

## Investigating Time Varying Herd Behavior in Tehran Stock Exchange: Generalized Autoregressive Score Approach

Mohammad Ebrahim Samavi<sup>1</sup>, Hashem Nikoomaram<sup>2</sup>, Mahdi Madanchi Zaj<sup>3</sup>, Ahmad Yaghoobnezhad<sup>4</sup>

Received: 2022/02/23

Accepted: 2022/03/20

Research Paper

### Abstract

Herd behavior is one of the most important behavioral biases in financial markets and is one of the determinants of financial crises. Given that herd behavior directly affects price, presenting a model based solely on past prices, with good predictability, indicates the existence of market herd behavior. This article aims to investigate the existence of herd behavior in Tehran Stock Exchange and presents a new nonlinear variable time model called Generalized Autoregressive Score (GAS) and to compare with traditional GARCH and AR nonlinear models, in order to predict the returns distribution of the total index of the stock exchange during the period 2010 to 2020. The results of modeling for the asset by the new GAS model are compared with the results of the GARCH and AR models and their performance are tested for inside and outside the sample. Sample in the internal and external tests show that the new GAS model is more accurate than the traditional GARCH and AR models in predicting the daily returns distribution of the total index of the Tehran Stock Exchange and also the presence of herd behavior in Iran's capital market has been approved.

**Key Words:** Predicting Distribution of Return, Herd Behavior, Behavioral Finance, Financial Modeling, Generalized Autoregressive Score Model.

**JEL Classification:** G41, G40, G01, G17.

---

1. Department of Financial Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(Email: m.e\_samavi@yahoo.com)

2. Department of Financial Management, Sciences and Researches Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

(Corresponding Author) (Email: nikoomaram@srbiau.ac.ir)

3. Department of Financial Management, Electronic Campus, Islamic Azad University Tehran, Iran.

(Email: madanchi@iauec.ac.ir)

4. Department of Accounting, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(Email: ahm.yaghoobnezhad@iauctb.ac.ir)



## بررسی رفتار رمه‌ای متغیر زمان در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از مدل امتیاز خودرگرسیونی تعمیم یافته

محمدابراهیم سماوی<sup>۱</sup>، هاشم نیکومرام<sup>۲</sup>، مهدی معدنچی زاج<sup>۳</sup>، احمد یعقوب‌نژاد<sup>۴</sup>

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۹

### چکیده

رفتار توده‌وار یا رمه‌ای یکی از مهمترین سوگیری‌های رفتاری است که در بازارهای مالی وجود دارد و از عوامل شکل‌دهنده بحران‌های مالی است. باتوجه به اینکه رفتار رمه‌ای به صورت مستقیم بر قیمت اثر می‌گذارد، از این رو پیش‌بینی قیمت بر اساس داده‌های قیمتی گذشته، نشان از وجود رفتار رمه‌ای در بازار دارد. این مقاله با هدف بررسی وجود رفتار رمه‌ای در بورس اوراق بهادار تهران، مدل زمان متغیر غیرخطی نوینی به نام امتیاز خودرگرسیونی تعمیم‌یافته (GAS) ارائه کرده و با مدل‌های غیرخطی سنتی GARCH و AR نیز قیاس شده است. در راستای پیش‌بینی بازدهی شاخص بورس اوراق بهادار تهران جهت تشخیص وجود رفتار رمه‌ای، از داده‌های قیمتی طی بازه ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۹ استفاده شده است. توان و دقت پیش‌بینی توزیع بازدهی مدل نوین GAS با نتایج مدل‌های غیرخطی GARCH و AR در داده‌های درون و برون‌نمونه‌ای جهت تشخیص وجود رفتار رمه‌ای قیاس شده است. نتایج پژوهش در آزمون‌های درون و برون‌نمونه‌ای نشان‌دهنده دقت بالاتر مدل نوین GAS نسبت به مدل‌های سنتی GARCH و AR در پیش‌بینی توزیع بازدهی روزانه شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران و وجود رفتار رمه‌ای در بازار سرمایه ایران بوده است.

**واژگان کلیدی:** پیش‌بینی توزیع بازدهی، رفتار رمه‌ای، مالی رفتاری، مدل‌سازی مالی، مدل امتیاز خودرگرسیونی تعمیم‌یافته.

طبقه‌بندی موضوعی: G41, G40, G01, G17.

