

## تخمین ارزش در معرض ریسک بازده بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از آنالیز موجک

مجتبی رستمی نوروآباد<sup>۱</sup>، عبدالناصر شجاعی<sup>۲</sup>، محسن خضری<sup>۳</sup>، سامان رحمانی نوروآباد<sup>۴</sup>

**چکیده:** شرکت‌های مالی همواره در معرض خطرات ناشی از ریسک قرار دارند. در چند سال گذشته بنا به دلایلی، اندازه‌گیری ارزش در معرض ریسک (VaR)، از اهمیت روز افزونی برای شرکت‌های مالی برخوردار شده است. این پژوهش از بین معیارهای متعدد ریسک، معیار VaR را با رویکرد جدیدی برای محاسبه ریسک بازارها ارائه می‌کند. رویکردهای معمول اندازه‌گیری ریسک به دلیل ماهیت پیچیده، غیرخطی و در حال تغییر ریسک، از قدرت توضیحی ضعیف و عملکرد محدودی برخوردارند. بنابراین پژوهش پیش رو، پارادایم شبه‌پارامتریکی جدیدی با ترکیب آنالیز موجک و مدل‌های GARCH پیشنهاد کرده است که با استفاده از آنالیز موجک به بررسی خواص چندمقیاسی داده‌ها می‌پردازد. نتایج تجربی حاکی از برتری روش پیشنهادی این مقاله نسبت به رویکردهای سنتی است؛ به طوری که این روش، تخمین‌هایی با درجه اطمینان و صحت بیشتری از ارزش در معرض ریسک را به دست می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** آنالیز موجک، ارزش در معرض ریسک، بورس اوراق بهادار تهران.

۱. دانشجوی دکتری مدیریت مالی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران
۲. استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سمنجان، سمنجان، ایران
۳. دانشجوی دکتری اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۴. کارشناس ارشد مدیریت بازرگانی (مالی)، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سمنجان، سمنجان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۷/۱۶

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۳/۰۹/۰۱

نویسنده مسئول مقاله: عبدالناصر شجاعی

E-mail: a.shojaei@iausdj.ac.ir

## مقدمه

بخش مالی به منزله نهاد و مرجع تأمین کننده منابع مالی و فعالیتهای حقیقی اقتصادی، روی دوم سکه اقتصادهای مدرن و بخش بزرگ و در حال رشد همه اقتصادهای جهان امروز، اعم از توسعه یافته و در حال توسعه شمرده می شود و توسعه ابعاد گوناگون فعالیت های اقتصادی، بستگی مستقیم به دسترسی آنها به خدمات مالی دارد (گلداسمیت، ۱۹۶۹ و کینگ و لوین، ۱۹۹۳). به بیان دیگر، تعمیق و توسعه مالی یکی از راه های افزایش نرخ رشد اقتصادی است (شاوا، ۱۹۷۳ و لوین و ذروس، ۱۹۹۶). این نهاد به دو بخش تقسیم می شود: بازار پول که به طور عمده نظام بانکی کشور آن را اداره می کند و مهم ترین کارکردش تأمین اعتبارهای کوتاه مدت است و بازار سرمایه که کارکرد اصلی آن تأمین مالی بلندمدت در فعالیتهای تولیدی و خدماتی مولد است (سعیدی و امیری، ۱۳۸۷). بر اساس نظریه راهبری عرضه<sup>۱</sup> (پاتریک، ۱۹۶۶)، در مراحل اولیه توسعه اقتصادی، توسعه مالی محرک و موتور رشد اقتصادی است؛ به این ترتیب که تأسیس و افزایش ارادی نهادها و بازارهای مالی به افزایش عرضه خدمات مالی کمک می کند و به طبع آن موجب رشد واقعی اقتصاد می شود. این کار از طریق حرکت منابع کمیاب، از پس اندازکنندگان کوچک به سرمایه گذاری های بزرگ و بر اساس نرخ های بازدهی نسبی صورت می پذیرد.

بر اساس ادبیات مالی، مدیریت ریسک<sup>۲</sup> زمینه لازم برای بودجه بندی ریسک<sup>۳</sup>، ارزیابی عملکرد مدیران پرتفوی و تعیین راهبردهای سرمایه گذاری متناسب با درجه ریسک پذیری سرمایه گذاران را فراهم می آورد. مدیریت ریسک کاربرد نظام مند سیاست های مدیریتی، رویه ها و فرایندهای مربوط به فعالیتهای تحلیل، ارزیابی و کنترل ریسک است. به بیانی دیگر، مدیریت ریسک فرایندی شامل دو مرحله اصلی است: مرحله تخمین ریسک؛ شامل شناسایی، تحلیل و اولویت بندی و مرحله کنترل ریسک؛ شامل مراحل برنامه ریزی مدیریت ریسک، برنامه ریزی نظارت ریسک و اقدامات اصلاحی (یانگ و اینگال، ۲۰۰۷).

شرکت های مالی همواره در معرض خطرات ناشی از ریسک قرار دارند. در چند سال گذشته بنا به دلایلی، اندازه گیری ارزش در معرض ریسک (VaR)<sup>۴</sup> از اهمیت روز افزونی برای شرکت های مالی برخوردار شده است. این پژوهش از بین معیارهای متعدد ریسک، معیار VaR را با رویکرد جدیدی برای محاسبه ریسک بازارها ارائه می کند. VaR توصیف کننده ای برای نشان دادن حداکثر کاهش بالقوه در ترکیبی از ابزارهای مالی در دوره مشخصی از زمان با سطح

- 
1. Supply leading
  2. Risk management
  3. Risk budgeting
  4. Value at Risk

داده‌شده‌ای از احتمال است. تخمین VaR بر اساس سه رویکرد پارامتریک، نیمه‌پارامتریک و ناپارامتریک انجام می‌گیرد. رویکرد ناپارامتریک، تجربی و داده‌محور است و فهم محدودی را از رشد تکاملی و پیچیده ریسک به دست می‌دهد. رویکرد پارامتریک نیز علی‌رغم به کارگیری در پژوهش‌های متعدد و کمک به کشف برخی از خواص داده‌ها، همچون ناهمسانی واریانس، میانگین بازگشتی<sup>۱</sup> و... با توجه به فروض اصلی، توانایی به کارگیری داده‌هایی با ماهیت و ساختار چندمقیاسی داده‌های سری زمانی در مطالعات را ندارد. پژوهش پیش رو، با استفاده از رویکرد تلفیقی شبه‌پارامتریک<sup>۲</sup>، رویکرد جمعی غیرخطی مبتنی بر آنالیز موجک و مدل GARCH را پیشنهاد کرده است. در اغلب مطالعات انجام گرفته چه در ایران و چه در سطح بین‌المللی، ارزش در معرض ریسک مدل‌های پارامتریک و مدل‌های ترکیبی شبه‌پارامتریک با استناد به روش‌های ARCH و GARCH برآورد شده است که این روش‌ها از نقص‌ها و نارسایی‌هایی برخوردارند. این مدل‌ها، واریانس را فقط از طریق واریانس شرطی محاسبه می‌کنند و فرض می‌کنند واریانس غیرشرطی ثابت است که به موجب آن، اغلب تخمین‌های نادرستی از واریانس ارائه می‌دهند. دلیل اصلی آن را می‌توان به لحاظ‌نکردن شکست‌های ساختاری و تغییرات رژیم این مدل‌ها در مطالعات نسبت داد (کاروناراتنه و بهار، ۲۰۱۱). رویکرد شبه‌پارامتریک مزیت‌های دو رویکرد ناپارامتریک و پارامتریک را با هم ترکیب می‌کند و با بررسی ماهیت چندمقیاسی و پرنوسان ریسک، به کمک مدل‌های تغییر رژیم مارکوف، تورش تخمین را کاهش می‌دهد.

ترکیب آنالیز موجک و مدل‌های سنتی در فضای مدل‌سازی چندمقیاسی<sup>۳</sup>، همانند ابداع روش آنالیز موجک برای مدل‌سازی ریسک، از زمان رمزی و جانگ (۱۹۹۹ و ۲۰۰۲) و کاربرد آنالیز موجک در رشته اقتصاد و آنالیز داده‌های مالی، پدیده جدیدی است. آنالیز موجک می‌تواند ماهیت چندمقیاسی داده‌ها را بر اساس شواهد تجربی بررسی کند. بنابراین ایده فوق، گام مؤثری برای ترکیب آنالیز موجک و سایر روش‌های ارائه شده برای بهبود عملکرد مدل است. در این گونه رویکردها، آنالیز موجک به مثابه ابزار پیش‌پردازش<sup>۴</sup> برای آنالیز داده‌های تاریخی چندمقیاسی به کار برده می‌شود. مطالعات اندکی به منظور معرفی آنالیز موجک برای مدل‌سازی ریسک و افزایش عملکرد بالقوه آن در مقایسه با سایر روش‌های مرسوم انجام شده است.

