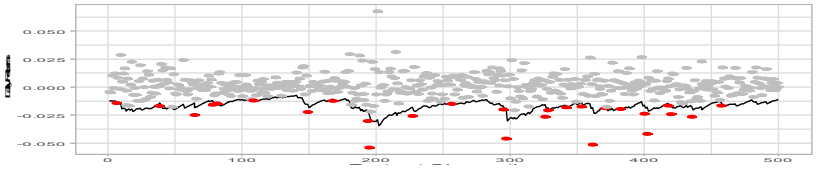
با توجه به اینکه در آزمون ADF فرض صفر آزمون ریشه واحد داشتن است، می‌توان اذعان داشت که هر دو متغیر بازده در سطح اطمینان ۹۵ درصدی فاقد ریشه واحد بوده و در نتیجه دارای فرآیندی مانا هستند و می‌توان مراحل مدلسازی را انجام داد پس از اینکه سری زمانی VaR از پیش‌بینی توزیع شرطی بازده دارایی‌ها محاسبه شد جهت ارزیابی قابلیت اتکاری آن از روش پس‌آزمایی قابل انجام است. نتایج آزمون‌های UC، CC و DQ برای ارزش در معرض ریسک انس طلای جهانی در جدول شماره ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳. آزمون‌های پس آزمایی پیش بینی VaR طلا

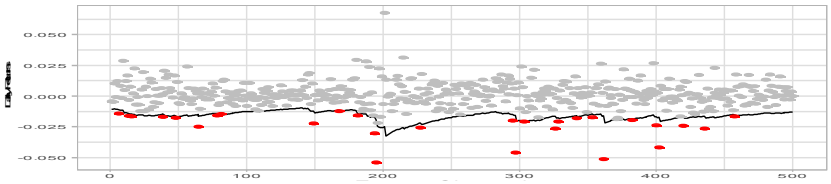
مدل	آزمون UC	آزمون CC	آزمون DQ	تعداد تجاوز
tv-t-GAS	۰/۱۶	۰/۳۴	۹/۰۹	۲۷
ارزش احتمال	۰/۶۸	۰/۸۴	۰/۲۴	
t-GARCH	۰/۳۶	۰/۶۲	۵/۱۵	۲۸
ارزش احتمال	۰/۵۴	۰/۷۳	۰/۶۴	
t-AR	۳/۰۸	۴/۲۷	۲۸/۵۷	۳۴
ارزش احتمال	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۰۰	

منبع: یافته‌های پژوهش

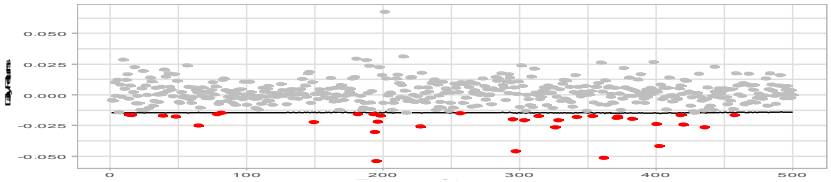
مطابق نتایج جدول ۳، مدل‌های GAS و GARCH عملکرد مناسبی در برآورد ارزش در معرض ریسک انس جهانی طلا در سطح ۹۵ درصد اطمینان داشتند. در نمودارهای ۵ الی ۷، ارزش در معرض ریسک پیش‌بینی شده یک گام به جلو (منحنی سیاه) و بازده تحقق یافته برای هر دوره (دایره‌ها) نمایش داده شده است. همچنین در صورتی که بازده تحقق یافته کمتر از VaR پیش‌بینی شده باشد، دایره مشاهده مربوطه قرمز شده است. به عبارت دیگر بازده از مقدار پیش‌بینی شده تجاوز نموده که مطلوب نبوده و هرچه کمتر اتفاق بیافتد عملکرد مدل در پیش‌بینی VaR بهتر تلقی می‌شود که برای طلا مدل GAS چنینی ویژگی داشته است.



