



فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری  
سال نهم / شماره سی و چهارم / تابستان ۱۳۹۹

## ارزیابی مدل های گارچ چندمتغیره در برآورد ارزش در معرض ریسک بازارهای ارز، سهام و طلا

عبداله رجبی خانقاه

دانشجوی دکتری مدیریت مالی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مدیریت مالی، تهران، ایران  
Ebi\_rajabi@yahoo.com

هاشم نیکومرام

استاد و عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مدیریت مالی، تهران، ایران (مسئول مکاتبات)  
h-nikoumaram@srbiau.ac.ir

مهدی تقوی

استاد و عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه اقتصاد و مدیریت، تهران، ایران

میرفیض فلاح شمس

دانشیار و عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۹/۲۵

### چکیده

با توسعه بازارهای مالی، نیاز به معرفی مدل های جدید، پیش بینی و مدیریت ریسک، احساس می شود. یکی از شاخصهایی که در زمینه مدیریت و اندازه گیری درجه ریسک مورد توجه قرار گرفته شاخص ارزش در معرض ریسک می باشد. در این پژوهش مدل گارچ چند متغیره<sup>۱</sup> جهت پیش بینی ارزش در معرض ریسک<sup>۲</sup> پورتفوی شامل ارز، سهام و طلا مورد ارزیابی قرار گرفته و از بازده مرکب داده های قیمت طلا، شاخص کل بورس اوراق بهادار و نرخ ارز از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۶ استفاده گردید. نتایج مدل های VECH، BEKK، DCC و VECH قطری نشان داد تلاطمات این متغیرها در دوره برآورد بریکدیگر اثرگذار بوده و این موضوع فرضیه عدم استقلال بازارها در ایران را تایید می نماید، به منظور بررسی عملکرد این مدل ها در پیش بینی ارزش در معرض ریسک از پیش بینی یک روزه ماتریس واریانس کواریانس شرطی این مدل ها استفاده گردید. نتایج پس آزمایی مدل ها با استفاده از آزمون کوپیک و کریسترفرسن نشان داد عملکرد هر چهار مدل مناسب بوده و مقایسه میانگین تابع زیان لوپز نشان داد مدل VECH نسبت به سایر مدل ها عملکرد بهتری داشته است. علیرغم عملکرد مطلوب مدل VECH با این حال برآورد این مدل بسیار زمان بر می باشد. ضمن اینکه با توجه به تعداد پارامترهای زیادی که در برآورد مدل های VECH و BEKK محاسبه می شود که به کاهش درجه آزادی و در نتیجه کاهش اعتبار مدل منجر می شود استفاده از این دو مدل برای پورتفویهایی که بیش از سه دارایی می باشند توصیه نمی شود.

## واژه های کلیدی: مدل گارچ چند متغیره، مدل گارچ برداری، ارزش در معرض ریسک

### ۱- مقدمه

مدیریت ریسک در واقع فرایندی است که تلاش می کند تا ریسک موردنظر سرمایه گذاران را با توجه به بازده مورد انتظارشان فراهم کرده و آن را در مسیری درست قرار دهد. به دلیل توسعه بازارهای مالی، معرفی ابزار نوین مالی و تجارب به دست آمده از بحران های بزرگ مالی که منجر به ورشکستگی و زیان قابل توجه نهادهای گوناگون شده اند، نیاز به معرفی مدل های جدید محاسبه، پیش بینی و مدیریت ریسک، با شدت بیشتری احساس می شود. یکی از شاخصهایی که در سالهای اخیر در زمینه مدیریت و اندازه گیری درجه ریسک مورد توجه و کاربردی است شاخص ارزش در معرض ریسک (VaR) است. ارزش در معرض ریسک که سرمایه در معرض ریسک نیز نامیده می شود به عنوان یک معیار آماری، حداکثر زیان مورد انتظار از نگهداری یک دارایی یا سبد را در یک دوره زمانی مشخص و با سطح اطمینان معلوم محاسبه و به صورت کمی گزارش می کند. به عبارت دیگر ارزش در معرض ریسک مبلغی از ارزش سبد یا دارایی را مشخص می کند که انتظار می رود ظرف یک دوره زمانی مشخص و با میزان احتمال معین از دست برود. ارزش در معرض ریسک در مورد دارایی هایی همچون سبد ارزی، سبد سهام، طلا و جواهر و معاملات روزانه نفت کاربرد دارد که دارای تغییرات و نوسانات سریع و روزانه هستند. با پایه گذاری پیمان بازل در سال ۱۹۹۶، مدیریت ریسک مالی برای بسیاری از موسسات مالی در سرتاسر جهان جلوه مهمی پیدا کرد. در پیمان بازل پیش بینی تلاطم قیمت سهام به منظور نگهداری سرمایه ذخیره در قبال ارزش در معرض ریسک برای موسسات مالی به صورت اجبار درآمد. بنابراین اندازه گیری تلاطم برای کلیه موسسات مالی بسیار اهمیت یافت. از این گذشته، دلیل اصلی اهمیت و نگرانی بر تلاطم بازارها این باور است که تلاطم می تواند بر فعالیت های واقعی اقتصادی تاثیری در جهت عکس داشته باشد. این امکان که تلاطم بازارها می تواند چنین انعکاس گسترده ای بر اقتصاد داشته باشد، درک بالاتری از روند تلاطم را ایجاد می کند. بنابراین با اندازه گیری و درک گسترده تری از تلاطم در بازارهای مرتبط و رقیب، امکان یافتن راه حل هایی جهت کنترل و مدیریت آن بازارها در دسترس خواهد بود.

هدف اصلی این تحقیق، محاسبه ارزش در معرض ریسک سبدي از ارز، سهام و طلا با استفاده از سه تصریح مختلف مدل گارچ چند متغیره می باشد.

### ۲- مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

گسترش روزافزون تبادلات بین المللی و جریان آزاد سرمایه و نیروی انسانی بین کشورها از یک طرف و رشد تکنولوژی اطلاعات و شکل گیری نهادهای مالی بین المللی از طرف دیگر زمینه های لازم را برای شکل گیری بازاری که در آن نرخ های تبادل بین المللی به صورت عادلانه و بر اساس انتظارات سرمایه گذاران شکل گیرد به وجود آورد. توسعه روزافزون این بازار علاوه بر این که باعث حضور دولت ها و بنگاه ها اقتصادی جهت حفظ

منافع خود گردید، هجوم سرمایه گذاران حقیقی و نهادی را نیز به همراه داشت، تا کارکردهای بازار سرمایه بیش از پیش در این بازار نمایان گردد. حضور سرمایه گذاران، سفته بازان، کارگزاران و ... و همچنین شکل گیری ابزارهای مشتقه نظیر اختیارها و قراردادهای آتی ارز نیز خود گواه بر این مدعا است. این بازار که به بازار تبادل ارزهای بین المللی مشهور است یک بازار بین بانکی<sup>۳</sup> است که در سال ۱۹۷۱ زمانی که پس از سقوط نظام برتون وودز، نظام ارز ثابت به نظام نرخ ارز شناور تغییر کرد شکل گرفت. با نگاهی به تاریخچه این بازار متوجه می شویم که حجم مبادلات روزانه معاملات جهانی در سال ۱۹۷۷ بالغ بر ۵ میلیارد دلار آمریکا بود، اما بعد از ده سال ۶۰۰ میلیارد دلار و در سال ۱۹۹۲ به ۱ تریلیون دلار رسید. (Triennial Central Bank Survey, 2004)

### بازار ارز

بازار ارز بزرگترین بازار مالی جهان است که حجم معاملات آن طی آخرین آمار به مرز ۶ تریلیون دلار در روز رسیده است که اگر این رقم با ۶۵ میلیارد دلاری که در بورس نیویورک مبادله می شود مقایسه شود، به راحتی می توان دریافت که مبادلات ارزی در این بازار چقدر عظیم است. این میزان عملاً معادل سه برابر بیش از مجموع مقدار بازارهای سهام و بازارهای سلف است. بر خلاف سیستم حاکم بر بازار سهام، بازار ارز توسط یک بانک مرکزی خاص و یا یک ارگان به خصوص جهانی اداره نمی شود بلکه این بازار در واقع یک بازار بین بانکی است که در اصطلاح اقتصادی به عنوان بازار OTC شناخته می شود. بازار ارز در تمامی ۲۴ ساعت شبانه روز در پنج روز از هفته فعال بوده و حتی برای یک ثانیه نیز تعطیل نمی شود. (park and etc, 2009)

در گذشته روند حاکم بر معاملات بازار ارز از طریق سفارشات حضوری و تلفنی بوده است ولی امروزه با استفاده از نرم افزارهای معاملاتی آنلاین، این امکان فراهم شده است تا سرمایه گذاران، تحولات و نوسانات لحظه به لحظه این بازار را زیر نظر گرفته و از فرصت های سرمایه گذاری در هر کجای جهان بهره اقتصادی ببرند. در واقع تکنولوژی محدودیت ها را از بین برده و سرمایه گذاری و معامله در تمامی بورس های جهان برای تمامی افراد میسر گردیده است.

در مطالعات داخلی و خارجی بسیاری از مدل های گارچ چندمتغیره جهت بررسی مکانیسم سرریز و انتقال تلاطم بین بازارهای مختلف مالی استفاده شده است. برخی از مهمترین مطالعات خارجی عبارتند از: ورسینگتون و هیگز (۲۰۰۴)<sup>۴</sup>، لافونته و روئیز (۲۰۰۴)<sup>۵</sup>، وانگ و دیگران<sup>۶</sup> (۲۰۰۵)، یو و حسن (۲۰۰۶)<sup>۷</sup>، و دیگران<sup>۸</sup> (۲۰۰۶)، حسن و مالک<sup>۹</sup> (۲۰۰۷)، لی (۲۰۰۷)<sup>۱۰</sup>، لی و ماجروسکا (۲۰۰۷)<sup>۱۱</sup>، کنستانتین و دیگران<sup>۱۲</sup> (۲۰۰۸)، کارونایاک، ولدخانی و ابراین (۲۰۰۹)<sup>۱۳</sup>.

