



مدل ترکیبی ارزش در معرض ریسک شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده مبتنی بر تبدیل موجک در افق‌های زمانی سرمایه‌گذاری مختلف در بورس اوراق بهادار تهران

وحید ویسی زاده^۱
جواد شکرخواه^۲
میثم امیری^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۳

چکیده

از ارزش در معرض ریسک به عنوان سنجه‌ای برای کمی‌سازی ریسک و مبنایی برای محاسبه سرمایه مورد نیاز نهادهای مالی در حوزه نظارتی استفاده می‌گردد. تحقیق حاضر درصدد انتخاب دقیق‌ترین مدل‌های تخمین ارزش در معرض ریسک اعم از ساده و پیشرفته و ارائه یک مدل جدید "مبتنی بر تبدیل موجک" در بورس اوراق بهادار تهران است و بر این اساس مدل‌های شبیه‌سازی تاریخی (HS)، خانواده ARMA-GARCH، شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده (FHS)، فراتر از آستانه شرطی (CPOT) و مدل ترکیبی جدید شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده مبتنی بر تبدیل موجک در اشکال مختلف از استفاده از مدل‌های نوسان و فروض توزیعی مختلف تخمین و مورد پس‌آزمایی در بورس اوراق بهادار تهران قرار گرفت. نتایج تحقیق مبتنی بر پس‌آزمون صورت گرفته در بازه زمانی حدود ۱۱ ساله شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران از تاریخ ۱۳۸۹/۴/۱۳ الی ۱۳۹۹/۴/۱۱ (بیش از ۲۴۰۰ روز داده بازدهی شاخص کل) حاکی از دقت بالاتر مدل ارزش در معرض ریسک شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده مبتنی بر تبدیل موجک (WFHS) در تمامی افق‌های زمانی و سطوح اطمینان مختلف نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزش در معرض ریسک، شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده، نظریه فرین، تئوری موجک و پس-آزمون.

طبقه بندی JEL : C02 ، C22 ، C52 ، G17،G32

۱- گروه مدیریت مالی دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران. Email:vahidvoice@gmail.com
۲- گروه حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، تهران، ایران. نویسنده مسئول. j_shekharkhah@yahoo.com
۳- گروه مدیریت مالی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران. amiry82@yahoo.com

۱- مقدمه

امروزه آن چه در علوم مالی بخش زیادی از توجه کارشناسان و محققان را به خود معطوف داشته است، اندازه گیری صحیح ریسک به شکلی است که حاوی جنبه های واقعی خطر در مبادلات مالی و عاملی هشدار دهنده از پیامدها و زیان‌های محتمل به طرف‌های درگیر در مبادلات مالی باشد، معرفی واریانس در تئوری مارکویتز، که هرگونه نوسانات مطلوب یا نامطلوب (مثبت یا منفی) در بازده دارائی‌ها را به عنوان معیار ریسک معرفی می‌کرد، شروعی برای اندازه‌گیری ریسک به شکل کمی به شمار می‌رود. سپس، معیارهای ریسک نامطلوب^۱ با فلسفه اندازه‌گیری نوسانات نامطلوب (پایین تر از نرخ هدف) و معرفی آن به عنوان ریسک مطرح و کارآمدی هر یک از این معیارها در تحقیقات مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت.

از اوایل دهه نود میلادی "ارزش در معرض ریسک" (VaR) به عنوان یکی از معیارهای ریسک نامطلوب معرفی و توسط مراجع نظارتی و مقررات‌گذاری حوزه بازار پول و بازار سرمایه، به عنوان مبنای محاسبه کفایت سرمایه بانک‌ها، صندوق‌های سرمایه‌گذاری، شرکت‌های سرمایه‌گذاری و... مورد استفاده قرار گرفت. اهمیت تحقیق حاضر در معرفی و برآورد مدل‌هایی است که به کمک آنها مفهوم انتزاعی ریسک را در چارچوب سنجه ارزش در معرض ریسک احصاء می‌کند و سرمایه‌گذاران با افق‌های سرمایه‌گذاری مختلف و میزان ریسک‌گریزی متفاوت به آن به عنوان معیار سنجش جنبه‌های نامطلوب و خلاف جهت سرمایه‌گذاری خودشان اتکاء خواهند نمود که از آنجا که این مدل‌های ارزش در معرض ریسک در بورس نوظهور تهران تا بحال بکار گرفته نشده اند لذا انجام این مهم تحقیقی نو و دارای فواید کاربردی برای سرمایه‌گذاران مختلف است. از این رو ارائه مدل‌هایی جهت اندازه‌گیری دقیق ارزش در معرض ریسک با مدل‌های دقیق برای استفاده سرمایه‌گذاران با درجات مختلف ریسک‌گریزی از ایده‌آل‌هاست.

تحقیق حاضر در صدد انتخاب دقیق‌ترین ارزش در معرض ریسک اعم از ساده و پیشرفته موجود و ارائه یک مدل جدید "مبتنی بر تبدیل موجک" در افق‌های سرمایه‌گذاری مختلف است. ارائه مدل ترکیبی جدید به عنوان نوآوری آکادمیک و بکارگیری آن در بازار نوظهور بورس تهران از جنبه‌های کاربردی تحقیق حاضر است. از منظر کلان بکارگیری و اعمال ابزارهای ریاضی پیشرفته بر روی داده‌های بازار نوظهور بورس تهران کمک می‌کند تا مدل‌سازی مالی دقیق جهت تخمین سنجه مهم ارزش در معرض ریسک به شکل بومی توسعه یابد و از این رهگذر نهادهای نظارتی و شرکت‌ها در حوزه بازار پول و سرمایه نیز می‌توانند از این مدل‌های جدید استفاده نمایند.

بدین منظور تبدیل موجک به عنوان ابزاری برآمده از ریاضیات کاربردی این امکان را فراهم می‌آورد تا سری زمانی خام را به مقیاس‌های زمانی مختلف تجزیه و به وسیله آن افق زمانی سرمایه‌گذاری مدنظر قرار گیرد. تبدیل موجک امکانی فراهم می‌آورد که آن دسته از نوساناتی در سری زمانی برای تخمین مورد استفاده قرار گیرند که با افق زمانی مورد نظر برای محاسبه ارزش در معرض ریسک متناسب باشد، برای مثال، اگر افق زمانی مورد نظر سرمایه‌گذار ۱۰ روزه است، محاسبه ارزش در معرض ریسک با توجه به نوسانات ۱۰ روزه سری زمانی

^۱ downside risk

می‌تواند انجام پذیرد. شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده (FHS) رویکردی شبه پارامتریک در تخمین ارزش در معرض ریسک (VaR) می‌باشد که روش‌های شبیه‌سازی متداول را با مدل‌های پویای تخمین میانگین-واریانس همانند مدل‌های ترکیب می‌نماید تا از توانایی مدلسازی پویای نوسان در کنار شبیه‌سازی به صورت توامان بهره‌بردار. در این تحقیق تبدیل موجک با رویکرد پیش‌پردازش اولیه بر روی داده خام ورودی (بر اساس افق زمانی سرمایه‌گذاری) و بکارگیری آن در روش شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده ارائه می‌گردد تا به وسیله این ترکیب تخمین دقیق‌تری از ارزش در معرض ریسک نسبت به مدل‌های رایج رقیب حاصل گردد. پس از مقایسه دقت مدل‌ها، دقیقترین مدل در هر افق زمانی انتخاب می‌گردد.

۲- مبانی نظری

ارزش در معرض ریسک، حداکثر زیانی است که کاهش ارزش سبد دارایی برای دوره معینی در آینده با ضریب اطمینان مشخصی، از آن بیشتر نمی‌شود. به عبارتی دیگر VaR بدترین زیان مورد انتظار را تحت شرایط عادی بازار و طی یک دوره زمانی مشخص و در یک سطح اطمینان معین اندازه می‌گیرد. از نظر ریاضی می‌توان ارزش در معرض ریسک را به صورت ذیل نشان داد (ژورین، ۲۰۰۹):

$$VaR = p_0 - F_p^{-1}(\alpha) \quad (1)$$

در این بخش تعدادی از این مدل‌ها که در این تحقیق استفاده می‌شوند به اختصار معرفی می‌گردند. مدل شبیه‌سازی تاریخی: در صورتی که بازدهی تاریخی دارایی در T دوره قبل برابر $r_{t-T+1}, r_{t-T+2}, \dots, r_t$ باشد، در صورت مرتب نمودن آنها به ترتیب صعودی یعنی $r_{[1]} \leq r_{[2]} \leq \dots \leq r_{[T]}$ ، برای محاسبه VaR یک روز جلوتر در فاصله اطمینان $1 - p$ با روش شبیه‌سازی تاریخی خواهیم داشت:

$$VaR_{t,1}^{1-p} = \text{Percentile}\{r_{[i]}\}_{i=t-T+1}^{100p} = r_{[\tau]} \quad (2)$$

$$\tau = [pT]$$

در صورت صحیح نبودن مقدار T از درون‌یابی بین دو مقدار برای تعیین بازده استفاده می‌شود. برای محاسبه VaR چند روزه (K روزه) باید برای K دوره از توزیع یکنواخت گسسته که در فاصله ۱ تا T توزیع شده است برای انتخاب K بازدهی تاریخی گذشته استفاده نمود، این فرآیند برای M بار تکرار می‌شود، M تعداد تکرار شبیه‌سازی برای مسیر بازدهی دارایی است که هر چه بیشتر باشد بهتر خواهد بود.