نمودار ۵. ارزش در معرض ریسک پیش بینی مدل GAS بازده طلا



نمودار ۶. ارزش در معرض ریسک پیش بینی مدل GARCH بازده طلا



نمودار ۷. ارزش در معرض ریسک پیش بینی مدل AR بازده طلا

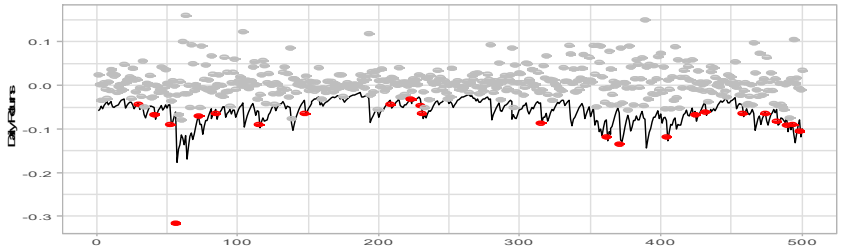
همانطور که از نمودارهای فوق مشخص است، تعداد خطاهای مدل GAS نسبت به دو مدل AR و GARCH کمتر بوده که تاییدکننده نتایج جدول ۳ است. در جدول ۴ نتایج آزمون‌های UC، CC و DQ برای دقت برآورد ارزش در معرض ریسک رمزارز بیت‌کوین آورده شده است.

جدول ۴. آزمون‌های پس‌آزمایی پیش‌بینی VaR بیت‌کوین

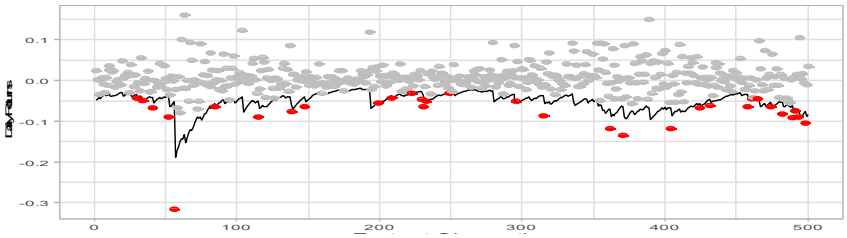
مدل	آزمون UC	آزمون CC	آزمون DQ	تعداد تجاوز
tv-t-GAS	۰/۰۴	۰/۰۶	۴/۰۴	۲۴
ارزش احتمال	۰/۸۳	۰/۹۶	۰/۷۷	
t-GARCH	۱/۹۰	۲/۶۴	۷/۲۴	۳۲
ارزش احتمال	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۴۰	
t-AR	۰/۶۴	۰/۷۰	۲۸/۱۷	۲۹
ارزش احتمال	۰/۴۲	۰/۷۰	۰/۰۰	

منبع: یافته‌های پژوهش

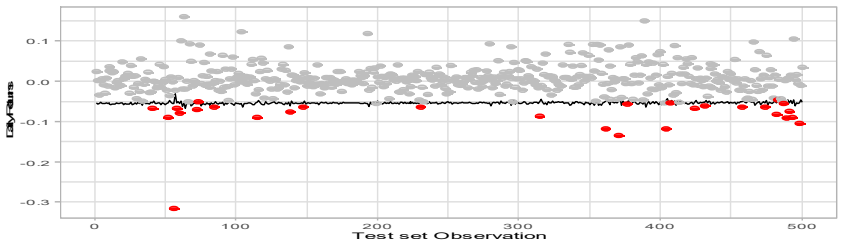
چنانچه ملاحظه می‌شود برای رمزارز بیت‌کوین همانند انس جهانی طلا، مدل‌های GAS و GARCH مطابق آزمون‌ها عملکرد مناسبی در سطح اطمینان ۹۵ دارند. در نمودارهای ۸ الی ۱۰، ارزش در معرض ریسک پیش‌بینی شده یک گام به جلو (منحنی سیاه) و بازده تحقق یافته برای هر دوره (دایره‌ها) نمایش داده شده است. همچنین در صورتی که بازده تحقق یافته کمتر از VaR پیش‌بینی شده باشد، دایره مشاهده مربوطه قرمز شده است.