همچنین برخی از مهمترین مطالعات داخلی در این زمینه عبارتند از: زمانی و همکاران (۱۳۸۸)، ابونوری و عبداللهی (۱۳۹۰)، حداد و همکاران (۱۳۹۰)، ابونوری و همکاران (۱۳۹۱)، راسخی و خانعلی پور (۱۳۹۱) و دهقانی و خیابانی (۱۳۹۳).

با وجود اینکه مطالعات بسیاری در رابطه با مکانیسم انتقال تلاطم بین بازارها با استفاده از مدل های گارچ چندمتغیره وجود دارد با این حال مطالعات محدودی به کاربرد این مدل ها در پیش بینی ارزش در معرض ریسک پرداخته اند. برخی از این مطالعات عبارتند از:

لی و بین (۲۰۰۸) از ۵ مدل تک متغیره و سه مدل چند متغیره برای تعیین بهترین مدل پیش بینی ارزش در معرض ریسک بازار سهام کره استفاده نمودند. نتایج آنها نشان داد مدل های چند متغیره عملکرد بسیار بهتری نسبت به مدل های تک متغیره داشته اند.

بهرامی اسکویی (۱۹۹۹) مقاله ای با عنوان اثرات کلان اقتصادی کاهش ارزش خارجی ریال به بررسی اثرات کاهش ارزش ریال بر برخی از متغیر های کلان اقتصادی مانند تولید ناخالص داخلی، موازنه تجاری و تورم پرداخت و بر اساس نتایج این تحقیق، کاهش ارزش خارجی ریال، دارای اثرات تورمی در اقتصاد ایران است.

روییز و همکاران (۲۰۰۹) به ارزیابی مدل های تک متغیره و چند متغیره در پیش بینی ارزش در معرض ریسک پورفوی پرداختند. نتایج آنها نشان داد در نمونه های با حجم بزرگ عملکرد مدل های چند متغیره در مقایسه با مدل های تک متغیره بسیار بهتر می باشد.

هی و همکاران (۲۰۱۲) به ارزیابی مدل های مختلف در پیش بینی ارزش در معرض ریسک در بازار نفت خام پرداختند. نتایج آنها نشان داد مدل DCC-GARCH و EWMA نسبت به سایر مدل ها بهترین عملکرد را داشته‌اند.

الکسیز کروز رودریگز<sup>۱۴</sup> (۲۰۱۳) پژوهشی با عنوان رابطه میان ثبات مالی و بحران های ارزی در چند کشور را انجام گردید. این پژوهش بدنبال این است که آیا با شاخص ثبات مالی میتوان بحران های ارزی را پیش بینی کرد. نتایج تحقیق نشان می دهد که شاخص ثبات مالی از قدرت لازم جهت پیش بینی بحران های ارزی را در کشور های مختلف ندارد. او معتقد است که سیاستهای مالی نقش مهمی در ایجاد بحران های ارزی دارد.

لیندگرن و کایال (۲۰۱۴) گروهی از مدل های تلاطم چندمتغیره (DCC, BEKK و...) را برای پیش بینی ارزش در معرض ریسک و ریزش مورد انتظار یک روزه فورواردهای الکتریسیته سوئد بکار بردند. نتایج آنها نشان داد این مدل ها توانایی بالایی در پیش بینی دارند با این حال هیچ یک برتری محسوسی بر دیگری ندارند.

فنگ و همکاران (۲۰۰۹)<sup>۱۵</sup> در تحقیقی که در سال ۲۰۰۹ با استفاده از یک مدل قارچ چند متغیره انجام دادند و نتایج اثرگذاری نامتقارن ریسک نرخ ارز بر صادرات ۸ کشور آسیایی جنوب شرقی به ایالات متحده را نشان دادند. رحمان و سرلیتس، ۲۰۰۹، نیز با استفاده از مدل گارچ چندمتغیره، اثر منفی نااطمینانی نرخ ارز روی صادرات ایالات متحده را بیان کردند و دریافتند که شوک های نرخ ارز بر صادرات این کشور اثری نامتقارن دارد.

یاو و نی<sup>۱۶</sup> (۲۰۰۶) در مطالعه ای دیگر پژوهشگران اظهار می کنند زمانی که نرخ ارز افزایش می یابد، چون بنگاه های صادراتی رقابت پذیری خود را در بازار بین المللی از دست می دهند، فروش و سود صادرات آنها کاهش خواهد یافت و متعاقب آن قیمت سهامشان کاهش می یابد. از سوی دیگر، قدرت رقابت پذیری بنگاه های وارداتی در بازارهای داخلی افزایش می یابد. در نتیجه، سود آنها و قیمت سهامشان افزایش می یابد.

عباسی و صادقی (۱۳۹۴) در مطالعه ای به ارزیابی مدل های مختلف تک متغیره و چند متغره در پیش بینی ارزش در معرض ریسک چهار فلز اساسی (روی، سرب، مس و آلومینیوم) از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ پرداختند. نتایج آنها نشان داد که انتخاب سطوح اطمینان مختلف و اوزان متفاوت بر نتایج محاسبات ارزش در معرض ریسک تأثیرگذار است. همچنین با استفاده از آزمون پسنگر مبتنی بر تابع زیان با اوزان بهینه مدل VECH و با اوزان مساوی مدل BEKK دقت بیشتری داشته اند.

نجارزاده و همکاران (۱۳۸۷) در بررسی رابطه بین شوک های ناشی از نرخ ارز و نرخ تورم با بازده واقعی سهام در بورس اوراق بهادار تهران، با استفاده از مدل خودرگرسیون برداری نشان دادند که رابطه تعادلی بلندمدت بین شاخص قیمت سهام بورس اوراق بهادار تهران و متغیرهای نرخ ارز و نرخ تورم معنادار است و شوک های ناشی از نرخ تورم و نرخ ارز بر شاخص قیمت سهام در بلندمدت تأثیر منفی و در کوتاه مدت تأثیر مثبت دارد.

اسمعیل ابونوری و همکاران (۱۳۹۱) رابطه بین نرخ شوک های ارز واقعی موثر و شاخص صنعت بازار سهام تهران را با استفاده از مدل های خودرگرسیون برداری (VAR) و خودرگرسیون ناهمسان واریانس شرطی چندمتغیره (MGARCH) در دوره زمانی مهر ۱۳۸۰ تا شهریور ۱۳۹۰ به صورت تجربی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می دهد هیچ رابطه بلندمدت معناداری بین نرخ ارز واقعی موثر و شاخص صنعت وجود ندارد. هم چنین اثرات میانگینی بین بازارهای ارز خارجی و سهام وجود ندارد. علاوه بر این، در این پژوهش سرایت نوسانات بین بازار ارز و بازار سهام آزمون شده است. اثر نوسانات خارجی بین دو بازار وجود دارد که اشاره دارد به این که نوسانات گذشته در بازار سهام بر نوسانات در بازار ارز خارجی اثر دارد و برعکس.

مرتضی سامتی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی به دنبال بررسی فرضیه نامتقارن بودن اثرات نوسانات نرخ ارز بر روی سطح محصول و سطح قیمتها در اقتصاد ایران پرداختند، بر اساس نتایج این مطالعه، فرضیه متقارن بودن اثرات شوک های نرخ ارز روی سطح تولید پذیرفته می شود، در حالی که این فرضیه برای سطح قیمت ها پذیرفته نگردید.

حسین مهرابی بشرآبادی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی تأثیر شوک های نرخ ارز و شکاف تولید بر تورم اقتصاد ایران پرداخته و نتایج نشان می دهد شوک های مثبت نرخ ارز تأثیر منفی و شوک های منفی نرخ ارز تأثیر مثبت (تقارن شوک ها) بر تورم دارند و پایداری تورم در بلند مدت کمتر از کوتاه مدت به نرخ ارز وابسته است. همچنین، شکاف تولید ناخالص داخلی و حجم پول بر تورم تأثیر مثبت و معنی داری داشته است. از این رو، اتخاذ سیاست های ارزی مناسب می تواند یکی از راه های کنترل تورم در ایران باشد.

محمود ختایی و سیدهادی موسوی نیک (۱۳۸۶) در مطالعه ای بر روی مدل آقیون و همکاران در مورد تأثیر نوسان های نرخ ارز بر رشد اقتصادی با توجه به سطح توسعه بازارهای مالی انجام دادند. آقیون و همکاران در نظریه خود بیان می کنند تثبیت نرخ ارز به منظور رشد اقتصادی بیشتر به سطح توسعه بازارهای مالی اقتصاد بستگی دارد. در سطوح پایین توسعه بازارهای مالی اثر نوسانات نرخ ارز بر رشد اقتصادی منفی بوده و در سطوح بالا این اثر حتی می تواند مثبت باشد. نتایج بدست آمده از این مطالعه نظریه آقیون و همکاران را تایید میکند.

## ۳- روشناسی پژوهش

## ۳-۱- مدل

این تحقیق به ارزیابی تصریحات مختلف مدل گارچ چندمتغیره در پیش بینی ارزش در معرض ریسک می پردازد. بدین منظور ابتدا شرح مختصری از مدل های مختلف گارچ چندمتغیره ارائه شده و سپس روش محاسبه ارزش در معرض ریسک و آزمون های مربوط به پس آزمایی مدل ها شرح داده می شود.