مدل‌های خانواده ARMA-GARCH: در این مدل‌ها به میانگین و واریانس به صورتی شرطی و وابسته به آخرین مشاهدات سری‌های زمانی نگریسته می‌شود، به طور کلی در مدل‌های خانواده GARCH از یک مدل خودرگرسیون میانگین متحرک (ARMA)^۱ برای پیش‌بینی میانگین شرطی (μ_t) و یکی از مدل‌های ناهمسان واریانس شرطی برای پیش‌بینی واریانس شرطی (σ_t^2) استفاده می‌شود. فرق اساسی مدل‌های این خانواده در

^۱ Autoregressive moving average model

تخمین واریانس با بقیه مدل‌های ناهمسان، در استفاده از وزن دهی نابرابر به مجذور شوک‌ها (برگرفته از الگوی رگرسیونی) و بیان واریانس به صورت الگوی خود رگرسیونی است. در نمایی کلی معادله میانگین و واریانس شرطی یک مدل خانواده GARCH به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} r_t &= \mu_t + \varepsilon_t \\ E_{t-1}[\varepsilon_t^2] &= \sigma_t^2 \\ \varepsilon_t &= \sigma_t v_t, v_t \sim \text{iid}(0,1) \rightarrow \varepsilon_t \sim D(0, \sigma_t) \end{aligned} \quad (3)$$

که D تابع توزیع احتمالات در نظر گرفته شده برای شوک‌ها یا به عبارتی تابع توزیع بازدهی می‌باشد. میانگین از مدل ARMA(R, M) پیروی می‌کند، که در آن با توجه به مقادیر با وقفه سری زمانی (قسمت AR) و مقادیر با وقفه شوک‌ها (قسمت MA) محاسبه می‌شود:

$$r_t = C + \sum_{i=1}^R \phi_i r_{t-i} + \sum_{j=1}^M \theta_j \varepsilon_{t-j} \quad (4)$$

که در این رابطه R تعداد وقفه‌های بازدهی و M تعداد وقفه‌های شوک‌هاست. مدل‌های ناهمسانی واریانس شرطی خود رگرسیونی تعمیم یافته (GARCH)، گلستون، جاگناتان، رانکل (GJR-) (GARCH) و مدل ناهمسانی نمایی (EGARCH(P,Q)) از مدل‌های ناهمسانی واریانس شرطی ای هستند که در این تحقیق استفاده می‌شوند: در تمامی مدل‌های این مدل‌ها تخمین ضرایب مدل‌ها به وسیله تابع لگاریتم حداکثر راست‌نمایی^۱ با فروض توزیعی مختلف از جمله نرمال، تی-استیودنت و... برای شوک‌ها انجام می‌شود. تئوری مقدار فرین^۲: تئوری مقدار فرین بر اساس بر پایه دو فرض توزیعی بنیادین قرار دارد. توزیع تعمیم یافته مقدار فرین و توزیع تعمیم یافته پرتو که به آن رویکرد فراتر از آستانه نیز می‌گویند. یک راه استخراج مقادیر فرین از یک نمونه مشاهدات بدین صورت است که تخطی‌ها از یک آستانه بزرگ را مقادیر فرین در نظر بگیریم. در صورتیکه سری زمانی نمونه مشاهدات را با X_i و تابع توزیع آن را با $F(x)$ و مقدار آستانه را با u نشان دهیم، $F(u)$ را به صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$F(u) = \Pr\{X_i \leq u\} \quad (5)$$

بالکما^۳، دی‌هان^۴ (۱۹۷۴) و پیکاندس^۵ (۱۹۷۵) طی قضیه‌ای اثبات کردند که برای مقادیر آستانه ای یعنی « u » هایی که به اندازه کافی بزرگ هستند، تابع توزیع مقادیر فراتر از آستانه را می‌توان با توزیع تعمیم یافته پرتو

¹ log-likelihood function

² Extreme Value Theory

³ Balkema

⁴ de Hann

⁵ Pickands

جواد شکرخواه و همکاران / مدل ترکیبی ارزش در معرض ریسک شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده مبتنی بر ... / ۵

برآورد نمود چراکه با بزرگ شدن آستانه، توزیع مقادیر فراتر از آستانه $F_u(y)$ به توزیع تعمیم یافته پرتو میل می‌کند. توزیع تعمیم یافته پرتو را به صورت ذیل تعریف می‌کنیم:

$$G_{\xi, \mu, \sigma}(x_{\max}) = \begin{cases} 1 - \left[1 + \xi \left(\frac{x_{\max} - \mu_{\max}}{\sigma_{\max}} \right) \right]^{-1/\xi_{\max}} & \text{if } \xi \neq 0 \\ 1 - \exp \left[- \left(\frac{x_{\max} - \mu_{\max}}{\sigma_{\max}} \right) \right] & \text{if } \xi = 0 \end{cases} \quad (۶)$$

with

$$x \in \begin{cases} [\mu_{\max}, \infty] & \text{if } \xi \geq 0 \\ \left[\mu_{\max}, \frac{\mu_{\max} - \sigma_{\max}}{\xi_{\max}} \right] & \text{if } \xi < 0 \end{cases}$$

منبع: یافته‌های پژوهشگر

که ξ_{\max} پارامتر شاخص دنباله است، μ_{\max} پارامتر موقعیت و σ_{\max} پارامتر معیار هستند. برای تخمین پارامترها باید یک مقدار قابل قبول برای آستانه u تعیین گردد که در این پژوهش از نمودار هیل^۱ جهت تعیین آستانه استفاده شده است. باید پارامترهای ξ_{\max} و σ_{\max} نیز برآورد شود، این پارامترها را می‌توان با استفاده از روش حداکثر راستنمایی برآورد کرد. محاسبه ارزش در معرض ریسک مستلزم برآورد صدک‌های توزیع بازده یک دارایی است. بعد از تعیین آستانه، مشاهدات فراتر از آستانه را از نمونه مشاهدات جدا و اگر تعداد مشاهدات فراتر از آستانه را با n_u و تعداد کل مشاهدات نمونه را با n نمایش دهیم:

$$VaR_q = u + \frac{\hat{\sigma}_{\max}}{\hat{\xi}_{\max}} \left(\left(\frac{n}{n_u} \alpha \right)^{-\hat{\xi}_{\max}} - 1 \right) \quad (۷)$$

رویه‌هایی که در مورد تئوری مقدار فرین تشریح شد تماماً غیر مشروط هستند، گاهی اوقات نیاز به استفاده از EVT شرطی برای مدلسازی برخی ساختارهای پویا هستیم برای این کار فری^۲ و مک‌نیل^۳ فرآیند دو مرحله‌ای زیر را پیشنهاد کردند:

✓ از یک مدل GARCH جهت پیش‌بینی نوسانات بازده استفاده و سپس سری زمانی باقیمانده‌ها (خطاها) را استخراج می‌کنیم. بدیهی است که این خطاها با کم کردن بازده مورد انتظار از بازده واقعی حاصل

^۱ Hill-plot

^۲ Frey

^۳ McNeil

می‌شوند و بازده مورد انتظار نیز از طریق مدل میانگین بازده قیمت‌ها حاصل می‌شود. انتظار می‌رود که این خطاها دارای توزیع‌های یکسان و مستقل باشند. در انتها از نوسان و بازده مورد انتظار آتی یعنی μ_{t+1} و σ_{t+1} تخمین‌هایی داریم.

✓ تئوری مقدار فرین را برای خطاهای استاندارد شده اعمال و لذا با احتساب ساختاری پویا (یعنی *GARCH*) و نیز با استفاده از *EVT* برای باقیمانده‌ها، تخمین‌هایی از *Var* خواهیم داشت. با توجه به بکارگیری مدل شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده (*FHS*) در این پژوهش و نیز توجه به اینکه مدل پیشنهادی این پژوهش نیز از دسته مدل‌های شبه پارامتریک مبتنی بر شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده و تبدیل موجک می‌باشد، این دو مدل شرح داده خواهد شد.

