Journal of Advances in Finance and Investment
Volume 3, Issue 9 , 2022
pp. 53-72.
Paper type: Research paper

Dynamic multi-scale expected shortfall in Tehran Stock Exchange: a spectral decomposition of tail risk across time horizons

Seyed Ali Mousavi Sarhadi[1], Hosein Izadi[2], Mojgan Safa[3], Mohammadreza Pourfakharan[3]

Received: 27/07/2022 Accepted: 11/12/2022

Extended Abstract

Introduction

The main goal of this research is to investigate the sequence risk in Tehran Stock Exchange using dynamic methods and spectral analysis of time series in the form of dynamic multi-scale expected drop criterion (DMS-ES). In this regard, the daily data of the total index of the Tehran Stock Exchange was used in the period 01/06/2013 - 12/28/2014 and after extracting the short-term, medium-term and long-term information components of the return time series, the index of four prediction models of the expected shedding criterion (ES) were estimated using Taylor's Approach (2017) in different time horizons. The results of estimation of the models and post-tests show that the expected shedding criterion (ES) has a short-term nature and the dynamic model using short-term components in the time horizon of one day has the highest efficiency among the introduced models. In addition, the results of the comparison of the models based on the average loss test show that the use of spectral decomposition components increases the efficiency of dynamic forecasts of the expected loss criterion (ES) in different time horizons. Finally, according to the results of this research, it is suggested to use dynamic models and signal analysis algorithms in order to increase the efficiency of risk criteria predictions.

Literature Review

The 2008 crisis was a costly test of global risk management, and the popular Value at Risk (VaR) and Expected Shortfall (ES) models, which were used to measure market risk, were Below the risk limit in distributions with wide tails, they lost their credibility. The weak performance of these criteria made the researchers and activists of the financial fields look for alternative criteria or adjust the existing criteria. In the meantime, adding the dynamics of the existing criteria and also using new methods to increase the accuracy and validity of these criteria have received more attention.

1. Department of Financial Management, Qom Branch, Islamic Azad University, Qom, Iran.
2. Department of Accounting, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran. (Corresponding Author). izadi@iiau.ac.ir
3. Department of Accounting, Qom Branch, Islamic Azad University, Qom, Iran.

How to cite this paper: Mousavi Sarhadi, S. A., Izadi, H., safa, M., Pourfakharan, M. (2022). Dynamic multi-scale expected shortfall in Tehran Stock Exchange: a spectral decomposition of tail risk across time horizons. *Advances in Finance and Investment, 3*(9), 53-72. [In Persian]

https://doi.org/10.30495/afi.2023.1967573.1154

According to Artzner *et al*. (1999), VaR is not a consistent risk measure despite its simplicity and ease of implementation. Because it does not have the feature of sub-summability, in the sense that the VaR of the portfolio is not lower than the VaR of the sum of the individual assets in the portfolio (contrary to the principle of diversification). Another and perhaps more dangerous case is that VaR ignores potential losses beyond the considered quantile point, while the expected loss measure is a consistent measure (Acerbi and Tasche, 2002).

Research Methodology

The present research method is practical in terms of purpose and causal in nature and method. Also, in terms of the characteristics and direction of the data, it is post-event and through past information. In this research, the library method was used to collect theoretical sources and the archival method was used to collect the data needed to test the hypotheses by referring to the stock exchange website.

Results

The results of the average loss test can be summarized as follows:

1- In general, in all models, the prediction of the expected drop criterion in the short-term time horizon (one day) compared to the other two time horizons, has a lower average loss, which shows the short-term nature of this criterion.

2- The highest efficiency of the compared models is related to the model with short-term components ($y_{1:2,t}$) and in a one-day horizon.

3- The use of short-term ($y_{1:2,t}$) and medium-term ($y_{1:4,t}$) components obtained from signal analysis has increased the efficiency of forecasting models in different time horizons. Is.

4- The effectiveness of forecasts in the long-term time horizon using short-term and medium-term components is higher than other models, which indicates the effectiveness of these components in long-term forecasts.

Discussion and Conclusion

The study focuses on predicting and managing risk in financial markets, specifically the Tehran Stock Exchange. The researchers used daily data from the stock index over a period of time and conducted spectral analysis to extract short-term, medium-term, and long-term components. They then employed the AL asymmetric Laplace functions to predict the expected spillover criterion (ES) for different time horizons. The efficiency of the model was analyzed using tests and the results indicated that the dynamic model using AL asymmetric Laplace functions had good validity in predicting the ES. The short-term models performed better than the medium-term and long-term models, particularly in the one-day time horizon. The research findings align with previous studies, and it is recommended to use dynamic models and signal analysis algorithms to enhance the accuracy and efficiency of risk forecasting models in financial markets. The authors also suggest exploring other dynamic approaches and combining them with signal analysis algorithms for future research in risk modeling.

Keywords: Multi-Scale Dynamic Expected shortfall (DMS-ES), Spectral Analysis, tail Risk, Tehran Stock Exchange, Time Horizons.

JEL Classification: G17, G32, D81.

پیشرفت‌های مالی و سرمایه‌گذاری
سال سوم، زمستان ۱۴۰۱- شماره ۹
صفحات ۷۲-۵۳
نوع مقاله: پژوهشی

ریزش مورد انتظار پویای چند مقیاسی در بورس اوراق‌بهادار تهران: تجزیه طیفی از ریسک دنباله در افق‌های زمانی

سید علی موسوی سرحدی[۱]، حسین ایزدی[۲]، مژگان صفا[۳]، محمدرضا پورفخاران[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۰

چکیده

هدف: هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی ریسک دنباله در بورس اوراق‌بهادار تهران با استفاده از روش‌های پویا و تجزیه طیفی سری زمانی در قالب معیار ریزش مورد انتظار پویای چند مقیاسی (DMS-ES) می‌باشد.

روش‌شناسی پژوهش: در این راستا از داده‌های روزانه شاخص کل بورس اوراق‌بهادار تهران در دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ استفاده شد و پس از استخراج مؤلفه‌های اطلاعاتی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت سری زمانی بازده شاخص، چهار مدل پیش‌بینی معیار ریزش مورد انتظار (ES) با استفاده از رویکرد تیلور (۲۰۱۷) در افق‌های زمانی مختلف برآورد گردید.

یافته‌ها: نتایج برآورد مدل‌ها و آزمون‌های پس‌آزمایی نشان‌می‌دهد که معیار ریزش مورد انتظار (ES) ماهیتی کوتاه‌مدت داشته و مدل پویا با استفاده از مؤلفه‌های کوتاه‌مدت در افق زمانی یک‌روزه بالاترین کارایی را در بین مدل‌های معرفی شده داشته است. علاوه بر این، نتایج مقایسه مدل‌ها بر اساس آزمون متوسط زیان نشان‌می‌دهد که استفاده از مؤلفه‌های تجزیه طیفی، کارایی پیش‌بینی‌های پویای معیار ریزش مورد انتظار (ES) در افق‌های زمانی مختلف را افزایش می‌دهد.

اصالت / ارزش افزوده علمی: در نهایت باتوجه‌به نتایج پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود در راستای افزایش کارایی پیش‌بینی‌های معیارهای ریسک، مدل‌های پویا و الگوریتم‌های تجزیه سیگنال مورداستفاده قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: افق‌های زمانی، بورس اوراق‌بهادار تهران، تجزیه طیفی، ریزش مورد انتظار پویای چند مقیاسی (DMS-ES)، ریسک دنباله.

طبقه‌بندی موضوعی: G17، G32، D81 .

---

۱. گروه مدیریت مالی، واحد قم، دانشگاه آزاداسلامی، قم، ایران.
۲. گروه حسابداری، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاداسلامی، اسلامشهر، ایران. (نویسنده مسئول). izadi@iiau.ac.ir
۳. گروه حسابداری، واحد قم، دانشگاه آزاداسلامی، قم، ایران.

