

مقایسه رویکرد EVT با سایر روش‌های سنجش ریسک بازار (VaR) در چارچوب پس‌آزمایی و آزمون کوپیک: دلالت‌هایی برای مدیریت ریسک بازار نهادهای مالی^۱

رضا طالبلو^۲

محمد مهدی داودی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۶

تاریخ ارسال: ۱۳۹۴/۱۰/۱۴

چکیده

طی سال‌های اخیر، پژوهشگران با به کارگیری نظریه مقدار فرین (EVT) ریسک بازار را به نحو دقیق‌تری برای وقایع نادر (شرایط بحرانی) محاسبه کرده‌اند. در این راستا، این مقاله، به بررسی روش‌های مختلف اندازه‌گیری ریسک بازار در سطوح مختلف اطمینان می‌پردازد. با توجه به اینکه برای اندازه‌گیری اثرات بحران‌های مالی بر ارزش دارایی‌ها، روش EVT بر اساس فروض نظریه، نیازمند سری‌های زمانی با مشاهدات بسیاری است، از این رو، در این مقاله از ۴ شاخص کل، صنعت، بازار اول و بازار دوم در بورس اوراق بهادار تهران استفاده شده است.

نتایج پس‌آزمایی در این پژوهش حاکی از آن است که از بین روش‌های مختلف، رویکرد نیمه پارامتریک یا همان رویکرد EVT در مقایسه با رویکردهای پارامتریک (GARCH MA, EWMA) و ناپارامتریک (Historical Simulation) در سطوح اطمینان بالاتر، کارآیی بالاتری دارند. همچنین روش HS در سطوح اطمینان بالا نتایج قابل قبولی را نشان می‌دهد. این در حالی است که روش‌های پارامتریک (GARCH MA, EWMA) در محاسبه ارزش در معرض ریسک در سطوح اطمینان ۰/۹۰ و ۰/۹۵ نتایج قابل اطمینان‌تری را ارائه می‌کنند. همچنین بویایی الگوهای GARCH و EWMA نسبت به سایر

۱- پژوهش انجام شده تحت حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه علامه طباطبائی و از تیم تحقیقاتی هسته پژوهشی «مالیه شرکتی، قیمت‌گذاری دارایی‌ها و ریسک در اقتصاد مالی» است.

۲- استادیار علوم اقتصادی، دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی (نویسنده مسؤول)، پست الکترونیکی: taleblou.reza@gmail.com/ talebloo.r@gmail.com

۳- کارشناس ارشد، علوم اقتصادی، دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی، پست الکترونیکی: mdavoudi70@gmail.com

الگوها بسیار بیشتر است. در بخش بعد، با ترکیب الگوهای مختلف، $EWMA-EVT$ ، $GARCH-EVT$ و $AWHS$ ساخته شد. پس از پس‌آزمایی $EWMA-EVT$ ، $GARCH-EVT$ و $AWHS$ مشخص شد که دو الگوی $EWMA-EVT$ بهترین نتایج را در بین الگوهای مختلف ارائه و در تمام سطوح اطمینان کفایت قابل قبولی را در تخمین ارزش در معرض ریسک ارائه کرده‌اند. با این حال، الگوی $GARCH-EVT$ تنها در سطح اطمینان ۰/۹۹۹ نتایج قابل قبولی را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: ارزش در معرض ریسک، ریسک بازار، تخمین پارامتریک، تخمین ناپارامتریک، نظریه مقدار فرین (EVT).

طبقه‌بندی JEL: D810, C580, G210.

۱- مقدمه

وقوع مکرر بحران‌ها و آشفتگی‌های مالی طی سه دهه اخیر در کشورهای مختلف باعث شده است تا ملاک‌های گوناگونی برای سنجش وقوع آنها یا اندازه‌گیری اثرات این بحران‌ها بر ارزش بنگاه‌ها مطرح شود. از سوی دیگر، یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در مدیریت ریسک، محاسبه ریسک در وقایع نادر^۱ است. رویکردهای متداول محاسبه اندازه ریسک بیشتر برای شرایط عادی بازار سرمایه کاربرد دارند. این در حالی است که محاسبه اندازه ریسک در بحران‌های مالی نیز اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا عدم شناخت کافی از ریسک شرایط بحرانی می‌تواند به ورشکستگی نهادهای مالی منجر شود. از جمله مهم‌ترین ریسک‌هایی که مدیران و سهام‌داران با آن مواجه هستند، ریسک بازار است. ریسک بازار، ریسک ناشی از حرکات یا نوسان‌های غیرمنتظره قیمت‌ها یا نرخ‌های بازار است. متداول‌ترین سنجه برای اندازه‌گیری این ریسک، سنجه ارزش در معرض ریسک^۲ (VaR) است.

به‌طور کلی رهیافت‌های موجود برای اندازه‌گیری معیار ارزش در معرض ریسک به ۳ گروه عمده تقسیم می‌شوند: روش ناپارامتریک^۳ شبیه‌سازی تاریخی (HS)، روش‌های پارامتریک^۴ مبتنی بر الگوهای اقتصادسنجی برای تخمین نوسانات پویا (روش ریسک

1- Extreme Events

2- Value at Risk

3- Non-parametric

4- Parametric

متریکس^۱ (EWMA) جی پی مورگان^۲ و الگوهای خانواده ARCH/GARCH) و در نهایت، روش نیمه پارامتریک^۳ نظریه مقدار فرین^۴ (EVT) (مک‌نیل و فری^۵، ۲۰۰۰). در این بین، رویکرد نظریه مقدار فرین به دلیل ویژگی‌های خاص، برای محاسبه ارزش در معرض ریسک، جایگاه ویژه‌ای در بین متخصصان مالی دارد. نظریه مقدار فرین رویکردی است که برای تخمین احتمالات و صدک‌های رویدادهای نادر طراحی شده است. بنابراین، روشی ایده‌آل و تخصصی برای برآورد ریسک مشاهدات نادر است.

در سال‌های اخیر، سنجش ریسک و مدیریت آن در نهادهای مالی و به‌خصوص در بانک‌های کشور مورد تأکید قرار گرفته است و با وجود این، تخصص کافی در تمام این نهادها برای شناسایی قابلیت‌های روش‌های مختلف اندازه‌گیری ریسک وجود ندارد. از سوی دیگر، براساس اسناد کمیته بال، روش سنجش برخی ریسک‌ها بسته به اندازه داده‌های موجود برعهده نهادهای مالی قرار گرفته است. با توجه به روش‌های متعدد سنجش ریسک بازار و قابلیت‌های هر یک از این روش‌ها، هدف این مقاله، مقایسه رویکرد EVT با سایر الگوهای برآوردکننده معیار ارزش در معرض ریسک از جمله: شبیه‌سازی تاریخی، میانگین متحرک، ریسک متریکس و واریانس ناهمسان شرطی تعمیم‌یافته، به‌منظور بررسی کارآیی هر یک از این الگوها در محاسبه ریسک در شرایط بحرانی (سطوح اطمینان بالا: ۰/۹۹ و ۰/۹۹۹) است. به‌منظور بررسی نتایج به‌دست آمده در این مقاله، از چهار شاخص بازار استفاده شده است که عبارت‌اند از: شاخص کل، شاخص صنعت، شاخص بازار اول و شاخص دوم بورس اوراق بهادار تهران. یادآوری می‌شود، تمام محاسبات این پژوهش در نرم‌افزار R صورت گرفته است.

-
- 1- Riskmetrics
 - 2- J.P. Morgan
 - 3- Semi-parametric
 - 4- Extreme Value Theory
 - 5- McNeil and Frey

این مقاله در ۵ بخش به این ترتیب سازماندهی شده است: در بخش دوم، پیشینه تجربی مربوط به موضوع ارائه می‌شود. در بخش سوم، مباحث نظری محاسبه ارزش در معرض ریسک و هر یک از الگوهای یادشده مطرح می‌شود. پس از بیان پیشینه تجربی و مباحث نظری، در بخش چهارم، داده‌های مورد استفاده در پژوهش معرفی می‌شوند. در نهایت، در بخش پنجم تخمین هر یک از الگوها برای محاسبه ارزش در معرض ریسک ارائه می‌شود.

۲- پیشینه تجربی

وقوع بحران در یک بازار مالی می‌تواند بسیار نادر باشد. در بیان تخصصی بحث، بحران و زیان‌های ناشی از آن در یک بنگاه (یک دارایی مالی) به دنباله‌های توزیع بازده‌ها بازمی‌گردد. تخمین دنباله توزیع بازده سری‌های زمانی مالی با استفاده از روش EVT موضوعی است که در دهه ۱۹۹۰ با مقالات امبرچتز و همکاران^۱ (۱۹۹۸ و ۱۹۹۹)، لانگین^۲ (۱۹۹۷)، مک‌نیل (۱۹۹۷ و ۱۹۹۸) و دنیلسون و دی وریز^۳ (۱۹۹۷) مطرح شد. در تمام این مقاله‌ها به‌طور ویژه به تخمین دنباله توزیع دارایی‌ها توجه شده است. در این راستا، لانگین (۱۹۹۷) و مک‌نیل (۱۹۹۷ و ۱۹۹۸)، نظریه EVT را با روش حداکثرهای بلوکی^۴ به کار گرفته‌اند. در مقاله لانگین (۱۹۹۷)، نوسانات تصادفی بازده سری‌های زمانی مالی الگوسازی نشده است و تخمین‌زن‌ها تنها برای نمونه‌های iid استفاده شده‌اند. این درحالی است که مک‌نیل (۱۹۹۷ و ۱۹۹۸) چگونگی خوشه‌بندی وقایع نادر با نوسانات تصادفی را نشان داده است. دنیلسون و دی وریز (۱۹۹۷) از رهیافتی نیمه‌پارامتریک مبتنی بر تخمین‌زن هیل برای تخمین دنباله توزیع استفاده کرده‌اند. امبرچتز و همکاران (۱۹۹۸ و ۱۹۹۹) نیز رهیافت تکنیک تخمین پارامتریک مبتنی بر توزیع مقادیر بالای سطح آستانه را برای الگوسازی دنباله توزیع به کار گرفته‌اند.

1- Embrechts et al.

2- Longin F

3- Danielsson J, De Vries

4- Block Maxima

پس از مقالات یادشده، مک‌نیل و فری (۲۰۰۰)، با ارایه چارچوبی برای محاسبه ارزش در معرض ریسک از روش نظریه مقدار فرین شرطی، رهیافت جدیدی را برای محاسبه ریسک ارایه کردند. آنها با تلفیق روش‌های EVT و GARCH از مزیت‌های هر دو الگوی پارامتریک و ناپارامتریک استفاده کردند. در این پژوهش، واریانس شرطی از روش GARCH و دنباله توزیع از روش EVT تخمین زده شده است. نتایج کار آنها نشان می‌دهد که الگوی EVT شرطی نسبت به EVT غیرشرطی از کارآیی بیشتری برخوردار است.