مدل شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده (*FHS*): مدل شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده با ترکیب مدل‌های میانگین و واریانس ناهمسان شرطی (*ARMA-GARCH*) و مدل شبیه‌سازی تاریخی در پی آن است که از ماهیت عدم فرض توزیعی مشخص در مدل غیرپارامتریک شبیه‌سازی تاریخی (این مدل بر توزیع تجربی داده متکی است) در کنار ماهیت پیش‌بینی‌کننده‌گی نوسان مدل پارامتریک *GARCH* که جنبه صرف اتکا بر داده گذشته را ندارد، به صورت توأمان بهره‌گیرد. این مدل این صورت شکل می‌گیرد که در ابتدا پارامترهای یک مدل میانگین و واریانس شرطی (*ARMA-GARCH*) را در حالت کلی با توجه به ماهیت داده بازده دارایی و فرض توزیع نرمال برای داده بدست می‌آید. سپس به منظور برآورد سنج‌های ریسک مبتنی بر شبیه‌سازی تاریخی از توزیع تجربی $v_t \sim iid(0,1)$ بجای توزیع تجربی r_t استفاده می‌گردد. v_t متغییر استاندارد شده و دارای توزیع مستقل و یکسان بوده و توزیع تجربی آن دارای خواص بهتری برای مدل‌سازی نسبت به توزیع خام r_t است. در صورتی که شوک‌های استاندارد شده بازدهی تاریخی دارایی در T دوره قبل برابر $v_{t-T+1}, v_{t-T+2}, \dots, v_t$ باشد، در صورت مرتب نمودن آنها به ترتیب صعودی یعنی $v_{[1]} \leq v_{[2]} \leq \dots \leq v_{[T]}$ ، برای محاسبه *Var* یک روز جلوتر در فاصله اطمینان $1-p$ با روش شبیه‌سازی تاریخی خواهیم داشت:

(۸)

$$Var_{t,1}^{1-p} = \mu_{t+1} + \sigma_{t+1} * Percentile\{v_i\}_{i=t-T+1}^t \cdot 100p\}$$

در صورت صحیح نبودن مقدار T از درون‌یابی بین دو مقدار برای تعیین بازده استفاده می‌شود. مدل شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده (*FHS*) مبتنی بر تبدیل موجک: موجک به معنی موج کوچک است، کلمه موج دلالت بر نوسان‌کنندگی تابع موجک دارد و کوچک بودن دلالت بر محدود بودن پنجره تابع موجک دارد (پولیکار، ۱۹۹۴). تابع موجک پدر یا سیگنال مقیاس‌دهی^۱ که با نماد Φ که مشخص می‌شود و برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به روندها (قسمت‌های با فرکانس‌های پایین در یک سری زمانی) در یک سری زمانی بکار گرفته می‌شود و تابع موجک مادر^۲ با نماد Ψ که مشخص می‌شود و برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به جزئیات و

¹ father wavelet or scaling signal

² mother wavelet

جواد شکرخواه و همکاران / مدل ترکیبی ارزش در معرض ریسک شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده مبتنی بر ... / ۷

نوسانات سریع و کوتاه مدت (قسمت‌های با فرکانس‌های بالاتر در یک سری زمانی) در یک سری زمانی بکار گرفته می‌شود که به شکل زیر با مقیاس رابطه آنها مشخص می‌شود:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \Phi\left(\frac{(t-\tau)}{s}\right) \quad (9)$$

$$\Psi(t) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \Psi\left(\frac{(t-\tau)}{s}\right) \quad (10)$$

در این روابط Φ و Ψ توابع موجک پدر و مادر هستند که فرم انتقال یافته و اتساع داده شده آنها به فرم بالا به منظور تبدیل موجک بکارگرفته می‌شود، در هر دوی آنها مقیاس s در متغیر ورودی مخرج به منظور تولید تابع موجک با فرکانسهای مختلف تعبیه شده است، وجود ضریب عکس جذر اندازه سری زمانی برای نرمال کردن اندازه تابع است و تضمین می‌کند که جمع انرژی در سطوح با انرژی اولیه سیگنال برابر است.

برای انجام تبدیل موجک گسسته دو نوع از فیلترها بر روی سری زمانی اولیه بکار گرفته می‌شود، یکی برای مشخص نمودن روندها^۱ در سیگنال و دیگری برای مشخص نمودن انحرافات از روندها. فیلتر نوع اول که از نوع فیلترهای پایین گذر هستند در تبدیل موجک به "فیلتر مقیاس‌دهی یا سیگنال مقیاس‌دهی"^۲ و فیلتر نوع دوم که از نوع فیلترهای بالا گذر هستند به "فیلتر موجک"^۳ معروف هستند. بردار ضرایب مقیاس‌دهی و ضرایب موجک در هر سطح با ضرب سری زمانی تحت مطالعه و سیگنال مقیاس‌دهی مربوط به آن سطح تولید می‌شود، پس از تولید بردارهای روندها و جزئیات یا نوسانات کوتاه مدت با بازیابی سیگنال تحت مطالعه از ضرایب موجک و مقیاس‌دهی، تبدیل موجک گسسته معکوس (IDWT) یا "تجزیه و تحلیل چند فرکانسی یا چند دقتی انجام می‌شود، (D1, DJ, ..., DJ, AJ) ضرایب MRA نامیده می‌شوند و داریم:

$$f = A^J + D^J + D^{J-1} + \dots + D^1 \quad (11)$$

با توجه مزیت ویژه تبدیل موجک در تجزیه سری های زمانی به روند (A) و جزئیات (Dⁱ)، این تحقیق در صد آن است که مدل ترکیبی را ارائه نماید که با ترکیب تبدیل موجک با مدل شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده، منجر به مدلی کاراتر و دقیق تر برای تخمین VaR نسبت مدل‌های رقیب شود. بر این اساس، پایه مدل ارائه شده در این تحقیق همان مدل شناخته شده شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده خواهد بود لیکن تبدیل موجک به عنوان یک پیش پردازشگر بر روی داده خام به نحوی عمل می‌نماید که ضمن لحاظ افق زمانی مدنظر تخمین ارزش در معرض ریسک، میانگین شرطی و واریانس شرطی مورد نیاز در مدل شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده به نحوی

¹ trend

² scaling filter or scaling signal

³ Wavelet filter

⁴ Multiresolution analysis

دقیق‌تر با اعمال تبدیل موجک بر روی داده خام مدل‌سازی و پیش‌بینی شوند. بر این اساس، مدل شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده مبتنی بر تئوری موجک در گام‌های زیر تخمین زده می‌شود:

(۱) اعمال مدل ARMA-GARCH بر روی داده بازدهی خام (R_t) و تخمین باقیمانده‌های استاندارد شده (v_t)

بر اساس $v_t = \varepsilon_t / \sigma_t$ و مرتب‌سازی باقیمانده‌های استاندارد شده: $v_{[1]} \leq v_{[2]} \leq \dots \leq v_{[T]}$.

(۲) اعمال تبدیل موجک بر روی داده بازدهی (R_t) و تجزیه تا سطح J که متناسب با افق زمانی مدنظر برای

تخمین VaR تعیین می‌شود. خروجی این گام عبارت است از: سری زمانی روند SJ و سری‌های زمانی

جزئیات: $D_1, D_2, \dots, D_J + SJ$ به طوریکه: $R = D_1 + D_2 + \dots + D_J + SJ$

(۳) اعمال مدل ARMA-GARCH بر روی سری‌های زمانی روند (SJ) و جزئیات (D^j) و پیش‌بینی

میانگین و واریانس شرطی:

$$\hat{\mu}_{D1,t+1}, \dots, \hat{\mu}_{DJ,t+1}, \hat{\mu}_{SJ,t+1} \text{ و } \hat{\sigma}_{D1,t+1}, \dots, \hat{\sigma}_{DJ,t+1}, \hat{\sigma}_{SJ,t+1}$$

(۴) به منظور پیش‌بینی بازدهی و واریانس سری زمانی اصلی، پیش‌بینی‌های میانگین و واریانس شرطی

گام سوم ترکیب می‌شوند:

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_{t+1} &= \hat{\mu}_{SJ,t+1} + \sum_{j=1}^J \hat{\mu}_{Dj,t+1} \\ \hat{\sigma}_{t+1}^2 &= \hat{\sigma}_{SJ,t+1}^2 + \sum_{j=1}^J \hat{\sigma}_{Dj,t+1}^2 \end{aligned} \quad (12)$$

شایان ذکر است واریانس شرطی ترکیب واریانس‌های شرطی بر اساس قاعده حفظ انرژی در تبدیل موجک خواهد بود.

(۵) با استفاده از توزیع تجربی گام اول در کنار پیش‌بینی میانگین و واریانس گام چهارم، ارزش در معرض

ریسک بر اساس "مدل شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده مبتنی بر موجک" در سطح فاصله اطمینان $1-p$

به شرح زیر خواهد بود:

(۱۳)

$$Var_{t,1}^{1-p} = \hat{\mu}_{t+1} + \hat{\sigma}_{t+1} * v_{[p]}$$

مدل شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده است که صرفاً از میانگین و واریانس شرطی ناشی از خود داده خام سری

زمانی بازدهی اولیه برای پیش‌بینی میانگین و واریانس استفاده می‌نماید.

۳- مطالعات پیشین

۳-۱- تحقیقات داخلی

مقاله "برآورد و پیش‌بینی تلاطم بازدهی در بازار سهام تهران و مقایسه دقت روش‌ها در تخمین ارزش در

معرض خطر: کاربردی از مدل‌های خانواده FIGARCH" در سال ۱۳۸۸ که توسط غلامرضا کشاورز حداد و باقر

صمدی به رشته تحریر درآمده و در آن ارزش در معرض خطر را با مدل‌های خانواده FIGARCH برای شاخصهای

عمده بورس اوراق بهادار تهران برآورد شد و نشان داده شد که مدل های مختلف این خانواده نتایج متفاوتی در سطوح اطمینان مختلف می‌دهند.

رستمی نوروزآباد و همکاران (۱۳۹۳) مدل شبه پارامتریکی با ترکیب تبدیل موجک و GARCH برای تخمین ارزش در معرض ریسک پیشنهاد کرد نتایج تجربی حاکی از برتری روش پیشنهادی نسبت به رویکردهای سنتی برای تخمین ارزش در معرض ریسک بود.