استناد: موسوی سرحدی، سیدعلی؛ ایزدی، حسین؛ صفا، مژگان؛ پور فخاران، محمد رضا. (۱۴۰۱). ریزش مورد انتظار پویای چند مقیاسی در بورس اوراق‌بهادار تهران: تجزیه طیفی از ریسک دنباله در افق‌های زمانی. *پیشرفت‌های مالی و سرمایه‌گذاری*، ۳(۹)، ۷۲-۵۳.

https://doi.org/10.30495/afi.2023.1967573.1154

۱- مقدمه

وقوع برخی نواقص بازار سرمایه از جمله بازار رقابت ناقص، مسائل نمایندگی و ناقرینگی اطلاعاتی سبب شده ارزیابی ریسک‌های بالقوه موجود در این بازارها بسیار مورد توجه قرار گیرند. ریسک یکی از کلیدی‌ترین مشخصه‌های شکل‌گیری تصمیم در حوزه سرمایه‌گذاری، امور مربوط به بازارهای مالی و انواع فعالیت‌های اقتصادی است (Hassani and Moradi, 2021). بحران سال ۲۰۰۸ یک آزمون پر هزینه برای مدیریت ریسک در سطح جهانی بود و مدل‌های محبوب ارزش در معرض خطر (VaR) و ریزش مورد انتظار (ES) که به‌منظور ارزیابی ریسک بازار مورد استفاده بود، به‌دلیل ارزیابی کمتر از حد ریسک در توزیع‌های با دنباله‌های پهن، اعتبار خود را از دست دادند (Patton *et al.*, 2019). عملکرد ضعیف این معیارها باعث شد که محققان و فعالان حوزه‌های مالی به‌دنبال معیارهای جایگزین و یا تعدیل معیارهای موجود باشند. در این بین اضافه کردن پویایی‌های معیارهای موجود و همچنین استفاده از روش‌های جدید برای افزایش دقت و اعتبار این معیارها مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌است (Bu *et al.*, 2019).

آرتزنر و همکاران (Artzner *et al.*, 1999) بیان می‌کنند که معیار VaR علی‌رغم سادگی و سهولت اجرا، یک معیار ریسک منسجم نیست. زیرا ویژگی زیر جمع‌پذیر را ندارد به‌عبارتی VaR پرتفوی کمتر از VaR مجموع دارایی‌های انفرادی داخل پرتفوی نیست (برخلاف اصل تنوع سازی). علاوه بر این VaR زیان‌های بالقوه ماورای نقطه چندک را در نظر نمی‌گیرد درحالی‌که معیار ریزش مورد انتظار (ES)، معیاری منسجم است (Artzner *et al.*, 2002).

باتوجه‌به اهمیت مقوله ریسک در بازارهای مالی در این پژوهش تلاش شده‌است ریزش مورد انتظار پویای چند مقیاسی در بورس اوراق‌بهادار تهران با استفاده از تجزیه طیفی ریسک دنباله در افق‌های زمانی مورد بررسی قرار گیرد. این مطالعه از چندین منظر به ادبیات مالی موجود کمک می‌کند.

اول، چارچوب مدلسازی ارائه‌شده در ارتباط با پیش‌بینی‌ریزش مورد انتظار (ES) مربوط به یک ادبیات روبه‌رشد در زمینه پویایی مدلسازی ریسک نامطلوب مؤسسه مالی می‌باشد. ریسک نامطلوب مشتمل بر دو مولفه است. در معرض ریسک قرار گرفتن (مقدار بیشترین ضرر ممکن، اندازه‌گیری شده توسط VaR) و عدم‌اطمینان (یک احتمال خاص، اندازه‌گیری شده توسط ES)، که هر دو این مولفه‌ها باید برای طراحی یک معیار ریسک معتبر و قدرتمند مورد بررسی قرار گیرند (Bu *et al.*,2019). تیلور (Taylor, 2017) و پاتون و همکاران (Patton *et al.*, 2019) مدل ES را به‌طور مشترک با VaR انجام دادند. در این پژوهش این مدل‌ها با استفاده از آنالیز موجک گسترش داده می‌شوند. چارچوب

جدید مورد اشاره، قادر به جدا کردن اجزای مقیاس زمانی بازده دارایی است و پویایی ریسک دنباله را در افق‌های زمانی مدلسازی می‌کند.

دومین کمک این پژوهش به ادبیات موضوع، بهبود پیش‌بینی خارج از نمونه ES است. اگرچه مدل‌های ریسک سنتی شامل یک بعد زمانی هستند، اما افق زمانی به‌ندرت موردتوجه اصلی قرار گرفته است به‌جز در مطالعه اخیر برگر و جنسی (Berger And Gençay, 2018). این نویسندگان نشان می‌دهند که نوسانات شرطی ویژگی چند مقیاسی را نشان‌می‌دهد و با حذف اطلاعات بلندمدت می‌توان مقدار پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت VaR را بدون تأثیرگذاری بر کیفیت پیش‌بینی پایین آورد. در این مطالعه، این موضوع برای ارائه یک رویکرد چند مقیاسی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی ES گسترش داده‌می‌شود. این رویکرد ارتباط اطلاعات بازده مبتنی بر مقیاس زمانی برای پیش‌بینی‌های ES در یک افق پیش‌بینی خاص را استخراج می‌کند.

سوم، در این پژوهش از آنالیز طیفی در امور مالی استفاده شده‌است. آنالیز طیفی، (به‌عنوان‌مثال، تبدیلات موجک)، ابزاری قدرتمند است که می‌تواند برای جداسازی متغیر بازده دارایی‌های مالی ناشی از نوسانات در یک فرکانس خاص (افق زمانی) مورداستفاده قرار گیرد. معیارهای مبتنی بر فرکانس، امکان تمایز بین اجزای اطلاعات بازده کوتاه‌مدت و بلندمدت ایجاد می‌کند، و بینش جدیدی در مورد قیمت‌گذاری دارایی‌ها، تخصیص پرتفوی و مدیریت ریسک فراهم می‌کند. در پاسخ به پیشرفت‌ها در یادگیری ماشینی و پردازش سیگنال، علاقه مجدد به استفاده از آنالیز طیفی برای مدل‌های قیمت‌گذاری دارایی وجود دارد، اما تاکنون استفاده از آنالیز طیفی در مدیریت ریسک تا حد زیادی بدون بررسی باقی مانده‌است. در این پژوهش، آنالیز طیفی با مدل‌سازی و پیش‌بینی ES پیوند داده‌می‌شود و روشی جدید برای ترکیب آنالیز فرکانس – زمان در مدیریت ریسک مالی ارائه می‌دهد.

در نهایت، پژوهش در مورد پیش‌بینی‌های ES درک موجود از مدیریت ریسک را تقویت می‌کند، نه‌تنها برای مدیران شرکت‌های بزرگ، سرمایه‌گذاران نهادی و خرد که علاقه‌مند به رفتارهای بازده سهام هستند؛ بلکه برای قانون‌گذاران و سیاست‌گذاران نیز از اهمیت بالایی برخوردار است؛ زیرا این موضوع به ویژگی‌های نظارتی مربوط می‌شود و ممکن است بهره‌وری و بهره‌برداری از بازارهای سرمایه را تحت‌تأثیر قرار دهد.

در این پژوهش تلاش شده‌است به‌منظور دستیابی به معیاری پویا و با لحاظ مؤلفه‌های اطلاعاتی سری زمانی بازده شاخص بورس، معیار ریزش مورد انتظار (ES) پویای چند مقیاسی ارائه گردد. روش ارائه‌شده با رفع محدودیت‌ها و کاستی‌های معیارهای موجود، می‌تواند کارایی سنجش و روش‌های مدیریت ریسک در بازارهای مالی را افزایش دهد.