نمودار ۸. ارزش در معرض ریسک پیش بینی مدل GAS بازده بیت‌کوین



نمودار ۹. ارزش در معرض ریسک پیش بینی مدل GARCH بازده بیت‌کوین



نمودار ۱۰. ارزش در معرض ریسک پیش‌بینی مدل بازده بیت‌کوین

منبع: یافته‌های پژوهش

همانطور که از نمودارهای فوق مشخص است، همانند طلا برای بیت‌کوین هم تعداد خطاهای مدل GAS نسبت به دو مدل AR و GARCH کمتر بوده که تاییدکننده نتایج جدول ۴ است. چنانچه بررسی

شد برای هر دو دارایی هر دو مدل GAS و GARCH در آزمون‌های پس آزمایی موفق بودند. از این رو در جدول ۵ نسبت QL برای مقایسه عملکرد مدل‌ها در پیشبینی VaR برای انس جهانی طلا و رمزارز بیت‌کوین ارائه شده است.

جدول ۵ : نسبت QL مقایسه عملکرد پیش بینی VaR مدل‌ها

دارایی	فرض صفر	نسبت QL	نتیجه (مدل با عملکرد بهتر)
طلا	یکسان بودن عملکرد مدل tv-t-GAS و t-GARCH	۰/۹۹۴	tv-t-GAS
	یکسان بودن عملکرد مدل tv-t-GAS و t-AR	۰/۹۶۷	tv-t-GAS
	یکسان بودن عملکرد مدل t-GARCH و t-AR	۰/۹۷۳	t-GARCH
بیت‌کوین	یکسان بودن عملکرد مدل tv-t-GAS و t-GARCH	۱/۰۱۶	t-GARCH
	یکسان بودن عملکرد مدل tv-t-GAS و t-AR	۰/۹۷۵	tv-t-GAS
	یکسان بودن عملکرد مدل t-GARCH و t-AR	۰/۹۵۹	t-GARCH

همانطور که ملاحظه می‌شود که برای پیش‌بینی معیار VaR طلا مدل GAS ارجحترین مدل است، اما در پیش‌بینی معیار VaR بیت‌کوین مدل GARCH ارجحتر است. بنابراین به طور کلی مطابق پس آزمایی انجام شده، می توان اذعان داشت که مدل GAS برای پیش بینی VaR طلا عملکرد بهتری دارد، اما برای پیش بینی VaR بیت کوین مدل GARCH مناسب است.

نتیجه گیری و بحث

در این پژوهش به مدلسازی جهت برآورد ارزش در معرض ریسک داده‌های روزانه رمزارز بیت‌کوین و انس جهانی طلا در افق زمانی ۲۰۱۰ الی ۲۰۲۰ با استفاده از روش پویا و متغیر زمان به نام امتیاز خودبرازشی تعمیم یافته (GAS) و مقایسه آن با روش‌های شناخته شده GAS و AR پرداخته شد. نتایج اولیه داده‌ها دال بر نرمال نبودن و وجود دنباله‌های پهن در توزیع لگاریتم بازدهی روزانه رمزارز بیت‌کوین و انس جهانی طلا بوده، از این رو از آزمون‌های توزیع تی‌استیودنت استفاده شده است. با توجه به عدم وجود ریشه واحد برای بازدهی لگاریتمی طلا و بیت‌کوین، مراحل مدلسازی انجام شد. با بهره‌گیری از آزمون‌های UC، CC و DQ مدل نوین GAS در برآورد ارزش در معرض ریسک رمزارز بیت‌کوین و انس طلای جهانی عملکرد مناسبی داشت. همچنین مدل‌های سنتی غیرخطی AR و GARCH برای طلا و همچنین مدل GARCH برای بیت‌کوین نیز تخمین‌زننده قابل قبول ارزش در معرض ریسک بودند که با نتایج تراک و لیانگ (۲۰۱۲)، بوئویور و رفک (۲۰۱۶)، چو و همکاران (۲۰۱۹)، فونگ و همکاران، وانگ و همکاران، بوردکین و تائو (۲۰۲۱)، بیگ‌خورمیزی و رافعی (۱۳۹۹) و کشاورزحداد و زابل (۱۳۹۹) همخوانی داشت. جهت تشخیص ارجحیت مدل‌ها در برآورد ارزش در معرض ریسک در