هدف اصلی این مطالعه از همین نکته نشئت می‌گیرد. در این مطالعه تلاش شده است با استفاده از رویکردی ترکیبی در محاسبه ارزش در معرض ریسک، از روشی استفاده شود که

1. Mean reverting
2. Semi-parametric
3. Multi-scale
4. Preprocessing

توانمندی‌های بیشتری نسبت به روش‌های رایج داشته باشد. در این مطالعه به منظور مقایسه نتایج تخمین ارزش در معرض ریسک با استفاده از روش ترکیبی آنالیز موجک و مدل‌های GARCH، آزمون نرخ شکست کوپیک و میانگین مجذور اجرا می‌شود.

## پیشینه نظری پژوهش

### آنالیز موجک

آنالیز موجک می‌تواند سری‌های زمانی را در مقیاس‌های زمانی مختلف تجزیه کند (این، کیم، مارسیتی و راف، ۲۰۰۸)؛ به طوری که با تحلیل‌های فرکانس زمانی، کاربردهای فراوانی را در مدل‌سازی سری‌های زمانی اقتصادی و مالی فراهم می‌آورد (جنسن، جانسون و مرکر، ۲۰۰۲). آنالیز موجک به صورت گسترده در سری‌های زمانی غیرایستا به کار رفته است (ناسون و ون ساچس، ۱۹۹۹). در آنالیز موجک، سیگنال به صورت ترکیب خطی از توابع موجک نشان داده می‌شود (سفتز و اوزون، ۲۰۰۷). بر اساس طول داده‌ها، دو موج اصلی در موجک‌ها وجود دارد؛ اولین موج، تبدیل موجک پیوسته (CWT)<sup>۱</sup> است که برای کار با سری‌های زمانی تعریف شده بر محور حقیقی کامل به کار می‌رود و موجک دوم، تبدیل موجک گسسته (DWT)<sup>۲</sup> است که در جداسازی سری داده در اجزای فرکانس متفاوت، به منظور آزمایش عمق سری داده مطالعه می‌شود (کونلون، کران و راسکین، ۲۰۰۸). موجک‌ها دو نوع هستند: موجک پدر<sup>۳</sup> ( $\phi$ ) و موجک مادر<sup>۴</sup> ( $\psi$ )؛ به طوری که:

$$\int \psi(t) dt = 0 \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\int \phi(t) dt = 1$$

قسمت‌های صاف با فرکانس کم هر سیگنال با استفاده از موجک پدر نشان داده می‌شود و موجک مادر، برای نشان دادن قسمت‌هایی با جزئیات زیاد و فرکانس بالا به کار می‌رود. رابطه‌های ۲ و ۳ به ترتیب موجک‌های پدر و مادر را نشان می‌دهد.

$$\phi_{j,k}(t) = 2^{-\frac{j}{2}} \phi\left(\frac{t - 2^j k}{2^j}\right) \quad \text{رابطه ۲}$$

- 
1. Continuous Wavelet Transform
  2. Discrete Wavelet Transform
  3. Father wavelets
  4. Mother wavelets

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{-\frac{j}{2}} \psi\left(\frac{t - 2^j k}{2^j}\right) \quad \text{رابطه ۳}$$

توابع موجک تقریب‌زننده  $\phi_{j,k}(t)$  و  $\psi_{j,k}(t)$ ، نسخه‌های ترجمه‌شده و مقیاس‌بندی‌شده  $\psi$  و  $\phi$  هستند که در آن  $2^j$ ، فاکتور مقیاس یا اتساع است. عادی‌ترین موجک‌های استفاده‌شده، موجک‌های متعامد<sup>۱</sup> هستند؛ مانند هار<sup>۲</sup>، سیملتس<sup>۳</sup> و دابچیس<sup>۴</sup> (فرناندز، ۲۰۰۶). تخمین سری موجک متعامد به هر سیگنال  $f(t)$ ، از طریق رابطه ۴ به دست می‌آید. در این رابطه؛  $J$  تعداد مقیاس‌های چندتحلیلی و  $k$  دامنه‌ای از یک تا تعداد ضرایب در اجزای متناظر است.

$$f_j(t) = \sum_k S_{j,k} \phi_{j,k} + \sum_k d_{j,k} \psi_{j,k}(t) + \dots + \sum_k d_{j,k} \psi_{j,k}(t) \quad \text{رابطه ۴}$$

رابطه‌های ۵ و ۶ ضرایب جزئیات  $(d_{j,k}, \dots, d_{l,k})$ ، نوسان‌های فرکانس بالاتر و انحراف‌های مقیاس ریز روند<sup>۵</sup> را نشان می‌دهند؛ به علاوه ضرایب  $S_{j,k}$ ، ضرایب صاف بوده و روند را می‌گیرند.

$$d_{j,k} = \int \psi_{j,k}(t) f(t) dt; \quad j = 1, \dots, J \quad \text{رابطه ۵}$$

$$S_{j,k} = \int \phi_{j,k}(t) f(t) dt \quad \text{رابطه ۶}$$

تقریب سری موجک از سیگنال اصلی  $f(t)$ ، به صورت رابطه ۷، از بخش‌های سیگنال جزئیات و سیگنال صاف تشکیل شده است. عبارت‌های رابطه ۷ تجزیه سیگنال در اجزای سیگنال متعامد  $S_j(t), D_j(t), D_{j-1}(t), D_1(t)$  را در مقیاس‌های مختلف نشان می‌دهد.

$$f(t) \approx S_j(t) + D_j(t) + D_{j-1}(t) + \dots + D_1(t) \quad \text{رابطه ۷}$$

تخمین رابطه ۸ تجزیه چندتحلیله (MRD)<sup>۶</sup> نامیده می‌شود. بنابراین هر نقطه می‌تواند به‌مثابه مجموعه‌ای از جزئیات موجک و سطح صاف موجک، بر مقیاس‌های زمانی مختلف تجزیه شود. هنگامی که سری زمانی در  $J$  مقیاس تجزیه می‌شود، اگر داده‌های به صورت هفتگی باشند،

1. Orthogonal
2. Haar
3. Symmelets
4. Daubechies
5. Detail
6. Trend
7. Multi-Resolution Decomposition

مقیاس موجک به این صورت است که مقیاس یک، نوسان‌هایی  $(D_1(t))$  با دینامیک ۲ تا ۴ هفته؛ مقیاس دو، نوسان‌هایی  $(D_2(t))$  با دینامیک ۴ تا ۸ هفته و ... و مقیاس  $J$ ، نوسان‌هایی  $(D_J(t))$  با دینامیک  $J^L$  تا  $3^J$  هفته را نشان می‌دهد؛ به طوری که پس از کسر نوسان‌ها در  $J$  مقیاس مختلف از سری زمانی اصلی، سری  $S_J(t)$  به دست آمده، نوسان‌های سری زمانی مذکور را در دینامیک‌های بالاتر از  $3^J$  هفته نشان می‌دهد و در واقع نشان‌دهنده روند سری زمانی است.

### ارزش در معرض ریسک

بر اساس فرضیه بازارهای نامتجانس<sup>۱</sup>، قیمت بازار تحت تأثیر عوامل مختلفی چون شرکت‌کنندگان مختلف بازار<sup>۲</sup> (عوامل تشکیل بازار<sup>۳</sup>، معامله‌گران درون‌روزی<sup>۴</sup>، معامله‌گران روزانه<sup>۵</sup>، مبادله‌کنندگان کوتاه‌مدت و بلندمدت و همه استراتژیست‌های مختلف تجاری در افق‌های زمانی مختلف سرمایه‌گذاری) قرار می‌گیرد. فرموله کردن راهبردهای تجاری، از فرایندهای خطی سراسری پایا و نیز پویایی‌های غیرخطی وابسته به مقیاس‌های مختلف زمانی تشکیل می‌شود. از این رو قیمت بازار، هم بی‌ثباتی فرکانس<sup>۶</sup> (راهبردهای تجاری) و هم بی‌ثباتی مقیاس - زمان<sup>۷</sup> (افق زمانی) را منعکس می‌کند. روش‌های پارامتریک سنتی از دسته‌ای از فرضیه‌های پایایی متغیرها در فرایند مدل‌سازی استفاده می‌کردند. برای مثال می‌توان به روش‌شناسی ARMA-GARCH مرسوم اشاره کرد. روش‌های سنتی تا حدی پاسخگوی محاسبه ریسک، به ویژه ارزش در معرض ریسک بودند، اما ماهیت چندمقیاسی داده‌ها گویای لزوم بازنگری در روش‌شناسی محاسبه این معیار ویژه از ریسک است تا علاوه بر بهبود در صحت و افزایش قابلیت اطمینان محاسبه ریسک، معیار ساده‌تری را نیز معرفی کند. در مطالعات گذشته، خواصی مانند میانگین بازگشتی<sup>۸</sup> و واریانس ناهمسانی<sup>۹</sup> به منظور محاسبه ارزش در معرض ریسک، به اندازه کافی در کانون توجه بوده است، اما به برخی از خواص سری‌های زمانی بازارهای مالی توجه نشده است. این خواص شامل آشفتگی<sup>۱۰</sup>، حافظه بلندمدت<sup>۱۱</sup>، رفتار زمانی متنوع داده‌های چندمقیاسی و... است که به توسعه

1. Heterogeneous market hypothesis
2. Market participants
3. Market makers
4. Intraday traders
5. Daily traders
6. Frequency variations
7. Time-scale variations
8. Mean reverting
9. Heteroscedasticity
10. Chaotic
11. Long Memory

روش‌های جدید محاسبه ریسک نیاز دارد. بنابراین خواص و رفتار پیچیده داده‌ها سبب پیچیدگی الگوریتم محاسبه ارزش در معرض ریسک و تصریح مدل می‌شود. الگوریتم پیشنهادی در این مطالعه به صورت شکل ۱ است.