مقاله "محاسبه ارزشهای در معرض ریسک با بهره گیری از آنالیز موجک (مطالعه ای در بورس اوراق بهادار تهران)" که در سال ۱۳۹۳ توسط حجت الله صادقی و سمیه نظری زاده دهکردی نمونه داخلی تحقیق سال ۲۰۰۵ فرناندز در ایران بود و صرفاً تجزیه ارزش در معرض ریسک پارامتریک نرمال به فرکانسهای مختلف تجزیه موجک بود، لیکن تحقیق حاضر به ارائه مدل ترکیبی ارزش در معرض ریسک و پس آزمایی آن در بورس اوراق بهادار تهران می‌پردازد.

ابونوری و همکاران (۱۳۹۷) با هدف بررسی عملکرد استراتژی‌های مبتنی بر ریسک در تشکیل پرتفوی در شرایط مختلف بازار، در بخشی از تحقیق خود به بررسی ریسک نامطلوب استراتژی‌ها با استفاده از روش های VaR و CVaR پرداختند و مشخص گردید با این دو سنجه عملکرد بهتری در محاسبه خطر نکول به وجود می‌آید. در مقاله "عملکرد پورتفولیوهای مبتنی بر ریسک تحت شرایط مختلف در بازار سهام (شواهد تجربی از بازار سهام ایران)" که در سال ۱۳۹۷ توسط حجت الله صادقی و سمیه نظری زاده دهکردی انجام گرفت، در این پژوهش عملکرد انتخاب پورتفولیوهای مبتنی بر ریسک تحت چهار استراتژی مبتنی بر ریسک بررسی شد و در حالت استفاده از معیارهای ریسک نامطلوب VaR و CVaR نتایج بدست آمده بیانگر این بود که مدل GMV کمترین ریسک نامطلوب را در بین استراتژی‌ها داراست.

محمدیان امیری و ابراهیمی در سال ۱۳۹۷ در مقاله ای با توجه به روش هموارسازی نمایی هلت-وینترز به پیش‌بینی چندگام به جلوی ارزش در معرض ریسک شاخص خودرو و شاخص بانک در دو سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ پرداختند. از آزمون کوپیک، آزمون استقلال کریستوفرسن و آزمون پوشش شرطی برای پس آزمایی استفاده شد. نتایج به دست آمده حاکی از برتری روش هموارسازی نمایی هلت-وینترز ضریب پدیر برآورد ارزش در معرض ریسک بود.

اسدی نیا و همکاران در سال ۱۳۹۸ جهت مدل سازی و پیش بینی نوسانات فرآیندهای مالی از ترکیب مدل ناهمگونی واریانس شرطی اتورگرسو تعمیم یافته (GARCH) و تبدیل موجک گسسته بهره برد. نتایج نشان داد که مدل ترکیبی DWT-GARCH برگرفته از مزایای تبدیل موجک با غلبه بر نقص مدل‌های خانواده GARCH که نمی‌توانند ویژگی‌های جزئی یک فرآیند را در نظرگیرد و مدل کنند؛ و حفظ مزایای استفاده از مدل‌های خانواده GARCH در تشریح نوسانات، می‌تواند نتایج پیش بینی را به طور قابل توجهی بهبود ببخشد، و تا حد زیادی واریانس شرطی را کاهش دهد.

۳-۲- تحقیقات خارجی

در سال‌های اخیر رویکرد استفاده از مدل‌های ترکیبی رونق یافته است، در پاره‌ای از این مدل‌های ترکیبی تبدیل موجک با مدل‌های رایج ترکیب می‌شود تا از جنبه‌های ارزشمند این ابزار ریاضی استفاده شود. انتشار کتاب "روش‌های موجک برای تجزیه و تحلیل سری زمانی" توسط پرسپوال و والدن در سال ۲۰۰۰ جرقه‌ای شد برای محققین علوم مالی و اقتصاد که از مبانی ریاضی موجود در این کتاب برای استفاده از تبدیل موجک در این علوم بهره‌گیرند. جن.کی و سلوکوک و ویچر در سال ۲۰۰۳ در مقاله‌ای به نام "بتای چند مقیاسی و ارزش در معرض ریسک چند مقیاسی" که در بورس‌های آمریکا و آلمان و انگلیس بررسی شده است مدل قیمت‌گذاری دارایی‌های سرمایه‌ای (CAPM) را در هر حالت مقیاس‌های مختلف موجک بررسی کردند و فرمی از ریسک سیستماتیک موجکی (بتای موجکی) را ارائه نمودند که از بتای معمولی کاراتر بود، این مقاله دارای قسمت دومی بود که در آن ارزش در معرض ریسک را به وسیله تبدیل موجک تجزیه می‌نمود آنها نشان دادند که انرژی نسبی ریسک در سطوح با مقیاس پایین‌تر (فرکانس بالاتر) بیشتر است. در سال ۲۰۰۳ یوری همبرگر در تحقیق خود به نام "تخمین ارزش در معرض ریسک موجک مبنا" را ارائه نمود. وی در این تحقیق ارزش در معرض ریسک مبتنی بر تبدیل موجک تجزیه نمود و مدل ناهمسان با وزن‌های برابر را منطبق با کار جن.کی و همکارا، بر روی شاخص داوجونز در مقابل مدل $GARCH(1,1)$ ارائه نمود و به نوعی برتری مدل خود را نشان داد.

در سال ۲۰۰۵ فرناندز در مقاله‌ای به نام "CAPM و ارزش در معرض ریسک در افق‌های زمانی مختلف" که در بورس شیلی بررسی شد همان کار جن.کی و همکاران را انجام داد. در سال ۲۰۱۰ منصور مسیح و همکاران در تحقیقی دیگر در ۷ کشور حوزه خلیج فارس همان تحقیق جن.کی و همکاران را انجام دادند.

آتیلتا سیفتر در سال ۲۰۱۱ در بورس استانبول و بوداپست با ابتکاری نو، مدل ترکیبی ارزش در معرض ریسک مبتنی بر تبدیل موجک و تئوری ارزش نهایی (EVT) را ارائه نمود که از مزیت‌های تئوری ارزش نهایی و تبدیل موجک بصورت همزمان در یک مدل استفاده شده و از آن برای تخمین ارزش در معرض ریسک و نه ریزش مورد انتظار استفاده شده است.

کا.جیان.هی و همکاران (۲۰۱۱) در بازارهای فلزات، مدل ترکیبی ارزش در معرض ریسک مبتنی بر تبدیل موجک و شبکه عصبی ارائه نمودند، مدل ابتکاری ایشان در بازارهای فلزات آمریکا و لندن موفق عمل نمود. کا.جیان.هی و همکاران در سال ۲۰۱۱ مدلی مشابهی را در بازار نفت ارائه نمودند.

هی و همکاران (۲۰۱۴) در مقاله "برآورد ارزش در معرض ریسک با تحلیل موجک مبتنی بر آنتروپی در بازارهای ارز" رویکرد چند متغیره موجک مبتنی بر آنتروپی برای تحلیل ویژگی‌های چند مقیاسی جهت بهبود تخمین ارزش در معرض ریسک پیشنهاد دادند و نتایج مثبتی در مورد عملکرد رویکرد پیشنهادی مشاهده شد. در زمینه بکارگیری ریزش مورد انتظار و ارزش در معرض خطر جهت رتبه‌بندی ریسک صنایع مختلف، می‌توان به مقاله اما ام آیجلسیاس در سال ۲۰۱۵ اشاره نمود که وی با بکارگیری ریزش مورد انتظار و ارزش معرض خطر در بورس‌های ۷ کشور حوزه اروپا، نسبت به معرفی صنایع کم ریسک (مثل صنعت پتروشیمی، انرژی و یوتیلیتی) و پرریسک (مثل مخابرات و ارتباطات و بانکداری) اقدام نمود.

منسی و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی ریسک اوراق بهادار و هم‌تغییری‌های مشترک بین هر یک از بازارهای سهام کشورهای نوظهور و بازارهای توسعه‌یافته سهام (آمریکا، بریتانیا و ژاپن) با استفاده از روش هم‌دوسی مربع موجک و همچنین ارزش در معرض ریسک مبتنی بر تبدیل موجکپرداختند. نتایج نشان داد که مزایای تنوع‌بخشی بین این بازارها در طول زمان و در فرکانس‌های مختلف با هم تفاوت دارد.

ربایات و همکاران (۲۰۱۹) برای بررسی خاصیت تنوع بخشی اوراق صکوک اسلامی مالزی نسبت به اوراق قرضه کشورهای توسعه یافته از تبدیل موجک استفاده کرد و نشان داد که در افق‌های سرمایه‌گذاری کوتاه‌مدت و میان‌مدت صکوک مالزی دارای خاصیت تنوع‌بخشی بالایی برای اوراق قرضه کشورهای توسعه یافته (همبستگی منفی) می‌باشد.

فرانک و زاکوئین (۲۰۱۸) بین دو دسته مدل شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده و مدل‌های گارچ چند متغیره با توزیع‌های گوسی برای تخمین ارزش در معرض ریسک در نمونه‌های تجربی و شبیه‌سازی به این نتیجه رسیدند که در غیاب کرویت^۱ مدل FHS از مدل دیگر بهتر عمل کرد. این دو در تحقیقی دیگر (۲۰۲۰) نشان دادند دو مدل ساده تخمین VaR شامل مدل تک متغیره گارچ و مدل ابتکاری شبیه‌سازی تاریخی مجازی^۲ برای پرتفوی‌های با تعداد سهام بالا از مدل‌های چندمتغیره پیچیده عملکرد بهتری دارند.