راستای فرضیه‌های اول و دوم، از آزمون زیان صدکی بهره‌گیری شد و نتایج نشان‌دهنده این بود که جهتی ارزش در معرض ریسک طلا مدل GAS و برای بیت‌کوین مدل GARCH تخمین زننده‌های ارجح‌تری هستند. در نهایت با توجه به تعداد تجاوزهای کمتر ارزش در معرض ریسک برآورد شده مدل امتیاز خودبرازشی تعمیم یافته (GAS) به عنوان مناسب‌ترین و کاراترین مدل پیش‌بینی در طلا و بیت‌کوین برای سرمایه‌گذاران ریسک‌گریز مورد تایید و توصیه قرار می‌گیرد. در نتیجه مدل GAS دارای ساختار احتمالی قوی‌تری است که نسبت به مدل‌های سنتی خطی و همچنین کلاس مدلسازی GARCH کارایی بیشتری در محاسبه تلاطم و ریسک دارد. در حوزه پژوهشی پیشنهاد می‌شود با استفاده از روش ارائه شده در پژوهش حاضر، ارزش در معرض ریسک برای شاخص بازار سرمایه ایران، شاخص‌های صنایع بورسی، ابزراهای مشتقه همانند قراردادهای آتی نقره و زعفران و همچنین برای یک سبد سرمایه‌گذاری محاسبه و میزان دقت آن سنجیده شود.

منابع

۱) بیگ خورمیزی، مجتبی، رافعی، میثم. (۱۳۹۹). «مدل‌سازی ارزش در معرض ریسک قراردادهای آتی سکهٔ بهار آزادی با درنظرگرفتن حافظهٔ تاریخی در مشاهدات: کاربردی از الگوهای FIAPARCH-CHUNG». مدیریت دارایی و تامین مالی، ۸(۱)، ۵۷-۸۲.

۲) رهنمای رودپشتی، فریدون، کلانتری دهقی، مهدیه. (۱۳۹۳). «مدل‌های مولتی فرکتال در علوم مالی: ریشه، ویژگی‌ها و کاربردهای آنها». دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، ۷(۲۴)، ۲۵-۴۷.

۳) رهنمای رودپشتی، فریدون، و ملایی، مسعود. (۱۳۹۱). «مدیریت ریسک سبد با استفاده از مدل های تجدید نظر شده ارزش در معرض ریسک (VaR) ». مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار (مدیریت پرتفوی)، ۳(۱۳)، ۱۲۳-۱۵۲.

۴) زمانی, محمد، امام وردی، قدرت الله، نوری فرد، یداله، حمیدیان، محسن، جعفری، سیده محبوبه. (۱۳۹۹). «پیش‌بینی ارزش در معرض خطر با رویکرد هوش مصنوعی». فصلنامه علمی پژوهشی اقتصاد مقداری ۱۵(۳)، ۴۴-۶۹.

۵) زمردیان، غلامرضا، و سهرابی، مریم. (۱۳۹۸). «رتبه بندی صندوق های سرمایه گذاری قابل معامله (ETF) بر اساس رویکرد ارزش فرین(EVT) و رهیافت ارزش در معرض ریسک (VaR)». دانش مالی تحلیل اوراق بهادار (مطالعات مالی)، ۱۲(۴۴)، ۱۱۱-۱۲۵.