شکل ۱. فرایند محاسبه ارزش در معرض ریسک

منبع: الگوریتم ارائه شده محقق

در الگوریتم آنالیز موجک پیشنهاد شده برای بررسی ماهیت غیرخطی و چندمقیاسی، داده‌هایی وجود دارد. یافته‌های تجربی حاکی از اهمیت شایان توجه اطلاعات در سطح مقیاس - زمان برای فهم بیشتر رفتار پیچیده داده‌هاست، بنابراین منطق روش موجک ترکیبی از اطلاعات در سطح مقیاس - فرکانس<sup>۱</sup> و اطلاعات در سطح مقیاس - زمان است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، تخمین VaR مبتنی بر الگوریتم پیشنهادی شامل چند مرحله است. تخمین VaR بر اساس رویکرد پارامتریک به صورت رابطه ۸ است.

$$VaR_t = \mu_t + \sigma_t G^{-1}(a) \quad \text{رابطه ۸}$$

در این رابطه  $G^{-1}(a)$  معکوس توزیع نرمال تجمعی<sup>۱</sup> است. در فرایند تخمین، به تخمین میانگین شرطی<sup>۲</sup> و انحراف معیار شرطی<sup>۳</sup> بسنده می‌کنیم. در تخمین میانگین شرطی  $\mu_t$ ، فرض می‌کنیم که این میانگین از فرایند ARMA چندمقیاسی که خود ترکیبی از فرایندهای ARMA در مقیاس‌های زمانی متفاوت است، پیروی می‌کند. انحراف معیار شرطی  $\sigma_t$  نیز از فرایند GARCH چندمقیاسی که آن نیز ترکیبی از فرایند GARCH با پارامترهای مختلف در مقیاس‌های زمانی متفاوت است، پیروی می‌کند. به‌طور کلی تخمین میانگین و انحراف معیار شرطی شامل مراحل زیر است:

۱. ابتدا داده‌های اصلی با استفاده از آنالیز موجک به‌صورت رابطه ۹ تجزیه می‌شود.

$$r_t = r_{t,S_j} + \sum_{j=1}^j r_{t,D_j} \quad \text{رابطه ۹}$$

۲. در هر مقیاس بازده بازار سهام به‌صورت رابطه ۱۰ مدل‌سازی شده است.

$$r_{t,S} = \hat{\mu}_{t,S} + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t / I_{t-1} \rightarrow D(0, h_t) \quad \text{رابطه ۱۰}$$

در این رابطه،  $r_{t,S}$  بازده سهام در مقیاس  $S$  موجک و  $\hat{\mu}_{t,S}$  میانگین شرطی در زمان  $t$  و مقیاس  $S$  موجک است. در هر مقیاسی فرض می‌شود که میانگین شرطی از فرایند ARMA پیروی می‌کند، یعنی سطح ارزش جاری<sup>۴</sup> بازده متوسط بازار به‌وسیله ارزش گذشته آن و جمله‌های خطای سفید<sup>۵</sup> گذشته آن برآورد می‌شود. به این ترتیب پس از تخمین پارامترها، در مقیاس‌های متفاوت به‌صورت رابطه ۱۱ پیش‌بینی می‌شوند.

$$\hat{\mu}_{t,S} = a_{0,S} + \sum_{k=1}^r a_{k,S} r_{t-k,S} + \sum_{j=1}^m b_{j,S} \varepsilon_{t-j,S} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

در این رابطه،  $r_{t-k,S}$  وقفه  $k$  بازده  $r$  در مقیاس  $S$  موجک،  $\varepsilon_{t-j,S}$  وقفه  $j$  ام پسماند در مقیاس  $S$  موجک،  $a_{0,S}$  جمله ثابت،  $a_{k,S}$  پارامتر بازده با وقفه و  $b_{j,S}$  پارامتر پسماند با وقفه در مقیاس  $S$  موجک است.

- 
1. Cumulative normal distribution
  2. Conditional mean
  3. Conditional standard deviation
  4. Current value
  5. White noise terms



۳. در هر مقیاسی فرض می‌شود که واریانس استاندارد شرطی از فرایند GARCH(1,1) پیروی می‌کند. به این ترتیب در هر مقیاسی پس از تخمین پارامترها، انحراف معیار شرطی همانند رابطه ۱۲ به صورت مجزا تخمین زده می‌شود.

$$\hat{\sigma}_{t,s}^2 = \omega_s + \varphi_s \varepsilon_{t-1} + \beta_s \sigma_{t-1,s}^2 \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

که در این رابطه،  $\hat{\sigma}_{t,s}^2$  واریانس شرطی در زمان  $t$  و مقیاس  $s$ ام موجک است.  
 ۴. همان‌طور که می‌توان داده‌های تجزیه‌شده تبدیل موجک را با هم ترکیب کرد و به سری‌های زمانی اصلی رسید (به طوری که اعتبار آن طبق خاصیت «حفظ انرژی»<sup>۱</sup> آنالیز موجک حفظ می‌شود)، میانگین شرطی نیز می‌تواند به صورت رابطه ۱۳ از حاصل جمع میانگین‌های شرطی در هر مقیاس منفرد<sup>۲</sup> محاسبه شود.

$$\hat{\mu}_t = \hat{\mu}_{t,s_j} + \sum_{j=1}^j \hat{\mu}_{t,D_j} \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

۵. همان‌طور که در رابطه ۱۴ نشان داده شده است، واریانس شرطی نیز در هر سطحی به کمک آنالیز موجک ترکیب شده است و واریانس شرطی نیز می‌تواند از حاصل جمع میانگین‌های شرطی در هر مقیاس منفرد محاسبه شود.

$$\hat{\sigma}_t^2 = \hat{\sigma}_{t,s_j}^2 + \sum_{j=1}^j \hat{\sigma}_{t,D_j}^2 \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

### پیشینه تجربی پژوهش

روش‌های متعددی برای محاسبه ارزش در معرض ریسک پیشنهاد شده است که در چهار گروه کلی روش‌های پارامتریک (مدل‌های اقتصادسنجی)، روش‌های ناپارامتریک (شبیه‌سازی تاریخی)<sup>۳</sup>، روش‌های شبه‌پارامتریک و روش شبیه‌سازی مونت کارلو، دسته‌بندی می‌شوند. برای نمونه، منگلی و انگل (۲۰۰۱) و هندریکس (۱۹۹۶)، مبانی نظری و عملکرد تجربی این روش‌ها را بررسی کردند. پاگان و شورتز (۱۹۹۰) نیز به مطالعه عملکرد روش‌های پارامتریک در مقایسه با روش‌های ناپارامتریک پرداختند. هریک از این روش‌ها به دنبال توضیح تمام یا بخشی از وقایع آشکارشده بازارهای مالی است. تجزیه و تحلیل روش پارامتریک بر اساس فرضیه‌های محکمی بنا

1. Preservation of energy
2. Individual scales
3. Historical simulation

شده است. این روش پیشگام روش‌های اندازه‌گیری ریسک به‌شمار می‌رود. مطالعات متعددی حاکی از عملکرد مطلوب روش پارامتریک در توضیح ویژگی‌های داده‌های مالی است که از جمله آنها می‌توان به پژوهش‌های سویو (۲۰۰۶)، گیوت و لورنت (۲۰۰۴)، چان، دنگ، پنگ و ژی (۲۰۰۵)، پوجارلف و پلاسک (۲۰۰۰) و هندریکس (۱۹۹۶) اشاره کرد. همچنین پاگان و شوارتز (۱۹۹۰) نشان دادند روش‌های پارامتریک در برآوردهای خارج از نمونه، عملکرد بهتری را نسبت به روش‌های غیرپارامتریک دارند؛ زیرا مدل ناپارامتریک (شامل روش‌های سنتی مانند شبیه‌سازی تاریخی و شبکه‌های عصبی مصنوعی) فرض می‌کند توزیع هم از لحاظ زمانی و هم از لحاظ مکانی ثابت است که چنین فرضی اغلب در عمل نقض می‌شود. ضمن اینکه به‌تازگی این روش در مواجهه با تقاضای روزافزون برای دقت بهتر و بیشتر در تخمین‌های VaR دچار مشکل شده است؛ ماهیت غیرخطی و چندمقیاسی داده‌ها که در روش‌های تجربی اخیر به‌دست آمده است، روش‌های پارامتریک را دچار مشکل کرده است؛ چون فرضیه‌های آنها اغلب در عمل نقض می‌شوند (هی، ژی، چن و لای، ۲۰۱۰).