در ادامه ساختار کلی پژوهش به این صورت می‌باشد، در بخش دوم مبانی نظری و پیشینه پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد، سپس و در بخش سوم روش‌شناسی پژوهش بیان می‌گردد. در بخش بعد به‌بیان یافته‌های حاصل از پژوهش پرداخته می‌شود و در نهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری و بحث ارائه شده‌است.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

معیار ارزش در معرض ریسک (VaR) حداکثر زیان با سطح اطمینان مشخص در دوره زمانی معین است و یک معیار استاندارد نظارتی برای تخصیص سرمایه است. با این‌حال، معیار VaR از چندین لحاظ از جمله به‌دلیل عدم انسجام مورد انتقاد قرار گرفته‌است و ویژگی زیر جمع‌پذیری را ندارد (برخلاف اصل تنوع‌سازی). برخلاف VaR، معیار ریزش مورد انتظار (ES)، پیشنهاد شده (Artzner *et al.*, 1999)، زیان مورد انتظار را برای بازده‌های بالاتر از آستانه VaR نشان‌می‌دهد و یک معیار منسجم است. به همین دلیل، در سال‌های اخیر برای اندازه‌گیری ریسک دنباله بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌است و اخیراً توسط کمیته نظارت بانکی بازل نیز توصیه شده‌است (Mohammadi Salari *et al.*, 2021).

اگرچه معیار ریزش مورد انتظار (ES) توسط مؤسسات مالی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد، تخمین آن، به‌ویژه در چارچوب مدل‌های نیمه پارامتریک، یک چالش مهم است. به این دلیل که ES واجد شرایط رتبه‌بندی نیست (Gneiting, 2011)، به‌عبارت دیگر، فاقد یک تابع زیان است که به‌طور منحصربه‌فرد توسط ES واقعی بهینه شود. اخیراً دو رویکرد تیلور (Taylor, 2017) و پاتون و همکاران (Patton *et al.*, 2019) با مدل سازی مشترک VaR و ES توانسته‌اند این دو مسئله را حل یا از آن اجتناب کنند. در این پژوهش از رویکرد تیلور (Taylor, 2017) استفاده می‌شود که در بخش سوم به‌صورت مفصل تشریح می‌گردد. در ادامه به تعدادی از پژوهش‌های در حوزه معیارهای ریسک دنباله اشاره می‌شود.

تیلور (Taylor, 2017) در پژوهشی با عنوان پیش‌بینی ارزش در معرض خطر و ریزش مورد انتظار با استفاده از رویکرد نیمه پارامتریک بر اساس توابع لاپلاس نامتقارن، از یک نمونه از کلاس توابع زیان با عنوان ES-CAViaR بهره می‌برد، نتایج این پژوهش حاکی از برتری عملکرد مدل‌های معرفی شده در مقایسه با مدل‌های سنتی مورداستفاده در این حوزه می‌باشد.

پاتون و همکاران (Patton *et al.*, 2019) در پژوهشی با عنوان روش نیمه پارامتریک پویا در پیش‌بینی ریزش مورد انتظار (و ارزش در معرض خطر) معیار ریزش مورد انتظار (ES) را به‌طور مشترک با VaR برای شاخص‌های سهام کشورهای، آمریکا، ژاپن و انگلستان در دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶

برآورد می‌کنند. نتایج این پژوهش حاکی از برتری مدل‌های پویا در پیش‌بینی معیار ریزش مورد انتظار (ES) می‌باشد.

در نزدیک‌ترین مطالعه به پژوهش حاضر، بو و همکاران (Bu *et al.*, 2019) در پژوهشی به بررسی ریزش مورد انتظار پویا با استفاده از تجزیه طیفی پرداختند. نتایج این پژوهش که با استفاده از قیمت سهام هشت بانک بزرگ بین‌المللی در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ انجام شده‌است نشان‌دهنده اهمیت مؤلفه‌های مقیاس زمانی در پیش‌بینی معیار ES و همچنین کارایی تجزیه طیفی در مدل‌سازی پویایی‌های ES می‌باشد.

جرلاچ و وانگ (Gerlach And Wang., 2020) در پژوهشی با عنوان لاپلاس پویا و نامتقارن شبه پارامتریک در تحلیل ریسک دنباله، مدل VaR و ES مشترک تیلور (Taylor, 2017) را با در نظر گرفتن معیارهای تحقق یافته به‌صورتی تعدیل کردند که پویایی‌های ریسک در بازارهای مالی را استخراج نمایند. در این پژوهش از داده‌های شاخص‌های بازار سهام کشورهای آمریکا، آلمان، انگلستان، سوئیس و استرالیا در دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ استفاده شده‌است و در نهایت نتایج این پژوهش حاکی از برتری معیار معرفی شده جدید در پیش بینی ریسک می‌باشد.

هالین و تروسیس (Hallin and Trucíos, 2020) به‌منظور پیش‌بینی معیارهای ارزش در معرض ریسک (VaR) و ریزش مورد انتظار (ES) در سبدهای سهام بزرگ از رویکرد عامل پویای عمومی[1] استفاده کرده و دو روش پیشنهاد می‌کنند. مدل اول بر اساس روش شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده و مدل دوم بر اساس روش بوت‌استرپ می‌باشد. در این پژوهش از داده‌های روزانه شاخص S&P 500[2] و شاخص نزدک (NASDAQ-100) در دوره زمانی ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۰ استفاده شده‌است. نتایج این پژوهش نشان‌می‌دهد که کارایی و دقت مدل‌های ارائه‌شده در پیش‌بینی معیارهای VaR و ES از کارایی روش‌های موجود در ادبیات بالاتر است.

سیفی و همکاران (Seyfi *et al.*, 2021) به‌منظور برآورد معیارهای ارزش در معرض ریسک (VaR) و ریزش مورد انتظار (ES) از یک روش شبیه‌سازی مبتنی بر مدل آمیخته گوشی استفاده نمودند. نتایج این پژوهش بر اساس نمونه‌ای از بازارهای سهام ایالات متحده آمریکا نشان‌می‌دهد که مدل ارائه‌شده VaR مبتنی بر GMM کارا و دقیق می‌باشند.

سارنج و نور احمدی (Saranj and Nourahmadi, 2016) در پژوهش خود با عنوان تخمین ارزش در معرض ریسک (VaR) و ریزش مورد انتظار (ES) با استفاده از رویکرد ارزش فرین شرطی

1. General Dynamic Factor Model
2. Standard & Poor's 500

در بورس اوراق‌بهادار تهران، ارزش در معرض ریسک و ریزش مورد انتظار با تأکید بر رویکرد ارزش فرین شرطی را برآورد کردند. نتایج پژوهش نشان‌دهنده برتری برآورد معیار VaR بر اساس تئوری فرین شرطی در مقایسه با مدل‌های رقیب می‌باشد.

نادری نور عینی (Naderi Nooreini, 2018) با انتخاب روش بهینه از بین سه روش پارامتریک، شبیه‌سازی تاریخی و شبیه‌سازی مونت‌کارلو در صندوق‌های سرمایه‌گذاری ایران، تأیید می‌کند که در برآورد ریسک صندوق‌های سرمایه‌گذاری در ایران، سطح اطمینان، دارای اهمیت بیشتری از روش برآورد ارزش در معرض خطر می‌باشد که این موضوع دقیقاً با گزارش کمیته بال در سال ۲۰۱۶ درباره محاسبه ارزش در معرض خطر و کفایت سرمایه بانک‌ها همسویی دارد.

بت‌شکن و همکاران (Botshekan *et al.*, 2019) در پژوهش خود از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو بر مبنای تحلیل مؤلفه‌های اساسی به‌منظور برآورد معیار ارزش در معرض ریسک و ریزش مورد انتظار، استفاده کردند. در این پژوهش نتایج آزمون‌های پس‌آزمایی، حاکی از نتایج قابل‌اتکای این روش و روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو و همچنین برتری این دو روش در مقایسه با روش ریسک متریکس است.