۶) صمدی، فاطمه، رهنمای رودپشتی، فریدون و نیکومرام، هاشم (۱۳۹۵). «بررسی بازده در شرکت سرمایه گذاری با سه روش مارکو سویچینگ، بازده متقارن و نامتقارن». مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، دوره ۷ ، شماره ۲۹، ۱۳۱ -۱۵۰.

۷) طیبی ثانی، احسان، چنگی آشتیانی، مدیحه. (۱۳۹۷). «لحاظ نمودن اثرات حافظه بلند مدت در پیش بینی تلاطم و ارزش در معرض خطر». مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۹(۳۴)، ۱۲۱-۱۴۲.

۸) فلاح پور، سعید و احمدی، احسان. (۱۳۹۳). «تخمین ارزش در معرض ریسک پرتفوی نفت و طلا با بهره‌مندی از روش کاپیولا گارچ». تحقیقات مالی ، دوره ۱۶، شماره ۲، ۳۰۹-۳۲۶.

۹) فلاح پور، سعید، رضوانی، فاطمه، رحیمی، محمدرضا. (۱۳۹۴). «برآورد ارزش در معرض ریسک شرطی (CVaR) با استفاده از مدلهای ناهمسانی واریانس شرطی متقارن و نامتقارن در بازار طلا و نفت. دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، ۸(۲۶)، ۱-۱۸.

۱۰) کشاورز حداد، غلامرضا، زابل، محمد امین. (۱۳۹۹). «ارزیابی روش‌های محاسبه ارزش در معرض ریسک طلا با لحاظ جریمه برای بیش‌برآورد ریسک». پژوهشنامه اقتصادی، ۲۰(۷۷)، ۱-۲۸.

۱۱) مهراسا، مهتاب، محمدی، تیمور. (۱۳۹۸). «تئوری ارزش فرین و ارزش در معرض ریسک: کاربردی از بازار نفت اوپک». پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران, ۸(۳۱), ۱۵۱-۱۷۰.

۱۲) مهرانی، آزاده، نجفی مقدم، علی، باغانی، علی. (۱۴۰۰). «برآورد ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی (CoVaR) بورس اوراق بهادار تهران با رویکرد استفاده از توزیع فریشه (FD)». مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۱۲(۴۶)، ۴۴۹-۴۷۵.

13) Ahelegbey, D. F., & Giudici, P. (2020). Market risk, connectedness and turbulence: A comparison of 21st century financial crises. Università di Pavia, Department of Economics and Management.

14) Alexander, G. J. & Baptistab, A. M. (2002) Economic Implications of Using a Mean-Var Model for Portfolio Selection: A Comparison with MeanVariance Analysis; Journal of Economic Dynamics & Control (26), 1159- 1193

15) Anatolyev, S., & Gospodinov, N. (2010). Modeling financial return dynamics via decomposition. Journal of Business & Economic Statistics, 28(2), 232-245.

16) Ardia D, Bluteau K, and Ruede, M (2019). Regime changes in bitcoin GARCH volatility dynamics, ¨ Finance Research Letters, 29, 266–271.

17) Basak، S.، Kar، S.، Saha، S.، Khaidem، L.، & Dey، S. R. (2019). Predicting the direction of stock market prices using tree-based classifiers. The North American Journal of Economics and Finance، 47، 552-567.

18) Bouoiyour, Jamal, and Refk, Selmi. 2016. Bitcoin: A beginning of a new phase? Economics Bulletin 36: 1430–40. Bouri, Elie, Georges Azzi, and Anne Haubo Dyhrberg. 2017. On the return-volatility relationship in the Bitcoin

19) Burdekin, R. C., & Tao, R. (2021). The golden hedge: From global financial crisis to global pandemic. Economic Modelling, 95, 170-180.

20) Chen, Y., & Qu, F. (2019). Leverage effect and dynamics correlation between international crude oil and China's precious metals. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 534, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.122319

21) Cheung, K. C., & Yuen, F. L. (2020). On the uncertainty of VaR of individual risk. Journal of Computational and Applied Mathematics, 367, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.cam.2019.112468.