## ۳-۱-۱- مدل های گارچ چند متغیره

امروزه مدل های چندمتغیره به منظور مدل سازی دینامیک بازده ها توسعه زیادی یافته اند. استفاده از مدل های سری زمانی چندمتغیره دو حسن مهم دارد. اولاً در شناسایی ارتباط بین سری ها بسیار موثر است، ثانیاً دقت پیش بینی را افزایش خواهد داد. مثلاً اگر مقادیر گذشته یک سری بر سری دیگر تاثیرگذار باشد، بهتر است از مدل های چندمتغیره استفاده شود. البته استفاده از مدل های سیستمی یا چندمتغیره بجای مدل های تک متغیره دو محدودیت مهم به همراه خواهد داشت. اولاً هر چه پارامترهایی که تخمین زده می شوند بیشتر شود، از دقت نتایج کاسته خواهد شد و برای قابل اعتماد بودن نتایج به داده های بیشتری نیازمندیم. دوم اینکه در بسیاری از موارد نتایج حاصل قدرت توضیح دهندگی بالایی ندارند. لذا معمولاً به دنبال ساختارهای ساده هستیم (تسای، ۲۰۰۲).

مدل های آرچ و گارچ تک متغیره به مدل های گارچ چند متغیره بسط یافته اند. در مدل های گارچ چند متغیره ماتریس واریانس کواریانس جمله های اخلاص سری ها برآورد می شود، در حالی که در مدل های تک متغیره فقط واریانس جملات اخلاص سری ها محاسبه می شود. از این رو، مدل گارچ چند متغیره برای تحلیل هم حرکتی نوسانات و اثرات اهرمی بین بازارهای مختلف و تشخیص شواهدی مبنی بر وجود انتقال نوسانات در میان بازارهای مختلف به کار گرفته شده است. در سال های اخیر مدل های  $GARCH$  چندمتغیره توسعه بسیاری پیدا کرده اند.

در مدل های  $GARCH$  چندمتغیره، تعداد پارامترها با افزایش بعد مدل به شدت افزایش می یابد و از سوی دیگر لازم است، ماتریس واریانس، مثبت معین باشد. برقراری این ویژگی ها توسط پارامترهای برآورد شده، چندان ساده نیست (باونز، لارنت، رامبوتس، ۲۰۰۶).

مدل های ترکیب خطی  $GARCH$  تک متغیره<sup>۱۷</sup> همانطور که از اسم شان پیداست، ترکیب های خطی از چندین مدل تک متغیره هستند، که هر یک لزوماً یک مدل استاندارد  $GARCH$  نیستند. اما مدل های ترکیب غیرخطی گارچ تک متغیره<sup>۱۸</sup> به محقق این امکان را می دهند تا به صورت مجزا، از یک طرف هر یک از واریانس های شرطی را مشخص کرده و از طرف دیگر، ماتریس همبستگی های شرطی را مشخص کند، اما در میان مدل های گارچ چندمتغیره، مدل های گارچ برداری<sup>۱۹</sup>،  $BEKK$ <sup>۲۰</sup> و همچنین مدل گارچ عاملی  $F-GARCH$ <sup>۲۱</sup> در مدلسازی سری های زمانی مالی کاربرد به مراتب بیشتری دارند (باونز، لارنت، رامبوتس، ۲۰۰۶). که در ادامه ساختار کلی برخی مدل های فوق ارائه می شود:

فرض کنید بردار  $r_t$  بردار بازده  $N$  دارایی مالی در دوره  $t$ ام و  $I_{t-1}$  مجموعه اطلاعات جمع آوری شده تا زمان  $t-1$  باشد. بنابراین می توان نوشت:

$$r_t = \mu_t(I_{t-1}) + \varepsilon_t$$

که در آن  $\mu_t$  بردار بازده مورد انتظار دوره  $t$ ام با توجه به مجموعه اطلاعات گذشته بوده و بردار  $\varepsilon_t$  نیز نشان - دهنده پسماندها در دوره  $t$ ام بوده که به صورت زیر قابل تعریف است:

$$\varepsilon_t = H_t^{-1/2}(I_{t-1})z_t$$

که  $H_t^{-1/2}(I_{t-1})$  یک ماتریس مثبت معین  $N \times N$  و  $z_t$  بردار تصادفی به صورت  $N \times 1$  با فرایند نوفه سفید می باشد. به راحتی می توان نشان داد که ماتریس واریانس شرطی  $r_t$  برابر  $H_t$  می باشد. چهار تصریح معروف مدل گارچ چند متغیره عبارتند از مدل های گارچ برداری، مدل  $BEKK$ ، مدل  $CCC$  و مدل  $DCC$ . در ادامه به بررسی هریک از این مدل ها پرداخته می شود.

### مدل گارچ برداری

یک معادله عمومی برای  $H_t$  که توسط بالرسلو در سال ۱۹۸۸ پیشنهاد شد، مدل ساده  $VEC(I, I)$  است که به صورت رابطه زیر تعریف می شود:

$$h_t = c + A\eta_{t-1} + Gh_{t-1}$$

که در آن :

$$h_t = vech(H_t)$$

$$\eta_t = vech(\varepsilon_t \varepsilon_t')$$

عملگر  $vech$  روی یک ماتریس مربع تعریف شده و مقادیر روی قطر اصلی و زیر قطر اصلی را بصورت بردار می - دهد. همچنین تعداد پارامترهای این مدل برابر با  $N(N+1)(N(N+1)+1)/2$  می باشد. مثلا به ازای  $N=3$  باید ۷۸ پارامتر تخمین زده شود. لذا این مدل در موارد دو متغیره کاربرد دارد. برای حل این مشکل معمولا محدودیت هایی روی پارامترهای مدل اعمال می گردد. بالرسلو (۱۹۸۸) مدل قطری  $VEC$  را پیشنهاد کرد که در آن ماتریس های  $A$  و  $G$  قطری فرض شده و عناصر  $h_{ijt}$  صرفا وابسته به وقفه های خود و مقادیر یک دوره

گذشته  $\varepsilon_{it} \varepsilon_{jt}$  می‌باشند. این محدودیت تعداد پارامترها را به  $N(N+5)/2$  کاهش می‌دهد، اما همچنان در مدل‌های با بعد زیاد، تخمین مدل مشکل خواهد بود.

### مدل BEKK:

با توجه به این که در یک مدل  $VEC$  تضمین مثبت معین بودن  $H_t$  بدون اعمال محدودیت‌های قوی مشکل است، انگل و کروتر (۱۹۹۵) مدل  $BEKK$  را پیشنهاد کردند. یک مدل  $BEKK(1,1,K)$  بصورت رابطه زیر تعریف می‌گردد:

$$H_t = C^* C^* + \sum_{k=1}^K A_k^* \varepsilon'_{t-1} \varepsilon_{t-1} A_k^* + \sum_{k=1}^K G_k^* H_{t-1} G_k^*$$

در شکل ساده‌تر یک مدل  $BEKK(1,1)$  بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$H_t = C^* C^* + A^* \varepsilon'_{t-1} \varepsilon_{t-1} A^* + G^* H_{t-1} G^*$$

که در آن  $A^*$  و  $G^*$  و  $C^*$  ماتریس‌های  $N \times N$  و  $C^*$  یک ماتریس بالامثلثی می‌باشد. لازم به ذکر است مدل‌های  $BEKK$  شکل خاصی از مدل‌های  $VEC$  هستند، لیکن پارامترهای مدل  $BEKK$  برخلاف مدل  $VEC$ ، مستقیماً تاثیر وقفه‌ها را روی عناصر  $H_t$  نشان نمی‌دهند. علی‌رغم اعمال محدودیت‌های مختلف روی مدل‌های  $BEKK$ ، معمولاً زیاد بودن پارامترها همچنان یک مشکل اساسی می‌باشد. لذا این مدل‌ها در موارد با بعد بیش از ۳ یا ۴ متغیر (سری) بکار نمی‌روند.

### مدل CCC:

مدل همبستگی شرطی ثابت ( $CCC$ ) توسط بولرسلو (۱۹۹۰)، ارائه شد که در آن ماتریس همبستگی شرطی به شکل رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$R = \begin{bmatrix} 1 & \dots & \rho_{1N} \\ \dots & \dots & \dots \\ \rho_{N1} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

که در آن، ماتریس  $\rho_{ij}$  ضریب همبستگی بین متغیرهای  $i$  و  $j$  می‌باشد. ثابت در نظر گرفتن همبستگی‌های شرطی باعث کاهش تولید پارامترها شده و در نتیجه برآورد ساده‌تر می‌شود. با این شرایط ماتریس واریانس شرطی  $H_t$ ، در قالب رابطه زیر بیان می‌شود.

$$H_t = \text{diag}(\sqrt{h_{11,t}}, \dots, \sqrt{h_{NN,t}}) [R] \text{diag}(\sqrt{h_{11,t}}, \dots, \sqrt{h_{NN,t}})$$



در حالت دو متغیره ( $N=2$ ) و  $p = q = 1$ ، حالت گسترده ماتریس  $H_t$  به شکل رابطه زیر است. عملگر  $diag$  عملگری است که عناصر روی قطر ماتریس را انتخاب می کند.

$$H_t = \begin{bmatrix} \sqrt{h_{11,t}} & 0 \\ 0 & \sqrt{h_{22,t}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} \\ \rho_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{h_{11,t}} & 0 \\ 0 & \sqrt{h_{22,t}} \end{bmatrix}$$

که در آن، واریانس های  $h_{11,t}$  و  $h_{22,t}$  در واقع همان فرآیند  $GARCH$  چندمتغیره با  $p = q = 1$  می باشند.