طالب‌لو و داوودی (Taleblou and Davoudi, 2018) در پژوهشی با استفاده از دو معیار ارزش در معرض ریسک و ریزش مورد انتظار (ES) و رهیافت GARCH-EVT-Copula پرتفوی بهینه برای سرمایه‌گذاری شامل چهار شاخص مالی، شیمیایی، دارویی و خودرو را محاسبه کردند. بر اساس نتایج پژوهش، شاخص شیمیایی بیشترین وزن را در الگوی بهینه سرمایه‌گذاری به خود اختصاص می‌دهد. همچنین به‌منظور رسیدن به بازده بیشتر، می‌توان وزن شاخص دارویی را در پرتفوی دارایی افزایش داد.

طیبی ثانی و چنگی آشتیانی (Taiebysani and Changi Ashtiani, 2018)، لحاظ اثرات حافظه بلندمدت در پیش‌بینی تلاطم و ارزش در معرض ریسک در فرابورس ایران و بورس اوراق‌بهادار تهران را در بازه زمانی مهرماه ۱۳۸۷ تا بهمن‌ماه ۱۳۹۳ بررسی کردند. نتایج بررسی اولیه داده‌ها نشان داد که بازدهی این دو سری زمانی مورد آزمون دارای حافظه بلندمدت است. نتایج این پژوهش نشان داد که لحاظ اثرات نامتقارن در سری‌های بازدهی و همچنین اثرات حافظه بلندمدت به بهبود پیش‌بینی تلاطم و ارزش در معرض ریسک این دو سری زمانی منجر می‌شود.

گیلانی پور (Gilanipour, 2020) ریسک سیستمی در شبکه بانکی ایران توسط معیار ریزش مورد انتظار (ES) نهایی را مورد ارزیابی قرار داد. در این پژوهش ۱۷ بانک از بین بانک‌های پذیرفته شده در بورس اوراق‌بهادار تهران در دوره زمانی ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۷ انتخاب گردید و بر اساس معیار ریزش مورد انتظار (ES) نهایی، ریسک سیستمی در این بانک‌ها برآورد شد. نتایج این پژوهش حاکی از تفاوت در

ریزش مورد انتظار نهایی بانک‌ها می‌باشد و نشان‌می‌دهد در صورتی که بحرانی در سیستم مالی یا بازار اتفاق بیفتد این بانک‌ها تحت‌تأثیر قرار می‌گیرند.

فلاح‌پور و طبسی (Fallahpour and Tabasi, 2020) در پژوهش خود به برآورد ریزش مورد انتظار بر اساس نظریه ارزش فرین شرطی با استفاده از مدل مولتی فرکتال پرداختند. در این پژوهش از داده‌های درون روزانه بورس اوراق‌بهادار تهران در دوره زمانی ۱۳۸۸ تا ابتدای ۱۳۹۹ پرداختند. نتایج پژوهش نشان می‌دهند که مدل فراتر از آستانه شرطی مولتی فرکتال با استفاده از داده‌های درون روزانه، در مقایسه با مدل‌های جایگزین مانند فراتر از آستانه شرطی گارچ در برآورد معیارهای ریسک بازار عملکرد بهتری دارد.

سماوی و همکاران (Samavi *et al.*, 2022) در پژوهش خود به پیش‌بینی و ارزیابی معیار ارزش در معرض ریسک شاخص کل بورس اوراق‌بهادار و بیت‌کوین با مدل‌سازی پویای مبتنی بر روش خودبرازشی تعمیم‌یافته امتیازی پرداختند. یافته‌های این پژوهش نشان‌می‌دهد که برای شاخص کل بورس تنها دو مدل GAS و GARCH تخمین زننده مناسب ارزش در معرض ریسک می‌باشند. از طرفی، برای رمز ارز بیت‌کوین تنها دو مدلGAS و GARCH تخمین زننده مناسب ارزش در معرض ریسک می‌باشند که مدلGARCH ارجح‌تر است.

باتوجه‌به پیشینه تجربی ارائه‌شده، با وجود حرکت مطالعات خارجی به‌سمت استفاده از مدل‌های پویا برای رفع چالش‌ها و ایرادات معیارهای موجود، در پژوهش‌های داخلی خلأ مطالعاتی قابل‌ملاحظه‌ای در این زمینه وجود دارد. علاوه بر این، استفاده از مدل‌های تجزیه سیگنال به‌منظور استخراج مؤلفه‌های اطلاعاتی (بلندمدت، میان‌مدت و کوتاه‌مدت) سری‌های زمانی مالی جنبه دیگری است که در پژوهش‌های داخلی مورد غفلت قرار گرفته است. در این مطالعه تلاش شده‌است موارد مذکور پوشش داده شوند.

۳- روش‌شناسی پژوهش

روش پژوهش حاضر از لحاظ هدف کاربردی و از لحاظ ماهیت و روش علّی است. همچنین از نظر ویژگی و جهت داده‌ها پس رویدادی و از طریق اطلاعات گذشته می‌باشد. در پژوهش حاضر به‌منظور جمع‌آوری منابع نظری از روش کتابخانه‌ای استفاده شده‌است همچنین برای جمع‌آوری داده‌های موردنیاز از روش آرشیوی و با مراجعه به سایت بورس اوراق‌بهادار استفاده شده‌است.

باتوجه‌به اینکه در پژوهش حاضر به‌دنبال معرفی و محاسبه ریزش مورد انتظار پویای چند مقیاسی (DMS-ES) به‌عنوان شاخص سنجش ریسک بازار در بورس اوراق‌بهادار تهران هستیم جامعه آماری

در پژوهش پیش‌رو شاخص کل بورس اوراق‌بهادار تهران به‌عنوان نماینده پرتفوی بازار می‌باشد که به‌خوبی می‌تواند تغییرات قیمتی شرکت‌های موجود در بورس را نمایش دهد.

اطلاعات مربوط به سری زمانی شاخص کل از طریق سایت رسمی شرکت بورس اوراق‌بهادار جمع‌آوری و برای سازماندهی داده‌ها و محاسبات ابتدایی بر روی داده‌های خام، از نرم‌افزار اکسل و برای تحلیل داده‌ها و برازش مدل‌های نهایی پژوهش جهت از نرم‌افزار متلب استفاده شده‌است.

معیار ریزش مورد انتظار (ES)، پیشنهاد شده توسط (Artzner *et al.*, 1999)، زیان مورد انتظار را برای بازده‌های بالاتر از آستانه VaR نشان‌می‌دهد؛ بنابراین تعریف می‌توان معیار ریزش مورد انتظار (ES) را به‌صورت رابطه (۱) بیان نمود:

$$ES_t = E[y_t | y_t \leq VaR_t] \qquad \text{رابطه (۱)}$$

جایی که $VaR_t = F_t^{-1}(\alpha)$ and $0 < \alpha < 1$ و yt بازده دارایی مورد نظر می‌باشد. به‌منظور تشریح مدلی که بتواند پویایی‌های ES را توضیح دهد با یک سناریوی ساده که بازدهی دارایی yt از توزیع گوشی با میانگین μ_t و انحراف‌معیارσ_t پیروی می‌کند شروع می‌کنیم. VaR برای یک احتمال مشخص τ به‌صورت رابطه (۲) بیان می‌شود.

$$VaR_t = \mu_t + \sigma_t \Phi^{[-1]}(\tau; 0,1) \qquad \text{رابطه (۲)}$$

Φ و ϕ به‌ترتیب چگالی و تابع توزیع بازدهی استاندار شده را نشان‌می‌دهد. ES مرتبط با آن می‌تواند به‌صورت رابطه (۳) بیان گردد:

$$ES_t = E[y_t | y_t \leq VaR_t]$$

$$= \frac{\int_{-\infty}^{VaR_t} y_t h(y_t) dy_t}{\int_{-\infty}^{VaR_t} h(y_t) dy_t} \qquad \text{رابطه (۳)}$$

$$= \mu_t - \sigma_t . \frac{\phi(\Phi^{[-1]}(\tau))}{\tau}$$

H(yt) تابع چگالی بازدهی دارایی yt است، بنابراین هر دو VaR و ES نسبتی از انحراف‌معیار استاندارد σ_t هستند و می‌توان فرم تابعی مشابه که فرم تابعی که در مدل CaViaR انگل و مانگانلی (Engle and Manganelli, 2004) برای VaR ارائه شده‌است را برای پویایی‌های ES استفاده نمود.