22) Christoffersen, P. F. (1998). Evaluating interval forecasts. International economic review, 841-862.

23) Chu, Jeffrey & Chan, Stephen & Nadarajah, Saralees & Osterrieder, Joerg. (2017). GARCH Modelling of Cryptocurrencies. Journal of Risk and Financial Management. 10. 17. 10.3390/jrfm10040017.

24) Creal ،D. ،Koopman ،S. J. ،& Lucas ،A. (2013). Generalized autoregressive score models with applications. Journal of Applied Econometrics ،28(5) ،777-795.

25) Diebold, F. X., & Mariano, R. S. (1995). Comparing predictive accuracy. Journal of Business and Economic Statistics, 13(3), 253-263.

26) Engle, R. F., & Manganelli, S. (2004). CAViaR: Conditional autoregressive value at risk by regression quantiles. Journal of business & economic statistics, 22(4), 367-381.

27) Fakhfekh, Mohamed & Jeribi, Ahmed. (2019). Volatility dynamics of crypto-currencies' returns: Evidence from asymmetric and long memory GARCH models. Research in International Business and Finance. 51. 101075. 10.1016/j.ribaf.2019.101075.

28) Fung, K., Jeong, J., & Pereira, J. (2021). More to Cryptos than Bitcoin: A GARCH Modelling of Heterogeneous Cryptocurrencies. Finance Research Letters, 102544.

29) Gabaix, X., & Laibson, D. (2008). The seven properties of good models. The foundations of positive and normative economics: A handbook, 292-319.

30) Giot, P., & Laurent, S. (2004). Modelling daily value-at-risk using realized volatility and ARCH type models. Journal of Empirical Finance, 11, 379-398.

31) Glosten LR, jagnnathan R, runkle D.1993. On the relation between the expected value and the volatility of the normal excess return on stocks, journal of finance, volume 48, pp: 1779-1801

32) Gneiting, T., Balabdaoui, F., & Raftery, A. E. (2013). Probabilistic and sharpness forecasts, calibration. JR Stat. Soc. Ser. B-Stat. Methodol, 69, 243-268.

33) Junttila, J., Pesonen, J., & Raatikainen, J. (2018). Commodity market based hedging against stock market risk in times of financial crisis: The case of crude oil and gold. Journal of International Financial Markets, Institutions and Money, 56, 255-280.

34) Krezolek, Dominik. (2021). Estimation of Value-at-Risk using Weibull distribution – portfolio analysis on the precious metals market. Przegląd Statystyczny, 38, 52-68.

35) Kwon, J. H. (2021). On the factors of Bitcoin's value at risk. Financial Innovation, 7(1), 1-31.

36) Lima, Luiz Renato; and N´eri, Breno Pinheiro. (2007). "Comparing Value-at-Risk Methodologies". Brazilian Review of Econometrics, v. 27, no 1, pp. 1–25.

37) Mittnik, S., & Paolella, M. S. (2003). Prediction of financial downside-risk with heavy-tailed conditional distributions. In S. T., Rachev, (Ed.), Handbook of heavy tailed distributions in finance (pp. 497-518).

38) Nasir, M. A., & Du, M. (2018). Integration of financial markets in post global financial crises and implications for British financial sector: Analysis based on a panel VAR model. Journal of Quantitative Economics, 16(2), 363-388.

39) Palaro, Helder Parra and Hotta, Luzi Koodi. 2006." Using conditional Copula to Estimate Value at Risk". Journal of Data Science 4(2006), 93-115

40) Pedro Gerhardt Gavronski, Flavio A. Ziegelmann, (2020), Measuring Systemic Risk via GAS models and Extreme Value Theory: Revisiting the 2007 Financial Crisis, Finance Research Letters, Vol:181, No:11,P 23-37.

41) Pratiwi, N., Iswahyudi, C., & Safitri, R. I. (2019). Generalized extreme value distribution for value at risk analysis on gold price. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1217, No. 1, p. 012090). IOP Publishing.