۱. گروه مدیریت مالی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (Email: m.e\_samavi@yahoo.com)

۲. گروه مدیریت مالی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول) (Email: nikoomaram@srbiau.ac.ir)

۳. گروه مدیریت مالی، واحد الکترونیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (Email: madanchi@iauec.ac.ir)

۴. گروه حسابداری، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (Email: ahm.yaghobnezhad@iauctb.ac.ir)



## مقدمه

رفتار رمه‌ای<sup>۱</sup> که از آن به عنوان رفتار گله‌ای هم یاد می‌شود یکی از تورش‌های مهم و پرکاربرد در مباحث مالی رفتاری است. به‌طور کلی می‌توان گفت این تورش در حوزه مالی به معنی تقلید تصمیم‌های مالی، سرمایه‌گذاری و اقتصادی از دیگران است و یکی از عوامل اساسی شکل‌گیری حباب مثبت و منفی و به تبع آن بحران‌ها در بازارهای مالی است. هرچند که دلایل رفتارهای رمه‌ای می‌تواند متفاوت باشد برای مثال تحلیلگران با سابقه به دلیل حفظ خوش‌نامی و خدشه‌دار نشدن محبوبیت خود با هم‌رنگی با جماعت دچار این سوگیری می‌شوند و عوام عموماً به روندهای اخیر بدون در نظر گرفتن عوامل بنیادی به صورت غیرعقلایی رفتار می‌کنند (میرلوحی و همکاران، ۱۳۹۸). بازارهای مالی صرفاً متأثر از تغییرات عوامل خرد و کلان اقتصادی نیستند بلکه از ده‌ها عامل دیگر اثر می‌پذیرند (پدرو و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۲۰). به همین دلیل است که سرمایه‌گذاری در بازارهای مالی به دلیل تعدد و ناشناخته بودن عوامل دارای ریسک است؛ زیرا سری‌های زمانی داده‌های قیمتی در بازارهای مالی ذاتاً به صورت آشوبی، غیرپویا است (ال‌قرابی و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۲۱). در راستای نظریه گام تصادفی<sup>۴</sup> و فرضیه بازار کارا<sup>۵</sup> طی چند دهه اخیر پژوهش‌های زیادی جهت پیش‌بینی گشتاور اول و دوم توزیع بازدهی دارایی‌های مالی انجام شده است (آناتولیف و بارونیک<sup>۶</sup>، ۲۰۱۹). از طرفی دیگر، سایر پژوهش‌ها نشان‌دهنده وجود نظم در بی‌نظمی‌ها یا به عبارتی آشوبی بوده و در نتیجه قابل پیش‌بینی می‌باشند (عبدالملکی و همکاران، ۱۳۹۹). مدل‌های خطی سنتی به دلیل ناتوانی در استخراج صحیح توزیع شرطی داده‌های قیمتی و همچنین مدل‌های غیرخطی به دلیل ضبط نشدن توزیع شرطی به صورت پویا در کنار سایر فروض تحدیدکننده نظیر فرض نرمال بودن توزیع بازدهی که خلاف داده‌های واقعی است، که خود مبین ضعف این مدل‌ها است. در نتیجه چالش اصلی عدم کارایی مدل‌های خطی و غیرخطی در پیش‌بینی توزیع بازدهی دارایی‌های مالی به صورت ویژه در زمان تلاطم‌های قیمتی است (باساک و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۱۹).

وجود رفتار رمه‌ای منجر به بحران مالی می‌شود و در ادامه این رویداد، سلسله رویدادهایی همچون کاهش رشد اقتصادی، افزایش سفته‌بازی، عدم تأمین مالی مناسب بخش واقعی اقتصاد از بازارهای مالی و در ادامه نزول میزان رفاه جامعه، افزایش نرخ بیکاری، رشد فقر و اختلاف طبقاتی خواهد شد (سعیدی و فرهانیان، ۱۳۹۰). از این رو بررسی وجود و یا نبود این تورش رفتاری در بازار سرمایه ایران هم برای سیاست‌گذاران جهت اتخاذ سیاست‌های درخور و هم برای سرمایه‌گذاران حقیقی و حقوقی در راستای پیش‌بینی بازارهای مالی در راستای کسب منافع مالی از اهمیت والایی برخوردار است. در شرایط فعلی حدود ۵۰ میلیون کد بورسی در بازار سرمایه ایران وجود دارد که نشان‌دهنده افزایش ضریب نفوذ این بازار در آحاد مردم است. از طرفی دیگر بازار سرمایه ایران علاوه بر اینکه محلی برای سرمایه‌گذاری اشخاص حقیقی و حقوقی و همچنین کانالی جهت تأمین مالی بنگاه‌های اقتصادی می‌باشد، محلی برای واگذاری دارایی‌های مالی دولت و تأمین مالی آن از طریق اوراق بدهی هم می‌باشد که نشان از جایگاه ویژه بازار سرمایه در اقتصاد ایران دارد. این مهم دلالت بر ضرورت آگاهی نسبت به وجود و یا نبود رفتار رمه‌ای در