روش شبه‌پارامتریک، برای برقراری تعادل بین دو روش قبلی به‌وجود آمده است. مطالعات پراکنده‌ای در این زمینه وجود دارد که شامل روش‌های میان‌رشته‌ای زیادی چون آنالیز موجک<sup>۱</sup>، ارزش نهایی<sup>۲</sup> و غیره می‌شود. ایده اصلی در این روش این است که فرضیه‌های سخت روش‌های پارامتریک را کنار می‌گذارد و از روش‌های ناپارامتریک استفاده می‌کند، اما هنوز راحتی و منطقی بودن روش‌های ریاضی، روش پارامتریک را حفظ می‌کند. بر این اساس در پژوهش پیش رو از روش شبه‌پارامتریک مبتنی بر آنالیز موجک استفاده شده است؛ به‌طوری که این روش، مزیت‌های روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک را با هم ترکیب می‌کند.

ایده اصلی روش شبه‌پارامتریک از ایده مطرح‌شده باتس و گرینجر (۱۹۶۹) مبنی بر ترکیب روش‌های پیش‌بینی نشئت می‌گیرد. بر اساس ایده آنها باید پیش‌بینی‌ها را با هم ترکیب کرد و آنها را میانگین تک‌پیش‌بینی‌ها در نظر گرفت. ترکیب پیش‌بینی‌ها را می‌توان از طریق ترکیب تمام پیش‌بینی‌ها یا ترکیب مدل‌ها تخمین زد؛ به‌طوری که ترکیب پیش‌بینی‌ها، به‌کمک روش‌های هوش مصنوعی تخمین زده شود. لی (۲۰۰۵) و سفت و ازون (۲۰۰۷) شبکه‌های عصبی<sup>۳</sup> را برای ترکیب تک‌تک پیش‌بینی‌ها پیشنهاد کردند. لی (۲۰۰۵) شبکه‌های عصبی را با مدل‌های GARCH و تخمین تاریخی<sup>۴</sup> ترکیب کرد و به این نتیجه رسید که ترکیب تخمین‌های

1. Wavelet analysis
2. Extreme value
3. Neural networks
4. Historical estimation

تاریخی با GARCH و شبکه‌های عصبی، قدرت پیش‌بینی را افزایش می‌دهد. افزون‌بر این، از آنالیز موجک<sup>۱</sup> - که در مرحله مدل‌سازی داده‌های مالی به‌کار می‌رود - می‌توان برای تخمین مدل‌های پیش‌بینی مالی نامتجانس استفاده کرد. ترکیب تبدیل موجک و مدل‌های GARCH را چی و کی - جن (۲۰۰۶)، هی و همکاران (۲۰۱۰)، لای، کای‌جین، چی و چن (۲۰۰۶) و تان، ژانگ، وانگ و ژو (۲۰۱۰) معرفی کردند؛ آنها آزمون کوپیک (۱۹۹۵) را برای آزمون برگشتی<sup>۲</sup> اجرا کردند. بر اساس نتایج مقاله هی و همکاران (۲۰۱۰)، مدل پیشنهادی آنها از مدل ARMA-GARCH بهتر عمل کرده است و تعداد و نوسان‌های آن از مدل ARMA-GARCH بیشتر بوده است. چی و کی - جن (۲۰۰۶) و لای و همکاران (۲۰۰۶)، ارزش در معرض ریسک تجزیه‌شده موجک<sup>۳</sup> را پیشنهاد کردند. هی و همکاران (۲۰۱۰) مدل‌های ARMA-GARCH نوین‌زدایی‌شده موجک<sup>۴</sup> را برای محاسبه ارزش در معرض ریسک مطرح کردند. سیفتر (۲۰۱۱) نیز با استفاده از ترکیب آنالیز موجک و تئوری ارزش حدی (EVT)<sup>۵</sup>، برای تخمین ارزش در معرض در بازارهای نوظهور (EM)<sup>۶</sup> به تخمین‌های دقیق‌تری نسبت به سایر روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک دست یافته است.

فلاح‌پور و احمدی (۱۳۹۳) در مقاله‌ای با عنوان «تخمین ارزش در معرض ریسک پرتفوی نفت و طلا با استفاده از روش کاپیولا - گارچ» به این نتیجه رسیدند که در مقایسه با روش‌های سنتی، روش کاپیولا - گارچ، ریسک پرتفوی را با دقت بیشتری محاسبه می‌کند. فدایی‌نژاد و اقبال‌نیا (۱۳۸۵) نیز در پژوهشی که انجام دادند، مدیریت ریسک سرمایه‌گذاری در بازار بورس اوراق بهادار تهران را با استفاده از روش در معرض ریسک مدل‌سازی کردند. سعیدی و افخمی (۱۳۹۱) نتایج پژوهشی را در مقاله‌ای با عنوان «بررسی رابطه ریسک، بازده و نقدشوندگی با سهام شناور آزاد در بورس اوراق بهادار تهران» نگاشتند. نتایج به‌دست‌آمده از روش رگرسیون معمولی و رگرسیون تعمیم‌یافته، بین درصد سهام شناور آزاد و بازده و همچنین بین میزان سهام شناور آزاد و ریسک، رابطه معناداری را گزارش نکرد. با این حال، بین درصد سهام شناور آزاد و رتبه نقدشوندگی رابطه معنادار تأیید شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از روش رگرسیون معکوس تعمیم‌داده‌شده، بین درصد سهام شناور آزاد و ریسک، رابطه معناداری مشاهده شده است.

- 
1. Wavelets analysis
  2. Backtesting
  3. Wavelet-decomposed
  4. Wavelet denoising
  5. Extreme Value Theory
  6. Emerging Markets

نوروززاده (۱۳۸۵) کارایی روش ارزش در معرض ریسک را در بازار بورس تهران بررسی کرد. پیکارجو، شهریار و نوراللهی (۱۳۸۸) نیز ریسک دارایی شرکت‌ها و مؤسسه‌های مالی را با استفاده از روش ارزش در معرض ریسک اندازه‌گیری کردند.

بر اساس نتایج مقاله‌ای با عنوان «مقایسه عملکرد مدل‌های GARCH چندمتغیره در تعیین ریسک پرتفوی»، گرچه مدل CCC، ماتریس واریانس را بهتر تخمین می‌زند، مدل DECO-GARCH به دلیل به کارگیری کامل‌تر اطلاعات ماتریس همبستگی، بهتر از سایر مدل‌ها ارزش در معرض ریسک را محاسبه می‌کند (رستمی و حقیقی، ۱۳۹۲).

نتایج مطالعه یعقوب‌نژاد، سعیدی و روضه‌ای (۱۳۸۹) نشان می‌دهد که مدل لالی (تأثیر اهرم‌های بازار)، در مقایسه با مدل‌های ایبوتسون و سیگل به شکل قوی‌تری بازده سهام را تبیین می‌کند که این موضوع را می‌توان به استفاده زیاد شرکت‌های بورس تهران از اهرم مالی نسبت داد.

### روش‌شناسی پژوهش

کفایت (شایستگی) مدل قبل از اینکه در عمل به کار گرفته شود، به ارزیابی نیاز دارد. در این پژوهش به منظور بررسی دقت مدل‌های تخمین ارزش در معرض ریسک، از آزمون نرخ شکست استفاده شده است که به صورت نسبت زیان‌های متجاوز از ارزش در معرض ریسک به دست آمده در نمونه معینی از بازده‌ها تعریف می‌شود (به‌باک، ۲۰۰۸). آزمون نرخ شکست کوپیک مبتنی بر این است که اگر سطح معناداری برای محاسبه ارزش در معرض ریسک برابر  $p$  درصد منظور شود، نسبت  $(x/N)$  بین تعداد استثناها ( $x$ ) و تعداد ارزش در معرض ریسک‌های پیش‌بینی شده ( $N$ ) باید به  $1-p$  درصد نزدیک باشد. اگر نسبت مذکور بزرگ‌تر از  $1-p$  درصد باشد، معیار ارزش در معرض ریسک بررسی شده، ریسک سید را به درستی بیان نکرده و آن را دست کم گرفته است. در حالت عکس، سید زیادتر از مقدار واقعی برآورد شده است (گریگور، ۲۰۰۸). نرخ شکست را می‌توان به صورت رابطه ۱۵ تعریف کرد.

$$f = \frac{1}{N} \sum_{t=T-N+1}^T l[r_t - VaR_{t,\alpha}] \quad \text{رابطه ۱۵}$$

به طوری که  $N$  تعداد روزهای خارج از نمونه،  $T$  تعداد کل مشاهدات،  $r_t$  بازده مشاهده شده در زمان  $t$  و  $VaR_{t,\alpha}$  ارزش در معرض ریسک تعیین شده در زمان  $t$  را بیان می‌کند (باونس، عمران و رنجی‌فو، ۲۰۰۶). کوپیک نشان داد در صورتی که فرض ثابت بودن احتمال استثنا باشد، عدد