42) Qarni MO, Gulzar S (2021) Portfolio diversification benefits of alternative currency investment in Bitcoin and foreign exchange markets. Finance Innovation 7:1–28

43) Shahzad, S. J. H., Arreola-Hernandez, J., Bekiros, S., Shahbaz, M., & Kayani, G. M. (2018). A systemic risk analysis of Islamic equity markets using vine copula and delta CoVaR modeling. Journal of International Financial Markets, Institutions and Money, 56, 104-127.

44) Sheikh, U. A., Asad, M., Ahmed, Z., & Mukhtar, U. (2020). Asymmetrical relationship between oil prices, gold prices, exchange rate, and stock prices during global financial crisis 2008: Evidence from Pakistan. Cogent Economics & Finance, 8(1), 1757802.

45) Spadafora, L., Sivero, F., & Picchiotti, N. (2018). Jumping VaR: Order Statistics Volatility Estimator for Jumps Classification and Market Risk Modeling. arXiv preprint arXiv:1803.07021.

46) Tronzano, M. (2020). Safe-haven assets, financial crises, and macroeconomic variables: Evidence from the last two decades (2000–2018). Journal of risk and financial management, 13(3), 40.

47) Trück, S., & Liang, K. (2012), "Modelling and Forecasting Volatility in the Gold Market", International Journal of Banking and Finance, 9, 48-80.

48) Wang, C., Zhang, X., Wang, M., Lim, M. K., & Ghadimi, P. (2019). Predictive analytics of the copper spot price by utilizing complex network and artificial neural network techniques. Resources Policy, 63, 1–17.

49) Wang, X., Lucey, B., & Huang, S. (2021). Can gold hedge against oil price movements: Evidence from GARCH-EVT wavelet modeling. Journal of Commodity Markets, 100226.

50) Yoo, S., Keeley, A. R., & Managi, S. (2021). Does sustainability activities performance matter during financial crises? Investigating the case of COVID-19. Energy Policy, 155, 112330.

51) Zijing, Z., & Zhang, H. K. (2016). The dynamics of precious metal markets VaR: A GARCHEVT approach. Journal of Commodity Markets, 4(1), 14–27. https://doi.org/10.1016 /j.jcomm.2016.10.001.

52) Živkov, D., Manic, S., Đuraškovic, J., & Viduka, D. (2021). Measuring Downside Risk in Portfolios with Bitcoin. Finance a Uver, 71(2), 178-200.

یادداشت‌ها:

1 Nasir & Du
2 Ahelegbey & Giudici
3 Tronzano
4 Yoo et al.
5 Krezolek
6 Spadarofa et al.
7 Generalized Autoregressive Score
8 Qarni & Gulzar
9 Baumol
10 Alexander & Baptistab
11 Basak et al.
12 Cheung et al.
13 Kwon
14 Shahzad et al.
15 Score driven
16 Basak et al.
17 Creal et al.
18 Harvey
19 Generalized Autoregressive Score
20 Dynamic Conditional Score
21 Time–variation
22 Mandelbrot
23 Bachelier

24 Bronz
25 Mittnik & Paolella
26 Giot & Laurent
27 Palaro & Hotta
28 Lima & N´eri
29 Truk & Liang
30 Bouoiyour & Refk
31 Zijing & Zhang
32 Chu et al.
33 Juntila et al.
34 Pratiwi et al.
35 Chen & Qu
36 Wang et al.
37 Fakhfekh & Jeribi
38 Wang et al.
39 Burdekin & Tao
40 Fung et al.
41 Coindesk.Com
42 Finance.Yahoo.com
43 Correct coverage
44 Left–tail
45 Correct unconditional coverage
46 Kupiec
47 Correct conditional coverage
48 Christoffersen
49 Burdekin & Tao
50 Engle and Manganelli
51 Dynamic quantile test
52 Ardia et al.
53 loss function
54 Quantile Loss
55 Sheikh et al.
56 The Standard Asymptotic Theory