#### مدل $DCC$ :

در سال ۲۰۰۲، انگل، فرض ثابت بودن همبستگی های شرطی را در نظر نگرفت و مدل  $DCC$  را که مدل همبستگی های شرطی پویا اطلاق می گردد را ارائه نمود. در این مدل به ماتریس همبستگی اجازه تغییر در طی زمان داده می شود. در تعریف ماتریس  $H_t$ ، فرقی بین مدل  $DCC$  و  $CCC$  وجود ندارد و در این مدل هم ماتریس  $H_t$ ، ماتریس واریانس-کواریانس است.

$$H_t = D_t R_t D_t$$

انگل دو برآورد متفاوت برای  $R_t$  در نظر گرفته است که در برآورد اول از یک صورت نمایی بهره به صورت رابطه زیر بهره می گیرد؛

$$Q_t = (1 - \lambda)(\varepsilon_{t-1}\varepsilon'_{t-1}) + \lambda Q_{t-1}$$

که  $Q_t$ ، تعریفی از ماتریس مثبت و متناهی است و  $R_t$  به شکل رابطه زیر تعریف می شود:

$$R_t = \text{diag}(Q_t)^{-1/2} Q_t \text{diag}(Q_t)^{-1/2}$$

صورت دیگر بهره گیری از مدل  $GARCH(1,1)$  به عنوان یک مشخصه جهت تعریف مدل است:

$$Q_t = R_0(1 - \alpha - \beta) + \alpha(\varepsilon_{t-1}\varepsilon'_{t-1}) + \beta Q_{t-1}$$

که در آن  $R_0$ ، ماتریس همبستگی غیرشرطی است و شرط  $\alpha + \beta < 1$  برقرار می باشد. در یک تصریح کلی داریم؛

$$r_t | \psi_{t-1} \sim N(0, D_t R_t D_t)$$

$$\varepsilon_t = D_t^{-1} r_t$$

$$D_t^2 = \text{diag}(a_{0,i}) + \text{diag}(a_{1,i}) \circ r_{t-1} r'_{t-1} + \text{diag}(b_{1,i}) \circ D_{t-1}^2$$

$$Q_t = R_0(1 - \alpha - \beta) + \alpha(\varepsilon_{t-1}\varepsilon'_{t-1}) + \beta Q_{t-1}$$

$$R_t = \text{diag}(Q_t)^{-1/2} Q_t \text{diag}(Q_t)^{-1/2}$$

این رویکرد منجر به تصریح جامعی از مدل DCC به صورت روابط فوق گردید. مشخص است که  $r_t$  نرخ بازده و  $r_t|\psi_{t-1}$  بازده به شرط کلیه اطلاعات دوره‌های قبل است.

### ۳-۱-۲- ارزش در معرض ریسک

مفهوم VaR، یک شیوه پذیرفته شده برای فهم نحوه اندازه‌گیری ریسک یک سبد است. اصولاً هدف ارزش در معرض ریسک، حداکثر نمودن ارزش سبدي است که در یک دوره زمانی مشخص با یک سطح اطمینان مشخص و معین می‌تواند دچار سود یا زیان شود. اگر  $w$  یک ماتریس  $K \times 1$  وزن‌های پورتفوی و  $\Sigma$  ماتریس  $K \times K$  واریانس کواریانس باشد، واریانس پورتفوی برابر است با:

$$\sigma_{port}^2 = w' \Sigma w$$

آنگاه ارزش در معرض ریسک (VaR) برابر است با:

$$VaR(p) = -\sigma_{port} \gamma(p) P_{t-1}$$

که در رابطه فوق  $P_{t-1}$  ارزش پورتفوی در روز قبل و  $\gamma(p)$  مقدار جدولی توزیع نرمال معادل احتمال  $p$  می‌باشد.

### ۳-۱-۳- پس آزمایی

#### آزمون کوپیک

یک راه برای تعیین درستی یک مدل آن است که آن مدل بتواند اتفاقات آینده را درست پیش‌بینی نماید. معیار مهم در این زمینه توجه به تعداد یا نسبت شکست‌ها (انحراف) از مقدار مورد انتظار است. برای انجام این آزمون فرضیه زیر مورد بررسی قرار گیرد:

$$\begin{cases} H_0: \delta = \alpha \\ H_1: \delta \neq \alpha \end{cases}$$

از طریق آزمون فرضیه فوق می‌توان فرضیه برابری نسبت شکست و سطح پوشش را مورد بررسی قرار داد، که در آن  $\delta$  نسبت تعداد تخطی‌ها به کل پیش‌بینی‌ها یا همان نسبت شکست می‌باشد، آماره این آزمون بصورت ذیل می‌باشد.

$$LR_{pf} = 2 \ln \left[ \frac{\hat{\alpha}^{T_1} (1 - \hat{\alpha})^{T - T_1}}{\alpha^{T_1} (1 - \alpha)^{T - T_1}} \right]$$

که در فرمول فوق  $LR_{pf}$  نسبت احتمال شکست کوپیک،  $T$  تعداد کل پیش‌بینی‌ها،  $T_1$  تعداد شکست‌ها و  $\hat{\alpha}$  و  $\alpha$  به ترتیب نسبت شکست و سطح پوشش می‌باشند. در صورتی که آماره آزمون محاسبه شده از توزیع خی دو با یک درجه آزادی در سطح خطای مورد نظر کمتر باشد می‌توان ادعا نمود که درصد خطای پیش‌بینی مدل حداکثر به میزان سطح خطای تعیین شده خواهد بود و مدل از اعتبار مناسب در پیش‌بینی VaR برخوردار است. (Kupiec, ۱۹۹۵).

### آزمون کریستوفرسن

این آزمون احتمالاً شناخته شده ترین آزمون پوشش شرطی می‌باشد که توسط کریستوفرسن (۱۹۹۸) ارائه شده است. او از همان چارچوب آزمون لگاریتم تابع درست‌نمایی موجود در کوپیک استفاده می‌کند ولیکن این آزمون را بسط داده است و آماره مجزایی برای استقلال استثنائات در نظر می‌گیرد آزمون کریستوفرسن علاوه بر نرخ صحیح پوشش احتمال وابستگی یک استثنای در یک روز بر بازده روز گذشته را مورد بررسی قرار می‌دهد. از آنجا که آزمون کوپیک وجود وابستگی زمانی تخطی‌ها را نادیده می‌گیرد، و از طرف دیگر در سری زمانی بازده‌های مالی خوشه‌های تلاطم دیده می‌شود، مدل‌های در معرض ریسک می‌بایست بنحوی طراحی گردند تا ارزش در معرض ریسک متاثر از تخطی‌های متوالی نگردد. کریستوفرسن برای ارزیابی مدل از این دیدگاه آزمون احتمالی پوشش شرطی<sup>۲۲</sup> را که اختلاطی از آزمون سطح پوشش غیر شرطی<sup>۲۳</sup> و استقلال زنجیره‌ای<sup>۲۴</sup> است را طراحی نمود، چرا که دقت کافی و لازم را در ارزیابی مدل‌های ارزش در معرض خطر لحاظ می‌کند و این ترکیب باعث می‌گردد که سطح خطای آماری کم گردد.

$$LR_{cc} = 2 \ln \left[ \frac{L(\hat{\Pi})}{L(\Pi_{\alpha})} \right] \cdot X^2$$

که در آن  $L(\hat{\Pi})$  بصورت ذیل محاسبه می‌گردد:

$$L(\hat{\Pi}) = (1 - \hat{\pi}_{01})^{T_{00}} \hat{\pi}_{01}^{01} (1 - \hat{\pi}_{11})^{T_{11}} \hat{\pi}_{11}^{T_{11}}$$

$$L(\Pi_{\alpha}) = (1 - \alpha)^{T_0} \alpha^{T_1}$$

اگر آماره آزمون کریستوفرسن از مقدار ارزش بحرانی توزیع کای دو با درجه آزادی دو بیشتر باشد و فرضیه صفر بدین صورت بیان شده باشد که  $\hat{\Pi} = \Pi_{\alpha}$  در نتیجه فرضیه صفر رد می‌شود و این بدان معناست که مدل از پوشش شرطی لازم برخوردار نیست.

### آزمون لوپز:

مدل‌های پس‌آزمایی مبتنی بر تعداد استثنائات دو مشکل اساسی دارند، اولین مشکل در ارتباط با قابلیت آماری پایین آنها می‌باشد و دومین مشکل این است که بطور کلی در این مدل‌ها ابعاد زیان در نظر گرفته نمی‌شود. بر این اساس لوپز (1999) آزمون‌های آماری دیگری را به منظور ارزیابی مدل‌های VaR ارائه نمود، که

مبتنی بر حداقل ساختن یک تابع زیان به نحوی می‌باشد که خواسته‌ها و اهداف مدیر ریسک یا مقام نظارتی مربوطه تامین گردد. این روش‌ها براساس یک تابع زیان<sup>۲۵</sup> رتبه‌بندی شده و هرچه نمره یک مدل کمتر باشد آن مدل دارای وضعیت بهتری خواهد بود. رابطه تابع زیان لویز که براساس زیان دنباله‌ها طراحی شده است به صورت ذیل مطرح گردید:

$$C_t = \begin{cases} 1 + (L_t - VaR_t)^2 & \text{if } L_t > VaR_t \\ 0 & \text{if } L_t \leq VaR_t \end{cases}$$

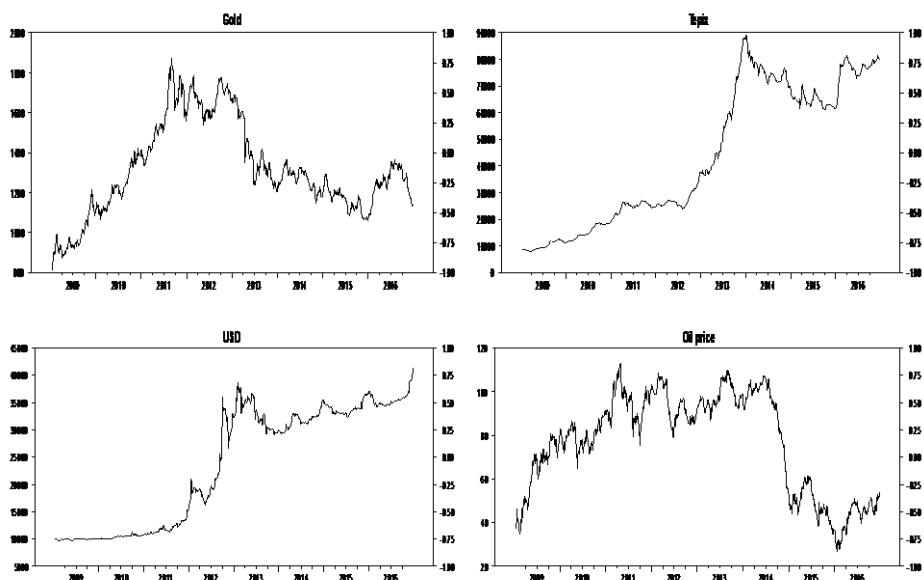
پس آزمایی بر اساس این تابع زیان بر اساس میانگین زیان نمونه خواهد بود:

$$\hat{L} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T C_t$$

آماره لویز در هر سطحی از خطا دارای یک مقدار بهینه می‌باشد و هرچه قدر تعداد تخطی‌های مدل برآزش شده به تعداد تخطی‌های بهینه آماره لویز نزدیک باشد، از دیدگاه لویز آن مدل یک مدل بهینه می‌باشد.