پس از مک‌نیل (۲۰۰۰)، از الگوی EVT برای پیش‌بینی ریسک در شرایط بحرانی بیشتر استفاده شد. هو و همکاران^۱ (۲۰۰۰) و جنکی و همکاران^۲ (۲۰۰۴) نیز در دو مقاله جداگانه به بررسی ریسک در بحران‌های مالی در بازارهای نوظهور سهام پرداختند. در هر دو پژوهش ثابت شده است که الگوی EVT بر تمام الگوهای پارامتریک و ناپارامتریک در تخمین ریسک دنباله توزیع، به‌خصوص سطوح اطمینان بالا ارجحیت دارد. البته در بعضی پژوهش‌ها، الگوهای پارامتریک نتایج قابل قبول‌تری نسبت به EVT ارایه دادند. کیتاکاراساکن و همکاران^۳ (۲۰۱۱) با استفاده از نظریه مقدار فرین وجود توزیع‌هایی را با دنباله‌های پهن در بورس کشورهای آسیایی بررسی کردند. در این پژوهش، ارزش در معرض ریسک با دو روش نظریه مقدار فرین و مدل آرچ محاسبه شده است. آنها برخلاف سایر پژوهشگران، برآورد آرچ را در تخمین دنباله‌های توزیع موفق‌تر ارزیابی کردند. با وجود اختلاف نظرها در کارآیی الگوی EVT در برآورد ارزش در معرض ریسک در بحران‌های مالی، پس از بحران ۲۰۰۸، توجه متخصصان مالی دوباره به الگوی EVT برای تخمین ارزش در معرض ریسک جلب شد. سینگ و همکاران^۴ (۲۰۱۳) با استفاده از

1- Ho et al.

2- Gencay et al.

3- Kittiakarasakun et al.

4- Singh K. et al.

نظریه مقدار فرین شرطی و غیرشرطی به الگوسازی شاخص ASX^۱ استرالیا و S&P500 آمریکا پرداختند و کارآیی این الگوها را در پیش‌بینی ریسک بحران مالی ۲۰۰۸، مورد بررسی قرار دادند. همچنین با استفاده از الگوهای GARCH مبتنی بر رهیافت نظریه مقدار فرین پویا، ارزش در معرض ریسک را برای دوره کوتاه‌مدت محاسبه کردند. در این پژوهش، نظریه مقدار فرین با استفاده از دو رهیافت عمده (POT) و (BMM) برای پیش‌بینی VaR، CVaR^۲ یا ریزش مورد انتظار (ES)^۳ نتایج قابل قبولی دارد. همچنین این نظریه در الگوسازی وقایع نادر مانند بحران مالی ۲۰۰۸ نیز نتایج قابل قبولی داشته است.

کارمکار و شوکلا^۴ (۲۰۱۵)، عملکرد نظریه مقدار فرین شرطی، برای مدل‌سازی توزیع دنباله و تخمین و پیش‌بینی مقادیر ارزش در معرض ریسک را برای دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۹ بررسی کردند. برای برآورد و تخمین ارزش در معرض ریسک پویا از رهیافت دومرحله‌ای مقدار فرین شرطی مک‌نیل و فری (۲۰۰۰)، استفاده شده است. عملکرد نظریه مقدار فرین شرطی برای تخمین ارزش در معرض ریسک با سایر مدل‌سازی‌های رقیب مقایسه شده است. بدین منظور با پس‌آزمایی هر روش برای کل نمونه و زیرنمونه‌ها کارآیی مدل آزمون شده است. در نهایت، این نظریه برای آزمون کل نمونه‌ها بهترین عملکرد را داشته است.

با وجود استفاده فراگیر الگوی EVT در محاسبه ارزش در معرض ریسک در مقالات خارجی، متأسفانه در داخل کشور پژوهش‌های زیادی در زمینه محاسبه ارزش در معرض ریسک از طریق روش EVT صورت نگرفته است.

فلاح‌پور و احمدی (۱۳۹۱)، با استفاده از نظریه EVT به بررسی دنباله تابع توزیع بازده بورس اوراق بهادار تهران در دو بازه زمانی مختلف (۱۳۷۸-۱۳۸۴) و (۱۳۸۴-۱۳۹۰) پرداختند و وجود دنباله پهن^۵ برای توزیع بازده‌ها را آزمودند. همچنین از

-
- 1- Australian Securities Exchange
 - 2- Conditional Value at Risk
 - 3- Expected Shortfall
 - 4- Karmakar and Shukla
 - 5- Fat Tail

آماره لوپز برای مقایسه عملکرد این نظریه در الگوسازی VaR با عملکرد مدل ریسک متریک با فرض توزیع نرمال در سطوح اطمینان مختلف استفاده شده است. با تخمین ارزش در معرض ریسک برای دو بازه زمانی ۱۰۰ روزه و ۵۰ روزه نشان داده شده است که نظریه مقدار فرین برای تمام دوره‌ها نتایج بهتری دارد.

زمانی و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از نظریه مقدار فرین ارزش در معرض ریسک لگاریتمی شاخص قیمت بورس اوراق بهادار تهران را محاسبه کرده‌اند. همچنین در این پژوهش، محاسبه ارزش در معرض ریسک با روش واریانس-کوواریانس (با فرض نرمال بودن توزیع بازده) و شبیه‌سازی تاریخی مقایسه شده است. نتایج نشان‌دهنده این است که برای دنباله سمت راست توزیع بازده شاخص بورس اوراق بهادار تهران که نسبت به دنباله سمت چپ پهن‌تر است، روش نظریه مقدار فرین در تمام سطوح اطمینان کارآترین روش محاسبه ارزش در معرض ریسک است.

زمانی و علی‌فر (۱۳۹۳)، اثر شوک‌های نرخ ارز را در تلاطم شاخص فلزات اساسی با استفاده از یک مدل ARJI-GARCH الگوسازی کردند. به این منظور ابتدا از مدل شدت جهش شرطی خودبرگشت (ARJI) برای مدل‌سازی تلاطم نرخ ارز استفاده شده است، سپس، نتیجه آن برای برآورد تلاطم شاخص صنعت فلزات اساسی در یک مدل GARCH به کار گرفته شده است. در ادامه از تلاطم برآورد شده با مدل ARJI-GARCH ارزش در معرض ریسک شاخص فلزات اساسی را محاسبه کرده‌اند. در نهایت، محاسبه VaR با در نظر گرفتن شوک‌های نرخ ارز در مدل ARJI-GARCH برای شاخص صنعت فلزات اساسی نسبت به مدل‌های مورد مقایسه نتایج بهتری داشته است.

با توجه به پژوهش‌های بررسی شده، این مقاله، به مقایسه کارآیی الگوی EVT در تخمین ارزش در معرض ریسک با سایر الگوهای پارامتریک و ناپارامتریک پرداخته است. در نهایت، اعتبار هر یک از الگوها در سطوح اطمینان مختلف با الگوهای پس‌آزمایی سنجیده شده است.

۳- مباحث نظری

افت شدید قیمت سهام در بسیاری از بازارهای سرمایه در زمان‌های مختلف به زیان‌های قابل توجه برای عوامل فعال در آن بازارها منجر شد. با توجه به ظهور و بروز ناگهانی بحران‌های مالی، مدیریت ریسک در این برهه‌های زمانی اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. توجه به این نکته حایز اهمیت است که بحران‌های مالی جزء حوادث نادر بازارهای مالی طبقه‌بندی می‌شوند و برای محاسبه ریسک در این دوران، صدک‌های بالایی توزیع (۰/۹۹۹، ۰/۹۹) باید مورد ارزیابی قرار گیرند. این در حالی است که براساس پژوهش‌های صورت گرفته دنباله توزیع‌های سری‌های زمانی مالی پهن هستند و بنابراین، توزیع نرمال عملکرد مناسبی را در برازش سطوح اطمینان بالا از خود نشان نمی‌دهد. از این رو، برای محاسبه ریسک در شرایط بحرانی از الگوی EVT که به برازش دم توزیع توجه دارد، استفاده می‌شود.

۳-۱- ارزش در معرض ریسک

اگر بخواهیم X درصد مطمئن باشیم که در T روز آینده زیانی بیشتر از V دلار نخواهیم داشت، متغیر V را می‌توان به‌عنوان مقدار ارزش در معرض ریسک سبد انتخابی تفسیر کرد. این متغیر تابعی از دو پارامتر است: افق زمانی T و سطح اطمینان X درصد. به عبارت دیگر متغیر V مقدار زیانی است که ما اطمینان داریم در T روز آینده بیشتر از X درصد نخواهد شد. مقدار ارزش در معرض ریسک هم می‌تواند به‌عنوان توزیع احتمال سودها و هم برای توزیع احتمال زیان‌ها در دوره زمانی T محاسبه شود (هال، ۲۰۱۵، ص ۲۵۵).

فرض کنید که متغیر تصادفی X با توزیع پیوسته F ، میزان زیان یا بازده منفی یک سبد مالی مشخص باشد. آنگاه VaR_p صدک q ام توزیع F تعریف می‌شود. به عبارت دیگر:

$$VaR_p = F^{-1}(1 - \alpha) \quad (1)$$

به F^{-1} تابع چندک^۱ گفته می‌شود که در واقع، وارون تابع توزیع F است. مقدار α به‌طور معمول ۰/۱، ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲- ارزش در معرض ریسک با نوسانات زمانی وابسته^۱ (روش‌های پارامتریک) بنا بر پژوهش‌های صورت گرفته در بازارهای مالی بازده‌های سری‌های زمانی مالی نوسانات خوشه‌ای^۲ دارند. (دنیلسون، ۲۰۱۱، ص ۱۰۶) در ادامه، ۳ روش محاسبه ارزش در معرض ریسک که از نوسانات زمانی وابسته استفاده می‌کنند، معرفی می‌شود:

۳-۲-۱- الگوی میانگین متحرک ساده (MA)

میانگین متحرک ساده، آسان‌ترین و رایج‌ترین راه تخمین تلاطم است. به این روش انحراف معیار تاریخی نیز اطلاق می‌شود. در این الگو با در نظر گرفتن تاریخچه‌ای از نرخ‌های بازدهی یک دارایی، نمونه‌ای خاص از تعداد k آخرین بازده انتخاب می‌شود. بدین ترتیب، واریانس تخمینی براساس نمونه‌ای از k دوره معاملاتی محاسبه می‌شود.