استثنا  $(\sum I_{t+1})$  توزیع دوجمله‌ای را دنبال خواهد کرد. مقیاس دقیق برای اندازه‌گیری ارزش در معرض ریسک باید پوشش غیر شرطی<sup>۱</sup>  $(\hat{\alpha} = \sum I_{t+1}/N)$  برابر با  $\alpha$  درصد، ایجاد کند. آزمون پوشش غیر شرطی پیشنهادی کوپیک، فرضیه صفر  $H_0: \hat{\alpha} = \alpha$  در مقابل فرضیه  $H_1: \hat{\alpha} \neq \alpha$  به همراه آماره نسبت درست‌نمایی<sup>۲</sup> نشان داده شده در رابطه ۱۶ را دارد. آماره LR کوپیک از توزیع  $\chi^2$  مجانب با درجه آزادی ۱ برخوردار است (اباد و بنیتو، ۲۰۰۹).

$$LR_{UC} = 2[\log(\hat{\alpha}^x(1 - \hat{\alpha})^{N-x}) - \log(\alpha^x(1 - \alpha)^{N-x})] \quad (\text{رابطه ۱۶})$$

بر اساس آزمون شکست کوپیک، فرضیه صفر مبنی بر برابری نرخ شکست محاسبه می‌شود و سطح اطمینان مد نظر  $(H_0: \hat{\alpha} = \alpha)$ ، در صورتی قبول می‌شود که مقدار آماره LR از ارزش بحرانی توزیع  $\chi^2$  با درجه آزادی یک کمتر باشد. اگر آماره LR به دست آمده از ارزش بحرانی  $\chi^2$  بیشتر شود، فرضیه صفر رد می‌شود و کارانبودن مدل به کار رفته در تخمین ارزش در معرض ریسک را نشان می‌دهد.

صحت پیش‌بینی نیز از طریق میانگین مجذور خطا ارزیابی خواهد شد. MSE انحراف ارزش پیش‌بینی شده از ارزش واقعی آن را محاسبه می‌کند و از رابطه ۱۷ به دست می‌آید.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\hat{f}_i(x) - f_i(x)]^2 \quad (\text{رابطه ۱۷})$$

که در آن N تعداد مشاهدات،  $\hat{f}_i(x)$  ارزش پیش‌بینی شده و  $f_i(x)$  ارزش واقعی مشاهده‌ها است.

## یافته‌های پژوهش

### داده‌ها و متغیرهای پژوهش

در این مقاله به منظور آزمایش الگوریتم پیشنهاد شده از داده‌های هفتگی شاخص قیمت بورس اوراق بهادار تهران (TEPIX)<sup>۳</sup> در بازه زمانی اول فروردین ۱۳۸۲ تا اول بهمن ۱۳۹۰ استفاده شده است. به کمک رابطه ۱۸، لگاریتم نسبت شاخص قیمت بورس اوراق بهادار تهران در هر دوره نسبت به دوره قبل در ۱۰۰ ضرب شده و بازده سهام بورس اوراق بهادار تهران در نظر گرفته می‌شود (الوی و جمازی، ۲۰۰۸).

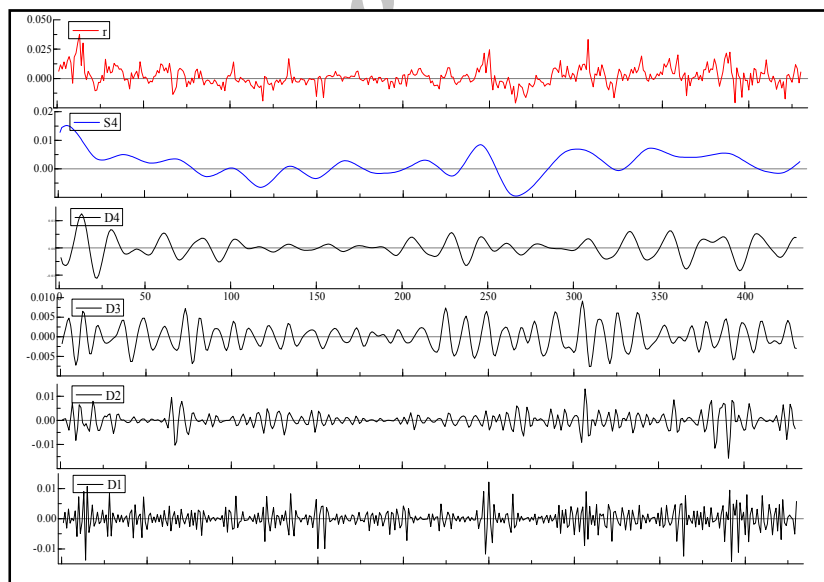
$$r_t = 100 \times \ln \left( \frac{TEPIX_t}{TEPIX_{t-1}} \right) \quad (\text{رابطه ۱۸})$$

1. Unconditional Coverage
2. Likelihood Ratio Statistic
3. Tehran Exchange Price Index

### محاسبه ارزش در معرض ریسک

همان‌طور که پیش از این ذکر شد، در این مقاله الگوریتم پیشنهادی برای محاسبه ارزش در معرض ریسک، شامل پنج مرحله است:

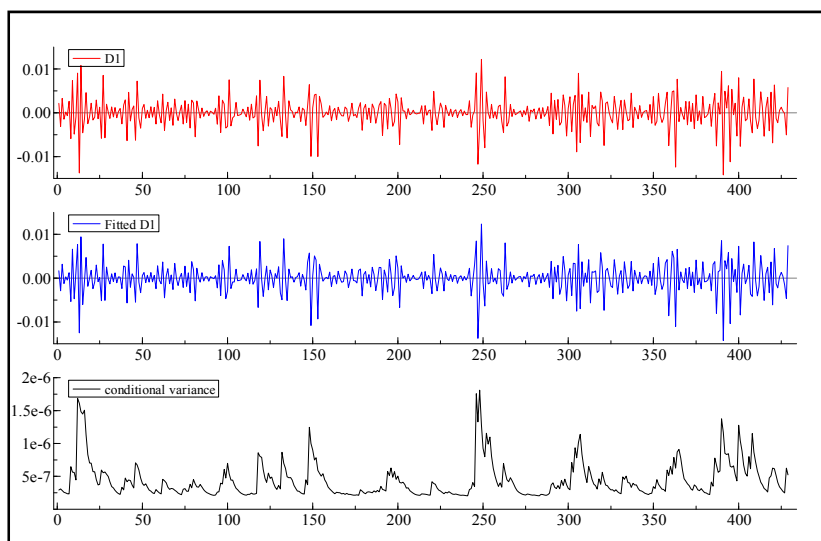
**مرحله اول:** این مرحله به تجزیه سری بازده سهام به مقیاس‌های زمانی مختلف اختصاص دارد. همان‌طور که پیش از این اشاره شد، از آنجاکه داده‌های هفتگی استفاده می‌شود، مقیاس یک نوسان‌هایی ( $D_1(t)$ ) با دینامیک ۲ تا ۴ هفته، مقیاس دو نوسان‌هایی ( $D_2(t)$ ) با دینامیک ۴ تا ۸ هفته، مقیاس سه نوسان‌هایی ( $D_3(t)$ )، با دینامیک ۱۶ تا ۳۲ هفته، مقیاس چهار نوسان‌هایی ( $D_4(t)$ ) با دینامیک ۱۶ تا ۳۲ هفته و مقیاس پنج نوسان‌هایی ( $D_5(t)$ ) با دینامیک ۳۲ تا ۶۴ هفته را نشان می‌دهد. برای هر سهام فقط برای چهار مقیاس محاسبه می‌شود؛ زیرا از داده‌های ۸ سال استفاده شده است. مقیاس پنج، نه تنها نوسان‌های  $D_5(t)$  (با دینامیک تقریباً یک‌ساله) را شامل می‌شود، نوسان‌های  $S_5(t)$  (با دینامیکی بیشتر از یک سال) را نیز دربرمی‌گیرد. بنابراین هنگام تجزیه سری زمانی، نمی‌توان  $D_5(t)$  را از  $S_5(t)$  جدا کرد (جنسن و همکاران، ۲۰۰۲). بر این اساس در این مقاله ابتدا با استفاده از موجک مرتبه ۸ دابچیس، نوسان‌های داده‌های بازده هفتگی بازار ( $r_t$ ) را در هر یک از چهار مقیاس محاسبه می‌کنیم. نتایج حاصل از تجزیه موجک سری بازده سهام در شکل ۲ مشاهده می‌شود.