### ۳-۳- داده‌ها

در این تحقیق به بررسی عملکرد تصریحات مختلف مدل‌های گارچ چند متغیره در پیش‌بینی ارزش در معرض ریسک پورترفوی ارز، سهام و طلا پرداخته می‌شود. از آنجا که قیمت نفت متغیر برونزای تاثیر گذاری بر اقتصاد ایران و در نتیجه بایارهای مالی می‌باشد از این متغیر به عنوان متغیر برونزا در مدل استفاده شده است. نمودار (۱) نرخ ارز بازار آزاد (دلار به ریال)، شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران (TEPIX) قیمت نفت WTI و قیمت سکه بهار آزادی را ابتدای سال ۲۰۰۹ تا ابتدای سال ۲۰۱۷ نشان می‌دهد. داده‌های مربوط به متغیرهای نرخ ارز، شاخص سهام و قیمت طلا از نرم افزار رهاورد نوین استخراج شده است. همچنین قیمت نفت نیز از سایت EIA.org گرفته شده است.



نمودار (۲) نرخ ارز (USD)، قیمت طلا (GOLD)، شاخص سهام (TEPIX) و قیمت نفت (OILPRICE)

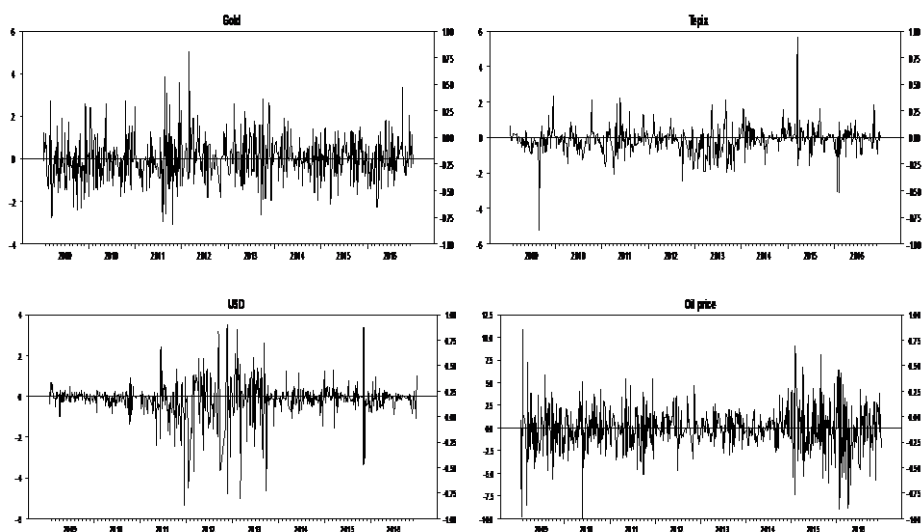
با توجه به خواص مهمی مثل مانایی بازده ها و ... در مطالعات از بازده به جای قیمت استفاده می شود. فرض کنید  $p_t$  قیمت یک دارائی در زمان  $t$  باشد. بازده ساده،  $R_t$ ، این دارائی برابر خواهد بود با:

$$R_t = \frac{P_t}{P_{t-1}} - 1 = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}}$$

همچنین بازده مرکب پیوسته،  $r_t$ ، یا بازده لگاریتمی مطابق تعریف برابر است با:

$$r_t = \ln(1 + R_t) = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$$

نمودار (۲) بازده مرکب محاسبه شده چهار متغیر نرخ ارز (USD)، قیمت طلا (GOLD)، شاخص سهام (TEPIX) و قیمت نفت (OILPRICE) را نشان می دهد. همچنین جدول (۱) آمارهای توصیفی بازده ها را نشان می دهد.



نمودار (۲) بازده مرکب نرخ ارز (USD)، قیمت طلا (GOLD)، شاخص سهام (TEPIX) و قیمت نفت (OILPRICE)

جدول (۱) آماره‌های توصیفی مربوط به سه متغیر بازده بازار سهام، ارز و طلا را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌کنید متوسط بازده روزانه ارز معادل ۰/۱۲ درصد، طلا ۰/۰۵ درصد و سهام ۰/۲۱ درصد در طول دوره مورد بررسی بوده است. انحراف معیار (std. dev) محاسبه شده در جدول نشان می‌دهد نوسانات بازار سرمایه نسبت به بازارهای طلا و ارز بسیار کمتر بوده است. همچنین نتایج آماره Jarque-Bera نشان دهنده رد فرض صفر نرمال بودن توزیع برای همه سری‌های بازده می‌باشد.

جدول ۱- آماره‌های توصیفی داده‌های روزانه به همراه نتایج آزمون جارکو- برا

شرح	ارز	طلا	شاخص
میانگین	0.12%	0.05%	0.21%
میان	0.03%	0.06%	0.08%
بیشینه	27.63%	5.63%	7.50%
کمینه	-18.23%	-14.38%	-5.67%
انحراف معیار	0.018	0.015	0.012
چولگی	2.744	-1.305	0.830
کشیدگی	70.705	14.763	8.700
جارکو- برا	199559	6279	1524
احتمال	0.000	0.000	0.000

جدول (۲) نتایج آزمون های ریشه واحد برای داده های مورد بررسی را نشان می دهد. نتایج آزمون ها نشان می دهد همه متغیرها در سطح ۱٪ مانا می باشند.

جدول ۲- نتایج آزمون مانایی برای داده های روزانه

شرح	بازده طلا	بازده سهام	بازده ارز
آماره ADF	-23.83346	-9.493603	-19.44351
Prob	0.0000	0.0000	0.0000
آماره PP	-23.80814	-16.36101	-22.54612
Prob	0.0000	0.0000	0.0000

#### ۴- برآورد مدل و تحلیل نتایج

##### ۴-۱- نتایج برآورد مدل

برای بررسی عملکرد مدل های مختلف گارچ چند متغیره در پیش بینی ارزش در معرض ریسک، داده ها به دو دوره برآورد و آزمون تقسیم شده اند. دوره برآورد مدل از ۲۰۰۹/۱/۱ تا ۲۰۱۶/۱/۱ می باشد. همچنین برای پس آزمایی مدل، دوره آزمون مدل از ۲۰۱۶/۱/۱ تا ۲۰۱۶/۱۲/۲۸ در نظر گرفته شده است. جهت برآورد مدل های این تحقیق از نرم افزار RATS9 استفاده شده است. مدل میانگینی مورد استفاده در این پژوهش مدل خودرگرسیو برداری (VAR) می باشد که با استفاده از آماره شوارتز (SIC) وقفه بهینه آن برابر ۲ تعیین شده است. جداول (۱) تا (۴) پیوست نتایج آزمون ها و برآورد مدل VAR را نشان می دهد. در جداول (۳) تا (۵) نتایج برآورد تصریحات مختلف مدل گارچ چند متغیره یعنی مدل DCC، مدل VECH و مدل BEKK آورده شده است. همانطور که در این جداول مشاهده می کنید تعداد ضرایب برآورد شده مدل گارچ برداری (VECH) و مدل BEKK بسیار بیشتر از مدل DCC می باشد که این موضوع به کاهش شدید درجه آزادی منجر می شود. یک راه جایگزین برای این مساله استفاده از فرم قطری ماتریس های A و B در مدل های فوق می باشد به همین جهت فرم قطری مدل VECH نیز در این مطالعه برآورد شده است. با این حال به دلیل اهمیت ضرایب غیر قطری در برآورد درست کواریانس شرطی، با وجود زمان بر بودن برآورد این مدل ها، برای پیش بینی ارزش در معرض ریسک پورتفوی از فرم کامل این مدل ها استفاده شده است.