۳-۲-۲- ریسک متریکس (EWMA)

الگوی ریسک متریکس برای نخستین بار توسط مورگان (۱۹۹۶)، معرفی شد. نام دیگر این الگو که کاربرد بسیار زیادی در مؤسسه‌های مالی دارد، میانگین متحرک با اوزان نمایی^۳ است. الگوی میانگین متحرک موزون نمایی همان الگوی میانگین متحرک است که با گذشت زمان وزن داده‌ها به صورت نمایی کاهش می‌یابد. الگوی EWMA به شکل زیر نمایش داده می‌شود:

$$\sigma_n^2 = \lambda \sigma_{n-1}^2 + (1 - \lambda) r_{n-1}^2 \quad (2)$$

σ_t^2 : تلاطم شرطی تخمینی دوره t
 R_{n-1}^5 : مجذور $n-1$ امین دوره بازده دارایی

λ : پارامتر افت^۴

1- VaR with Time-dependent Volatility

2- Volatility Clusters

3- Exponentially Weighted Moving Average

4- Decay Parameter (این پارامتر به پیشنهاد مورگان (۱۹۹۶)، معادل ۰/۹۴ در نظر گرفته می‌شود)

۳-۲-۳- مدل ARCH تعمیم یافته (GARCH')

مدل ARCH توسط انگل (۱۹۸۲)، ارائه شده است. در این مدل فرض بر این است که جمله تصادفی دارای میانگین صفر و به‌طور سریالی غیرهمبسته است، اما واریانس آن با شرط داشتن اطلاعات گذشته خود، متغیر فرض می‌شود. مدل GARCH که تعمیم یافته ARCH است، برای نخستین بار توسط بلسلو (۱۹۸۶)، به‌عنوان راهکاری برای حل مشکل روش ARCH معرفی شد. حالت ساده مدل GARCH(1,1) عبارت است از:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 \quad (۳)$$

در حالت کلی، GARCH(p, q) عبارت است از:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p u_{t-p}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \dots + \beta_q \sigma_{t-q}^2 \quad (۴)$$

۳-۳- شبیه‌سازی تاریخی (روش ناپارامتریک)

در الگوی ناپارامتریک شبیه‌سازی تاریخی برای برآورد ریسک از داده‌های تاریخی استفاده می‌شود. بنابراین، برای برآورد ارزش در معرض ریسک نخست باید بازدهی تاریخی شبیه‌سازی شده سبد دارایی در دوره t را به صورت رابطه زیر محاسبه کرد:

$$r_{pt} = \sum_{i=1}^N w_i r_{it} \quad (۵)$$

که در آن، بازده دارایی iام در دوره t و w_i وزن دارایی iام را نشان می‌دهد. سپس، این سری بازده از کوچک به بزرگ مرتب و در نهایت، جایگاه صدک آلفای توزیع تجربی بازده تعیین می‌شود.

۳-۴- نظریه مقدار فرین

مهم‌ترین انتقاد از انواع الگوهای ارزش در معرض ریسک این است که برای تخمین صدک‌های بالاتر که در دنباله‌های توزیع قرار دارند از توزیع‌هایی استفاده می‌شود که حول

نقطه میانگین پراکنده^۱ شده‌اند. این الگوها وقایع نادر را کم‌گویی^۲ می‌کنند (باتاچاریا^۳، ۲۰۰۸، ص ۳۸۵). از این رو، به دنبال روش‌های نوین برای تخمین بهتر دنباله توزیع، از نظریه EVT استفاده شد.

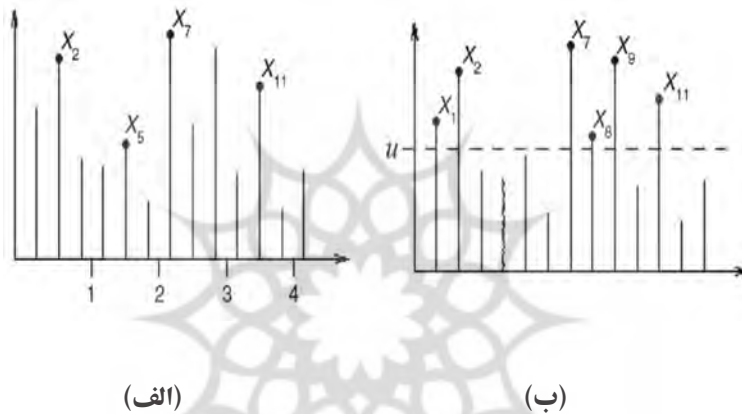
نظریه مقدار فرین دارای سابقه طولانی و موفق در زمینه‌هایی مانند مهندسی است که در آن برای طراحی سد و دیوارهای مهارکننده سیل استفاده شده است. کئودایک^۴ (۱۹۹۰)، جانسن و دی وریز^۵ (۱۹۹۱)، این روش را برای تحلیل‌های مالی ارایه کردند. (دنیلسون^۶، ۲۰۱۱، ص ۱۶۷). نظریه مقدار فرین تنها برای الگوسازی دنباله‌های توزیع کاربرد دارد (جوریون^۷، ۲۰۰۶، ص ۱۲۹).

دو روش عمده برای الگوسازی وقایع نادر در یک افق زمانی مشخص وجود دارد؛ روش نخست افق زمانی تعیین شده را به بلوک‌ها^۸ یا دوره‌های^۹ مساوی تقسیم و بزرگ‌ترین داده را از هر دوره زمانی (برای مثال، ماهانه یا سالانه) خارج می‌کند. این مشاهدات انتخاب شده را حداکثر بلوک^{۱۰} یا حداکثر زیر دوره^{۱۱} می‌نامند. در شکل (الف) نمودار شماره ۱، مشاهدات x_2, x_5, x_7 و x_{11} ، حداکثرهای بلوک برای چهار زیر دوره که هر کدام سه مشاهده دارند، نشان داده شده است. با وجود این، با توجه به ویژگی خوشه‌ای بودن^{۱۲} سری‌های زمانی مالی این روش برای تحلیل مناسب نیست (باتاچاریا، ۲۰۰۸، ص

-
- 1- Scattered
 - 2- Underestimate
 - 3- Bhattacharyya, M
 - 4- Koedijk, K.G et al.
 - 5- Jansen, D, and de Vries, C.G.
 - 6- Danielsson, J
 - 7- Jorion, Ph
 - 8- Blocks
 - 9- Periods
 - 10- Block Maxima
 - 11- Per-period Maxima
 - 12- Clustering

(۳۸۵). از این رو، در بیشتر تحلیل‌های مالی از روش دوم که به فراتر از آستانه^۱ مشهور است، استفاده می‌شود.

در روش فراتر از آستانه مشاهداتی را که از یک سطح آستانه بالاتر است، به عنوان مشاهدات نادر در نظر می‌گیریم. در شکل (ب)، مشاهدات $X_1, X_2, X_7, X_8, X_9, X_{11}$ از سطح آستانه u بالاتر رفته‌اند و به عنوان مشاهدات نادر نشان داده شده‌اند.



نمودار ۱- الگوی فراتر از آستانه و حداکثر بلوک

۳-۴-۱- مباحث نظری نظریه مقدار فرین

فرض می‌کنیم، مشاهدات X_t که نشان‌دهنده ضررهاست به‌طور مستقل و سریالی با تابع توزیع تجمعی $F(X)$ نشان داده می‌شود. همچنین بازده X_t در بازه $[l, u]$ قرار می‌گیرد که در آن $l = -\infty$ و $u = +\infty$ هستند. بنابراین، تابع توزیع تجمعی $X_{(n)}$ ، با $F_{n,n}(x)$ نشان داده می‌شود که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F_{n,n}(x) = \Pr[x_{(n)} \leq x]$$

$$\Pr(x_1 \leq x, x_2 \leq x, \dots, x_n \leq x)$$

بنابر تعریف نقطه حداکثر

$$\prod_{j=1}^n \Pr(x_j \leq x) \quad \text{بنابر استقلال}$$

به‌طور عملی تابع توزیع تجمعی $F(X)$ برای مشاهدات x_t نامعلوم است؛ از این رو، تابع توزیع تجمعی $F_{n,n}(x)$ برای $x_{(n)}$ نیز ناشناخته است. با این حال، همچنانکه n به‌طور بی‌نهایت افزایش می‌یابد، اگر $x < u$ باشد، تابع توزیع تجمعی $F_{n,n}(x)$ به سمت صفر و اگر $u < x$ ، تابع توزیع تجمعی $F_{n,n}(x)$ به سمت ۱ متمایل می‌شود.

بنابراین، EVT به دنبال یافتن دو دنباله $\{\mu_n\}$ و $\{\sigma_n\}$ است، به شرطی که $\sigma_n > 0$ باشد. به‌طوری که توزیع $x_{(n)}^* = (x_{(n)} - \mu_n) / \sigma_n$ در صورت میل کردن n به بی‌نهایت به شکل یک توزیع غیرمنحطط^۱ درمی‌آید.

دنباله $\{\mu_n\}$ یک سری مشخص‌کننده مکان و دنباله $\{\sigma_n\}$ یک سری مشخص‌کننده عامل اندازه است. براساس فروض مستقل، توزیع حداکثرهای نرمال شده $\Gamma_{(n)}^*$ به شکل زیر است:

$$F_*^{(x)} = \begin{cases} \exp[-(1 + \xi x)^{-1/\xi}] & \text{اگر } \xi \neq 0 \\ \exp[-\exp(-x)] & \text{اگر } \xi = 0 \end{cases} \quad (6)$$

پارامتر ξ به پارامتر شکل^۲ توزیع و پارامتر $\alpha = -1/\xi$ به شاخص دنباله^۳ اشاره دارد. تابع توزیع به‌دست آمده در معادله بالا را جنکینسون^۴ (۱۹۵۵)، توزیع مقدار فرین تعمیم‌یافته (GEV) برای ماکزیمم‌ها نام نهاده است. این توزیع شامل^۳ نوع توزیع گامبل، فرچت و ویبول که توسط گندنکو (۱۹۴۳)^۵ معرفی شده، می‌شود.

-
- 1- Nondegenerate Distribution
 - 2- Shape Parameter
 - 3- Tail Index
 - 4- Jenkinson
 - 5- Gnedenko, B.V

۳-۴-۲- فراتر از آستانه

رهیافت سنتی محاسبه نظریه مقدار فرین برای محاسبه ریسک با مشکلات زیادی مواجه است: ۱- نظریه مشخصی برای انتخاب زیردوره^۱ n وجود ندارد. ۲- با انتخاب ماکزیمم زیردوره، احتمال از دست رفتن داده‌ها زیاد می‌شود. برای غلبه بر این مشکلات رهیافت جایگزینی برای استفاده از نظریه مقدار فرین توسط اسمیت (۱۹۸۹) و اسمیت (۱۹۹۰)، معرفی شده است. به جای تمرکز بر مقادیر حدی^۲ (ماکزیمم‌ها و مینیمم‌ها)، روش جدید بر مقادیر فراتر از آستانه انتخابی تمرکز دارد. این روش را فراتر از آستانه می‌نامند. در رهیافت جدید دیگر نیازمند انتخاب طول زیردوره^۳ نیستیم، بلکه تنها سطح آستانه را انتخاب می‌کنیم. برای توضیح این روش، متغیر x_t را به‌عنوان متغیر زیان یک سبد^۴ در نظر می‌گیریم. فرض می‌کنیم که y متمرکز می‌شویم. POT برخلاف BM که از توزیع‌های حاشیه‌ای^۵ استفاده می‌کرد، از توزیع‌های شرطی^۶ استفاده می‌کند. توزیع شرطی $x \leq y + \eta$ با شرط $x > \eta$ به شکل زیر است:

$$\begin{aligned} &= \frac{\Pr(\eta \leq x \leq y + \eta)}{\Pr(x > \eta)} \Pr(x \leq y + \eta | x > \eta) \\ &= \frac{\Pr(x \leq y + \eta) - \Pr(x \leq \eta)}{1 - \Pr(x \leq \eta)} \end{aligned} \quad (7)$$

با استفاده از تابع توزیع تجمعی (۶) و معادله (۷) و معادل سازی $1 - z \approx e^{-z}$ و بعد از یک سری عملیات جبری می‌توان نوشت:

$$= \frac{F_*(y + \eta) - F_*(\eta)}{1 - F_*(\eta)} \Pr(x \leq y + \eta | x > \eta) \quad (8)$$