شکل ۲. تجزیه سری بازده سهام در مقیاس‌های زمانی مختلف

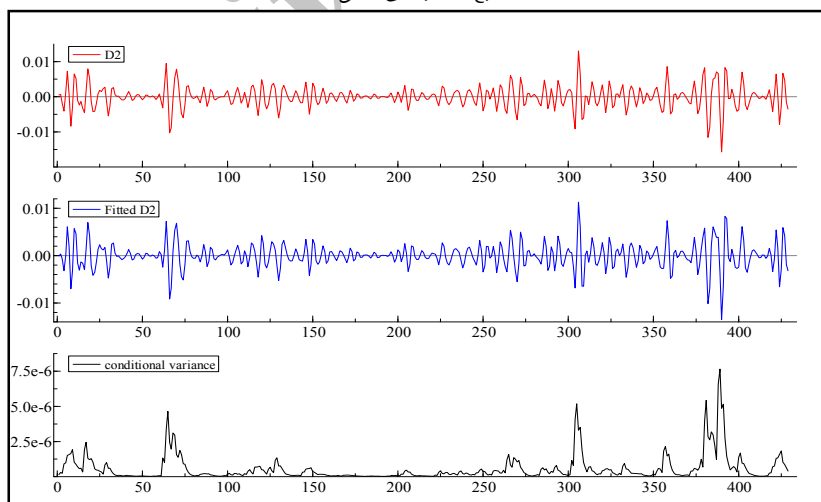
منبع: محاسبات محقق

مرحله دوم: این مرحله شامل تخمین میانگین و واریانس شرطی مقیاس‌های موجک محاسباتی در مرحله قبل با استفاده از مدل ARMA-EGARCH و رابطه‌های ۱۱ و ۱۲ است. نتایج تخمین تجزیه موجک در مقیاس‌های زمانی مختلف و نتایج تخمین مدل MS-ARMA-EGARCH برای هر مقیاس موجک در شکل‌های ۳ تا ۷ مشاهده می‌شود.



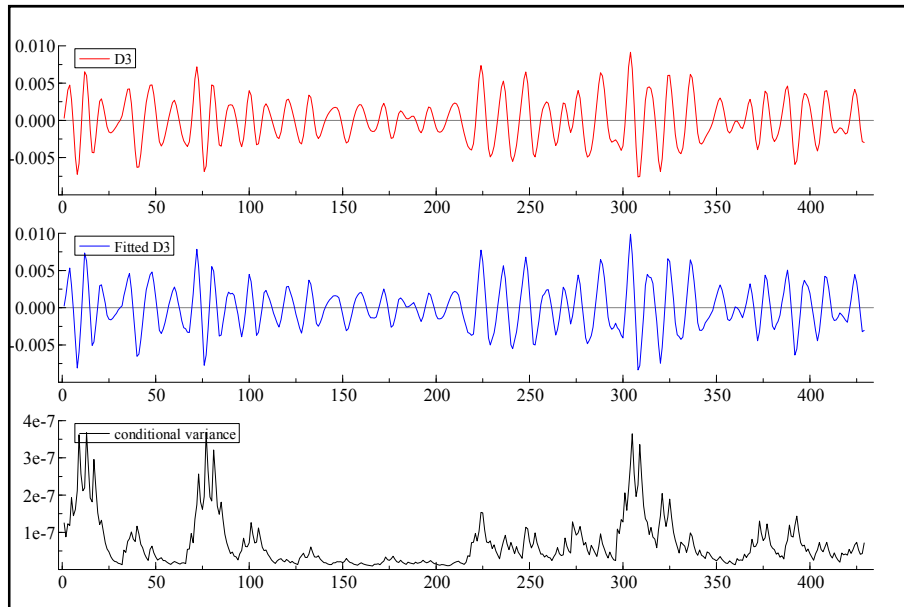
شکل ۳. مقیاس  $D_1(t)$  موجک و تخمین مدل ARMA-EGARCH

منبع: محاسبه‌های محقق

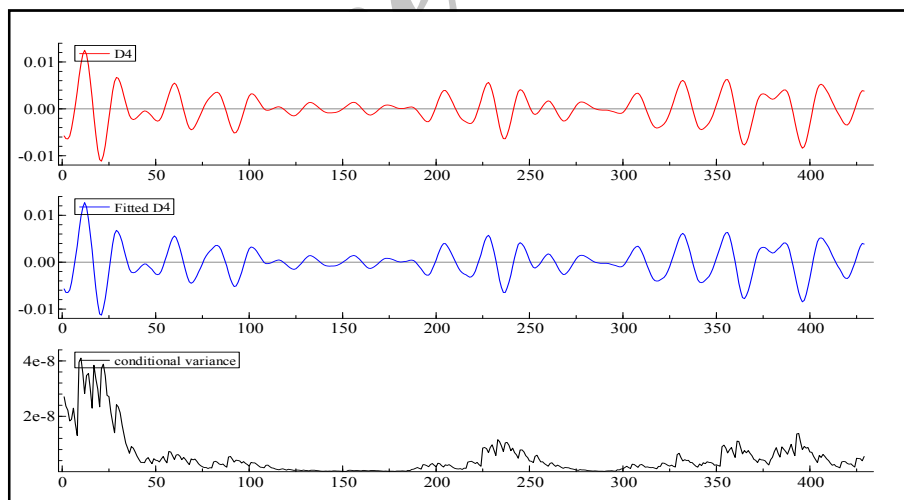


شکل ۴. مقیاس  $D_2(t)$  موجک و تخمین مدل ARMA-EGARCH

منبع: محاسبه‌های محقق

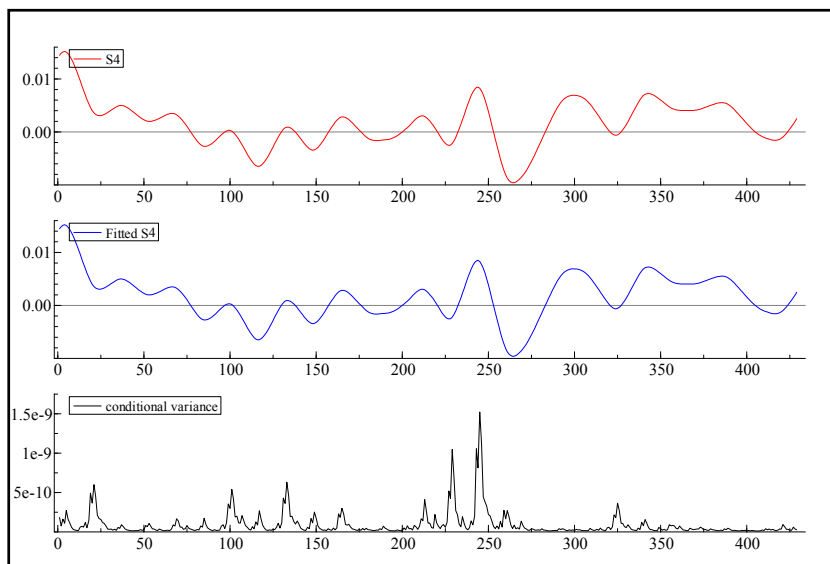
شکل ۵. مقیاس  $D_3(t)$  موجک و تخمین مدل ARMA-EGARCH

منبع: محاسبه‌های محقق

شکل ۶. مقیاس  $D_4(t)$  موجک و تخمین مدل ARMA-EGARCH

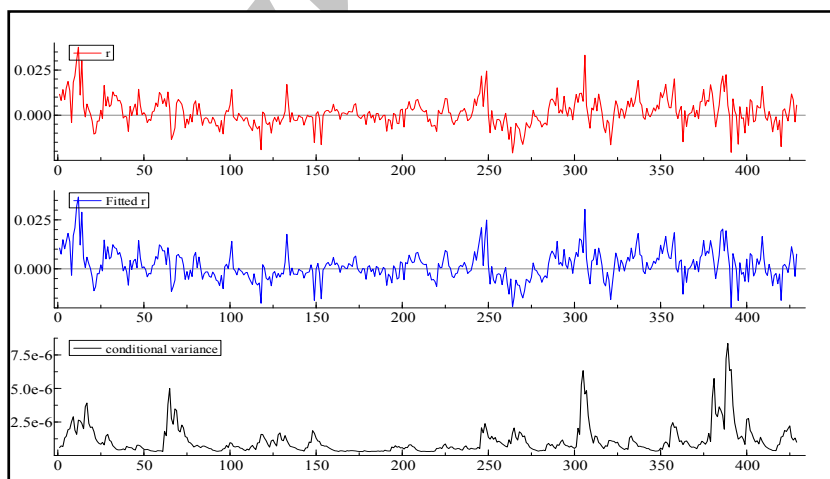
منبع: محاسبه‌های محقق





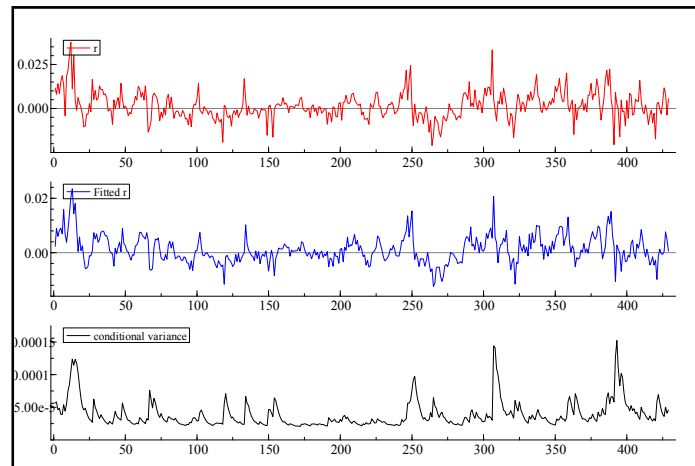
شکل ۷. مقیاس  $S_4(t)$  موجک و تخمین مدل ARMA-EGARCH

مرحله سوم: در این مرحله، بر مبنای رابطه‌های ۱۳ و ۱۴، میانگین و واریانس شرطی مقیاس‌های موجک به‌دست‌آمده از مرحله دوم با هم ترکیب‌شده و میانگین و واریانس شرطی متغیر بازده سهام محاسبه می‌شود. نتایج این فرایند در شکل ۸ مشاهده می‌شود.