دو چالش عمده در مدلسازی پویایی ES وجود دارد. نخست اینکه ES به‌تنهایی قابل استخراج نیست. به این معنی که هیچ تابع زیانی برای ساخت مدل‌های پویا برای ES وجود ندارد. دوم اینکه ES مربوط به قسمت حدی توزیع بازده دارایی است. با ساختن یک مدل پویای پارامتریک برای قسمت دنباله، اغلب لازم است که توزیع مقید برای بازده دارایی مشخص شود. اخیراً تیلور (Taylor, 2017) و پاتون و همکاران (Patton *et al.*, 2019) با مدلسازی مشترک VaR و ES توانسته‌اند این دو مسئله را حل یا از آن اجتناب کنند. در این پژوهش از رویکرد تیلور (Taylor, 2017) استفاده می‌شود که در ادامه به تشریح این رویکرد پرداخته می‌شود.

مدل تیلور شامل VaR و ES شرطی است که می‌توان با به حداکثر رساندن احتمال نامتقارن لاپلاس (AL) تخمین زده شود. این مدل با عنوان مدل AL برچسب‌گذاری شده‌است. فرض کنید yt مقدار سری بازده دارایی در زمان t است و VaRt و ESt به‌ترتیب مقادیر اندکی و ریزش مورد انتظار هستند. تیلور (Taylor, 2017) نشان‌می‌دهد که چگالی yt در روابط VaRt و ESt از چگالی AL پیروی می‌کند که می‌تواند به‌صورت رابطه (۴) نوشته شود:

$$f(y_t) = \frac{\alpha - 1}{ES_t} exp\left(\frac{(y - VaR_t) \times (\alpha - I(y_t \leq VaR_t))}{\alpha ES_t}\right) \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن α سطح احتمال برای تعریف VaRt و ESt است. پارامترهای مدل با پویایی VaRt و ESt مرتبط هستند بنابراین با به حداکثر رساندن تابع چگالی AL از رابطه (۴) می‌توان تخمین زده شوند. از نظر مدلسازی، پویایی VaRt تیلور (Taylor, 2017) به‌سادگی از مدل CaViaR انگل و مانگانلی (Engle and Manganelli, 2004) پیروی می‌کند و پویایی ESt را بر اساس این امر تعریف می‌کند که VaRt و ESt تا حدی بر اساس رابطه رابطه (۵) تغییر می‌کنند:

$$ES_t = (1 + EXP(\gamma_0))VaR_t \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در رابطه (۵)، γ_0 پارامتر دیگری است که باید برآورد شود.

بدون درنظرگرفتن تغییرات ES در افق‌های زمانی مختلف، روش استاندارد مدل‌سازی و پیش‌بینی پویایی ES این است که دو مدل فوق در سری زمانی بازده دارایی اعمال شود. بااین‌حال برای تمیز دادن پویایی چند مقیاس ES در افق‌های زمانی مختلف و ارائه ES چند مقیاسی پویا، دو مدل فوق به

اجزای فرکانس مختلف سری زمانی بازده اعمال می‌شود و پیش‌بینی‌های ES و VaR مربوطه برای درنظرگرفتن تغییر ریسک دنباله در افق‌های زمانی به‌دست می‌آید.

در این مطالعه به پیروی از بو و همکاران (Bu *et al.*, 2019)، برای تمایز مولفه‌های اطلاعاتی سری زمانی بازده در افق‌های زمانی مختلف، از تجزیه موجک‌های پرسیوال و والدن (Percival and Walden, 2000) استفاده می‌کنیم تا سری زمانی بازده دارایی را در مقیاس‌های مختلف تجزیه کنیم، که در هر مقیاس شامل اطلاعات فرکانس (به‌عنوان‌مثال، کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت) برای سری بازده اصلی است.

موجک را می‌توان با لنزهای یک دوربین مقایسه کرد که این امکان را ایجاد می‌کند که هم تصاویر مناظر وسیع را ثبت نمود و هم‌بر جزئیات بسیار ریز که در حالت عادی از چشم انسان پنهان است، متمرکز شد. به‌بیان ریاضی، موجک‌ها پایه‌های متعامد موضعی[1] متشکل از موج‌هایی هستند که یک تابع را به لایه‌هایی با مقیاس‌های متفاوت تجزیه می‌کنند.

ریشه نظریه موجک در تجزیه‌وتحلیل فوریه[2] قرار دارد، اما تفاوت‌های مهمی میان این دو وجود دارد. تبدیل فوریه مجموعه‌ای از توابع سینوس و کسینوس را در طول‌موج‌های متفاوت به‌منظور ایجاد تابعی خاص به کار می‌گیرد. اما توابع سینوس و کسینوس توابع دوره‌ای هستند که ذاتاً غیر موضعی[3] می‌باشند؛ یعنی آن‌ها به جمع و تفریق بی‌نهایت در هر دو انتهای خط واقعی ادامه می‌دهند؛ بنابراین، هرگونه تغییری در یک نقطه خاص از دامنه زمان، تأثیری دارد که بر روی کل خط واقعی احساس می‌شود. این بدان معناست که فرض می‌کنیم ظرفیت فرکانس تابع در طول محور زمان ثابت باشد. برای غلبه بر این مشکل، پژوهشگران تبدیل پنجره‌ای فوریه[4] را ابداع کردند. داده‌ها در طول محور زمان به چندین بازه تقسیم شده و تبدیل فوریه بر هر بازه به‌صورت مجزا اعمال می‌شود. اما، موجک‌ها بر روی دامنه محدود تعریف می‌شوند. بر خلاف تبدیل فوریه آن‌ها هم از نظر زمان و هم از نظر مقیاس موضعی هستند و روش مناسب و کارایی برای ایجاد سیگنال‌های پیچیده فراهم می‌آورند. مهم‌تر اینکه، موجک‌ها می‌توانند داده‌ها را به اجزایی با فرکانس متفاوت به‌منظور تجزیه‌وتحلیل جداگانه تقسیم کنند. این تجزیه مقیاس روش جدیدی را برای پردازش داده‌ها به وجود می‌آورد. همان گونه که گرپس (Graps, 1995) بیان می‌کند، موجک‌ها امکان دیدن جنگل و درختان را به‌صورت هم‌زمان فراهم می‌کند.

1. Local Orthonormal Bases
2. Fourier Analysis
3. Non-Local
4. Windowed Fourier Transform

پایه موجک از یک موجک پدر که بیانگر روند اصلی داده‌هاست و یک موجک مادر که در جهت توضیح تمام انحرافات از روند اصلی داده‌ها استفاده می‌شود، تشکیل‌می‌شود. این شبیه طرح ساخت یک ارگانیسم طبیعی است که بر پایه تولیدمثل قرار دارد. در مقیاس‌های بالا، موجک، حمایت زمانی اندکی دارد که آن را قادر می‌سازد تا بر جزئیات و پدیده‌های کوتاه‌مدت تمرکز نماید. در مقیاس‌های پایین، موجک قادر به تشریح پدیده‌های بلندمدت است. توانایی موجک‌ها در به‌کارگیری زمان و مقیاس، آن‌ها را قادر می‌سازد تا بر مشکل هایزنبرگ غلبه کنند؛ قانونی که می‌گوید کسی نمی‌تواند به‌طور هم‌زمان بر دامنه زمان و بسامد متمرکز شود (Schleicher, 2002).