- 1- Subperiod
- 2- Extremes
- 3- Subperiod Length
- 4- Loss Variable of an Asset
- 5- Marginal Distribution
- 6- Conditional Distribution

$$= \frac{\exp\left[-\left(1 + \frac{\xi(y + \eta - \mu)}{\sigma}\right)^{-1/\xi}\right] - \exp\left[-\left(1 + \frac{\xi(\eta - \mu)}{\sigma}\right)^{-1/\xi}\right]}{1 - \exp\left[-\left(1 + \frac{\xi(\eta - \mu)}{\sigma}\right)^{-1/\xi}\right]}$$

$$\approx 1 - \left(1 + \frac{\xi y}{\sigma + \xi(\eta - \mu)}\right)^{-1/\xi}$$

که در آن، شرط‌های $y > 0$ و $1 + \frac{\xi(\eta - \mu)}{\sigma} > 0$ برقرار است. همچنین اگر $\xi = 0$ باشد، می‌توانیم معادله (۸) را به شکل زیر بنویسیم:

$$r(x \leq y + \eta | x > \eta) \approx 1 - \exp(-y / \sigma) \quad (9)$$

که تابع توزیع تجمعی آن نیز به شکل زیر درمی‌آید:

$$r_{\xi, \psi(\eta)}(y) = \begin{cases} 1 - \left[1 + \frac{\xi y}{\psi(\eta)}\right]^{-1/\xi} & \xi \neq 0 \\ 1 - \exp[-y / \psi(\eta)] & \xi = 0 \end{cases} \quad (10)$$

برای

که در آن، وقتی شرط $\xi \geq 0$ برقرار باشد، می‌توانیم بگوییم که $y \geq 0, \psi(\eta) > 0$ نیز برقرار است. همچنین اگر شرط $\xi < 0$ برقرار باشد، می‌توانیم بگوییم که $0 \leq y \leq -\psi(\eta) / \xi$ هم برقرار است. بنابراین، به توزیع بالا توزیع پرتو تعمیم‌یافته^۱ می‌گویند. بنابراین نتایج معادله بالا توزیع شرطی x با در نظر گرفتن $x > \eta$ را با پارمترهای ξ و $\psi(\eta) = \sigma + \xi(\eta - \mu)$ توسط GPD تخمین می‌زنند. برای مطالعات بیشتر می‌توان به امبرجتز (۱۹۹۷)، مراجعه کرد.

۳-۵- پس‌آزمایی^۱ (کفایت و دقت روش‌های محاسبه VaR)

قبل از آنکه بتوان از مدل‌های پیش‌بینی‌کننده ارزش در معرض ریسک با اطمینان استفاده کرد لازم است اعتبار آنها با دقت بررسی و عملکرد آنها ارزیابی شود. از مؤلفه‌های کلیدی روش‌های اعتبارسنجی پس‌آزمایی است که با به‌کارگیری روش‌های کمی به تعیین مطابقت پیش‌بینی‌های مدل با مفروضاتی که مدل براساس آنها بنا شده، می‌پردازد. همچنین امکان رتبه‌بندی روش‌های مختلف محاسبه ارزش در معرض ریسک را فراهم می‌کند. در فرآیند پس‌آزمایی به‌جای اینکه از مدل برای پیش‌بینی ریسک در دوره پیش‌رو استفاده شود، ریسک دوره‌های گذشته محاسبه می‌شود و با مقایسه ریسک به‌دست آمده از مدل با داده‌های واقعی می‌توان عملکرد مدل را ارزیابی کرد. در پس‌آزمایی از رهیافت پنجره غلتان استفاده می‌شود. در این رهیافت لازم است یک دوره برازش^۳ ثابت را در نظر بگیریم که به‌منظور تخمین پارامترهای مدل ارزش در معرض ریسک، نمونه‌ای را تعریف می‌کند. این نمونه برازش^۴، در سراسر کل داده‌ها غلتانده می‌شود، با ثابت در نظر گرفتن دوره برازش، نمونه برازش از ابتدای دوره‌ها شروع می‌شود. اگر افق زمانی ریسک h روز باشد، باید دوره‌های آزمایشی^۵ را تا h روز به جلو غلتاند و این فرآیند را تا رسیدن به آخرین مشاهده در کل دوره داده‌ها ادامه داد (کشاوری، ۱۳۹۴، ص ۶۱۶).

برای مثال، فرض کنید، $X_1, X_2, X_3, \dots, X_T$ سری زمانی بازده دارایی مورد نظر باشد. فرض کنید، n بازده اولیه را برای محاسبه مقدار ارزش در معرض ریسک کنار می‌گذاریم و حجم این پنجره را با W_E نشان می‌دهیم. در این صورت، اندازه پنجره n و مجموعه داده‌های مورد استفاده $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ است که به‌وسیله آن ارزش در معرض ریسک را برای دوره n ، یعنی $Var(W_n + 1)$ تخمین می‌زنیم و آن را با X_{n+1} مقایسه می‌کنیم. حال

-
- 1- Back Testing
 - 2- Rolling Window
 - 3- Estimation Period
 - 4- Estimation Sample
 - 5- Test Sample

نخستین مشاهده، یعنی X_1 را از زیرمجموعه موجود کنار می‌گذاریم و مشاهده X_{n+1} را به آن اضافه می‌کنیم که به وسیله این مشاهدات $Var(W_n + 2)$ را محاسبه و با X_{n+2} مقایسه می‌کنیم. این فرآیند را تا جایی تکرار می‌کنیم که به زیرمجموعه‌ای به حجم n که شامل n مشاهده آخر باشد، برسیم.

۳-۵-۱- نسبت نقض ارزش در معرض ریسک

دنیلسون روش ساده‌ای را برای پس‌آزمایی روش‌های مختلف ارزش در معرض ریسک معرفی می‌کند. در اینجا خطاها را با η_t نشان می‌دهیم. اگر خطا اتفاق بیفتد، این پارامتر مقدار ۱ و اگر خطا اتفاق نیفتد این پارامتر مقدار ۰ می‌گیرد. تعداد خطاها در متغیری تحت عنوان V جمع می‌شوند که در آن V_1 به عنوان تعداد روزهایی که خطا صورت گرفته و V_0 به عنوان روزهایی که خطا تحقق نیافته است، نشان داده می‌شوند. (دنیلسون، ۲۰۱۱، ص ۱۴۵). این نتایج در فرمول زیر خلاصه می‌شود.

$$\eta_t = \begin{cases} 1 & y_t \leq -VaR_t \\ 0 & y_t > -VaR \end{cases} \quad (11)$$

V_1 جمع $\eta_t = 1$ و V_0 جمع $\eta_t = 0$ هستند.

$$V_1 = \sum \eta_t \quad (12)$$

$$V_0 = W_T - V_1$$

اصلی‌ترین ابزار برای پس‌آزمایی ارزش در معرض ریسک، نسبت نقض است. در این روش اعداد حقیقی ارزش در معرض ریسک با مقادیر انتظاری آن مقایسه می‌شوند. نسبت نقض به شکل زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{نسبت نقض} = \frac{\text{تعداد مشاهدات نقض شده}}{\text{تعداد مشاهدات نقض شده انتظاری}} = \frac{V_1}{p \times W_t} \quad (13)$$

به‌طور شهودی می‌توان گفت، اگر نسبت نقض بزرگ‌تر از یک شود، الگوی ارزش در معرض ریسک کم‌گویی^۱ و اگر کوچک‌تر از یک شود، الگوی ارزش در معرض ریسک بیش‌گویی^۲ قرار دارد (دنیلسون، ۲۰۱۱، ص ۱۴۵).

۳-۵-۲- آزمون کوپیک^۳

پس از بررسی نسبت نقض از آزمون پوشش غیرشرطی^۴ برای سنجش اعتبار هر یک از الگوها در سطوح اطمینان مختلف استفاده می‌کنیم. این الگو توسط کوپیک (۱۹۹۵)، براساس آزمون نسبت حداکثر راست‌نمایی معرفی شده است. در این آزمون، با در نظر گرفتن دو حالت شکست و موفقیت یک توزیع دوجمله‌ای به‌دست می‌آید و می‌توان متغیر $I_t(\alpha)$ را که α سطح پوشش ارزش در معرض ریسک مربوط به مشاهدات است، به صورت زیر تعریف کرد:

$$I_t(\alpha) = \begin{cases} 1 & \text{اگر } r_t < VaR_t(\alpha) \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (14)$$

که بازدهی r_t سبد دارایی در دوره t و $VaR_t(\alpha)$ ارزش در معرض ریسک درصدی دوره t مشروط بر اطلاعات موجود تا دوره $t-1$ است. بنابراین، به‌منظور آزمون دقت الگو، باید فرضیه صفر (مجموع شکست‌ها دارای توزیع دوجمله‌ای است) در برابر فرضیه مقابل آن (مجموع شکست‌ها دارای توزیع دو جمله‌ای نیست) آزمون شود. برای آزمون فرضیه یادشده، می‌توان از آزمون نسبت حداکثر راست‌نمایی استفاده کرد که دارای توزیع کای دو با درجه آزادی ۱ بوده و آماره آن عبارت است از:

$$LR_{uc} = -2 \ln((1 - \hat{\alpha})^{T-x} \hat{\alpha}^x / (1 - \alpha)^{T-x} \alpha^x) \quad (15)$$

که در آن، $\hat{\alpha}$ نسبت تعداد دفعات تحقق نقض در پیش‌بینی مقدار ریسک به کل تعداد $VaR_t(\alpha)$ محاسبه شده است. اگر آماره آزمون پوشش غیرشرطی بیشتر از مقدار بحرانی

-
- 1- Underforecasts Risk
 - 2- Overforecasts Risk
 - 3- Kupiec Test
 - 4- Unconditional Coverage Test

توزیع کای دو باشد، فرضیه صفر رد می‌شود و نمی‌توان پذیرفت که روش مورد نظر ارزش در معرض ریسک را به‌درستی برآورد می‌کند.

۴- داده‌ها

در این پژوهش، از داده‌های روزانه ۴ شاخص بورس اوراق بهادار تهران استفاده شده است. بدین منظور تمام داده‌های تاریخی شاخص کل، شاخص صنعت، شاخص بازار اول و شاخص بازار دوم بورس اوراق بهادار تهران از سامانه اینترنتی بورس اوراق بهادار^۱ تهران گردآوری شده است. در انجام محاسبات، بازده‌ها به صورت لگاریتمی ($\log(P_t/P_{t-1})$) در نظر گرفته شده است. در جدول، تعداد داده‌ها و بازه مورد نظر برای هر شاخص آورده شده است.