جدول (۳) نتایج برآورد مدل DCC

Probe	آماره t	ضریب	
0.012	2.507	0.026	C(1)
0.105	1.622	0.057	C(2)
0.119	1.559	0.116	C(3)
0.003	2.973	0.490	A(1)
0.012	2.516	0.180	A(2)
0.022	2.284	0.103	A(3)
0.000	29.444	0.772	B(1)
0.000	28.175	0.892	B(2)
0.000	48.188	0.935	B(3)
0.205	1.268	0.029	DCC(1)
0.004	2.910	0.681	DCC(2)
0.000	15.219	2.429	Shape
8.368		AIC	
8.492		SBC	

جدول (۴) نتایج برآورد مدل VECH

Probe	آماره t	ضریب		Probe	آماره t	ضریب	
0.000	170.727	0.840	B(1,1)(1)	0.000	279.842	2.845	C(1,1)
0.027	-2.207	-0.024	B(1,1)(2)	0.588	-0.542	-0.013	C(2,1)
0.000	-249.943	-0.468	B(1,1)(3)	0.000	206.131	1.319	C(2,2)
0.000	14.923	1.573	B(1,1)(4)	0.000	-6.294	-0.322	C(3,1)
0.000	4.128	0.074	B(1,1)(5)	0.926	-0.093	-0.004	C(3,2)
0.000	-24.409	-0.028	B(1,1)(6)	0.000	31.997	2.718	C(3,3)
0.000	-5.729	-0.031	B(2,1)(1)	0.000	20.395	0.246	A(1,1)(1)
0.000	16.184	0.536	B(2,1)(2)	0.000	-3.584	-0.024	A(1,1)(2)
0.562	0.579	0.003	B(2,1)(3)	0.000	5.652	0.008	A(1,1)(3)
0.000	5.627	0.525	B(2,1)(4)	0.000	7.766	0.189	A(1,1)(4)
0.698	0.388	0.019	B(2,1)(5)	0.063	1.862	0.010	A(1,1)(5)
0.073	1.793	0.005	B(2,1)(6)	0.073	1.795	0.009	A(1,1)(6)
0.182	1.334	0.003	B(2,2)(1)	0.748	0.321	0.001	A(2,1)(1)
0.548	0.601	0.006	B(2,2)(2)	0.000	7.357	0.125	A(2,1)(2)
0.000	542.432	0.699	B(2,2)(3)	0.000	-3.704	-0.015	A(2,1)(3)
0.104	1.625	0.078	B(2,2)(4)	0.000	-8.287	-0.067	A(2,1)(4)
0.000	-3.807	-0.060	B(2,2)(5)	0.791	-0.265	-0.004	A(2,1)(5)
0.000	5.741	0.004	B(2,2)(6)	0.828	-0.217	-0.001	A(2,1)(6)
0.000	6.366	0.068	B(3,1)(1)	0.000	6.647	0.006	A(2,2)(1)
0.000	-7.342	-1.138	B(3,1)(2)	0.000	5.276	0.023	A(2,2)(2)
0.000	-8.531	-0.099	B(3,1)(3)	0.000	64.620	0.050	A(2,2)(3)
0.001	-3.218	-0.479	B(3,1)(4)	0.000	48.579	0.127	A(2,2)(4)



Probe	آماره t	ضریب		Probe	آماره t	ضریب	
0.000	5.533	0.830	B(3,1)(5)	0.000	-11.297	-0.033	A(2,2)(5)
0.000	-8.633	-0.049	B(3,1)(6)	0.002	-3.071	-0.006	A(2,2)(6)
0.000	4.206	0.012	B(3,2)(1)	0.001	3.246	0.010	A(3,1)(1)
0.507	-0.663	-0.044	B(3,2)(2)	0.808	-0.243	-0.007	A(3,1)(2)
0.153	-1.428	-0.014	B(3,2)(3)	0.650	-0.454	-0.004	A(3,1)(3)
0.000	-5.931	-0.372	B(3,2)(4)	0.052	1.941	0.073	A(3,1)(4)
0.000	9.850	0.690	B(3,2)(5)	0.186	1.323	0.032	A(3,1)(5)
0.512	-0.656	-0.003	B(3,2)(6)	0.079	1.754	0.022	A(3,1)(6)
0.329	0.976	0.007	B(3,3)(1)	0.675	-0.420	0.000	A(3,2)(1)
0.008	2.647	0.321	B(3,3)(2)	0.000	3.540	0.074	A(3,2)(2)
0.366	-0.903	-0.016	B(3,3)(3)	0.003	3.018	0.030	A(3,2)(3)
0.276	-1.089	-0.157	B(3,3)(4)	0.565	-0.575	-0.007	A(3,2)(4)
0.000	-3.947	-0.812	B(3,3)(5)	0.023	-2.266	-0.066	A(3,2)(5)
0.000	71.584	0.675	B(3,3)(6)	0.000	4.378	0.024	A(3,2)(6)
0.000	651.214	2.21564	Shape	0.048	-1.974	-0.005	A(3,3)(1)
				0.334	-0.966	-0.024	A(3,3)(2)
				0.000	-6.325	-0.076	A(3,3)(3)
8.594		AIC		0.834	-0.209	-0.012	A(3,3)(4)
9.014		SBC		0.000	-6.102	-0.257	A(3,3)(5)
				0.000	8.264	0.326	A(3,3)(6)

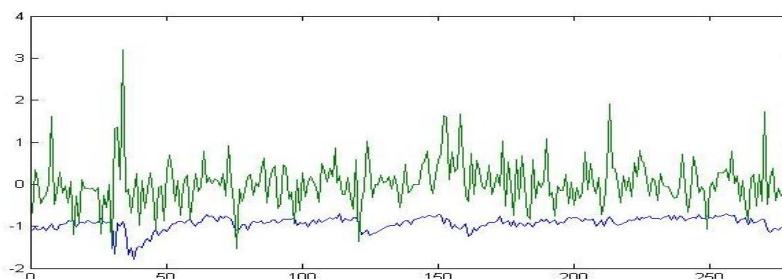
جدول (۵) نتایج برآورد مدل BEKK

Probe	آماره t	ضریب	
0.000	4.065	0.145	C(1,1)
0.036	2.102	0.089	C(2,1)
1.000	0.000	0.000	C(2,2)
0.000	3.550	0.422	C(3,1)
1.000	0.000	0.000	C(3,2)
1.000	0.000	0.000	C(3,3)
0.000	6.994	0.680	A(1,1)
0.141	-1.473	-0.026	A(1,2)
0.561	-0.581	-0.015	A(1,3)
0.738	0.335	0.011	A(2,1)
0.034	2.126	0.091	A(2,2)
0.140	-1.476	-0.073	A(2,3)
0.005	2.805	0.089	A(3,1)
0.618	0.499	0.009	A(3,2)
0.000	4.769	0.275	A(3,3)
0.000	67.033	0.884	B(1,1)
0.001	3.476	0.012	B(1,2)

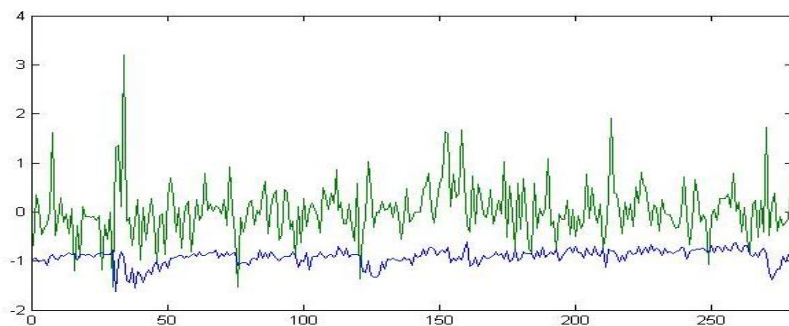
Probe	آماره t	ضریب	
0.889	0.140	0.001	B(1,3)
0.002	-3.141	-0.014	B(2,1)
0.000	354.236	0.996	B(2,2)
0.119	1.557	0.010	B(2,3)
0.000	-4.575	-0.021	B(3,1)
0.002	-3.131	-0.012	B(3,2)
0.000	91.478	0.967	B(3,3)
0.000	18.490	2.414595344	Shape
8.429		AIC	
8.6		SBC	

#### ۴-۲- پیش بینی ارزش در معرض ریسک و پس آزمایی

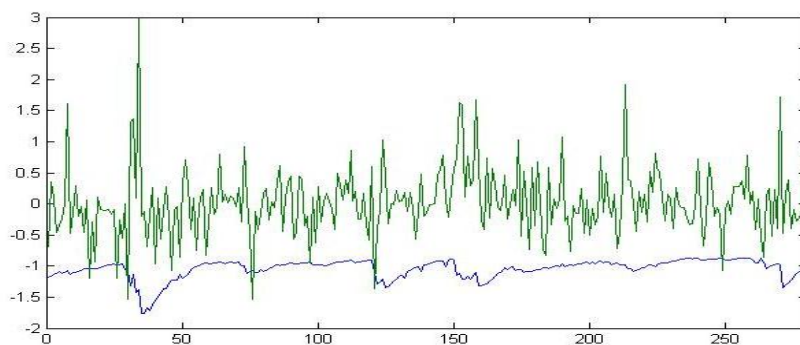
برای پیش بینی ارزش در معرض ریسک پورتفوی از پیش بینی ماتریس واریانس کواریانس شرطی یک روز بعد هر یک از تصریحات گارچ چند متغیره استفاده شده است. بنابراین برای محاسبه ارزش در معرض ریسک برای دوره آزمون لازم است تا هر یک از تصریحات به تعداد طول دوره آزمون (۲۸۰ بار) برآورد شوند که این کار بسیار زمان بر می باشد. با این حال می توان با قرار دادن مقادیر اولیه کارا بر این مشکل فائق آمد. بعد از برآورد اولیه (که نتایج آن در جداول ۳ تا ۵ آورده شد)، برآوردهای پارامترها بدست می آید که به احتمال زیاد با تغییر حجم نمونه زیاد تغییر نمی کنند. بنابراین در این تحقیق از برآوردهای پارامترهای نمونه قبلی به عنوان مقادیر ابتدایی در برآورد جدید استفاده شده است که این موضوع باعث کاهش قابل توجه زمان برآورد مدل ها گردید. نمودارهای (۳) تا (۶) سری زمانی های ارزش در معرض ریسک پیش بینی شده پورتفوی شامل ارز، سهام و طلا با وزن های برابر و با سطح احتمال ۵٪ برای دوره آزمون مدل ها (از ۲۰۱۶/۱/۱ تا ۲۰۱۶/۱۲/۲۸) را نشان می دهد. این نمودارها نشان می دهد تصریحات مختلف مدل گارچ چند متغیره در پیش بینی  $Var$  تقریباً هم جهت رفتار می کنند. با این حال همانطور نوسانات ارزش در معرض ریسک پیش بینی شده به وسیله مدل قطری ( $Diagonal$ ) بسیار کمتر از سایر مدل ها می باشد.