1. Herding

2. Pedro et al.

3. El Ghourabi et al.

4. Random Walk Hypothesis

5. Efficient-market Hypothesis

6. Anatolyev & Baruník

7. Basak et al.

بازار سرمایه ایران جهت تصمیم‌گیری دولتمردان، ارکان بازار سرمایه و سرمایه‌گذاران حقیقی و حقوقی دارد. نتایج این پژوهش می‌تواند دستاورد و ارزش افزوده علمی بدین شرح داشته باشد:

نخست، موجب معرفی مدل زمان متغیر در حوزه مالی رفتاری و تشخیص وجود رفتار رماه‌ای می‌شود که محدودیت‌های مدل‌های خطی و غیرخطی سنتی را ندارد و همچنین قابلیت پیش‌بینی توزیع بازدهی حتی در زمان تلاطم‌های قیمتی هم دارد. دوم، نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد کدامیک از مدل‌های غیرخطی GAS، GARCH و AR توانایی بهتری جهت پیش‌بینی توزیع بازدهی و تشخیص رفتار رماه‌ای دارند. این موضوع می‌تواند اطلاعات مفیدی برای سیاست‌گذاران بازار سرمایه برای تدوین خط مشی و همچنین فعالان این بازار جهت کسب بازدهی بیشتر قرار دهد.

در راستای اهمیت و ضرورت این موضوع و همچنین جهت پوشش شکاف نظری در این حوزه، در پژوهش حاضر به مدل‌سازی نوین زمان متغیر برای پیش‌بینی توزیع بازدهی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از مدل امتیاز خودرگرسیون تعمیم‌یافته (GAS) پرداخته شده است. در نهایت با بهره‌گیری از داده‌های قیمتی روزانه شاخص کل بورس به بررسی وجود و یا نبود رفتار رماه‌ای پرداخته شده و همچنین نتایج مدل نوین امتیاز خودرگرسیون تعمیم‌یافته (GAS) با مدل‌های سنتی غیرخطی AR و GARCH مقایسه شده است.

در ادامه، پژوهش پیش رو چنین نگاشته شده که در ابتدا مبانی نظری پژوهش بیان و پیشینه مطالعات تجربی مرتبط با آن مرور شده است. سپس، فرضیه‌های پژوهش ارائه و روش تحقیق آن شامل مدل‌سازی روش امتیاز خودرگرسیون تعمیم‌یافته (GAS) تشریح شده است. در گام بعدی، نتایج حاصل از آزمون فرضیه‌ها تجزیه و تحلیل شده و در نهایت بر اساس جمع‌بندی و نتیجه‌گیری به عمل آمده چند توصیه کاربردی و پژوهشی ارائه شده است.

### مبانی نظری و پیشینه پژوهش

رفتار عقلایی، رفتاری مبتنی بر عقلانیت است و احساسات در آن دخیل نیستند؛ اما در برخی از موارد انسان‌ها رفتارهای غیرعقلایی از خود بروز می‌دهند و تصمیم‌های غیرعقلایی می‌گیرند. این طبقه از عوامل عرصه ظهور دانش مالی رفتاری را در ادبیات مالی فراهم کرده است. این دانش بر تعصبات شناختی و احساسی تأکید دارد به صورتی که سرمایه‌گذاران به دلیل بروز خطاهای شناختی و سوگیری‌های احساسی به صورت عقلایی رفتار نمی‌کنند (بهبادفر و همکاران، ۱۴۰۰). در حال حاضر بازار سرمایه ایران حدود ۵۰ میلیون سهام‌دار دارد و یکی از ارکان اصلی بازارهای مالی ایران است. از این رو عملکرد این بازار نقش بسزایی در ایجاد ثروت آحاد مردم و همچنین شکوفایی و رشد اقتصادی دارد. حرکت توده‌وار یکی از تورش‌های رفتاری است که در عموم بازارهای مالی وجود دارد و افراد با پیروی از تصمیم‌های اکثریت، خود را با آن منطبق می‌سازند (میرهاشمی نسب و همکاران، ۱۳۹۸). در این بخش به مبانی نظری رفتار رماه‌ای، مدل‌سازی مالی جهت پیش‌بینی بازدهی با استفاده از داده‌های قیمتی متأثر از رفتار رماه‌ای و در نهایت مروری بر پیشینه پژوهش پرداخته شده است.