۴- روش پژوهش

۴-۱- داده‌ها و روش تحقیق

داده‌های تحقیق در یک دوره ۱۱ ساله شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران از تاریخ ۱۳۸۹/۴/۱۳ الی ۱۳۹۹/۴/۱۱ انتخاب شده اند (بیش از ۲۴۰۰ روز داده بازدهی شاخص کل) که حدود نیمی از آن (۱۰۲۴) داده اول) برای تخمین پارامترهای مدل و مدلسازی به عنوان داده‌های درون نمونه و مابقی داده‌ها برای پس‌آزمون مدل‌ها و انتخاب مدل‌های برتر به عنوان داده‌های برون نمونه استفاده می‌شود. در جدول ۱ نیز توصیف آماری داده‌ها مشاهده می‌گردد. با توجه به جدول ۱ مقدار چولگی مثبت، سری زمانی بازدهی حدود کمی چوله به راست است ولی به علت کوچک بودن مقدار آن می‌توان گفت توزیع بازدهی تقریباً "مقارن است، از نظر کشیدگی توزیع بازدهی به شکلی است که با توزیع نرمال تفاوت اساسی دارد. با توجه به جدول ۱ مقادیر آماره آزمون جاک-برا و آزمون لیلیوفرز هم به گونه‌ای است که فرض نرمال بودن توزیع بازدهی را در سطح معناداری ۱٪ رد می‌کند. بکارگیری آزمون‌های ریشه واحد ADF و P-P هم وجود ریشه واحد را در سری زمانی بازدهی رد می‌کند. به خاطر استفاده از مدل‌های ARMA - GARCH در این تحقیق، انجام آزمون‌های جنکیز و باکس را در مورد باقیمانده‌های سری زمانی ضرورت دارد و در سطح معناداری ۱٪ فرض عدم همبستگی بین باقیمانده‌ها رد می‌شود و در نتیجه در مدل ARMA(R,M) ناگزیر به استفاده از مقادیر باوقفه هستیم. بکارگیری مجدد آزمون جنکیز و باکس در مورد مجذور باقیمانده‌های سری زمانی نیز نشان‌دهنده وجود همبستگی بین آن‌هاست و در

¹ sphericity

² Virtual Historical Simulation

نتیجه وجود اثر ARCH در سری زمانی بازدهی مشهود است، همچنین آزمون اثر ARCH انگل (آزمون ضرایب لاگرانژ) نیز از وجود اثر ARCH حکایت دارد.

در این تحقیق داده‌های بازدهی تاریخی کل به دو گروه درون نمونه و بیرون نمونه تقسیم می‌شوند و از داده‌های درون نمونه برای تخمین پارامترهای مربوط به مدل‌ها استفاده می‌شود. سپس آن‌ها برای برآورد ارزش در معرض ریسک در افق‌های زمانی مختلف شامل ۱ تا ۳۲ روزه (به صورت توانی از ۲ برگرفته از سطح تجزیه موجک) برای داده‌های بیرون نمونه استفاده می‌شود.

جدول ۱- توصیف آماری داده تحقیق

۰,۰۰۱۹	میانگین	۰,۰۰۱۹	میانگین	آماره‌های توصیفی
۰,۰۰۹۸	انحراف معیار	۰,۰۰۹۸	انحراف معیار	
۰,۵۹۶۶	چولگی	۰,۵۹۶۶	چولگی	
۷,۷۷۶۷	کشیدگی	۷,۷۷۶۷	کشیدگی	
۲۴۶۱,۵*** (۰,۰۰۱)	آزمون لیلیوفرز	۲۴۶۱,۵*** (۰,۰۰۱)	آزمون چارک-برای P-value	
۰,۰۰۰۶۰۹	میان	۰,۰۰۰۶۰۹	میان	آزمون ریشه واحد
۰,۱۲۲۲*** (۰,۰۰۱)	آزمون P-P	۰,۱۲۲۲*** (۰,۰۰۱)	آزمون ADF	
۰,۰۰۰۶۰۹	آزمون P-P(1)	۰,۰۰۰۶۰۹	آزمون ADF(1)	
۰,۰۰۰۶۰۹	آزمون P-P(5)	۰,۰۰۰۶۰۹	آزمون ADF(10)	آزمون‌های اثر ARCH و خودهمبستگی
۰,۰۰۰۶۰۹	آزمون ARCH	۰,۰۰۰۶۰۹	آزمون جنکیز و باکس	
۰,۰۰۰۶۰۹	آزمون LM(1)	۰,۰۰۰۶۰۹	آزمون Q(1)	
۰,۰۰۰۶۰۹	آزمون LM(10)	۰,۰۰۰۶۰۹	آزمون Q(10)	
۰,۰۰۰۶۰۹	آزمون LM(10)	۰,۰۰۰۶۰۹	آزمون Q ² (1)	آزمون‌های اثر ARCH و خودهمبستگی
۰,۰۰۰۶۰۹	آزمون LM(10)	۰,۰۰۰۶۰۹	آزمون Q ² (10)	

منبع: یافته‌های پژوهشگر

پس آزمایمی مدل های ارزش در معرض ريسك: به منظور آزمون دقت مدل های محاسبه ارزش در معرض ريسك از پس آزمایمی استفاده می شود، یک تخطی^۱ عبارتست از تجاوز ضرر از مقدار ارزش در معرض ريسك برآوردی) به وقوع بپیوندد. آزمون های پوششی غیرشرطی که در این تحقیق به منظور بررسی دقت مدل های VaR از لحاظ تعداد تخطی ها مورد استفاده قرار می گیرد، آزمونی است که کوپیک^۲ آنرا در سال ۱۹۹۵ ارائه داد:

$$LR_{uc} = -2 \ln[(1-p)^{T-x} p^x] + 2 \ln \left\{ \left[1 - \left(\frac{x}{T} \right) \right]^{T-x} \left(\frac{x}{T} \right)^x \right\} \quad (14)$$

که در آن p سطح احتمال است و α فاصله اطمینان تخمین VaR و x تعداد تخطی ها است. این آماره از تابع توزیع χ^2 با یک درجه آزادی پیروی میکند. قاعده تصمیم به این شرح است که اگر $LR_{uc} > \chi^2_{c,1}$ باشد، فرض صفر به نفع به فرض عدم رد می شود و در اینصورت مدل از لحاظ تعداد تخطی ها فاقد دقت است (کمپل، ۲۰۰۵)

۴-۲- تخمین پارامترهای مدل های ارزش در معرض ريسك

مدل های مورد استفاده در این پژوهش در قالب ۵ دسته مدل شامل شبیه‌سازی تاریخی (HS)، مدل های خانواده ARMA-GARCH با مدل های نوسان (GARCH، GJR GARCH و EGARCH) و توابع توزیع نرمال (N) و تی استیودنت (T)، شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده با مدل های نوسان مختلف، فراتر از آستانه شرطی (CPOT) با مدل های نوسان مختلف و شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده مبتنی بر تبدیل موجک با مدل های نوسان مختلف و توابع موجک مختلف (Haar، syms6 و dubacheies6) می باشد.

به منظور برآورد پارامترهای مدل هایی که از مدل خانواده ARMA-GARCH استفاده می کنند باید وقفه های این مدل ها معین گردند و بدین منظور بر روی داده های خام و داده های حاصل از تجزیه موجک در سطوح فرکانسی مختلف درون نمونه از معیار اطلاعاتی بیزین آکائیک (BIC)^۳ در یک دامنه جستجوی با مقدار ۵ برای انواع وقفه ها (دو وقفه مدل میانگین و دو وقفه مدل واریانس) و سپس مشخص نمودن مدلی با کمترین مقدار BIC استفاده شده است.

برای مدل سازی در این پژوهش چهار فرض توزیعی شامل توزیع نرمال، تی- استودنت، تجربی و توزیع تعمیم یافته پرتو مد نظر قرار گرفته است. توزیع تجربی از فراوانی داده های گذشته استخراج و برای توزیع نرمال و تی- استودنت، صدک آلفا به راحتی از طریق جداول مربوطه استخراج می گردد. اما استخراج صدک آلفای توزیع تعمیم یافته پرتو نیازمند برآزش این توزیع بر باقیمانده های استاندارد شده، و برآورد پارامترهای این توزیع می باشد. قبل از برآورد پارامترها در این توزیع ابتدا باید آستانه را تعیین شود. بطور معمول برای تعیین آستانه از نمودار هیل استفاده می شود. در جایی که نمودار حالت افقی پیدا می کند، بدان معناست که آستانه باید مشاهده ای در

¹ exceedance

² kupice

³ Bayesian Information Criterion

این فاصله باشد. مطابق پیشنهاد مک‌نیل و فری، مقدار آستانه بهتر است به گونه‌ای انتخاب شود که حدود ۱۰۰ مشاهده برای برآزش مدل پارتو داشته باشیم. در این تحقیق از روشی که توسط دنیلسون و همکاران^۱ (۲۰۰۱) برای تخمین آستانه پیشنهاد شده است، استفاده خواهیم شد. این روش مبتنی بر شبیه‌سازی مونت کارلو و استفاده از نمودار هیل است و برای هر مدل مقدار آستانه را بطور جداگانه تخمین می‌زند.