در این مطالعه به‌طور خاص از فیلتر حداکثر تبدیل موجک گسسته همپوشان (MODWT[1]) در سری بازده استفاده می‌کنیم که یک نسخه اصلاح شده از تبدیل موجک گسسته (DWT) است. MODWT سری بازده را به ضرایبی تبدیل می‌کند که مرتبط با تغییرات سری زمانی بازده دارایی در طی یک مقیاس زمانی است.

فیلتر MODWT برای تجزیه اجزای فرکانس مختلف سری بازده اصلی از دوره درون نمونه‌ای استفاده می‌کنیم. هر مقیاس شامل اطلاعات مبتنی بر فرکانس مختلف در مورد سری بازده غیرقابل‌انکار است. با پیوند سری زمانی بازده اصلی دارایی با مؤلفه‌های تجزیه‌شده هشت مقیاس تجزیه‌شده، خواهیم داشت:

$$y_t = \sum_{i=1}^{7} \widehat{D_{i,t}} + \widehat{S_{8,t}}$$ رابطه (۶)

که در آن $\widehat{D_{i,t}}$ نشان دهنده اجزای فرکانس i ام است و $\widehat{S_{8,t}}$ نشان دهنده اطلاعات بلندمدت سری زمانی اصلی است که توسط $\widehat{D_1}$، t تا $\widehat{D_7}$، t ضبط نشده‌اند. بنابراین با بازسازی مولفه‌ها خواهیم داشت:

$$y_{1:2,t} = \sum_{i=1}^{2} \widehat{D_{i,t}}$$ رابطه (۷)

$$y_{1:4,t} = \sum_{i=1}^{4} \widehat{D_{i,t}}$$ رابطه (۸)

$$y_{1:7,t} = \sum_{i=1}^{7} \widehat{D_{i,t}}$$ رابطه (۹)

1. Maximal Overlap Discrete Wavelet Transform

بنابراین، با سه سری بازده به‌دست‌آمده ($y_{1:2,t}$، $y_{1:4,t}$ و $y_{1:7,t}$)، می‌توانیم از دو مدل‌بالا برای تمایز میان کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت استفاده کنیم. پویایی ES، برآورد ضریب γ_3 در مدل AL برای هر سری زمانی بازده می‌باشد. علاوه بر این، با استفاده از این مدل‌ها، می‌توانیم با استفاده از پیش‌بینی‌ها و سری بازدهی اصلی به‌عنوان معیار، پیش‌بینی‌های ES را در افق‌های مختلف پیش‌بینی تولید و ارزیابی کنیم.

٤- تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

در این پژوهش تلاش می‌شود که معیار ریزش مورد انتظار پویای چند مقیاسی (DMS-ES) در بورس اوراق‌بهادار تهران با استفاده از روش‌های پویا و تجزیه طیفی سری زمانی شاخص کل بورس در افق‌های زمانی ارائه گردد. در این راستا از داده‌های شاخص کل بورس اوراق‌بهادار تهران به‌صورت روزانه در دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ استفاده شده‌است. در این بخش آمار توصیفی شاخص بورس اوراق‌بهادار تهران (TEPIX)، و بازدهی این شاخص در طول دوره مورد بررسی به‌منظور ارائه دیدی کلی از وضعیت این شاخص بورس اوراق‌بهادار در جدول (۱) ارائه شده‌است. لازم به ذکر است به‌منظور محاسبه بازدهی نیز به‌این‌ترتیب عمل شده‌است که اگر قیمت i امین دارایی در زمان t را با Pt نشان دهیم آنگاه می‌توان لگاریتم بازده سرمایه‌گذاری را در لحظه t به‌صورت رابطه (۱۰) نمود:

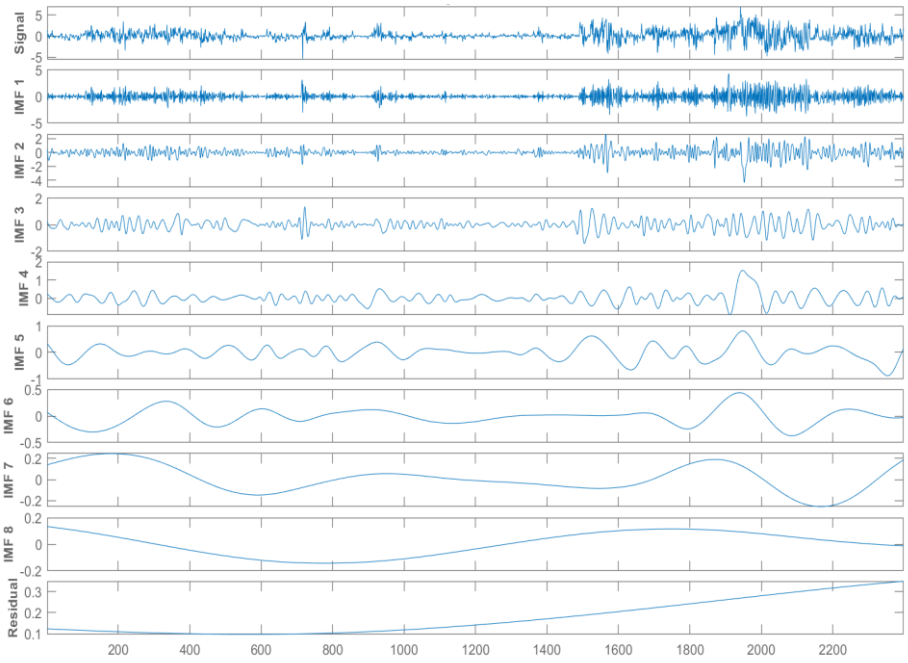
$$r_{it} \times 100 = log(\frac{P_{it}}{P_{it-1}}) \qquad \text{رابطه (۱۰)}$$

جدول (۱) آمار توصیفی متغیرهای پژوهش

Table (1) Descriptive statistics of research variables

متغیر	میانگین	میانه	ماکزیمم	مینیمم	انحراف‌معیار	چولگی	کشیدگی	مشاهدات
IND	۳۵۱۰۱۹	۸۰۶۸۴	۲۰۸۰۶۵۸	۲۳۷۸۷	۵۲۰۵۳۲	۱/۵۹	۳/۹۵	۲۳۹۸
RET	۰/۱۷۲	۰/۰۵۳	۷/۰۳	-۵/۵۱	۱/۱۵	۰/۳۲	۶/۱۱	۲۳۹۸

در این بخش و در روند تجزیه طیفی سیگنال، داده‌های بازده شاخص کل بورس با استفاده از الگوریتم MODWT به مؤلفه‌ها مختلف با بسامدهای مختلف تجزیه می‌شود. به‌بیان‌دیگر سری زمانی بازده شاخص کل بورس اوراق‌بهادار تهران به توابع مد ذاتی (IMFs) در بسامدهای کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت تجزیه می‌شود. در نمودار (۱) تجزیه سیگنال با استفاده از الگوریتم MODWT به‌همراه سری زمانی اصلی شاخص بورس اوراق‌بهادار ارائه شده‌است.



نمودار (۱) تجزیه سیگنال با استفاده از الگوریتم MODWT

Figure (1) Signal Decomposition using the MODWT algorithm

پس از تجزیه سری زمانی شاخص بورس اوراق‌بهادار تهران با استفاده از الگوریتم MODWT و به‌دست آوردن مولفه‌های اطلاعاتی کوتاه‌مدت ($y_{1:2,t}$)، میان‌مدت ($y_{1:4,t}$) و بلندمدت ($y_{1:7,t}$)، در این مرحله با استفاده از رویکرد تیلور (Taylor, 2017) و تابع AL به پیش‌بینی معیار ریزش مورد انتظار (ES) پویا در سه افق زمانی کوتاه‌مدت (یک‌روزه)، میان‌مدت (سه‌ماهه) و بلندمدت (یک‌ساله) با استفاده از مولفه‌های مذکور می‌پردازیم. در جدول (۲)، جدول (۳) و جدول (۴) نتایج برآورد پارامترهای تابع AL در سه افق زمانی و با استفاده از سه مولفه اطلاعاتی مستخرج، ارائه شده‌است.