شماره	شاخص	تعداد مشاهدات	طول دوره
۱	کل	۴۳۰۵	۱۳۷۶/۰۷/۰۶ تا ۱۳۹۴/۰۸/۱۹
۲	صنعت	۴۳۰۵	۱۳۷۶/۰۷/۰۶ تا ۱۳۹۴/۰۸/۱۹
۳	بازار اول	۳۱۳۹	۱۳۸۱/۰۶/۰۴ تا ۱۳۹۴/۰۸/۱۹
۴	بازار دوم	۳۱۳۹	۱۳۸۱/۰۶/۰۴ تا ۱۳۹۴/۰۸/۱۹

۵- نتایج تخمین

در این بخش، ارزش در معرض ریسک (VaR) ۴ شاخص کل، شاخص صنعت، شاخص بازار اول و شاخص بازار دوم بورس اوراق بهادار تهران محاسبه شده است. برای محاسبه VaR از ۵ روش میانگین متحرک (MA)، میانگین متحرک موزون نمایی (EWMA)، واریانس ناهمسان شرطی تعمیم‌یافته (GARCH)، شبیه‌سازی تاریخی (HS) و نظریه مقدار فرین (EVT) استفاده شده است. در ادامه، نتایج تخمین VaR با ۵ روش یادشده ارائه شده است.

در تخمین ارزش در معرض ریسک در دوره‌های بحرانی، باید طول قاب پنجره تخمین تا حد امکان بزرگ در نظر گرفته شود تا مشاهدات نادر^۱ برای تخمین ریسک حذف نشوند. بدین منظور پنجره تخمین برای دو شاخص کل و شاخص صنعت، ۳۳۰۵ و برای دو شاخص بازار اول و بازار دوم، ۲۱۳۹ در نظر گرفته شده است. از این رو، ارزش در معرض ریسک تمام شاخص‌ها برای یک دوره ۱۰۰۰ روزه محاسبه شده است.

نتایج تخمین ارزش در معرض ریسک برای هر ۴ شاخص، در جدول‌های شماره ۱ تا ۴، نشان داده شده است. ارزش در معرض ریسک برای ۴ سطح اطمینان ۰/۹۰، ۰/۹۵، ۰/۹۹ و ۰/۹۹۹ محاسبه شده و مقادیر نقض شده^۲، نسبت نقض^۳، آزمون پس‌آزمایی کوپیک و انحراف معیار تمام روش‌ها در تمام سطوح اطمینان یادشده در جدول‌ها، نشان داده شده است.

همان‌طور که در جدول‌ها مشاهده می‌شود، با افزایش سطح اطمینان، مقادیر نقض شده کاهش می‌یابند. با مقایسه مقادیر نقض شده الگوهای مختلف در سطح اطمینان ۰/۹۰ درمی‌یابیم الگوی EVT در بین تمام الگوها در این سطح اطمینان بدترین عملکرد را دارد. با وجود اینکه در سطح اطمینان ۰/۹۰ (با فرض طول تخمین ۱۰۰۰ دوره‌ای) تنها انتظار ۱۰۰ مشاهده نقض شده را داریم، مشاهده می‌شود که تعداد مشاهدات نقض شده در الگوی EVT برای ۴ شاخص کل، صنعت، بازار اول و بازار دوم به ترتیب برابر با ۳۴۵، ۳۱۸، ۲۳۲ و ۲۰۸ بوده که بیان‌کننده عملکرد ضعیف این سنجه در سطح اطمینان ۰/۹۰ است. نتایج آزمون کوپیک نیز حکایت از رد عملکرد این سنجه برای تمام شاخص‌ها در سطح اطمینان ۰/۹۰ دارد. در سطح اطمینان ۰/۹۵ نیز الگوی EVT نتایج رضایت‌بخشی را برای محاسبه ارزش در معرض ریسک ارایه نمی‌دهد. در این سطح اطمینان انتظار ۵۰ مشاهده نقض شده را داریم که الگوی EVT برای ۴ شاخص کل، صنعت، بازار اول و بازار دوم به ترتیب ۱۶۱، ۱۴۸، ۱۱۷ و ۱۰۳ مشاهده را نقض می‌کند. آزمون پس‌آزمایی کوپیک عملکرد این

1- Extreme Observation

2- Violation

3- Violation Ratio

الگو را در سطح اطمینان ۰/۹۵ نیز مانند سطح اطمینان ۰/۹۰ برای هر ۴ شاخص یادشده رد می‌کند. این در حالی است که سایر سنجه‌های محاسبه شده در این سطوح اطمینان (۰/۹۰ و ۰/۹۵)، عملکرد قابل قبول‌تری دارند. در بین سایر سنجه‌ها الگوی GARCH بهترین عملکرد را در ۳ شاخص کل، صنعت و بازار اول در سطوح اطمینان ۰/۹۰ و ۰/۹۵ دارد. برای سنجش ارزش در معرض ریسک شاخص بازار دوم در سطح اطمینان ۰/۹۰ عملکرد تمام الگوها رد می‌شود. همچنین در سطح اطمینان ۰/۹۵ تنها الگوی MA برای شاخص بازار دوم قابل اعتماد است.

با وجود عملکرد ضعیف الگوی EVT در سطوح اطمینان ۰/۹۰ و ۰/۹۵ این الگو در سطوح اطمینان ۰/۹۹ و ۰/۹۹۹ (یعنی برای وقوع حوادث نادر) نتایج قابل قبول‌تری نسبت به سایر الگوها ارائه می‌کند. با مقایسه نتایج نسبت نقض تمام الگوها در جدول‌های شماره ۱ تا ۴، درمی‌یابیم که عملکرد الگوهای MA، EWMA و GARCH با نزدیک شدن به دنباله‌های توزیع ضعیف می‌شود. در واقع، با نزدیک شدن به سطوح اطمینان بالا مقادیر نسبت نقض برای این ۳ الگو افزایش می‌یابد. این در حالی است که کارآیی الگوی EVT با نزدیک شدن به دنباله‌های توزیع افزایش می‌یابد. نتایج تخمین‌ها نشان می‌دهد که الگوی EVT در محاسبه ارزش در معرض ریسک هر ۴ شاخص در سطح اطمینان ۰/۹۹۹ بهترین عملکرد را دارد و تنها ۱ مورد نقض را نشان می‌دهد. همچنین این الگو در تخمین ارزش در معرض ریسک در سطح اطمینان ۰/۹۹ تنها در شاخص بازار دوم نتوانسته است نتایج رضایت‌بخشی را ارائه کند.

نکته قابل تأمل در محاسبات انجام شده، عملکرد بسیار خوب الگوی شبیه‌سازی تاریخی (HS) در سطوح اطمینان ۰/۹۹ و ۰/۹۹۹ است. همان‌طور که در جدول‌ها، نشان داده شده است، تنها تفاوت الگوی HS و EVT در آزمون پس‌آزمایی کوپیک، در محاسبه ارزش در معرض ریسک شاخص بازار اول در سطح اطمینان ۰/۹۹ است که عملکرد الگوی EVT قبول و عملکرد الگوی HS رد می‌شود. با این حال، در تمام شاخص‌ها و سطوح اطمینان نتایج آزمون HS و EVT بسیار مشابه است.

با توجه به بررسی کارآیی ۵ الگوی محاسبه شده، درمی‌یابیم که برای محاسبه ارزش در معرض ریسک در سطوح اطمینان پایین (۰/۹۰ و ۰/۹۵) بهتر است که از الگوهای MA، EWMA و GARCH و برای سطوح اطمینان بالا (۰/۹۹ و ۰/۹۹۹) از الگوهای EVT و HS استفاده کنیم.

جدول ۱- شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران

انحراف معیار	تصمیم‌گیری	uc.LRp	uc.LRstat	نسبت نقض	مقادیر نقض شده	سطح اطمینان	الگو
۰/۰۰۱۸	رد H_0	۰	۴۳۸	۳/۴۵	۳۴۵	۰/۹	EVT
۰/۰۰۱۵	رد H_0	۰	۱۶۸	۳/۲۲	۱۶۱	۰/۹۵	
۰/۰۰۱۰	عدم رد H_0	۰/۰۷	۳/۰۷	۱/۶	۱۶	۰/۹۹	
۰/۰۰۰۹	عدم رد H_0	۱	۰	۱	۱	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۰۵	رد H_0	۰	۷۴/۷	۱/۹۱	۱۹۱	۰/۹	HS
۰/۰۰۰۶	رد H_0	۰	۷۳/۵	۲/۳۸	۱۱۹	۰/۹۵	
۰/۰۰۰۸	عدم رد H_0	۰/۲۳	۱/۴۳	۱/۴	۱۴	۰/۹۹	
۰/۰۰۵۴	عدم رد H_0	۱	۰	۱	۱	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۴۹	عدم رد H_0	۰/۷۵	۰/۰۹	۱/۰۳	۱۰۳	۰/۹	GARCH
۰/۰۰۶۳	عدم رد H_0	۰/۳۲	۰/۹۸	۱/۱۴	۵۷	۰/۹۵	
۰/۰۰۸۹	عدم رد H_0 *	۰/۰۴	۴/۰۹	۱/۷	۱۷	۰/۹۹	
۰/۰۱۱۸	رد H_0	۰	۱۹/۳۲	۸	۸	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۰۶	عدم رد H_0	۰/۰۹	۲/۷۱	۱/۱۶	۱۱۶	۰/۹	MA
۰/۰۰۰۷	عدم رد H_0	۰/۱۲	۲/۳۸	۱/۲۲	۶۱	۰/۹۵	
۰/۰۰۱۱	رد H_0	۰	۱۹/۹۲	۲/۷	۲۷	۰/۹۹	
۰/۰۰۱۴	رد H_0	۰	۱۹/۳۲	۸	۸	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۳۶	عدم رد H_0	۰/۱۶	۵/۷۷	۰/۷۸	۷۸	۰/۹	EWMA
۰/۰۰۴۶	عدم رد H_0	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۹	۴۵	۰/۹۵	
۰/۰۰۶۵	عدم رد H_0	۰/۲۳	۱/۴۳	۱/۴	۱۴	۰/۹۹	
۰/۰۰۸۶	عدم رد H_0 *	۰/۰۲۳	۵/۰۹۹	۴	۴	۰/۹۹۹	

* قبول H_0 در سطح اطمینان ۹۹ درصد.