در مدل شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده و شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده مبتنی بر تبدیل موجک برای محاسبه VaR برای دوره K روزه، باید از K شوک استاندارد تاریخی گذشته استفاده نمود، هر شوک استاندارد انتخاب شده برای مسیر K تایی به همراه پیش‌بینی واریانس شرطی برای آن روز یک شوک غیر استاندارد را حاصل می‌نماید. که این شوک غیر استاندارد به همراه میانگین شرطی آن روز یک بازدهی تاریخی برای آن روز را حاصل می‌نماید این فرآیند را برای M بار تکرار می‌شود (M تعداد تکرار شبیه‌سازی برای مسیر شوک استاندارد تاریخی گذشته که هر چه بیشتر باشد بهتر است)، در این تحقیق M را برابر ۱۰۰۰ در نظر می‌گیریم که تعداد بالایی به شمار می‌رود.

۵- پس‌آزمایی مدل‌های ارزش در معرض ریسک

در این بخش از تحقیق به پس‌آزمایی مدل‌های ارزش در معرض ریسک می‌پردازیم. در جداول ۲ تا ۴ نتایج حاصل از آزمون پس‌آزمایی کوپیک (LRuc) بصورت مقدار P-value آورده شده است، هر میزان که مقدار p-value بالاتر باشد، فرض صفر رد نمی‌شود و به معنی صحت مدل است.

بر اساس نتایج جداول ۲، ۳ و ۴ در مدل شبیه‌سازی تاریخی و در افق زمانی کوتاه مدت ۱ روزه در سطوح اطمینان پایین یعنی سطوح $q=0.95$ و تا حدودی $q=0.975$ مدل دقیق بوده است لیکن در سطح اطمینان بالا یعنی $q=0.99$ فرض صفر رد شده است و مدل از منظر تعداد تخطی‌ها از دقت لازم برخوردار نبوده است، با افزایش افق زمانی در تمامی سطوح اطمینان، فرض صفر رد شده است و مدل از دقت لازم برخوردار نبوده است. در مدل‌های خانواده ARMA-GARCH و در افق زمانی کوتاه مدت ۱ روزه برای حالت مدل نوسان GARCH در سطح اطمینان پایین یعنی سطح $q=0.95$ در توزیع نرمال، فرض صفر رد شده است و مدل از منظر تعداد تخطی‌ها از دقت لازم برخوردار نبوده است در همین حالت نتایج توزیع تی استیودنت نسبت به نرمال بهتر بوده است و مدل بصورت مرزی تایید شده است. در سایر فواصل اطمینان و همه مدل‌های نوسان برای افق ۱ روزه نتایج به نحوی بوده است که فرض صفر رد نشده است و مدل‌ها از دقت لازم برخوردار بوده‌اند، یک مشاهده جالب در این افق زمانی این است که در سطح اطمینان $q=0.99$ نتایج با توزیع استیودنت نسبت به توزیع نرمال بهتر شده است ولی در سطح اطمینان $q=0.95$ اینطور نبوده است، این موضوع نشان دهنده آن است که مدل‌سازی با استفاده از توزیع تی استیودنت در انتهای دنباله‌ها (فواصل اطمینان بالاتر) برای داده‌های غیرنرمال بازدهی بورس تهران منطبق با ادبیات موضوعی مرتبط، بهتر بوده است. در افق زمانی ۲ روزه فواید استفاده از توزیع تی نمایان تر است بطوریکه در حالت مدل GARCH و توزیع نرمال فرض صفر رد شده است

¹ Danielsson et al.

ولی در حالت توزیع تی اینگونه نبوده است، برای حالات مدل‌های نوسان EGARCH و GJRGARCH فرض صفر برای توزیع نرمال و تی رد نشده اند و مدل‌ها هرچند با مقادیر P نه چندان بالا ولی تایید شده اند، در این حالات هم بکارگیری توزیع تی نتایج را بهبود بخشیده است، ضمن آنکه توجه به این نکته ضروری است که نتایج این دو افق زمانی حکایت از وجود اثرات اهرمی در بورس تهران دارد چراکه نتایج مدل‌های نوسان GJRGARCH و EGARCH بطور کلی از مدل GARCH بهتر بوده اند. با افزایش افق زمانی در این مدل و در تمامی سطوح اطمینان، فرض صفر رد شده است و مدل از دقت لازم برخوردار نبوده است.

در مدل FHS و در افق‌های مانی زمانی کوتاه مدت ۱ روزه تا ۴ روزه در تمامی سطوح اطمینان تعداد تخطی‌ها به نحوی بوده اند که ارزش در معرض ریسک به درستی تخمین زده شده است و فرض صفر رد نشده است، نتایج این افق‌های زمانی حکایت از وجود اثرات اهرمی در بورس تهران دارد چراکه بطور کلی مقادیر P مدل‌های نوسان GJRGARCH و EGARCH از مدل GARCH بالاتر بوده اند. در افق زمانی ۸ روزه از دقت مدل‌ها کاسته شده است و بصورت مرزی در سطوح اطمینان پایین فرض صفر رد نشده است ولی در سطح اطمینان ۹۹٪ فرض صفر رد شده است. با افزایش افق زمانی در این مدل و در تمامی سطوح اطمینان، فرض صفر رد شده است و مدل از دقت لازم برخوردار نبوده است.

در مدل CPOT و در افق‌های مانی زمانی کوتاه مدت ۱ روزه تا ۸ روزه در تمامی سطوح اطمینان تعداد تخطی‌ها به نحوی بوده اند که ارزش در معرض ریسک به درستی تخمین زده شده است و فرض صفر رد نشده است، نتایج این افق‌های زمانی حکایت از وجود اثرات اهرمی در بورس تهران دارد چراکه بطور کلی مقادیر P مدل‌های نوسان GJRGARCH و EGARCH از مدل GARCH بالاتر بوده اند. در افق زمانی ۱۶ روزه از دقت مدل‌ها کاسته شده است و بصورت مرزی در سطوح اطمینان پایین فرض صفر رد نشده است ولی در سطح اطمینان ۹۹٪ فرض صفر رد شده است. با افزایش افق زمانی در این مدل و در تمامی سطوح اطمینان، فرض صفر رد شده است و مدل از دقت لازم برخوردار نبوده است.

در مدل شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده مبتنی بر تبدیل موجک (WFHS) در تمامی افق‌های زمانی ۱ روزه تا ۳۲ روزه و در سطوح اطمینان مختلف و حالات مختلف بکارگیری سه مدل نوسان و توابع موجک مختلف ارزش در معرض ریسک به درستی تخمین زده شده است و فرض صفر رد نشده است، روند بسیار خفیفی در کاهش مقادیر P با افزایش افق زمانی مشاهده می‌شود لیکن این کاهش در حدی نیست که از دقت مدل WFHS از نظر تعداد تخطی‌ها بکاهد، همچنین نتایج بهره‌گیری از سه تابع موجک مختلف (Haar, sym6 و Dubacheies6) به منظور تجزیه سری زمانی به تفاوت خاصی در نتایج منجر نگردیده است.

با توجه به مقادیر P جداول ۲، ۳ و ۴ می‌توان دریافت که از نظر پس‌آزمون صورت پذیرفته به ترتیب عملکرد مدل WFHS در تمامی افق‌های زمانی و سپس مدل CPOT و FHS در برخی افق‌های زمانی نسبت مدل‌های خانواده ARAMA-GARCH و شبیه‌سازی تاریخی بهتر است و البته عملکرد مدل خانواده ARAMA-GARCH هم نسبت به شبیه‌سازی تاریخی بهتر می‌باشد. همچنین نتایج استفاده از توزیع‌های تی نسبت به نرمال و نیز مدل‌های نوسان اهرمی نسبت به غیر اهرمی نیز بطور کلی بهتر بوده است.