### رفتار رماه‌ای

رفتار رماه‌ای انواع گوناگونی مبتنی بر عوامل مختلفی دارد که در این بخش به آن اشاره می‌گردد. رفتار رماه‌ای مبتنی بر اطلاعات ناقص نوعی رفتار جمعی است که سرمایه‌گذاران با استفاده از اطلاعات غیرکامل اقدام به تصمیم‌گیری در مورد خرید و فروش دارایی‌های مالی می‌کنند (بنرجی<sup>۱</sup>، ۱۹۹۲). زمانی که افراد بینش کمی در مورد تصمیم عاقلانه

سرمایه‌گذاری داشته باشند، می‌توان اطلاعات افراد را از روی کنش هر یک استنباط کرد که در چینی شرایطی احتمال بروز رفتار رמה‌ای وجود دارد (میرلوحی و همکاران، ۱۳۹۶). نوع دیگر رفتار رמה‌ای مبتنی بر اعتبار یا شهرت است. براساس این نظریه زمانی که یک مدیر سرمایه‌گذاری اطلاعاتی در مورد انتخاب گزینه سرمایه‌گذاری نداشته باشد، انتخاب سبد سرمایه‌گذاری براساس سبد سایر مدیران سرمایه‌گذاری نشان‌دهنده ابهام در توانایی مدیر سرمایه‌گذاری است. این قیاس نادرست در نهایت به نفع مدیر سرمایه‌گذاری منفعل است زیرا با تقلید از سایر مدیران سرمایه‌گذاری می‌تواند سطح توانایی خود را مخفی نگه دارد و به نوعی با تکرار این رفتار توسط مدیران سرمایه‌گذاری دیگر رفتار رמה‌ای رخ دهد (ودادی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۱). نوع دیگر رفتار رמה‌ای مبتنی بر دستمزد است که براساس یک شاخص معیاری، عملکرد سرمایه‌گذار یا مدیر سرمایه‌گذاری سنجیده می‌شود. زمانی که حق الزحمه و پاداش مدیر سرمایه‌گذاری وابسته به عملکرد شاخص باشد، او تمایل بیشتری پیدا می‌کند تا سبد سرمایه‌گذاری را مبتنی بر شاخص و شرکت‌های شاخص‌ساز بچیند از این رو منجر به رفتار رמה‌ای در بازار می‌شود (قنبری و دیلالی<sup>۲</sup>، ۲۰۲۰). قیمت متأثر از یک توافق جمعی است که براساس عرضه و تقاضا شکل می‌گیرد، پس با مطالعه آن طبق مبانی نظری موجود می‌توان به وجود یا نبود رفتار توده‌ار در آن بازار پی برد (ودادی و همکاران، ۲۰۲۱). نظریه آشوب بیان می‌کند که نظمی در بی‌نظمی‌ها وجود دارد، از این رو می‌توان یک الگویی در رفتار متغیرهایی همچون قیمت‌های متأثر از رفتار رמה‌ای در بازارهای مالی کشف کرد (ژانگ و لی<sup>۳</sup>، ۲۰۱۸). به این دلیل بازارهای مالی در تقابل با فرضیه کارایی اطلاعاتی از نوع ضعیف، بر اساس داده‌های گذشته قابلیت کسب بازدهی مازاد را دارد. طبق بررسی‌های انجام شده، کارایی ضعیف در بورس اوراق بهادار تهران و همچنین سایر بازارهای مالی جهانی وجود ندارد (نادمی و همکاران، ۱۳۹۵، ارضاء و سیفی، ۱۳۹۹ و ودادی و همکاران، ۲۰۲۱). در نتیجه می‌توان بر اساس داده‌های گذشته و وجود رفتار رמה‌ای، بازدهی و سود نامتعارفی به دلیل عدم کارایی از نوع ضعیف در بازارهای مالی کسب کرد (باساک و همکاران، ۲۰۱۹).