جدول ۲- شاخص صنعت بورس اوراق بهادار تهران

انحراف معیار	تصمیم‌گیری	uc.LRp	uc.LRstat	نسبت نقض	مقادیر نقض شده	سطح اطمینان	الگو
۰/۰۰۱۵	H ₀ رد	۰	۴۳۸	۳/۱۸	۳۱۸	۰/۹	EVT
۰/۰۰۱۳	H ₀ رد	۰	۱۳۵	۲/۹۶	۱۴۸	۰/۹۵	
۰/۰۰۱۰	H ₀ عدم رد	۰/۲۳	۱/۴۳	۱/۴	۱۴	۰/۹۹	
۰/۰۰۱۱	H ₀ عدم رد	۱	۰	۱	۱	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۰۵	H ₀ رد	۰	۶۷/۳	۱/۸۶	۱۸۶	۰/۹	HS
۰/۰۰۰۷	H ₀ رد	۰	۶۳/۳	۲/۲۸	۱۱۴	۰/۹۵	
۰/۰۰۱۱	H ₀ عدم رد	۰/۲۳	۱/۴۳	۱/۴	۱۴	۰/۹۹	
۰/۰۰۰۵	H ₀ عدم رد	۱	۰	۱	۱	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۵۱	H ₀ عدم رد	۰/۵۲	۰/۳۴	۰/۹۴	۹۴	۰/۹	GARCH
۰/۰۰۶۶	H ₀ عدم رد	۰/۵۵	۰/۳۴	۰/۹۲	۴۶	۰/۹۵	
۰/۰۰۹۳	H ₀ عدم رد	۰/۱۳	۲/۱۸	۱/۵	۱۵	۰/۹۹	
۰/۰۱۲۴	H ₀ رد	۰	۱۱/۵۲	۶	۳	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۰۶	H ₀ عدم رد	۰/۸۳	۰/۰۴	۰/۹۸	۹۸	۰/۹	MA
۰/۰۰۰۸	H ₀ عدم رد	۰/۱۵	۱/۹۸	۱/۲	۶۰	۰/۹۵	
۰/۰۰۱۱	H ₀ رد	۰	۷/۸۲	۲	۲۰	۰/۹۹	
۰/۰۰۱۵	H ₀ رد	۰	۱۹/۳۲	۸	۸	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۴۱	H ₀ عدم رد	۰/۱۶	۵/۷۷	۰/۷۸	۷۸	۰/۹	EWMA
۰/۰۰۵۲	H ₀ عدم رد	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۹	۴۵	۰/۹۵	
۰/۰۰۷۴	H ₀ عدم رد	۰/۲۳	۱/۴۳	۱/۴	۱۴	۰/۹۹	
۰/۰۰۹۹	H ₀ عدم رد	۰/۰۲۳	۵/۰۹۹	۴	۴	۰/۹۹۹	

* قبول H₀ در سطح اطمینان ۹۹ درصد.

جدول ۳- شاخص بازار اول بورس اوراق بهادار تهران

انحراف معیار	تصمیم‌گیری	uc.LRp	uc.LRstat	نسبت نقض	مقادیر نقض شده	سطح اطمینان	الگو
۰/۰۰۱۹	رد H_0	۰	۱۴۶/۸	۲/۳۲	۲۳۲	۰/۹	EVT
۰/۰۰۱۳	رد H_0	۰	۶۹/۷۷	۲/۳۴	۱۱۷	۰/۹۵	
۰/۰۰۰۴	عدم رد H_0	۰/۱۶۹	۱/۸۸	۰/۶	۶	۰/۹۹	
۰/۰۰۱۵	عدم رد H_0	۱	۰	۱	۱	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۰۶	رد H_0	۰	۲۷/۳۱	۱/۵۳	۱۵۳	۰/۹	HS
۰/۰۰۰۷	رد H_0	۰	۳۰/۰۸	۱/۸۴	۹۲	۰/۹۵	
۰/۰۰۰۸	عدم رد H_0	۰/۰۳۰	۴/۷۰۵	۰/۴	۴	۰/۹۹	
۰/۰۱۱۳	عدم رد H_0	۱	۰	۱	۱	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۴۵	عدم رد H_0	۰/۲۸۴	۱/۱۴۵	۰/۹	۹۰	۰/۹	GARCH
۰/۰۰۵۸	عدم رد H_0	۰/۷۷۰	۰/۰۸۵	۰/۹۶	۴۸	۰/۹۵	
۰/۰۰۸۳	عدم رد H_0	۰/۷۵۴	۰/۰۹۷	۱/۱	۱۱	۰/۹۹	
۰/۰۱۱۰	عدم رد H_0	۰/۱۰۷	۲/۵۹	۳	۳	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۰۴	عدم رد H_0	۰/۷۵۰	۰/۱۰۰	۰/۹۷	۹۷	۰/۹	MA
۰/۰۰۰۶	عدم رد H_0	۰/۸۸۴	۰/۰۲۰	۱/۰۲	۵۱	۰/۹۵	
۰/۰۰۰۸	عدم رد H_0	۰/۰۴۳	۴/۰۹۰	۱/۷	۱۷	۰/۹۹	
۰/۰۰۱۱	عدم رد H_0	۰/۰۲۳	۵/۰۹۹	۴	۴	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۳۹	رد H_0	۰/۰۰۴	۸/۱۸۰	۰/۷۴	۷۴	۰/۹	EWMA
۰/۰۰۵۰	عدم رد H_0	۰/۷۷۰	۰/۰۸۵	۰/۹۶	۴۸	۰/۹۵	
۰/۰۰۷۱	عدم رد H_0	۰/۰۴۳	۴/۰۹۰	۱/۷	۱۷	۰/۹۹	
۰/۰۰۹۴	عدم رد H_0	۰/۰۲۳	۵/۰۹۹	۴	۴	۰/۹۹۹	

* قبول H_0 در سطح اطمینان ۹۹ درصد.

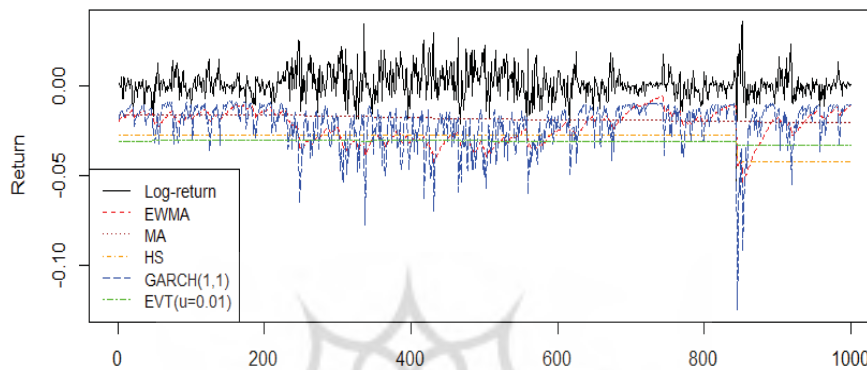
جدول ۴- شاخص بازار دوم بورس اوراق بهادار تهران

انحراف معیار	تصمیم‌گیری	uc.LRp	uc.LRstat	نسبت نقض	مقادیر نقض شده	سطح اطمینان	الگو
۰/۰۰۱۴	H ₀ رد	۰	۱۰۲	۲/۰۸	۲۰۸	۰/۹	EVT
۰/۰۰۱۳	H ₀ رد	۰	۴۵/۸۹	۲/۰۶	۱۰۳	۰/۹۵	
۰/۰۰۱۴	H ₀ رد	۰	۱۴/۲۲	۲/۴	۲۴	۰/۹۹	
۰/۰۰۲۲	H ₀ عدم رد	۱	۰	۱	۱	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۰۷	H ₀ رد	۰	۴۳/۵۸	۱/۶۸	۱۶۸	۰/۹	HS
۰/۰۰۰۸	H ₀ رد	۰	۱۴/۵۹	۱/۷۸	۸۹	۰/۹۵	
۰/۰۰۱۰	H ₀ رد	۰	۱۲/۴۸	۲/۳	۲۳	۰/۹۹	
۰/۰۰۴۶	H ₀ عدم رد	۱	۰	۱	۱	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۴۶	H ₀ رد	۰	۳۰/۵۰	۰/۵۲	۵۲	۰/۹	GARCH
۰/۰۰۶۰	H ₀ رد	۰	۱۴/۵۹	۰/۵۲	۲۶	۰/۹۵	
۰/۰۰۸۵	H ₀ عدم رد	۰/۷۵۴	۰/۰۹۷	۱/۱	۱۱	۰/۹۹	
۰/۰۱۱۳	H ₀ عدم رد	۰/۱۰۷	۲/۵۹	۳	۳	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۰۹	H ₀ عدم رد*	۰/۰۲۹	۴/۷۳	۰/۸	۸۰	۰/۹	MA
۰/۰۰۱۲	H ₀ رد	۰	۱۹/۳۲	۱	۵۰	۰/۹۵	
۰/۰۰۱۷	H ₀ رد	۰	۹/۲۸	۲/۱	۲۱	۰/۹۹	
۰/۰۰۲۲	H ₀ رد	۰	۱۹/۳۲	۸	۸	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۴۸	H ₀ رد	۰	۱۴/۴۲	۰/۶۶	۶۶	۰/۹	EWMA
۰/۰۰۵۲	H ₀ رد	۰	۵/۲۶	۰/۷	۳۵	۰/۹۵	
۰/۰۰۸۸	H ₀ عدم رد	۰/۵۳۷	۰/۳۷۹	۱/۲	۱۲	۰/۹۹	
۰/۰۱۱۷	H ₀ رد	۰	۱۵/۲۷	۷	۷	۰/۹۹۹	

* قبول H₀ در سطح اطمینان ۹۹ درصد.

نکته دیگری که در محاسبات صورت گرفته مشاهده شد، مزیت الگوهای EWMA و GARCH در رابطه با در نظر گرفتن نوسانات زمانی بود. همان‌طور که در نمودار شماره ۲، مشاهده می‌شود، الگوهای EWMA و GARCH نوسانات زمانی را در کوتاه‌ترین زمان

ممکن به الگو وارد می‌کنند، این در حالی است که الگوهای MA، EVT و HS مدت زمان زیادی طول می‌کشد تا خود را با نوسانات بازده تعدیل کنند!



نمودار ۲- مقایسه پس‌آزمایی ۵ الگوی محاسبه شده در سطح اطمینان ۰/۹۹۹:

شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران

از این رو، می‌توان با تجمیع مزیت‌های الگوها به الگوهایی جدید رسید. همان‌طور که بیان شد، الگوهای GARCH و EWMA می‌توانند در پیش‌بینی دقیق‌تر نوسانات عملکرد خوبی داشته باشند. همچنین الگوی EVT نیز می‌تواند با برازش دقیق‌تر توزیع بازده، صدک‌های سری زمانی را دقیق‌تر تخمین بزند. همچنین الگوی HS با توجه به اینکه توزیع خاصی را بر بازده سری زمانی برازش نمی‌کند، مشکلات ناشی از چولگی و کشیدگی داده‌ها را نیز متحمل نمی‌شود. بنابراین، با ترکیب الگوهای یادشده می‌توان به ۳ الگوی GARCH-EVT، EWMA-EVT و AWHS دست یافت. در ادامه، با تخمین ارزش در معرض ریسک به وسیله این ۳ الگو، بحث ادامه می‌یابد.

۱- تفاوت میزان تغییرات ارزش در معرض ریسک محاسبه شده برای هر الگو نسبت به نوسانات، با معیار انحراف معیار نمایش داده شده است. به عبارت دیگر، پراکندگی الگوهایی که انحراف معیار ارزش در معرض ریسک آنها بیشتر است، نشان از تغییرات سریع این الگوها به نوسانات دارد (این رهیافت در راستای مقایسه پویایی الگوها از کتاب دنیلسون (۲۰۱۱)، اتخاذ شده است.