جدول ۲- پس‌آزمون کویپک مدل‌های ارزش در معرض ریسک در افق زمانی ۱ و ۲ روزه

افق زمانی						نام مدل	دسته
H=2			H=1				
۰,۹۵	۰,۹۸	۰,۹۹	۰,۹۵	۰,۹۸	۰,۹۹		
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۹۶	۰,۰۹	۰,۰۱	HS	
۰,۰۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۴۱	۰,۵۸	AR-GARCH-N	ARMA-GARCH
۰,۳۲	۰,۱۰	۰,۰۱	۰,۱۶	۰,۵۱	۰,۷۱	AR-GJRGARCH-N	
۰,۴۰	۰,۱۵	۰,۰۲	۰,۷۲	۰,۸۹	۰,۳۴	AR-EGARCH-N	
۰,۴۹	۰,۱۹	۰,۰۳	۰,۰۷	۰,۴۳	۰,۹۸	AR-GARCH-T	
۰,۷۱	۰,۲۶	۰,۰۶	۰,۰۸	۰,۵۱	۰,۹۸	AR-GJRGARCH-T	
۰,۹۰	۰,۳۶	۰,۱۰	۰,۴۳	۰,۹۳	۰,۳۴	AR-EGARCH-T	
۰,۵۴	۰,۴۹	۰,۴۸	۰,۱۹	۰,۶۷	۰,۵۹	GARCH	FHS
۰,۷۱	۰,۶۳	۰,۵۹	۰,۵۴	۰,۷۶	۰,۹۸	GJRGARCH	
۰,۷۷	۰,۷۱	۰,۵۹	۰,۷۲	۰,۹۳	۰,۷۱	EGARCH	
۰,۷۷	۰,۵۶	۰,۷۱	۰,۴۸	۰,۷۶	۰,۷۳	GARCH	CPOT
۰,۹۰	۰,۷۱	۰,۴۸	۰,۶۰	۰,۸۴	۰,۸۷	GJRGARCH	
۰,۸۳	۰,۸۰	۰,۷۱	۰,۸۴	۰,۸۹	۰,۷۱	EGARCH	
۰,۴۴	۰,۹۴	۰,۸۴	۰,۶۰	۰,۸۴	۰,۷۱	Haar	GARCH
۰,۴۹	۰,۹۷	۰,۸۴	۰,۵۴	۰,۷۶	۰,۸۵	syms6	
۰,۴۴	۰,۹۷	۰,۷۱	۰,۵۴	۰,۸۴	۰,۸۵	dubacheies6	WFHS
۰,۶۰	۰,۸۸	۰,۸۴	۰,۶۵	۰,۸۴	۰,۸۵	Haar	
۰,۶۰	۰,۹۷	۰,۸۴	۰,۶۰	۰,۷۶	۰,۹۸	syms6	
۰,۶۰	۰,۹۷	۰,۸۴	۰,۶۰	۰,۸۴	۰,۸۵	dubacheies6	
۰,۸۵	۰,۹۴	۰,۷۱	۰,۹۱	۰,۹۳	۰,۸۷	Haar	
۰,۷۸	۰,۹۷	۰,۸۴	۰,۹۱	۰,۹۸	۰,۸۷	syms6	
۰,۷۸	۰,۹۷	۰,۸۴	۰,۸۴	۰,۹۳	۰,۸۵	dubacheies6	EGARCH

منبع: یافته‌های پژوهشگر

جواد شکرخواه و همکاران / مدل ترکیبی ارزش در معرض ریسک شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده مبتنی بر ... / ۱۷

جدول ۳- پس‌آزمون کوپیک مدل‌های ارزش در معرض ریسک در افق زمانی ۴ و ۸ روزه

افق زمانی						نام مدل	دسته	
H=8			H=4					
۰,۹۵	۰,۹۸	۰,۹۹	۰,۹۵	۰,۹۸	۰,۹۹			
۰,۹۵	۰,۹۸	۰,۹۹	.	.	.	HS		
.	AR-GARCH-N	ARMA-GARCH	
.	.	.	۰,۰۱	.	.	AR-GJRGARCH-N		
.	.	.	۰,۰۲	.	.	AR-EGARCH-N		
.	.	.	۰,۰۳	۰,۰۱	.	AR-GARCH-T		
.	.	.	۰,۰۶	۰,۰۲	.	AR-GJRGARCH-T		
.	.	.	۰,۰۹	۰,۰۳	.	AR-EGARCH-T		
.	.	.	۰,۱۳	۰,۱۸	۰,۰۸	GARCH	FHS	
۰,۰۳	۰,۰۵	۰,۰۱	۰,۱۷	۰,۲۶	۰,۱۴	GJRGARCH		
۰,۰۴	۰,۰۷	۰,۰۱	۰,۱۹	۰,۳۱	۰,۱۴	EGARCH		
۰,۰۵	۰,۰۸	۰,۰۱	۰,۲۲	۰,۲۲	۰,۱	GARCH	CPOT	
۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۴	۰,۳۱	۰,۱۴	GJRGARCH		
۰,۱	۰,۰۷	۰,۰۳	۰,۴۴	۰,۳۶	۰,۱۸	EGARCH		
۰,۲۱	۰,۱	۰,۰۵	۰,۵۵	۰,۵۱	۰,۸۴	Haar	WFHS	
۰,۸	۰,۴۴	۰,۹۷	۰,۶	۰,۴۴	۰,۸۴	syms6		GARCH
۰,۸۶	۰,۳۷	۰,۳۶	۰,۵۵	۰,۵۱	۰,۷۱	dubacheies6		
۰,۸	۰,۳۷	۰,۸۸	۰,۶۶	۰,۵۹	۰,۸۴	Haar		
۰,۸۶	۰,۶	۰,۹۷	۰,۶۶	۰,۵۱	۰,۸۴	syms6		
۰,۸۶	۰,۵۲	۰,۹۷	۰,۶	۰,۵۱	۰,۸۴	dubacheies6		
۰,۸	۰,۶	۰,۹۷	۰,۶۶	۰,۵۹	۰,۷۱	Haar		EGARCH
۰,۸۶	۰,۶	۰,۹۷	۰,۶۶	۰,۵۱	۰,۸۸	syms6		
۰,۸۶	۰,۵۲	۰,۹۷	۰,۶	۰,۵۱	۰,۹۸	dubacheies6		

منبع: یافته‌های پژوهشگر

جدول ۴- پس‌آزمون کوپیک مدل‌های ارزش در معرض ریسک در افق زمانی ۱۶ و ۳۲ روزه

افق زمانی						نام مدل	دسته
H=32			H=16				
۰,۹۵	۰,۹۸	۰,۹۹	۰,۹۵	۰,۹۸	۰,۹۹		
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	HS	
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	AR-GARCH-N	ARMA-GARCH
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	AR-GJRGARCH-N	
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	AR-EGARCH-N	
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	AR-GARCH-T	
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	AR-GJRGARCH-T	
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	AR-EGARCH-T	
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	GARCH	FHS
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۰	GJRGARCH	
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	EGARCH	
۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۴	۰,۱۰	۰,۰۰	GARCH	CPOT
۰,۰۶	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۱۰	۰,۱۷	۰,۰۱	GJRGARCH	
۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۱	۰,۱۱	۰,۲۱	۰,۰۱	EGARCH	
۰,۸۰	۰,۸۲	۰,۵۵	۰,۸۳	۰,۴۶	۰,۸۲	Haar	GARCH
۰,۸۶	۰,۸۲	۰,۶۷	۰,۸۳	۰,۵۳	۰,۸۲	syms6	
۰,۸۶	۰,۷۳	۰,۵۵	۰,۷۶	۰,۵۳	۰,۸۲	dubacheies6	
۰,۷۴	۰,۷۳	۰,۵۵	۰,۹۵	۰,۴۶	۰,۹۶	Haar	GJRGARCH
۰,۸۰	۰,۸۲	۰,۸۰	۰,۸۹	۰,۵۳	۰,۸۲	syms6	
۰,۸۶	۰,۸۲	۰,۶۷	۰,۸۹	۰,۵۳	۰,۹۶	dubacheies6	
۰,۷۴	۰,۸۲	۰,۶۷	۰,۹۵	۰,۶۱	۰,۸۲	Haar	EGARCH
۰,۷۴	۰,۷۳	۰,۵۵	۰,۸۹	۰,۶۱	۰,۹۶	syms6	
۰,۸۰	۰,۷۳	۰,۶۷	۰,۸۹	۰,۵۳	۰,۹۶	dubacheies6	

منبع: یافته‌های پژوهشگر

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

این تحقیق با ارائه مدلی ترکیبی جدید ارزش در معرض ریسک شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده (FHS) مبتنی بر تبدیل موجک با رویکرد استفاده از مزایای مدل FHS و مزایای تبدیل موجک به عنوان یک پیش پردازشگر بر روی داده خام پرداخت. به منظور انتخاب دقیقترین مدل تخمین ارزش در معرض ریسک از بین مدل‌های شبیه‌سازی تاریخی (HS)، خانواده ARMA-GARCH، شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده (FHS)، فراتر از آستانه

شرطی (CPOT) و مدل ترکیبی جدید شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده مبتنی بر تبدیل موجک در اشکال مختلف استفاده از مدل‌های نوسان و فروض توزیعی مختلف در بورس اوراق بهادار تهران، از پس آزمایشی کوپیک (LRuc) استفاده شد. نتایج پس‌آزمون حاکی از دقت بالاتر مدل ارزش در معرض ریسک شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده مبتنی بر تبدیل موجک (WFHS) در تمامی افق‌های زمانی و سطوح اطمینان مختلف نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشد. مدل‌های ارزش در معرض ریسک مبتنی بر مدل‌های نوسان اهرمی GJRGARCH و EGARCH عملکرد نسبتاً بهتری نسبت به مدل GARCH که نشان دهنده وجود اثرات اهرمی در بورس تهران می‌باشد، از بین دو مدل نوسان GJRGARCH و EGARCH نیز با تفاوت اندکی مدل‌های مبتنی بر EGARCH بهتر عمل نموده‌اند، لذا مدل شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده مبتنی بر تبدیل موجک با مدل نوسان EGARCH برترین مدل تحقیق می‌باشد. همچنین بین نتایج مدل‌های شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده مبتنی بر تبدیل موجک (WFHS) با بهره‌گیری از سه تابع موجک مختلف (Haar, sym6 و Dubacheies6) تفاوت معناداری مشاهده نمی‌شود و از این رو بکارگیری توابع موجک مختلف تأثیری در دقت نتایج ندارد.