جدول (۲) پارامترهای مدل AL (پیش‌بینی در افق زمانی یک‌روزه)

Table (2) Parameters of AL model (forecast in one day time horizon)

$y_{1:7,t}$	$y_{1:4,t}$	$y_{1:2,t}$	Full	
−۰/۰۲۵	−۰/۰۱۳	−۰/۰۲۴	−۰/۰۲۳	γ_1
۰/۸۷۷	۰/۸۸۵	۰/۸۲۹	۰/۸۹۴	γ_2
−۰/۲۲۸	−۰/۲۲۳	−۰/۳۰۹	−۰/۱۷۹	γ_3
−۰/۹۳۱	−۰/۹۳۳	−۱/۰۶۰	−۰/۸۷۸	γ_0

جدول (۳) پارامترهای مدل AL (پیش‌بینی در افق زمانی سه‌ماهه)

Table (3) Parameters of AL model (forecast in 3 month time horizon)

$y_{1:7,t}$	$y_{1:4,t}$	$y_{1:2,t}$	Full	
−۰/۰۲۵	−۰/۰۱۴	−۰/۰۲۳	−۰/۰۲۰	γ_1
۰/۸۷۷	۰/۸۷۸	۰/۸۱۷	۰/۸۹۹	γ_2
−۰/۲۲۸	−۰/۲۳۶	−۰/۳۴۰	−۰/۱۷۲	γ_3
−۰/۹۱۵	−۰/۸۹۸	−۱/۰۷۹	−۰/۸۲۷	γ_0

جدول (۴) پارامترهای مدل AL (پیش‌بینی در افق زمانی یک‌ساله)

Table (4) Parameters of AL model (forecast in one year time horizon)

$y_{1:7,t}$	$y_{1:4,t}$	$y_{1:2,t}$	Full	
−۰/۰۲۳۵	−۰/۰۱۳	−۰/۰۲۳	−۰/۰۲۱	γ_1
۰/۸۸۲	۰/۸۷۹	۰/۸۱۷	۰/۸۹۴	γ_2
−۰/۲۲۴	−۰/۲۳۶	−۰/۳۴۰	−۰/۱۸۳	γ_3
−۰/۸۷۵	−۰/۸۶۴	−۱/۰۷۹	−۰/۸۲۸	γ_0

در ادامه با استفاده از مدل‌های ارائه‌شده در جدول (۲)، جدول (۳) و جدول (۴) معیار ریزش مورد انتظار (ES) پویا، در دوره برون نمونه‌ای (۷۰۰ مشاهده انتهایی) با گام‌های یک‌روزه، سه‌ماهه و یک‌ساله برآورد گردید. به‌منظور بررسی میزان اعتبار نتایج به‌دست آمده در پیش‌بینی معیار ریزش مورد انتظار (ES) پویا در افق‌های زمانی مختلف و بر اساس مولفه‌های اطلاعاتی ابتدا از آزمون‌های پس‌آزمایی UCN[1] و UCT[2] استفاده شده‌است. نتایج آزمون‌های مذکور در جدول (۵)، جدول (۶) و جدول (۷) ارائه شده‌است.

جدول (۵) آزمون‌های پس‌آزمایی (افق زمانی یک‌روزه)

Table (5) Back tests (forecast in one day time horizon)

$y_{1:7,t}$	$y_{1:4,t}$	$y_{1:2,t}$	Full	
پذیرش	پذیرش	پذیرش	پذیرش	UCN
پذیرش	پذیرش	پذیرش	پذیرش	UCT

جدول (۶) آزمون‌های پس‌آزمایی (افق زمانی سه‌ماهه)

Table (6) Back tests (forecast in 3 month time horizon)

$y_{1:7,t}$	$y_{1:4,t}$	$y_{1:2,t}$	Full	
پذیرش	پذیرش	پذیرش	پذیرش	UCN
پذیرش	پذیرش	پذیرش	پذیرش	UCT

1. Unconditionalnormal
2. Unconditionalt

جدول (۷) آزمون‌های پس‌آزمایی (افق زمانی یک‌ساله)

Table (7) Back tests (forecast in one year time horizon)

	Full	$y_{1:2,t}$	$y_{1:4,t}$	$y_{1:7,t}$
UCN	پذیرش	پذیرش	پذیرش	پذیرش
UCT	پذیرش	پذیرش	پذیرش	پذیرش

بر اساس نتایج آزمون‌های پس‌آزمایی UCN و UCT اعتبار تمامی مدل‌ها در افق‌های زمانی مختلف مورد تأیید قرار گرفت بااین‌حال به‌منظور بررسی دقیق‌تر و مقایسه مدل‌های ارائه‌شده، نتایج پیش‌بینی معیارهای ریسک در قالب معیار متوسط زیان برآورد مورد آزمون قرار گرفته‌اند. نتایج این بخش در جدول (۸) نمایش داده‌شده‌است.

جدول (۸) نتایج آزمون متوسط زیان

Table (8) Average Loss test results

	Full	$y_{1:2,t}$	$y_{1:4,t}$	$y_{1:7,t}$
افق زمانی ۱ روزه	۱/۵۰۴	۰/۹۴۱	۱/۰۴۸	۱/۵۶۶
افق زمانی ۱ ماهه	۱/۵۳۷	۱/۱۵۴	۱/۰۳۶	۱/۶۳۱
افق زمانی ۱ ساله	۱/۷۳۹	۱/۲۵۹	۱/۲۵۹	۱/۷۵۷

نتایج آزمون متوسط زیان را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

۱- به‌صورت کلی در تمامی مدل‌ها پیش‌بینی معیار ریزش مورد انتظار (ES) در افق زمانی کوتاه‌مدت (یک‌روزه) در مقایسه با دو افق زمانی دیگر، متوسط زیان کمتری داشته است که نشان‌دهنده ماهیت کوتاه‌مدت این معیار می‌باشد.

۲- بالاترین کارایی مدل‌های مورد مقایسه مربوط به مدل با مؤلفه‌های کوتاه‌مدت ($y_{1:2,t}$) و در افق یک‌روزه می‌باشد.

۳- استفاده از مؤلفه‌های کوتاه‌مدت ($y_{1:2,t}$) و میان‌مدت ($y_{1:4,t}$) به‌دست آمده از تجزیه سیگنال، کارایی مدل‌های پیش‌بینی در افق‌های زمانی مختلف را افزایش داده‌است.