جدول ۵- شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران

انحراف معیار	تصمیم‌گیری	uc.LRp	uc.LRstat	نسبت نقض	مقادیر نقض شده	سطح اطمینان	الگو
۰/۰۰۵۳	رد H_0	۰	۵۱/۰۱	۱/۷۴	۱۷۴	۰/۹	GARCH-EVT
۰/۰۰۶۶	رد H_0	۰	۳۱/۴۰	۱/۸۶	۹۳	۰/۹۵	
۰/۰۱۰۶	رد H_0	۰/۰۰۲	۹/۲۸	۲/۱	۲۱	۰/۹۹	
۰/۰۱۸۷	قبول H_0	۰/۷۷۳۵	۰/۳۷۹۱	۲	۲	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۲۳	عدم رد H_0	۰/۴۵۵	۰/۵۵۶	۰/۹۳	۹۳	۰/۹	EWMA-EVT
۰/۰۰۳۴	عدم رد H_0	۰/۴۶۰	۰/۵۴۳	۰/۹۰	۴۵	۰/۹۵	
۰/۰۰۶۵	عدم رد H_0	۰/۰۷۸	۳/۰۹۳	۰/۵	۵	۰/۹۹	
۰/۰۱۳۲	عدم رد H_0	۱	۰	۱	۱	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۱۲	عدم رد H_0	۰/۸۳۲	۰/۰۴۴۷	۰/۹۸	۹۸	۰/۹	AWHS
۰/۰۰۱۶	عدم رد H_0	۰/۲۳۳	۱/۴۲۱۴	۰/۸۴	۴۲	۰/۹۵	
۰/۰۰۲۴	عدم رد H_0	۰/۷۵۴	۰/۰۹۷۸	۱/۱	۱۱	۰/۹۹	
۰/۰۰۶۷	عدم رد H_0	۰/۱۰۷	۲/۵۹۵	۳	۳	۰/۹۹۹	

جدول ۶- شاخص صنعت بورس اوراق بهادار تهران

انحراف معیار	تصمیم‌گیری	uc.LRp	uc.LRstat	نسبت نقض	مقادیر نقض شده	سطح اطمینان	الگو
۰/۰۰۵۵	رد H_0	۰	۶۱/۶۸	۱/۸۲	۱۸۲	۰/۹	GARCH-EVT
۰/۰۰۷۱	رد H_0	۰	۳۴/۱۱۸	۱/۹	۹۵	۰/۹۵	
۰/۰۱۱۹	عدم رد H_0 *	۰/۰۴۳	۴/۰۹	۱۰	۱۷	۰/۹۹	
۰/۰۲۲۰	عدم رد H_0	۱	۰	۱	۱	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۲۳	عدم رد H_0	۰/۵۹	۰/۲۸	۰/۹۵	۹۵	۰/۹	EWMA-EVT
۰/۰۰۳۳	عدم رد H_0	۰/۵۵۶	۰/۳۴۵	۰/۹۲	۴۶	۰/۹۵	
۰/۰۰۶۵	عدم رد H_0	۰/۰۷۸	۳/۰۹۳	۰/۵	۵	۰/۹۹	
۰/۰۱۳۶	عدم رد H_0	۱	۰	۱	۱	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۱۲	عدم رد H_0	۰/۷۵۰۷	۰/۱۰۰۹	۰/۹۷	۹۷	۰/۹	AWHS
۰/۰۰۱۹	عدم رد H_0	۰/۴۶۰۸	۰/۵۴۳	۰/۹	۴۵	۰/۹۵	
۰/۰۰۳۱	عدم رد H_0	۱	۰	۱	۱۰	۰/۹۹	
۰/۰۰۶۷	عدم رد H_0	۰/۳۷۹۱	۰/۷۷۳۵	۲	۲	۰/۹۹۹	

* قبول H_0 در سطح اطمینان ۹۹ درصد.

جدول ۷- شاخص بازار اول بورس اوراق بهادار تهران

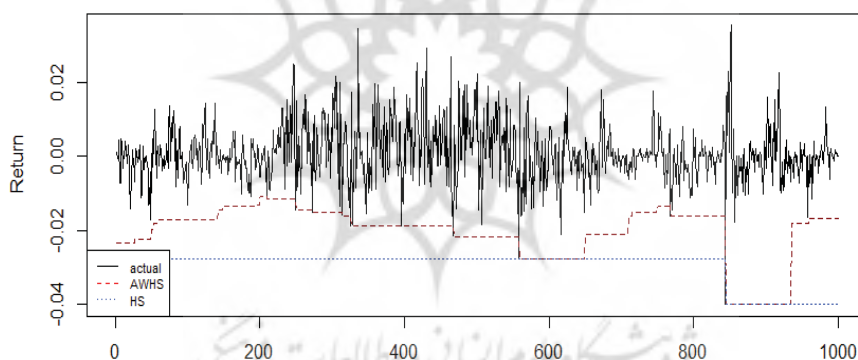
انحراف معیار	تصمیم‌گیری	uc.LRp	uc.LRstat	نسبت نقض	مقادیر نقض شده	سطح اطمینان	الگو
۰/۰۰۵۴	رد H_0	۰	۹۵/۳۹	۲/۰۴	۲۰۴	۰/۹	GARCH-EVT
۰/۰۰۶۷	رد H_0	۰	۴۴/۳۴	۲/۰۴	۱۰۲	۰/۹۵	
۰/۰۱۰۶	عدم رد H_0	۰/۲۳	۱/۴۳	۱/۴	۱۴	۰/۹۹	
۰/۰۱۸۵	عدم رد H_0	۰/۷۷	۰/۳۷	۲	۲	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۲۲	عدم رد H_0	۰/۶۰۰	۰/۲۷۳	۱/۰۵	۱۰۵	۰/۹	EWMA-EVT
۰/۰۰۳۱	عدم رد H_0	۰/۸۸۴	۰/۰۲۰	۱/۰۲	۵۱	۰/۹۵	
۰/۰۰۶۵	عدم رد H_0	۰/۰۷۸	۳/۰۹۳	۰/۵	۵	۰/۹۹	
۰/۰۱۲۲	عدم رد H_0	۱	۰	۱	۱	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۱۴	عدم رد H_0	۰/۶۷۵	۰/۱۷۵	۱/۰۴	۱۰۴	۰/۹	AWHS
۰/۰۰۱۷	عدم رد H_0	۱	۰	۱	۵۰	۰/۹۵	
۰/۰۰۲۹	عدم رد H_0	۰/۷۴۶	۰/۱۰۴	۰/۹	۹	۰/۹۹	
۰/۰۱۵۳	عدم رد H_0	۰/۱۰۷	۲/۵۹۵	۳	۳	۰/۹۹۹	

جدول ۸- شاخص بازار اول بورس اوراق بهادار تهران

انحراف معیار	تصمیم‌گیری	uc.LRp	uc.LRstat	نسبت نقض	مقادیر نقض شده	سطح اطمینان	الگو
۰/۰۰۵۲	عدم رد H_0	۰/۰۶۴	۳/۴۲	۱/۱۸	۱۱۸	۰/۹	GARCH-EVT
۰/۰۰۶۷	عدم رد H_0	۰/۲۰۳	۱/۶۱۶	۱/۱۸	۵۹	۰/۹۵	
۰/۰۱۰۹	عدم رد H_0	۰/۷۴۶	۰/۱۰۴	۰/۹	۹	۰/۹۹	
۰/۰۱۸۶	عدم رد H_0	۱	۰	۱	۱	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۲۶	عدم رد H_0	۰/۱۶	۵/۷۷	۰/۷۸	۷۸	۰/۹	EWMA-EVT
۰/۰۰۳۷	عدم رد H_0	۰/۰۹۷	۲/۷۴	۰/۷۸	۳۹	۰/۹۵	
۰/۰۰۶۸	عدم رد H_0	۰/۱۶۹	۱/۸۸۶	۰/۶	۶	۰/۹۹	
۰/۰۱۲۱	عدم رد H_0	۱	۰	۱	۱	۰/۹۹۹	
۰/۰۰۱۳	عدم رد H_0	۰/۱۶۲	۱/۹۵۵	۰/۸۷	۸۷	۰/۹	AWHS
۰/۰۰۲۶	عدم رد H_0	۱	۰	۱	۵۰	۰/۹۵	
۰/۰۰۸۱	عدم رد H_0	۰/۵۳۷	۰/۳۷۹	۱/۲	۱۲	۰/۹۹	
۰/۰۰۹۵	عدم رد H_0	۰/۱۰۷	۲/۵۹۵	۳	۳	۰/۹۹۹	

نتایج تخمین ارزش در معرض ریسک با استفاده از ۳ الگوی GARCH-EVT، EWMA-EVT و AWHS در جدول‌های شماره ۵ تا ۸، ارایه شده است. همان‌طور که در نتایج جدول‌های یادشده مشاهده می‌شود، دو الگوی AWHS و EWMA-EVT بهترین نتایج را در بین الگوهای مختلف ارایه کرده‌اند. الگوی AWHS در تمام سطوح اطمینان نتایج رضایت‌بخش را ارایه کرده است. مزیت این الگو نسبت به الگوی HS ساده در این است که نوسانات بازده سری زمانی را سریع‌تر به الگو منتقل کرده است. به عبارت دیگر، در این الگو، وزن داده‌های جدید نسبت به داده‌های قدیمی‌تر بیشتر است. در نمودار شماره ۳، دو الگوی AWHS و HS با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

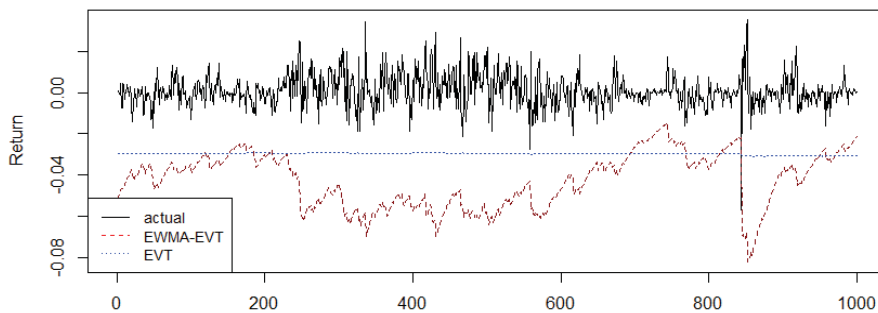
Age-weighted Historical Simulation Vs Historical Simulation



نمودار ۳- مقایسه پس‌آزمایی ۲ الگوی HS و AWHS در سطح اطمینان ۰/۹۹۹: شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران

الگوی EWMA-EVT نیز مانند الگوی AWHS نتایج قابل قبولی را نشان می‌دهد. این الگو که تعدیل شده الگوی EWMA با الگوی EVT بوده در تمام سطوح اطمینان از آزمون کوپیک نمره قابل قبولی دریافت کرده است. مزیت این الگو نسبت به الگوی EWMA ساده در در نظر گرفتن نوسانات بازده است. در نمودار شماره ۴، دو الگوی EWMA و EWMA-EVT با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

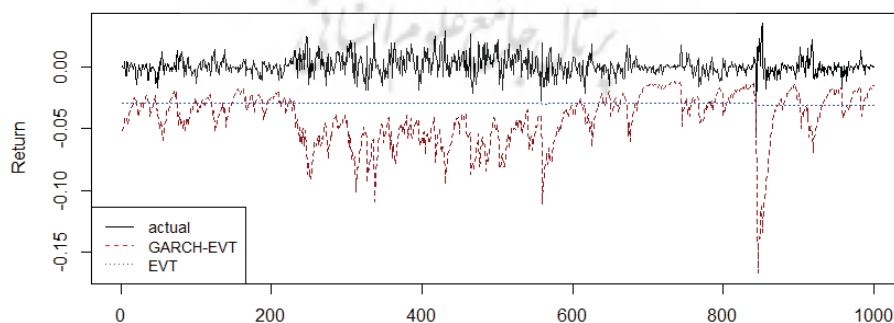
EVT Vs EWMA-EVT



نمودار ۴- مقایسه پس‌آزمایی ۲ الگوی EWMA و EWMA-EVT در سطح اطمینان ۰/۹۹۹:
شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران

همان‌طور که از نتایج جدول‌های شماره ۵ تا ۸، مشاهده می‌شود، الگوی GARCH-EVT نیز مانند الگوی EVT در تخمین ارزش در معرض ریسک در سطوح اطمینان ۰/۹۰ و ۰/۹۵ نتایج قابل قبولی را ارائه نکرده است. در سطح اطمینان ۰/۹۹ نیز نتایج این الگو در شاخص بورس اوراق بهادار تهران قابل قبول نیست. با این حال، نتایج این الگو در سطح اطمینان ۰/۹۹۹ برای هر ۴ شاخص کاملاً رضایت‌بخش است. در نمودار شماره ۵، پس‌آزمایی دو الگوی EVT و GARCH-EVT برای شاخص کل بازار اوراق بهادار تهران در سطح اطمینان ۰/۹۹۹ مقایسه شده است.