نتایج این پژوهش از حیث تئوریک حکایت از آن دارد که بهره‌گیری از تبدیل موجک در کنار مدل‌های سنتی بصورت ترکیبی باعث ارتقاء دقت مدل‌ها خواهد شد، این موضوع در پژوهش حاضر در قالب بهبود دقت تخمین سنج ارزش در معرض ریسک در بورس اوراق بهادار تهران نشان داده شد و لذا پیشنهاد استفاده از این ابزار ریاضی در سایر مدل‌سازی‌های کمی حوزه مالی برای انواع پیش‌بینی‌های میانگین، واریانس، ریسک‌های نامطلوب و... سودمند بنظر می‌رسد. در زمینه کاربردی نیز این تحقیق توانست یک مدل ارزش در معرض ریسک کاملاً "بادقت ارائه نماید و توصیه می‌گردد مراجع نظارتی و قانونی در حوزه بازار پول و سرمایه از مدل ارائه شده این پژوهش به عنوان ابزاری در جهت محاسبه کفایت سرمایه مورد نیاز، بودجه‌بندی ریسک و مدیریت ریسک یکپارچه برای نهادهای مالی تحت نظارت استفاده نمایند.

فهرست منابع

- * ابونوری، اسمعیل، تهرانی، رضا، شامانی، مسعود. (۱۳۹۷). عملکرد پورتفولیوهای مبتنی بر ریسک تحت شرایط مختلف در بازار سهام. اقتصاد مالی، ۱۲(۴۵)، ۷۱-۵۱.
- * اسدی نیا، پرستو، عبدالهی کیوانی، سید محمد، حیدر زاده هنزائی، علیرضا، موسوی روح بخش، سید شایان. (۱۳۹۸). پیش بینی نوسانات بازده با استفاده از مدل ترکیبی تبدیلات موجک گسسته و گارچ. فصلنامه بورس اوراق بهادار، ۱۲(۴۷)، ۱۲۷-۱۱۰.
- * دهقان خاوری، سعید، میر جلیلی، سید حسین. (۱۳۹۸). تعامل ریسک سیستماتیک با بازده سهام در بورس اوراق بهادار تهران. اقتصاد مالی، ۱۳(۴۹)، ۲۸۲-۲۵۷.
- * رستمی نوروژآباد، مجتبی، شجاعی، عبدالناصر، خضری، محسن، رحمانی نوروژآباد، سامان. (۱۳۹۴). تخمین ارزش در معرض ریسک بازده بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از آنالیز موجک. تحقیقات مالی، ۱۷(۱)، ۸۲-۵۹.
- * صادقی، حجت اله، نظری زاده دهکردی، سمیه. (۱۳۹۳). محاسبه ارزشهای در معرض ریسک با بهره‌گیری از آنالیز موجک. راهبرد مدیریت مالی، ۲(۱)، ۱۲۴-۹۷.
- * کریمی، مجتبی، صراف، فاطمه، امام وردی، قدرت اله، باغانی، علی. (۱۳۹۸). همبستگی شرطی پویای نوسانات قیمت نفت و بازار سهام کشورهای حوزه خلیج فارس با تاکید بر سرایت بحران مالی. اقتصاد مالی، ۱۳(۴۹)، ۱۳۰-۱۰۱.
- * کشاورز، غلامرضا، صمدی، باقر. (۱۳۸۸). برآورد و پیش بینی تلاطم بازدهی در بازار سهام تهران و مقایسه دقت روش‌ها در تخمین ارزش در معرض خطر: کاربردی از مدل‌های خانواده FIGARCH، تحقیقات اقتصادی، ۴۴(۱).
- * محمدیان امیری، احسان، ابراهیمی، سیدبابک (۱۳۹۷). پیش‌بینی چندگام به‌جلوی ارزش در معرض خطر بر مبنای روش هموارسازی نمایی هلت-وینترز ضربی. راهبرد مدیریت مالی، ۶(۱)، ۱۱۴-۹۳.
- * Andrew J. Patton, Johanna F. Ziegel, Rui Chen (2019). Dynamic semiparametric models for expected shortfall (and Value-at-Risk), Journal of Econometrics, Volume 211, Issue 2, Pages 388-413,
- * Bollerslev. T, Engle. R, & Wooldridge. J (1988) "A capital-asset pricing model with time-Varying coVariances", Journal of Political Economy, 96, 116-131.
- * Christian Francq, Jean-Michel Zakoïan (2018). Estimation risk for the VaR of portfolios driven by semi-parametric multivariate models, Journal of Econometrics, Volume 205, Issue 2, Pages 381-401.
- * Christian Francq, Jean-Michel Zakoïan (2020). Virtual Historical Simulation for estimating the conditional VaR of large portfolios, Journal of Econometrics, Volume 217, Issue 2, Pages 356-380.
- * Cifter. Atilla (2011) "Value-at-risk estimation with wavelet-based extreme value theory: Evidence from emerging markets", Physica A, 390, 2356-2367.
- * D. Campbell. Sean (2005). "A Review of Backtesting and Backtesting Procedures", Finance and Economics Discussion Series Divisions of Research & Statistics and Monetary Affairs Federal Reserve Board, 21, Washington, D.C.

- * Fernandez.Viviana (2006). "The CAPM and value at risk at different time-scale" ,International Review of Financial Analysis,15,203– 219.
- * Gencay.R, Whitcher.B, & Selcuk.F (2002). An introduction to wavelets and other filtering methods in finance and economics, San Diego7 Academic Press.
- * Gencay.R, Whitcher.B, & Selcuk.F (2005). "Multiscale systematic risk",Journal of International Money and Finance,24(1), 55– 70.
- * Hamburger.Yuri (2003). "Wavelet-based Value At Risk Estimation",Master thesis Informatics & Economics,Erasmus University Rotterdam.
- * He K., Wang L., Zou Y., Lai K.K. (2014). Value at risk estimation with entropy-based wavelet analysis in exchange markets Physica A, 408 pp. 62-71.
- * He.Kaijian,Kin Keung.Lai,Jerome.Yen (2011). "Ensemble Forecasting of Value at Risk via Multi Resolution Analysis based Methodology in Metals Markets" Journal of Expert Systems with Applications.
- * Iglesias.Emma M (2015). "Value at Risk and expected shortfall of firms in the main European Union stock market indexes from 2000 until nowadays: a detailed analysis by economic sectors and geographical situation",Journal of Economic Modelling, Volume 50, November (2015). Pages 1-8.
- Jorion.Philippe (2009). Financial Risk Manager Handbook (5th edn),Wiley finance series,United states of America.
- * Kupiec.P.H (1995) "Techniques for verifying the accuracy of risk measurement models", The Journal of Derivatives 73–84. winter.
- * Masih.Mansur,Alzahrani.Mohammed,Al-Titi.Omar (2010). "Systematic risk and time scales: New evidence from an application of wavelet approach to the emerging Gulf stock markets", International Review of Financial Analysis,19 ,10–18.
- * Mensi, Walid, Shahzad, Syed Jawad Hussain, Hammoudeh, Shawkat, Zeitun, Rami, Rehman, Mobeen Ur (2017). Diversification Potential of Asian frontier, BRIC emerging and major developed stock markets: A wavelet-based Value at Risk approach, Emerging Markets Review, 32, pp. 130-147.
- * Percival.Donald B,Walden,Andrew ,T (2000). Wavelet Methods for Time Series Analysis.Cambridge University Press.
- * Rubaiyat Ahsan Bhuiyan, Maya Puspa Rahman, Buerhan Saiti (2019). Gairuzazmi Bin Mat Ghani, Does the Malaysian Sovereign sukuk market offer portfolio diversification opportunities for global fixed-income investors? Evidence from wavelet coherence and multivariate-GARCH analyses, The North American Journal of Economics and Finance, Volume 47, Pages 675-687.
- * Tan.Zhongfu,Zhang.Jinliang,Wang.Jianhui,Xu.Jun (2010). "Day-ahead electricity price forecasting using wavelet transform combined with ARIMA and GARCH models", Journal of Applied Energy ,87 ,3606–3610.

Wavelet based Filtered historical simulation value at risk model in different time horizons in Tehran Stock Exchange

Vahid Veisizadeh¹
Javad Shekarkhah²
Meysam Amiri³

Received: 23/ September /2021 Accepted: 24/ November /2021

Abstract

Abstract: Value at risk is applied as a downside risk measure to quantify risk and as a basis for calculating the regulatory purpose capital of financial institutions. The present study seeks to select the most accurate models for estimating value at risk, both simple and advanced, and to present a new wavelet based model on Tehran Stock Exchange. Filtered historical simulation(FHS), Conditional extreme value theory model(CPOT) and a new hybrid semiparametric model called "Wavelet based Filtered historical simulation" in various forms using different volatility models and distribution assumptions were estimated and on the Tehran Stock Exchange. The backtest finding of research conducted in a period of about 11 years of the total index of Tehran Stock Exchange(TSE) from 2010/4/7 to 2020/4/1 (more than 2400 daily of index return data) indicate the higher accuracy of the filtered historical wavelet-based simulation (WFHS) VaR model in comparison to other models at all-time horizons and different confidence levels.

Keywords: Value at risk, wavelet theory, Extreme value theory, Wavelet based Filtered historical simulation, backtest.

JEL Classification: C02 · C22 · C52·G32

1- Phd in Finance, Tehran University, vahidvaice@gmail.com

2- (corresponding autor)Assistant Professor, Department of Accounting, AllamehTabatabai University, Tehran, j_shekarkhah@yahoo.com

3- Assistant Professor, Department of Finance, AllamehTabatabaiUniversity, Tehran, amiry82@yahoo.com