### مدل زمان متغیر غیر خطی

در تمام مطالعات تجربی به منظور پیش‌بینی بازدهی و همچنین بررسی وجود رفتار رמה‌ای، از روش‌های معمول سری‌های زمانی مانند مدل‌های رگرسیون‌های خطی تک و چند متغیره، خودرگرسیون برداری و روش‌های مبتنی بر تحلیل‌های هم‌جمعی بهره گرفته شده است. پیش فرض اصلی تمام روش‌های نام‌برده، وجود فرض پارامتر ثابت ضرایب برآوردی متغیرهای توضیح‌دهنده بر متغیرهای مستقل است که با یک ضریب ثابت نشان داده شده، که این ضریب مبین متوسط تأثیر متغیرهای یاد شده طی دوره زمانی مورد پژوهش است. در این راستا طبق پژوهش باساک و همکاران (۲۰۱۹)، پارامترهای یک مدل مالی در اکثر مواقع در طول زمان ثابت نیست و تغییرات آن‌ها با عوامل درون بازار همانند جابه‌جایی حجم نقدینگی بین صنایع و برون بازار همانند سیاست‌های پولی و مالی که اتفاق می‌افتد در ارتباط است. تکانه‌های برون‌زا توانایی ایجاد شکست‌های ساختاری دارد که در نهایت منجر به تغییر نحوه ارتباط بین متغیرها خواهد شد. از این رو، روش‌های متعارف اقتصادسنجی توانایی لازم برای لحاظ این تکانه‌ها را ندارد که خود باعث کاهش قدر تعمیم‌دهی نتایج و عدم کارایی مدل‌ها در دنیای واقعی می‌گردد (معدنچی‌زاج و

1. Vedadi et al.

2. Ghanbari & Djilali

3. Zhang & Li

همکاران، ۱۴۰۰)؛ در نتیجه با توجه به پویایی، پیچیدگی و ماهیت قیمت‌ها و سایر متغیرها در بازارهای مالی، پیش فرض متغیر ثابت یک فرض محدودکننده است. از این رو در پژوهش حاضر از مدل زمان متغیر امتیاز خودرگرسیون تعمیم‌یافته (GAS) بهره گرفته شده تا تغییرات ضرایب در رویایی با شرایط متفاوت اقتصادی و سیاست‌های اعمال‌شده، بررسی گردد. این روش به نوعی از مدل‌های تغییر رژیم تدریجی حالت فضا محسوب می‌گردد که در آن پارامترها به صورت پیوسته در حال تغییر هستند، پس در این روش نیازی به بررسی شکست‌های ساختاری و لحاظ متغیر موهوم نیست؛ زیرا در این روش علاوه بر اینکه شکست‌ها را در زمان و چرخه‌های مختلف مشخص می‌شود، ضرایب را در طول زمان مشاهده کرده و تجزیه و تحلیل می‌گردد. واقعیت‌های خاصی بر بازده‌های مالی حاکم است که باید برای پیش‌بینی قابل اطمینان میزان ریسک در نظر گرفته شوند. به صورت تجربی، توزیع بازده‌ها دم‌دراز، چولگی آن به سمت چپ و واریانس آن متغیر با زمان است یا به بیانی دیگر بازده‌ها خوشه‌بندی تلاطمی دارند (ژانگ و لی، ۲۰۱۸). در قسمت روش پژوهش به صورت کامل مدل زمان متغیر امتیاز خودرگرسیون تعمیم‌یافته (GAS) تصریح شده است.