EVT Vs GARCH-EVT



نمودار ۵- مقایسه پس‌آزمایی ۲ الگوی GARCH و GARCH-EVT در سطح اطمینان ۰/۹۹۹: شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران

۶- جمع‌بندی

در سال‌های اخیر سنجش ریسک و مدیریت آن در نهادهای مالی و به‌خصوص در بانک‌های کشور از سوی تنظیم‌گران مالی بسیار مورد تأکید قرار گرفته است و با وجود این، دانش کافی در این نهادها برای شناسایی قابلیت‌های روش‌های مختلف اندازه‌گیری ریسک وجود ندارد. از سوی دیگر، براساس اسناد کمیته بال، روش سنجش برخی ریسک‌ها بسته به اندازه داده‌های موجود و قابلیت‌های هر یک از رویکردهای سنجش ریسک برعهده نهادهای مالی قرار گرفته است. با توجه به روش‌های متعدد سنجش ریسک بازار و قابلیت‌های هر یک از این روش‌ها، هدف این مقاله، مقایسه رویکرد EVT با سایر الگوهای برآوردکننده معیار ارزش در معرض ریسک از جمله: شبیه‌سازی تاریخی، میانگین متحرک، ریسک متریکس و واریانس ناهمسان شرطی تعمیم‌یافته، به‌منظور بررسی کارایی هر یک از این الگوها در محاسبه ریسک در شرایط بحرانی (سطوح اطمینان بالا: ۰/۹۹ و ۰/۹۹۹) است.

در این مقاله، ارزش در معرض ریسک ۴ شاخص کل، صنعت، بازار اول و بازار دوم بورس اوراق بهادار تهران از طریق ۵ الگوی MA، EWMA، HS، GARCH و EVT محاسبه شد. محاسبات برای سطوح اطمینان ۰/۹۰، ۰/۹۵، ۰/۹۹ و ۰/۹۹۹ صورت گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که نظریه مقدار فرین (EVT) به‌طور کلی برای محاسبه ارزش در معرض ریسک در سطوح اطمینان بالا (۰/۹۹ و ۰/۹۹۹) نتایج رضایت‌بخش‌تری را نسبت به سایر روش‌ها ارائه می‌کند (یادآوری می‌شود، نتایج این الگو در سطح اطمینان ۰/۹۹ برای شاخص بازار دوم عملکرد خوبی ندارد). همچنین روش HS در سطح اطمینان بالا (۰/۹۹ و ۰/۹۹۹) نتایج قابل قبولی را نشان می‌دهد (نتایج این الگو نیز در سطح اطمینان ۰/۹۹، برای شاخص بازار دوم رضایت‌بخش نیست). این در حالی است که به‌طور کلی روش‌های پارامتریک (MA، EWMA و GARCH) در محاسبه ارزش در معرض ریسک در سطوح اطمینان ۰/۹۰ و ۰/۹۵ نتایج قابل اطمینان‌تری را نسبت به الگوهای EVT و HS ارائه می‌کنند. یکی دیگر از مزیت‌های الگوهای GARCH و EWMA نسبت به سایر

الگوها، پویایی بسیار بیشتر آنهاست، به طوری که به تغییرات شرایط اقتصادی واکنش سریع تری نشان می‌دهند. همان‌طور که بیان شد، الگوهای EVT و HS نیز صدک‌های بالای بازده سری زمانی را بهتر برازش می‌کنند. بنابراین، در بخش بعد با ترکیب الگوهای مختلف، ۳ الگوی EWMA-EVT، GARCH-EVT و AWHs ساخته شد. پس از پس‌آزمایی ۳ الگوی یادشده، مشخص شد، دو الگوی AWHs و EWMA-EVT بهترین نتایج را در بین الگوهای مختلف ارائه کرده‌اند و در تمام سطوح اطمینان کفایت قابل قبولی را در تخمین ارزش در معرض ریسک ارائه داده‌اند. با این حال، الگوی GARCH-EVT تنها در سطح اطمینان ۰/۹۹۹ نتایج قابل قبولی را نشان می‌دهد. در آخر با توجه به نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌شود برای سنجش ریسک بازار در نهادهای مالی از روش GARCH-EVT استفاده شود و به منظور استفاده تنظیم‌گران مالی، به منظور اتخاذ سیاست‌های مربوط، از الگوهای ترکیبی مانند AWHs و EWMA-EVT استفاده شود.

منابع

- زمانی، شیوا، سعید اسلامی بیدگلی و معین کاظمی (۱۳۹۲)، «محاسبه ارزش در معرض ریسک شاخص بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از نظریه مقدار فرین»، *بورس اوراق بهادار*، سال ششم، شماره ۲۱، صص ۱۳۶-۱۱۵.
- زمانی، شیوا و مجید علی‌فر (۱۳۹۳)، «برآورد ارزش در معرض ریسک شاخص صنعت فلزات اساسی تحت اثر شوک‌های نرخ ارز»، *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، دوره نوزدهم، شماره ۵۹، صص ۲۱۰-۱۸۳.
- فلاح‌پور، سعید و مهدی یاراحمدی (۱۳۹۱)، «برآورد ارزش در معرض ریسک با استفاده از نظریه مقدار حدی در بورس اوراق بهادار تهران»، *مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار*، دوره چهارم، شماره ۱۳، صص ۱۲۲-۱۰۳.
- Bhattacharyya, M. (2008), "Conditional VaR Using EVT-Towards a Planned Margin Scheme", *International Review of Financial Analysis*, Volume 17, Issue 2, pp. 382-395
- Danielsson, J (2011), *Financial Risk Forecasting*, Wiley.
- Danielsson, J. de Vries, (1997), "Beyond the Sample: Extreme Quantile and Probability Estimation". *Preprint, Tinbergen Institute, Rotterdam*.
- Embrechts P, Kuppelberg C, Mikosch T. (1997), "Modelling Extremal Events". *Berlin: Springer Verlag*.
- Embrechts, P, Resnick, S, Samorodnitsky, G (1998), "Living on the Edge". *Risk Magazine*. Volume 11, Issue1, pp. 96-100
- Embrechts, P., Resnick, S., Samorodnitsky, G., (1999), "Extreme Value Theory as a Risk Management Tool". *North American Actuarial Journal*. Volume 30, Issue2, pp. 30-41
- Gencay, R, & Selcuk, F (2004), "Extreme Value Theory and Value-at-Risk: Relative Performance in Emerging Markets". *International Journal of Forecasting*, Volume 20, Issue2, pp. 287-303
- Gnedenko, B.V (1943), "Sur la Distribution Limite du Terme Maximum d'une se'rie ale'atoire", *Ann. of Math*, Volume 44, Issue3, pp 423-453
- Ho, L, Burridge, P, Cadle, J, & Theobald, M (2000), "Value-at-Risk: Applying the Extreme Value Approach to Asian Markets in the Recent Financial Turmoil". *Basin Financial Journal*, Volume 8, Issue2, pp 249-275
- Hull C. J. (2015), *Risk Management and Financial Institutions*, 4th Edition, Wiley Finance.

- Jansen, D, and de Vries, C.G. (1991), "On the Frequency of Large Stock Returns: Putting Booms and Busts into Perspective", *Review of Economics and Statistics*, Volume 73, Issue 1, pp 18-24
- Jenkinson AF (1955), "The Frequency Distribution of the Annual Maximum (or Minimum) of Meteorological Elements". *Q J R Meteorol Soc* Volume 81, Issue 348, pp 158-171
- Jorion, Ph (2006), "Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk", McGraw-Hill.
- Karmakar, M and Shukla G, K (2015), "Managing Extreme risk in Some Major Stock Markets: An Extreme Value Approach", *International Review of Economics & Finance* Volume 35, pp 1-25
- Kittiakarasakun, J and Tse, Y (2011) , "Modeling the Fat Tails in Asian Stock Markets", *International Review of Economics & Finance* Volume 20. Pp, 430-440
- Koedijk, K.G, Schafgans, M. and de Vries, C.G. (1990), "The Tail Index of Exchange Rate Returns", *Journal of International Economics*, Volume 29, pp, 93-108
- Kupiec, P, (1995), "Techniques for Verifying the Accuracy of Risk Measurement Models", *J. Deriv*, Volume 3, pp. 73-84
- Longin, F, (2000), "From Value at Risk to Stress Testing, the Extreme Value Approach", *Journal of Banking & Finance*, Volume 24, Issue 7, pp 1097-1130
- McNeil, A, (1998), "Calculating Quantile Risk Measures for Financial Return Series using Extreme Value Theory", *preprint, ETH Zu`rich*.
- McNeil, A, Frey, R, (2000), "Estimation of Tail-Related Risk Measures for Heteroscedastic Financial time series: an Extreme Value Approach". *J. Empir. Finance* Volume 7, pp. 271-300
- McNeil, A, Saladin, T, (1997), "The Peaks Over Thresholds Method for Estimating High Quantiles of Loss Distributions", *Proceedings of XXVIIth International ASTIN Colloquium, Cairns, Australia*. pp. 23-43.
- Singh K, Abhay, David E, Allen and Robert J. Powell (2013), "Extreme Market Risk and Extreme Value Theory", *Mathematics and Computers in Simulation* Volume 94, pp 310-328.
- Smith RL. (1989), "Extreme Value Analysis of Environmental Time Series: an Application to Trend Detection in Ground-Level Ozone (with Discussion)", *Stat Sci*; Volume 4, pp. 367-393
- Smith, RL. (1999), "Measuring Risk with Extreme Value Theory. Working Paper, Department of Statistics", *University of North Carolina at Chapel Hill*.
- Tsay, Ruey S (2010), "Analysis of Financial Time Series", 3rd Edition, Wiley.
- Tsay, Ruey S.,(2013) "An Introduction to Analysis of Financial Data with R", 1st Edition, Wily.