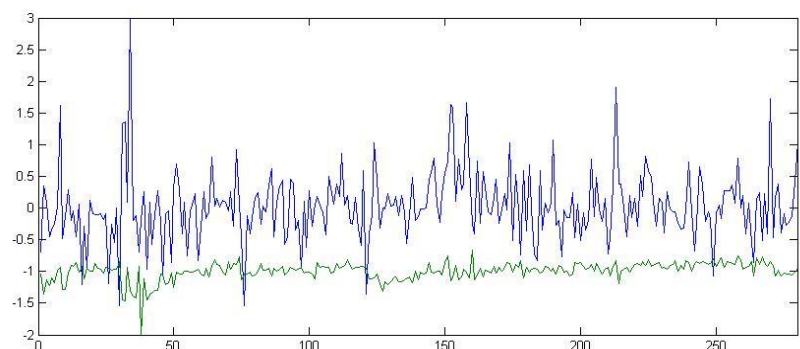
نمودار (۳) بازده و ارزش در معرض ریسک پورتفوی با روش DCC



نمودار (۴) بازده و ارزش در معرض ریسک پورتفوی با روش BEKK



نمودار (۵) بازده و ارزش در معرض ریسک پورتفوی با روش Diagonal



نمودار (۶) بازده و ارزش در معرض ریسک پورتفوی با روش VECH

نتایج آزمون های پس آزمایی در جدول (۶) ارائه شده است. هدف ما بررسی دو ویژگی تعداد و استقلال استثنائات می‌باشد که برای بررسی آن‌ها به ترتیب از آزمون کوپیک و آزمون استقلال (آزمون پوششی) که توسط کریستوفرسن<sup>۲۶</sup> (۱۹۹۸) مطرح شده، استفاده می‌کنیم.

آزمون کوپیک، برابری بین سطح معنی داری تئوری و احتمال تجربی استثنائات را بررسی می‌کند. در این آزمون فرض می‌شود که متغیر تصادفی وقوع یک نقض در زمان  $t$  از توزیع برنولی پیروی می‌کند. فرض صفر این آزمون برابری نسبت نقض تئوری و نسبت نقض تجربی است. به عبارت دیگر:

$$H_0 : p = \hat{p} = \frac{U_1}{W_T}$$

در سطح اطمینان ۹۵٪ در صورتی که  $LR > 3.84$  فرض صفر رد می‌شود (کوپیک، ۱۹۹۵). این آزمون به دلیل اینکه هیچ توزیع خاصی را برای داده‌های بازده در نظر نمی‌گیرد، یک آزمون ناپارامتری می‌باشد.

با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۶ برای آزمون کوپیک متوجه می‌شویم که فرض صفر را برای هیچ یک از چهار مدل نمی‌توان رد کرد. به عبارت دیگر برابری نسبت تئوری و تجربی از نظر آماری معنی دار است. پس می‌توان بیان داشت که این دسته از مدل‌ها را می‌توانند با دقت در نظر گرفته شده برای ارزش در معرض ریسک، یعنی ۹۵٪، مقدار ارزش در معرض ریسک را برای دوره آتی پیش بینی کنند. پس با محاسبه نسبت نقض برای هر یک از این مدل‌ها می‌توان گفت تقریباً این نسبت برابر یک است.

آزمون استقلال به بررسی خاصیت استقلال استثنائات از یکدیگر می‌پردازد. اگر دنباله رخداد استثنائات خاصیت خوشه‌ای بودن را داشته باشد. در این صورت با بکار بستن مدل‌های اقتصادسنجی می‌توانیم استثناء بعدی را پیش بینی کنیم. اگر مدلی قابلیت لحاظ کردن خوشه‌ای بودن استثنائات را داشته باشد، با تجربه یک استثناء مقدار تخمینی VaR برای دوره بعدی را افزایش می‌دهد. فرض صفر آزمون استقلال، پذیرش وجود استقلال بین رخ دادن استثنائات می‌باشد.

با دقت در جدول ۶ می‌توان دریافت که فرض صفر را نمی‌توان برای هیچ یک از این مدل‌ها رد کرد یعنی بین رخداد استثنائات استقلال وجود دارد به عبارت دیگر مدل‌های مورد نظر، بعد از هر رخداد استثناء، قابلیت تعدیل مقدار پیش بینی ارزش در معرض ریسک برای دوره آتی را دارند. با مراجعه به شکل‌های مربوط به هر مدل می‌توان وجود این خاصیت برای هر یک از مدل‌ها را به‌طور شهودی بررسی نمود.

یک معیار دیگری که در پس آزمایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، تابع زیان لویز<sup>۲۷</sup> می‌باشد. لویز (۱۹۹۹)، (۱۹۹۸) به منظور لحاظ کردن مقدار زیان استثنائات بیش از مقدار VaR پیشنهاد کرد میانگین مقادیر تابع زیان برای دوره آزمون، مبنای مقایسه قرار گیرد. این معیار در واقع نشان می‌دهد که مدل‌ها در مواجهه با رخدادها چگونه مقدار ارزش در معرض ریسک را تخمین می‌زنند که فاصله بین استثناء و مقدار ارزش در معرض ریسک تخمین زده شده به‌عنوان ملاک قضاوت بین مدل‌ها می‌باشد. این فاصله هرچقدر کمتر باشد بهتر است و مدلی که این خاصیت را داشته باشد در نوسان‌های شدید بازار از استواری بیشتری در مقادیر تخمین برخوردار است.

ملاحظه ستون آخر جدول ۶ مشاهده می شود که مدل VECH از میان سایر مدلها تابع زیان کمتری را به خود اختصاص داده است بنابراین این مدل استواری بیشتری را در تخمین ارزش در معرض ریسک دارد. برای معرفی مدل مناسب ابتدا آزمون کوپیک را ملاک قرار می دهیم اگر دو یا چند مدل از منظر این آزمون مناسب بودند سپس آزمون استقلال را برای آن ها بکار برده و در نهایت مدلی که متوسط تابع زیان لویز برای آن ها از همه کمتر باشد به عنوان مدل مناسب برگزیده می شود. همانطور که ملاحظه شد با در نظر گرفتن همه معیارهای مورد بررسی مدل VECH به عنوان مدلی که نسبت به بقیه مدل ها عملکرد بهتری دارد انتخاب می شود.

جدول (۶) نتایج آزمون کوپیک، کریستوفرسن و لویز

مدل	میانگین تابع زیان لویز		
	کریستوفرسن	کوپیک	
	$LR_{cci}$	$LR_{cc}$	$LR_{pf}$
مقدار بحرانی در سطح ۵٪	5.99	3.84	3.84
VECH	3.6529	0.4724	3.1805
BEKK	2.7405	0.6001	2.1404
DCC	3.6529	0.4724	3.1805
DIAG	3.6529	0.4724	3.1805

## ۵- بحث و نتیجه گیری

مقاله حاضر به منظور ارزیابی مدل های گارچ چندمتغیره در برآورد ارزش در معرض ریسک بازارهای ارز، سهام و طلا در ایران بود. بازار ارز، بازار جدیدی است که در جهان به سرعت رو به گسترش است ولی در ایران هنوز به طور کامل شناخته شده نیست. در برخی از کشورها بانک ها و شرکت ها بخش قابل توجهی از بودجه خود را در بازار ارز به دست می آورند. بنابراین برای یک اقتصاد مهم است که بانک ها و شرکت ها به بازارهای سرمایه در دیگر ارزها دسترسی داشته باشند. این امر نیازمند بازارهای سرمایه خارجی و مدیریت خطرات مالی بازار می باشد که سرمایه قرض گرفته شده در ارزهای خارجی را همراهی کند. اگر این مدیریت ریسک عملکرد کارآمدی نداشته باشد، دسترسی به ارز خارجی می تواند دشوارتر شود یا هزینه این سرمایه می تواند افزایش یابد. بنابراین قرار دادن یک مقیاس برای بازار ارز خارجی در شاخص استرس مالی ارزشمند است. کاربرد شاخص استرس مالی مزایای گسترده ای برای مقامات پولی و سازمانهای تنظیمی و نظارتی مالی دارد. با توسعه بازارهای مالی، نیاز به معرفی مدل های جدید، پیش بینی و مدیریت ریسک، احساس می شود. یکی از شاخصهایی که در زمینه مدیریت و اندازه گیری درجه ریسک مورد توجه قرار گرفته شاخص ارزش در معرض ریسک می باشد. در این پژوهش مدل گارچ چند متغیره<sup>۲۸</sup> جهت پیش بینی ارزش در معرض ریسک<sup>۲۹</sup> پورتنفوی شامل ارز، سهام و

طلا مورد ارزیابی قرار گرفته و از بازده مرکب داده های قیمت طلا، شاخص کل بورس اوراق بهادار و نرخ ارز استفاده گردید.