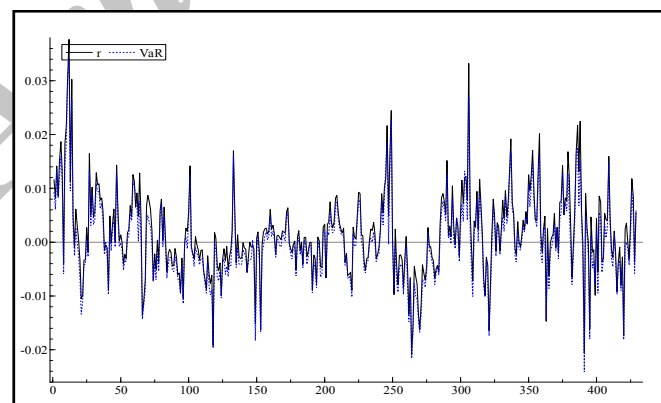
شکل ۸. تخمین میانگین و واریانس شرطی بازده بازار سهام با استفاده از مدل ARMA-EGARCH و آنالیز موجک

شکل ۹ مقایسه‌ای از نتایج الگوریتم پیشنهادشده این مقاله را با مطالعات گذشته نشان می‌دهد. برای این کار میانگین و واریانس شرطی بازده بازار سهام با استفاده از مدل ARMA-EGARCH و بدون استفاده از آنالیز موجک محاسبه شده است.

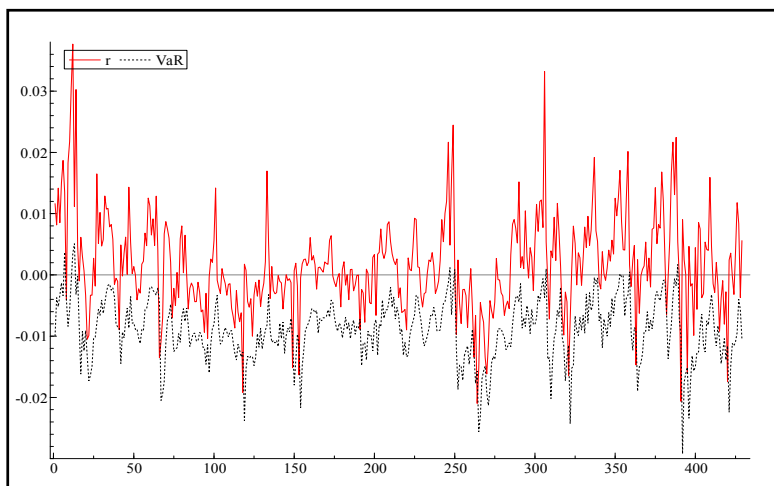


شکل ۹. تخمین میانگین و واریانس شرطی بازده بازار سهام با استفاده از مدل ARMA-EGARCH

مرحله چهارم: در این مرحله با استفاده از رابطه ۸، در سطح اطمینان ۹۵، ۹۷ و ۹۹ درصد، ارزش در معرض ریسک سری بازده سهام بورس اوراق بهادار تهران محاسبه می‌شود. نتایج این تخمین در سطح اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از الگوریتم پیشنهادی این پژوهش (شکل ۱۰) و با استفاده از مدل ARMA-EGARCH (شکل ۱۱) مشاهده می‌شود.



شکل ۱۰. تخمین VaR بازده بازار سهام با استفاده از مدل ARMA-EGARCH و آنالیز موجک



شکل ۱۱. تخمین VaR بازده بازار سهام با استفاده از مدل ARMA-EGARCH در سطح ۵ درصد

### بررسی دقت مدل‌های تخمین ارزش در معرض ریسک

در این بخش با اجرای آزمون نرخ شکست کوپیک و میانگین مجذور خطا، نتایج تخمین ارزش در معرض ریسک الگوریتم پیشنهادشده این پژوهش با نتایج تخمین ارزش در معرض ریسک مدل ARMA-EGARCH سنتی مقایسه شده است. نتایج این مقایسه در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱. مقایسه تخمین ارزش در معرض ریسک الگوریتم پیشنهادی و مدل ARMA-EGARCH سنتی پس از اجرای آزمون نرخ شکست کوپیک و میانگین مجذور

<i>p-Value</i> آزمون کوپیک	مجموع مجذور خطا	تعداد زیان‌ها	سطح اطمینان	
۰/۱۴۲	۰/۰۰۲۹	۶	سطح ۹۹ درصد	مدل ترکیبی ARMA-EGARCH و موجک
۰/۸۳۱	۰/۰۰۲۰۳	۹	سطح ۹۷ درصد	
۰/۹۱۲	۰/۰۰۱۶۵	۱۵	سطح ۹۵ درصد	
۰/۰۰۴۵	۰/۱۱۳	۱۰	سطح ۹۹ درصد	مدل ARMA-EGARCH
۰/۴۱۲	۰/۰۸۰۶	۱۳	سطح ۹۷ درصد	
۰/۷۳۷	۰/۰۶۶	۱۸	سطح ۹۵ درصد	

منبع: محاسبات محقق

از نتایج p-Value آزمون کوپیک مندرج در جدول ۱ می‌توان دریافت VaR مبتنی بر ARMA-GAREH، در سطح اطمینان ۹۵ درصد و ۹۷ درصد، سطوح اطمینان معناداری را در بازارهای بررسی شده نشان می‌دهد، اما در سطح ۹۹ درصد رد می‌شود. با وجود این، در وضعیت شدید رقابتی و کاهش فزاینده حاشیه سود، به دلایل زیر رویکرد ARMA-GAREH مناسب به نظر نمی‌رسد. اول اینکه رویکرد ARMA-GAREH سطح پایینی از نرخ‌های شکست (خرابی) را نشان می‌دهد، بنابراین تخمین سنتی قابل اطمینان اما با صحت کمتری از VaR به دست می‌دهد. این امر ممکن است به اتلاف بیش از حد سرمایه و افزایش هزینه‌های عملیاتی منجر شود و دوم، هنگامی که سطوح بالاتر اطمینان به منظور افزایش سطح رقابت توسط شرکت‌کنندگان در بازار تقاضا می‌شود، نمی‌تواند کارایی را ارتقا دهد.

نتایج جدول ۱ سطح اطمینان و اعتبار بالاتری را نسبت به مدل‌های ARMA-GARCH نشان می‌دهد. سطح اعتبار VaR تخمین زده شده بر اساس p-Value آزمون کوپیک و مجموع مجذور خطای پیش‌بینی، بهبود پیدا کرده است. اطمینان بیشتر شده در فرایند بررسی ریسک، دلالت بر کاهش بیکاری سرمایه<sup>۱</sup> و بهبود اختصاص منابع سرمایه‌ای برای مؤسسه‌های مالی دارد. علاوه بر این، روش ترکیبی به کاررفته در این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های ترکیبی می‌تواند برای محاسبه ارزش در معرض ریسک، به نتایج قابل اعتمادتری برسد.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در خصوص محاسبه ارزش در معرض ریسک، مطالعات متعددی با بهره‌مندی از روش‌های گوناگون انجام گرفته است که در این میان از روش آنالیز موجک نیز استفاده شده است. نتایج این مطالعه و برتری روش ترکیبی استفاده شده برای محاسبه ارزش در معرض ریسک، مشابه یافته‌های مطالعات گرینجر (۱۹۶۹)، لی (۲۰۰۵)، سفتر و ازون (۲۰۰۷)، چی و کی‌جن (۲۰۰۶)، هی و همکاران (۲۰۰۶)، لای و همکاران (۲۰۰۶)، تان و همکاران (۲۰۰۸)، هی و همکاران (۲۰۱۰)، هی و همکاران (۲۰۰۸) و سیفتر (۲۰۱۱) است. در این پژوهش واریانس ناهمسانی چندمقیاسی ریسک‌های بازار بورس اوراق بهادار تهران، از طریق دو روش آنالیز موجک و مدل GARCH در افق‌های زمانی مختلف بررسی شده است. در این پژوهش ساختار ریسک همگن چندمقیاسی‌ای برای مدل‌سازی ارائه شده است. تفکیک و ادغام داده‌های ریسک در لایه‌های مختلف مقیاس - زمان، با استفاده از آنالیز موجک انجام گرفته است. هنگامی که داده‌ها در فضای مقیاس - زمان تجزیه می‌شوند، مدل‌ها با داده‌های پایای توأم، در فرضیه‌ها سازگارتر

1. Less idle funds

می‌شوند و در نتیجه برآزش بهبود می‌یابد. با تکیه بر مجموعه داده‌های ارزیابی شده در بازار بوس اوراق بهادار تهران، در وضعیت مشابه اندازه‌گیری، الگوریتم ارائه‌شده عملکرد بهتری را نسبت به مدل‌های ARMA-GARCH از خود نشان داده است. بنابراین الگوریتم ارائه‌شده به ادبیات مطالعات تجربی در زمینه تخمین ریسک‌های بازار بورس کمک شایان توجهی می‌کند. به‌علاوه، روش‌شناسی مطرح‌شده برای بررسی ساختار داده‌های چندمقیاسی می‌تواند با مجموعه مختلفی از پارامترها به کاهش تخمین‌های تورش‌دار کمک کند.