در ادامه به برخی پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه اشاره می‌شود. ودادی و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که در صورت برآورد بازدهی با استفاده از قیمت‌های گذشته، می‌توان به وجود رفتار رمه‌ای در بازار پی برد و برای پیش‌بینی آن بازار لحاظ کرد. ویربیکایت و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۰) با مدل غیرخطی کاپولا بازدهی شاخص بورس انگلستان را برآورد کردند و دریافتند که مدل‌های غیرخطی قابلیت پیش‌بینی بهتری در بازار به دلیل تغییرات رفتارهای رمه‌ای دارد. لازار و ژو<sup>۲</sup> (۲۰۲۰) جهت برآورد ارزش معرض ریسک و ریزش انتظاری در معاملات روزانه روشی بر اساس مدل GAS توسعه دادند. محققان با مقایسه نتایج این روش با روش‌های دیگر به این نتیجه رسیدند که این مدل از مدل‌های دیگر در تمام شاخص‌های بورس و سطوح احتمالات مختلف عملکرد بهتری برای سنجش میزان تورش رفتار رمه‌ای دارد. چیوووکولا و لکشمی<sup>۳</sup> (۲۰۲۰) در یک رویکرد غیرخطی مبتنی بر یادگیری ماشینی با محوریت بررسی وجود رفتار رمه‌ای در بازار رمزارزها، بازدهی رمزارزها را پیش‌بینی کردند. آن‌ها با قیاس انواع الگوریتم‌های مبتنی بر رگرسیون همانند رگرسیون چندمتغیره و لاجیت و همچنین سایر روش‌های فراابتکاری توصیه کردند که از مدل‌های غیرخطی حافظه‌دار جهت پیش‌بینی بازدهی رمزارزها به دلیل وجود رفتار رمه‌ای استفاده گردد. گبکا و وهر<sup>۴</sup> (۲۰۱۹) به مدل‌سازی جهت پیش‌بینی بازدهی شاخص داوجونز به صورت روزانه در چارک‌های توزیع آن پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که چارک ۰/۷۵ برای اغلب کوانتیل‌های بازده آتی به جز شاخص میانه، به دلیل وجود رفتار رمه‌ای قدرت پیش‌بینی پذیرفتنی‌ای دارد. یائو و ژو (۲۰۱۸) جهت پیش‌بینی نااطمینانی‌های پیش روی بازار سرمایه چین از پیش‌بینی توزیع توصیفی مبتنی بر روش گارچ و روش میانگین متحرک وزنی‌نمایی، مدلی ارائه دادند. نتایج نشان‌دهنده توانایی بیشتر روش غیرپارامتریک جهت پیش‌بینی رفتار رمه‌ای و بازدهی شاخص بازار سرمایه چین است. در پژوهشی دیگر، امجد و شاه<sup>۵</sup> (۲۰۱۷) به این نتیجه رسیدند که جهت پیش‌بینی بازدهی بیت‌کوین روش‌های سنتی و خطی کارایی لازم را ندارد. از این رو با مدل‌سازی مبتنی بر الگوریتم‌های طبقه‌بندی و

1. Virbickaite et al.

2. Lazar & Xue

3. Chivukula & Lakshmi

4. Gebka & Wohar

5. Amjad & Shah

یادگیری توزیع شرطی به پیش‌بینی بازدهی بیت‌کوین پرداختند و وجود رفتار رمه‌ای را تأیید کردند. ژو و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) با این استدلال که یک مدل با به کارگیری یک توزیع مختلط، توانایی برآورد توزیع بازدهی را دارد، استفاده از این رویکرد را برای انتخاب دارایی مالی پیشنهاد نمودند که مؤید رفتار توده‌وار بود. در پژوهش‌های داخلی تا کنون پژوهشی در مورد پیش‌بینی توزیع متغیر تصادفی بازدهی دارایی‌های مالی در راستای سنجش میزان رفتار رمه‌ای آن هم به صورت زمان متغیر انجام نشده است و عموماً از مدل‌های خطی و غیرخطی صرف جهت پیش‌بینی بازدهی استفاده شده که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است. معدنچی‌زاج و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از مدل‌های غیرخطی جهت پیش‌بینی بازدهی مبتنی بر قیمت‌های گذشته بیت‌کوین به این نتیجه رسیدند که مدل غیرخطی شبکه عصبی ماشین پشتیبان‌بردار جهت برآورد بازدهی ماهانه و مدل تلفیقی شبکه عصبی خاکستری جهت برآورد قیمت ماهانه بیت‌کوین بیشترین دقت را دارد. نجارزاده و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از ترکیب مدل‌های خانواده گارچ و شبکه عصبی در توزیع تی‌استودینت توانستند بازدهی شاخص کل بورس اوراق بهادار را در بازه‌های ماهانه با خطایی کمتر از ۵ درصد پیش‌بینی کنند. نیکوسخن (۱۳۹۷) با استفاده از یک مدل ترکیبی بهبودیافته با انتخاب وقفه‌های خودکار از جمله الگوریتم ژنتیک بازدهی شاخص کل بورس را برآورد نمود. نتایج به‌دست‌آمده از مدل ترکیبی ارائه‌شده در این پژوهش، بیان‌کننده خطای کمتر و دقت پیش‌بینی بیشتر آن در مقایسه با مدل ARIMA برای داده‌های برون‌نمونه است. دولو و پاپائی (۱۳۹۶) با هدف بررسی رفتار جمعی در نوسانات بازار دریافتند که رفتار رمه‌ای تحت تأثیر نوسانات بازار قرار دارد. گل ارضی و ضیاجی (۱۳۹۳) با استفاده از حجم معاملات و مدل CAPM به این نتیجه رسیدند که رفتار رمه‌ای به صورت پیوسته در بورس اوراق بهادار تهران وجود داشته است. با توجه به پژوهش‌های موجود، خلأ مدل‌سازی زمان متغیر جهت پیش‌بینی بازار سرمایه ایران در شرایط متفاوت جهت برآورد وجود یا نبود تورش رفتاری رمه‌ای انجام نشده است که پژوهش حاضر در راستای پوشش این خلأ نگاشته شده است.