لذا در نتیجه در این پژوهش تصریحات مختلف مدل گارچ چند متغیره جهت پیش بینی ارزش در معرض ریسک پورتفویی شامل ارز، سهام و طلا مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور از بازده مرکب داده های قیمت طلا، شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران و نرخ ارز از ابتدای سال ۲۰۰۹ تا ابتدای سال ۲۰۱۶ به عنوان دوره برآورد استفاده گردید. نتایج برآورد مدل های VECH، BEKK، DCC و قطری نشان داد تلاطمات این متغیرها در دوره برآورد بریکدیگر اثرگذار بوده است. این موضوع فرضیه عدم استقلال بازارها در ایران را تایید می نماید. همچنین به منظور بررسی عملکرد این مدل ها در پیش بینی ارزش در معرض ریسک از پیش بینی یک روزه ماتریس واریانس کواریانس شرطی این مدل ها در طول دوره آزمون (از ابتدای سال ۲۰۱۶ تا ابتدای سال ۲۰۱۷) استفاده شد. برای این منظور هر یک از سه مدل ۲۸۰ بار (طول دوره آزمون) برآورد گردیده و پیش بینی یک روزه آنها از ماتریس واریانس کواریانس شرطی برای محاسبه ارزش در معرض ریسک محاسبه گردید. نتایج پس آزمایی مدل ها با استفاده از آزمون کوپیک و کریسترفسن نشان داد عملکرد هر چهار مدل در دوره آزمون مناسب بوده است. مقایسه میانگین تابع زیان لویز نشان داد مدل VECH نسبت به سایر مدل ها عملکرد بهتری داشته است. علیرغم عملکرد مطلوب مدل VECH با این حال برآورد این مدل بسیار زمان بر می باشد. ضمن اینکه با توجه به تعداد پارامترهای زیادی که در برآورد مدل های VECH و BEKK محاسبه می شود که به کاهش درجه آزادی و در نتیجه کاهش اعتبار مدل منجر می شود استفاده از این دو مدل برای پیش بینی ارزش در معرض ریسک پورتفوی هایی که شامل بیش از سه دارایی می باشند توصیه نمی شود.

#### فهرست منابع

- ابونوری اسمعیل، عبداللهی محمدرضا، مدلسازی نوسانات بخش های بازار سهام ایران با استفاده از مدل گارچ چند متغیره، مجله علمی - پژوهشی تحقیقات مالی دانشگاه تهران، ش ۱، دوره ۱۴، تابستان ۱۳۹۱، ص ۱-۱۶.
- \* ابونوری اسمعیل، عبداللهی محمدرضا، حمزه مصطفی، ارزیابی پویایی های رابطه بین نرخ ارز و شاخص سهام ایران با استفاده از مدل گارچ دومتغیره، پژوهشنامه بازرگانی، موسسه مطالعات و پژوهش های بازرگانی، شماره ۶۵، زمستان ۱۳۹۱ ص ۶۵-۸۶.
- \* دهقانی منوچهر، خیابانی ناصر (۱۳۹۳) اثر سرریز تلاطم در بازارهای نفت، طلا و ارزش دلار آمریکا در مقابل یورو، فصلنامه پژوهش ها و سیاست های اقتصادی، ش ۷۲ ص ۱۲۷-۱۵۴
- \* کشاورزحداد، غلامرضا، اسمعیل زاده، موسی. مدلسازی سری زمانی برای پیش بینی تلاطم در بازدهی سهام شرکت سیمان تهران. دانشگاه تهران، مجله ی تحقیقات اقتصادی، در شرف انتشار.
- \* Bollerslev, T. (1986). Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. Journal of Econometrics, Vol.31, No.3, pp. 307-327.

- \* Bollerslev, Tim, Engle, Robert F. & Wooldridge, Jeffrey M (1988). A Capital Asset Pricing Model with Time Varying covariances. The Journal of Political Economy, Vol. 96, No. 1, pp. 116-131.
- \* Christoffersen, P. F., 1998, "Evaluating Interval Forecasts", International Economic Review, Vol. 39, No. 4, PP. 841-862.
- \* Engle, Robert F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimation of the Variance of United Kingdom Inflation. Econometrica, Vol. 50, No. 4, PP. 987-1007.
- \* Engle, Robert F. & Kroner, K.F. (1995). Multivariate simultaneous generalized ARCH. Econometric Theory, Vol. 11, pp.122-150.
- \* Engle Robert F.(2001). GARCH 101: The use of ARCH/GARCH models in applied econometrics. Journal of economic perspectives, Vol. 15, No. 4, pp. 157-168.
- \* Engle Rober F.(2002). Dynamic Conditional Correlation –A Simple Class of Multivariate GARCH Models. Forthcoming Journal of Business and Economic Statistics, Vol. 20, pp. 339-350.
- \* He Kaijian, Lai Keung and Xiang Guocheng(2012) Portfolio Value at Risk Estimate for Crude Oil Markets: A Multivariate Wavelet Denoising Approach, Energies 5, 1018-1043.
- \* Kupiec, P., "Techniques for Verifying the Accuracy of Risk Measurement Mode Is", Journal of Derivatives, November 1995, PP. 73-84
- \* Lee, MingChih, Chiou, JerShiou & Lin, ChoMin )2006(. A study of value at risk on portfolio in stock return using DCC Multivariate GARCH. Applied Financial Economics Letters, vol. 23, pp.183-188.
- \* Lee, Sang Jin & Binh, Ki Beom (2008). Model Selection for Estimating Portfolio VaR in Korean Stock Market. AsiaPacific Journal of Financial Studies, vol.37, No. 5, pp. 877-913.
- \* Lindgren Charlie, Kayal Elias(2014) Multivariate approaches for Value-at-Risk and Expected Shortfall on electricity forwards
- \* Lopez, Jose A. (1999). Methods for Evaluating Value-at-Risk estimates, Federal Reserve Bank of San Francisco. Economic Review, Vol. 2, PP. 3-17.
- \* Ruiz E, Nogales F, Santos A (2009) Comparing univariate and multivariate models to forecast portfolio value-at-risk, Statistics and Econometrics Series, 09-72

## پیوست

### نتایج معیارهای اطلاعاتی جهت تعیین وقفه بهینه مدل VAR

HQ	SC	AIC	وقفه
-16.84519	-16.83619	-16.8507	0
-16.87456	-16.83855	-16.89661	1
-16.90696*	-16.84393*	-16.94554	2
-16.89955	-16.80951	-16.95467*	3
-16.87379	-16.75675	-16.94545	4
-16.8602	-16.71614	-16.94839	5
-16.84359	-16.67252	-16.94832	6
-16.81982	-16.62175	-16.94109	7
-16.79969	-16.57461	-16.93749	8
-16.77202	-16.51992	-16.92636	9
-16.75785	-16.47874	-16.92872	10
-16.73236	-16.42624	-16.91977	11
-16.71456	-16.38144	-16.91851	12

HQ	SC	AIC	وقفه
-16.69964	-16.33951	-16.92013	13
-16.67421	-16.28706	-16.91123	14
-16.64726	-16.2331	-16.90082	15
-16.62051	-16.17934	-16.8906	16
-16.59778	-16.1296	-16.88441	17
-16.57558	-16.08039	-16.87875	18
-16.5501	-16.0279	-16.8698	19
-16.52554	-15.97633	-16.86178	20

نتایج برآورد مدل VAR(2)

DTEPIX	DGOLD	DEXC	
0.00141	0.000503	0.001438	C
[ 3.92916]	[ 1.06614]	[ 2.49651]	
0.02136	0.022859	-0.011047	DEXC(-1)
[ 1.12618]	[ 0.91694]	[-0.36305]	
0.015775	0.00594	-0.215218	DEXC(-2)
[ 0.83132]	[ 0.23814]	[-7.06897]	
0.010004	-0.003241	-0.013786	DGOLD(-1)
[ 0.42162]	[-0.10391]	[-0.36215]	
-0.034305	0.01614	-0.05377	DGOLD(-2)
[-1.44759]	[ 0.51816]	[-1.41422]	
0.209704	-0.053535	0.05352	DTEPIX(-1)
[ 6.77564]	[-1.31598]	[ 1.07783]	
0.118325	0.025502	-0.014991	DTEPIX(-2)
[ 3.82280]	[ 0.62682]	[-0.30188]	

نتایج آزمون خودهمبستگی پسماندهای مدل VAR

Prob.	Adj Q-Stat	Prob.	Q-Stat	Lags
0.00	28.85	0.00	28.77	3
0.00	37.75	0.00	37.64	4
0.00	57.24	0.00	57.03	5
0.00	73.92	0.00	73.62	6
0.00	88.05	0.00	87.65	7
0.00	109.45	0.00	108.89	8
0.00	115.43	0.00	114.81	9
0.00	128.87	0.00	128.12	10
0.00	137.56	0.00	136.72	11
0.00	154.15	0.00	153.12	12



- <sup>1</sup> Multivariate GARCH model
- <sup>2</sup> Value at Risk
- <sup>3</sup> Interbank Market
- <sup>4</sup> Worthington and Higgs(2004)
- <sup>5</sup> Lafuente and Ruiz
- <sup>6</sup> Wang et al
- <sup>7</sup> Yu and Hassan(2006)
- <sup>8</sup> Mohammad et al
- <sup>9</sup> Hassan,S & Malik
- <sup>10</sup> Li(2007)
- <sup>11</sup> Li,Majerowska(2007)
- <sup>12</sup> Constantinou et al
- <sup>13</sup> Karunanayake, Valadkhani and Obrien(2009)
- <sup>14</sup> Alexis Cruz-Rodríguez(2013)
- <sup>15</sup> Fang and etc, (۲009)
- <sup>16</sup> Yau and Nieh (2006)
- <sup>17</sup> Linear combinations of univariate GARCH models
- <sup>18</sup> Nonlinear combinations of univariate GARCH models
- <sup>19</sup> VEC-GARCH
- <sup>20</sup> Baba-Engle-Kraft-Kroner
- <sup>21</sup> Factor-GARCH (F-GARCH)
- <sup>22</sup> Conditional coverage Likelihood ratio
- <sup>23</sup> Unconditional coverage level
- <sup>24</sup> Serial independence
- <sup>25</sup> Loss function
- <sup>26</sup> Christoffersen
- <sup>27</sup> Lopez
- <sup>28</sup> Multivariate GARCH model
- <sup>29</sup> Value at Risk