اگرچه الگوریتم ارائه‌شده در این پژوهش برای بازار سهام آزمون شده است، روش فوق می‌تواند به بازار سایر کالاهای سودمندی که داده‌های آنها از ویژگی ناهمسانی واریانس چندمقیاسی برخوردارند، بسط داده شود.

## References

- Abad, P. & Benito, S. (2009). A Detailed Comparison of Value at Risk in International Stock Exchanges. *Fundación De Las Cajas De Ahorros*, Documento De Trabajo (452/2009): 1-45.
- Bates, J.M. & Granger, C.W.J. (1969). The combination of forecasts. *Operations Research Society*, 20 (4): 451-468.
- Bauwens, L., Omrane, W. B. & Rengifo, E. (2006). Intra-Daily FX Optimal Portfolio Allocation. *CORE Discussion Paper* (2006/10): 1-27.
- Bubák, V. (2008). Value-at-Risk on Central and Eastern European Stock Markets: An Empirical Investigation Using GARCH Models; *Working Paper*, IES (Institute of Economic Studies) (18/2008): 1-28.
- Chan, N.H., Deng, S.J., Peng, L. & Xia, Z. (2005). Interval estimation of Value at Risk based on GARCH models with heavy-tailed innovations. *Journal of Econometrics*, 137 (2): 556-576.
- Chi, X. & Kai-jian, H. (2006). Wavelet denoised value at risk estimate. *International Conference on Management Science & Engineering*, 5-7 Oct. pp: 1552-1557. 10.1109/ICMSE.2006.314034.
- Cifter, A. (2011). Value-at-risk estimation with wavelet-based extreme value theory: Evidence from emerging markets. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 390(12): 2356-2367.
- Conlon, T., Crane, M. & Ruskin, H. J. (2008). Wavelet multiscale analysis for hedge funds: Scaling and strategies. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387 (21): 5197-5204.

- Fadaiinezhad, M.I. & Eghbalnia, M. (2006). Designing a model for the management of investment risk In the Tehran Stock Exchange Using the concept of value at risk, *Fourth International Conference on Management*. 18: 71-90. (in Persian)
- Fallah-Pour, S. & Ahmadi, E. (2014). Oil and gold portfolio VaR estimates using Copula-GARCH, *Journal of Financial Research*, Accepted.15 (2): 269-288. (in Persian)
- Fernandez, V. (2006). The CAPM and value at risk at different time-scales. *International Review of Financial Analysis*, 15 (3): 203-219.
- Giot, P. & Laurent, S. (2004). Modeling daily Value at Risk using realized volatility and ARCH type models. *Journal of Empirical Finance*, 11 (3): 379-398.
- Gold Smith, W. Reymond. (1969). *Financial Structure and Development New Hower*, CT: Uyale U. Press.
- Grigore, A. (2008). Value-at-Risk. Measurement and Evaluation Methods for Market Risk. *Paper presented at the International Conference*, Financial and monetary policies in European Union.
- He, K., Xie, C., Chen, S. & Lai, K. K. (2010). Estimating VaR in crude oil market: A novel multi-scale non-linear ensemble approach incorporating wavelet analysis and neural network. *Neurocomputing*, 72 (16-18): 3428-3438.
- Hendricks, D. (1996). Evaluation of Value at Risk models using Historical Data. *FRBNY Economic Policy Review*. 2 (1): 39-70.
- In, F. & Kim, S. (2007). A note on the relationship between Fama-French risk factors and innovations of ICAPM state variables. *Finance Research Letters*. 4 (3): 165-171.
- In, F., Kim, S., Marisetty, V. & Faff, R. (2008). Analysing the performance of managed funds using the wavelet multiscaling method. *Review of Quantitative Finance and Accounting*. 31(1): 55-70.
- Jensen, G.R., Johnson, R.R. and Mercer, J.M. (2002). Tactical asset allocation and commodity futures. *Journal of Portfolio Management*, 28(4): 100-111.
- Karunaratne, N.D. & Bhar, R. (2011). Regime-shifts and post-float inflation dynamics of Australia. *Economic Modeling*, 28 (405): 1941-1949.
- King, R.G. & Levine, R. (1993). Financial Intermediation and Economic Development, *financial Intermediation in the Construction of Europe*, Eds: Colin Mayer and Xavier vives. London: Center for economic Policy, PP: 89-153.

- Kupiec, P.H. (1995). Techniques for verifying the accuracy of risk measurement models. *The Journal of Derivatives*, 3 (2): 73-84.
- Lai, K.K., Kaijian, H., Chi, X. & Chen, S. (2006). Market risk measurement for crude oil: a wavelet based VaR approach. *IJCNN*. pp. 2129-2136. DOI: 10.1109/IJCNN.2006.246984.
- Lai, K.K., Kaijian, H., Xie, C. & Chen, S. (2006). Market risk for nonferrous metals: a wavelet based VaR approach, *ISDA*, 1: 1179-1184.
- Levine, R. & Zervos, S. (1996). Stock Markets, Danks and Economic Growth, *Working paper*. World Bank Policy Research. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=60141>.
- Liu, Y. (2005). Value-at-risk model combination using artificial neural networks. *Working Paper*. Emory University. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.113.8523&rep=rep1&type=pdf>.
- Manganelli, S. & Engle, R. T. (2001). Value at Risk models in finance. *Working Papers*. European Central Bank.
- Nason, G.P. & Von Sachs, R. (1999). *Wavelets in time series analysis*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London A357, 2511-2526. Available at: <http://www.maths.bris.ac.uk/~magpn/Research/papers/roysoc.pdf>.
- Norouzzadeh, P. (2006). Performance of VaR measure In the Tehran stock exchange. *Futures conference, technology and development prospects*. Tehran - Amirkabir University of Technology.
- Novrang, A.R., Hezaveh, A. & Ghorbani Salanghooch, M. (2006). Value at risk is a prerequisite for value engineering In the multi-project companies. *Fourth National Conference on Value Engineering 2008-08-19 - 2008-08-20*, Tehran, Iran. (in Persian)
- Ozun, A. & Cifter, A. (2007). Aided-computer evaluation of nonlinear combination of financial forecast with genetic algorithm. *International Review on Computers and Software*, 2 (3): 276-284.
- Pagan, A.A. & Schwert, G.W. (1990). Alternative models for conditional stock volatility. *Journal of Econometrics*, 45 (1-2): 267-290.
- Patrick, H. (1966). Financial Development and Economic growth in underdeveloped countries. *Economic development and cultural change*, 12 (2):174-189.
- Peykarjoo, K., Shahriar, B. & Noorallahy, N. (2009). Corporate Finance Risk and financial institutions Measurement using VaR methodology. *Economic Bulletin*, 9 (5): 195-221. (in Persian)

- Pojarliev, M. & Polasek, M. (2000). Volatility forecasts and Value at Risk Evaluation for the MSCI North America Index. From: <http://www.goliramundi.org>.
- Ramsey, J. (2002). Wavelets in economics and finance: past and future. *Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics*, 6 (3): 1558-3708.
- Ramsey, J.B. (1999). The contribution of wavelets to the analysis of economic and financial data. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A-Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 357 (1760): 2593-2606.
- Rostami, M.R. & Haghghi, F. (2013). Comparing performance Multivariate GARCH model of risk of the portfolio. *Journal of Financial Research*, 15 (2): 215-228. (in Persian)
- Saeedi, A. & Afkhami, A. (2012). Examine the relationship between risk, return and liquidity with free float shares on the Tehran Stock Exchange. *Journal of Financial Research*, 14 (2): 65-80. (in Persian)
- Saidi, P. & Amiri, A. (2008). Examine the relationship between macroeconomic variables with Tehran Stock Exchange Overall Index. *Journal of Economic Modeling*, 2 (2): 111-130. (in Persian)
- Show, E.S. (1973). *Financial Deepening in Economic Development*. New York: oxford university press.
- So, M. K. P. & Yu, P. L.H. (2005). Empirical analysis of GARCH models in Value at Risk estimation. *International Financial Markets, Institutions and Money*, 16 (2): 180-197.
- Tan, Z., Zhang, J. Wang, J. & Xu, J. (2010). Day-ahead electricity price forecasting using wavelet transform combined with ARIMA and GARCH models, *Applied Energy*, 87 3606-3610.
- Yaghoobnezhad, A., Saidi, A. & Rozeei, M. (2010). Estimating the market risk premium with Market Leverage in the Tehran Stock Exchange. *11*, 11 (28): 105-120. (in Persian)
- Yiu, K.F.C. (2003). Optimal portfolios under a value-at-risk constraint. *Journal of Economic Dynamics and Control*. 28 (7): 1317-1334.
- Young, H.K. & Ingall, L. (2007). Exploring Monte Carlo Simulation Applications for Project Management. *Risk Management*, 9 (1): 44-57.