### فرضیه‌های پژوهش

با توجه به مبانی نظری و پیشینه پژوهش، فرضیه‌های پژوهش به شرح زیر تدوین شده است:

۱. بازدهی آتی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران از داده‌های گذشته پیش‌بینی‌پذیر است و رفتار رمه‌ای وجود دارد.
۲. مدل نوین امتیاز خودرگرسیون تعمیم‌یافته (GAS) قابلیت بهتری برای پیش‌بینی بازدهی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران نسبت به مدل‌های سنتی غیر خطی GARCH و AR دارد.

### روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با هدف تشخیص وجود رفتار رمه‌ای در بازار سرمایه ایران، روشی جدید جهت مدل‌سازی پیش‌بینی توزیع بازدهی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران ارائه کرده، در نتیجه از نوع کاربردی است. رویکرد این پژوهش به دلیل استفاده از بازدهی روزانه شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران به صورت پس‌رویدادی است. در چارچوب نظری و پیشینه پژوهش از مطالعه کتابخانه‌ای استفاده شده است. قلمرو زمانی داده‌های به‌کار رفته در این پژوهش شامل داده‌های قیمتی روزانه شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران از ابتدای سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۳۹۹ (ده ساله) شامل ۲,۷۵۳ مورد است. در این راستا ابتدا برای داده قیمتی شاخص کل بورس از نرم‌افزار رهاورد نوین نسخه سوم

استخراج شده، سپس بازده دارایی مذکور به روش  $x_t = \ln(P_t/P_{t-1})$  محاسبه شده است. در ادامه با استفاده از بازده‌های به‌دست‌آمده در بستر نرم‌افزار R مدل زمان متغیر امتیاز خودرگرسیونی تعمیم‌یافته (GAS) طراحی و نتایج آن با مدل‌های GARCH و AR قیاس شده است.

### مراحل اجرایی پژوهش و تصریح مدل نوین امتیاز خودرگرسیون تعمیم‌یافته (GAS)

در گام اول، بازدهی روزانه شاخص کل در قلمروی زمانی محاسبه می‌گردد. در گام بعدی جهت مدل‌سازی جدید در راستای برطرف نمودن ضعف مدل‌های سنتی، با تقسیم نمونه به دو گروه آموزش و آزمون، توزیع شرطی بازده دارایی‌ها برای گروه آموزش برآورد و مدل‌سازی شده که در ابتدا مدل امتیاز خودرگرسیون تعمیم‌یافته (GAS) تصریح شده است.

در ابتدا کرل و همکاران (۲۰۱۳) گونه‌ای از مدل متغیر زمان را طراحی کردند و در ادامه پدرو و همکاران (۲۰۲۰) مدل امتیاز خودرگرسیون تعمیم‌یافته (GAS) را با تعریف یک بردار تصادفی  $N$  بعدی در زمان  $t$  با توزیع شرطی و با لحاظ  $Y_t \in \mathcal{R}^N$  به صورت  $Y_t | Y_{1:t-1} \sim p(Y_t; \theta_t)$  تصریح کردند:

$$\theta_{t+1} \equiv \alpha + \phi q_t + \varphi \theta_t \quad (1)$$

در فرمول بالا پارامترهای  $\alpha$ ،  $\phi$  و  $\varphi$  ماتریس‌های ضرایبند که تغییرات  $\theta_t$  را کنترل نموده، از این رو لازم است که داده‌ها با روش حداکثر راست‌نمایی برآورد شود (پدرو و همکاران، ۲۰۲۰).