۴- کارایی پیش‌بینی‌ها در افق زمانی بلندمدت با استفاده از مؤلفه‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت نسبت به دیگر مدل‌ها بالاتر می‌باشد که نشان‌دهنده تأثیرگذاری این مؤلفه‌ها در پیش‌بینی‌های بلندمدت می‌باشد.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش تلاش گردید به‌منظور پیش‌بینی و مدیریت ریسک در بازارهای مالی، معیار ریزش مورد انتظار (ES) پویای چند مقیاسی (DMS-ES) در بورس اوراق‌بهادار تهران مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا از داده‌های روزانه شاخص کل بورس اوراق‌بهادار تهران در دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ استفاده گردید و پس از ارائه آمار توصیفی، تجزیه طیفی شاخص بورس با استفاده از الگوریتم MODWT به‌منظور استخراج مؤلفه‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت انجام شد. در ادامه با استفاده از توابع لاپلاس نامتقارن AL رویکرد تیلور (Taylor, 2017)، معیار ریزش مورد انتظار (ES) برای ۷۰۰ داده انتهایی نمونه بر اساس مؤلفه‌های اطلاعاتی کوتاه‌مدت ($y_{1:2,t}$)، میان‌مدت ($y_{1:4,t}$)، بلندمدت ($y_{1:7,t}$) و سری اصلی بازده شاخص بورس (Full) در سه افق زمانی یک‌روزه، سه‌ماهه و یک‌ساله پیش‌بینی گردید و کارایی مدل‌های مذکور با استفاده از آزمون‌های پس‌آزمایی و متوسط زیان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج برآورد مدل‌ها نشان‌می‌دهد که ۱- مدل پویا با استفاده از توابع لاپلاس نامتقارن AL رویکرد تیلور (Taylor, 2017) از اعتبار مناسبی در پیش‌بینی معیار ریزش مورد انتظار (ES) برخوردار است، ۲- به‌صورت کلی معیار ریزش مورد انتظار (ES) ماهیتی کوتاه‌مدت داشته و تمامی مدل‌های مورد استفاده در افق زمانی کوتاه‌مدت (یک‌روزه) از کارایی بالاتری نسبت به افق‌های زمانی‌میان مدت و بلندمدت برخوردار می‌باشند، ۳- پیش‌بینی معیار ریزش مورد انتظار (ES) پویا در افق زمانی یک‌روزه با استفاده از مولفه‌های کوتاه‌مدت بالاترین اعتبار را در بین مدل‌های معرفی شده داشته‌است، ۴- کارایی پیش‌بینی‌ها در افق زمانی بلند مدت با استفاده از مولفه‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت نسبت به دیگر مدل‌ها بالاتر می‌باشد که نشان‌دهنده تأثیرگذاری این مولفه‌ها در پیش‌بینی‌های بلندمدت می‌باشد. لازم به ذکر است که نتایج این پژوهش با نتایج به‌دست آمده در پژوهش بو و همکاران (Bu *et al.*, 2019) همسو می‌باشد.

در نهایت، باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش ، استفاده از مدل‌های پویا و الگوریتم‌های تجزیه سیگنال به‌منظور افزایش دقت و کارایی مدل‌های پیش‌بینی معیارهای ریسک دنباله (VaR و ES) به‌تمامی فعالین حوزه ریسک بازارهای مالی پیشنهاد می‌گردد. همچنین به محققین در حوزه ریسک پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی از سایر رویکردهای پویا در مدل‌سازی ریسک دنباله و تلفیق آن با الگوریتم‌های تجزیه سیگنال استفاده‌کنند. در انتها لازم به ذکر که نبود مطالعات داخلی مرتبط با مدل‌سازی معیارهای پویای ریسک، قابلیت مقایسه نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش با نتایج مطالعات داخلی را با محدودیت مواجه کرده است.

٦- تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع در این پژوهش وجود ندارد.

۷- منابع

Acerbi, C; Tasche, D. (2002). Expected Shortfall: A Natural Coherent Alternative to Value at Risk. *Economic Notes*, *31*(2), 379–388.

Artzner, P; Delbaen, F; Eber, J. M; Heath, D. (1999). Coherent Measures of Risk. *Mathematical Finance*, *9*(3), 203–228.

Berger, T; Gençay, R. (2018). Improving daily Value-at-Risk forecasts: The relevance of short-run volatility for regulatory quality assessment. *Journal of Economic Dynamics and Control*, *92*, 30–46.

Botshekan, M. H; Peymani, M; Sadredin Karami, M. M. (2019). Estimate and evaluate non-parametric value at risk and expected shortfall based on principal component analysis in Tehran Stock Exchange. *Journal of Financial Management Perspective*, *8*(24), 79-102. [In Persian]

Bu, D; Liao, Y; Shi, J; Peng, H. (2019). Dynamic expected shortfall: A spectral decomposition of tail risk across time horizons. *Journal of Economic Dynamics and Control*, *108*, 103753.

Engle, R. F; Manganelli, S. (2004). CAViaR: Conditional Autoregressive Value at Risk by Regression Quantiles. *Journal of Business & Economic Statistics*, *22*(4), 367–381.

Fallahpour, S; Tabasi, H. (2020). Estimation of Expected Shortfall Based on Conditional Extreme Value Theory Using Multifractal Model and Intraday Data in Tehran Stock Exchange. *Financial Research Journal*, *22*(1), 27-43. [In Persian]

Gerlach, R; Wang, C. (2020). Semi-parametric dynamic asymmetric Laplace models for tail risk forecasting, incorporating realized measures. *International Journal of Forecasting*, *36*(2), 489–506.

Gilanipour, J. (2020). The Evaluation of Systemic Risk in the Iran Banking System by Marginal Expected Shortfall (MES) Criterion. *Journal of Economic Research and Policies*, *27* (92), 407-429. [In Persian]

Gneiting, T. (2011). Making and Evaluating Point Forecasts. *Journal of the American Statistical Association*, *106* (494), 746–762.

Graps, A. (1995). An introduction to wavelets. *IEEE Computational Science and Engineering*, *2*(2), 50–61.

Hallin, M; Trucíos Maza, C. C. (2020). Forecasting Value-at-Risk and Expected Shortfall in Large Portfolios: a General Dynamic Factor Model Approach. *SSRN Electronic Journal*.

Hassani, M; Moradi, S. (2021). The Mediator role of Information Asymmetry in Imperfect Competition Market on the relation between Earnings Forecast Bias & Idiosyncratic Risk derived from Capital Assets Pricing Model. *Advances in Finance and Investment*, *1*(1), 81-100. [In Persian]

Mohammadi Salari, E; Rostami, M. R; Gholami Jamkarani, R; safa, M. (2021). Tail Risk Analysis Using realized measure and Dynamic Asymmetric Laplace Models in Tehran Stock Exchange. *Financial Engineering and Portfolio Management*, *12*(48), 391-410. [In Persian]

Naderi Nooreini, M. M. (2018). The Best Methodology of Estimation of Value-at-Risk in Iranian Mutual Funds. *Journal of Asset Management and Financing*, *6*(1), 159-180. [In Persian]

Patton, A. J; Ziegel, J. F; Chen, R. (2019). Dynamic semiparametric models for expected shortfall (and Value-at-Risk). *Journal of Econometrics*, *211*(2), 388–413.

Percival, D. B; Walden, A. T. (2000). Wavelet Methods for Time SeriesAnalysis. *Cambridge university press*.

Samavi, M. E; Nikoomaram, H; Madanchi Zaj, M; Yaghobnezhad, A. (2022). Dynamic GAS Based Modeling for Predicting and Assessing the Value at Risk of Tehran Stock Exchange Index and Gold. *Advances in Finance and Investment*, *3*(7), 120-95. [In Persian]

Saranj, A; Nourahmadi, M. (2016). Estimating of value at risk and expected shortfall by using conditional extreme value approach in Tehran Securities Exchange. *Financial Research Journal*, *18*(3), 437-460. [In Persian]

Schleicher, C. (2002) An introduction to wavelets for economists. *Monetary and Financial Analysis Department Bank of Canada.*

Seyfi, S. M. S; Sharifi, A; Arian, H. (2021). Portfolio Value-at-Risk and expected-shortfall using an efficient simulation approach based on Gaussian Mixture Model. *Mathematics and Computers in Simulation*.

Taiebysani, E; Changi Ashtiani, M. (2018). Forecasting Volatility & Risk Management in Tehran Stock Exchange through Long memory impacts. *Financial Engineering and Portfolio Management*, *9*(34), 121-142. [In Persian]

Taleblou, R; davoudi, M. M. (2018). Estimation of Optimal Investment Portfolio Using Value at Risk (VaR) and Expected Shortfall (ES) Models: GARCH-EVT-Copula Approach. *Economics Research*, *18*(71), 91-125. [In Persian]

Taylor, J. W. (2017). Forecasting Value at Risk and Expected Shortfall Using a Semiparametric Approach Based on the Asymmetric Laplace Distribution. *Journal of Business & Economic Statistics*, *37*(1), 121–133.

COPYRIGHTS

© 2022 by the authors. Published by Islamic Azad University, Esfarayen Branch. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).