باتوجه به واقعیت بازارهای مالی که توزیع آن‌ها به صورت دم‌دراز است و چولگی آن به سمت چپ است، واریانس آن متغیر با زمان است. جهت توضیح این ویژگی‌ها مدلی نوین با انعطاف مناسب تصریح شده و در آن فرض شده است که توزیع بازده لگاریتمی در زمان  $t$  مشروط به مشاهده‌های قبلی است:

$$r_t | \mathcal{F}_{t-1} \sim SKST(r_t; \mu, \sigma_t, \xi, \nu) \quad (2)$$

که در آن،  $\mathcal{F}_{t-1}$  ساختار اطلاعات در زمان  $t-1$  است و  $SKST(r_t; \cdot)$  توزیع تی‌استیودنت با مکان  $\mu \in \mathbb{R}$  مقیاس متغیر با زمان  $\sigma_t > 0$  به ترتیب پارامترهای شکل و چولگی  $\nu > 2$  و  $\xi > 0$  است. توزیع  $SKST$  پارامترسازی شده به شکلی که  $\mathbb{E}_{t-1}[r_t] = \mu$  و  $Var_{t-1}[r_t] = \sigma_t^2$  است. چگالی لگاریتمی توزیع  $SKST$  در  $r_t$  به شکل زیر ارزیابی می‌شود:

$$\log f_{skst}(r_t; \mu, \sigma_t, \xi, \nu) = \log g + \log s + c - \frac{\nu + 1}{2} \log \left[ 1 + \frac{\left[ \left( \frac{r_t - \mu}{\sigma_t} \right) s + m \right]^2}{(\nu - 2)(\xi^*)^2} \right] \quad (3)$$

که

$$m \equiv \mu_1 \left( \xi - \frac{1}{\xi} \right) \quad (4)$$

$$s \equiv \sqrt{(1 - \mu_1^2) \left( \xi^2 \frac{1}{\xi^2} \right) + 2\mu_1^2} - 1 \quad (5)$$

$$g \equiv \frac{2}{\xi + \frac{1}{\xi}} \quad (6)$$

$$c \equiv \frac{1}{2} [\log \nu - \log(\nu - 2) - \log \pi + \log \nu] + \log \Gamma \left( \frac{\nu + 1}{2} \right) - \log \Gamma \left( \frac{\nu}{2} \right) \quad (7)$$



با،

$$\mu_1 \equiv \frac{2\sqrt{\nu-2}}{(\nu-1)} \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)} \quad (۸)$$

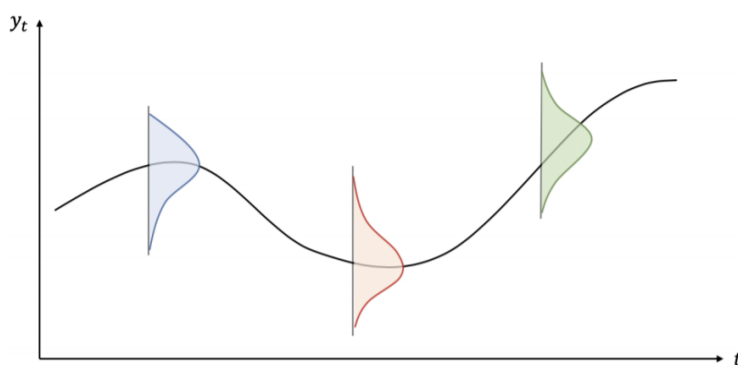
و

$$\xi_t^* \equiv \begin{cases} 1 & \text{if } Z_t = 0 \\ \frac{1}{\xi} & \text{if } Z_t < 0 \\ \xi & \text{if } Z_t > 0 \end{cases} \quad (۹)$$

که در آن،  $Z_t \equiv \left(\frac{r_t - \mu}{\sigma_t}\right) s + m$  در نتیجه پارامتر GAS متغیر با زمان  $\theta_t$  در فرمول ۱ به شکل  $\theta_t \equiv \theta_t$  به دست می‌آید و تغییرات آن نسبت به زمان بر حسب پارامترهای ایستای  $\varphi \equiv (\mu, \nu, \xi)$  تعیین شده است. امتیاز  $SKST(r_t; \cdot)$  بر حسب  $\theta_t$ ،  $s_t$  براساس فرمول زیر به دست آمده است:

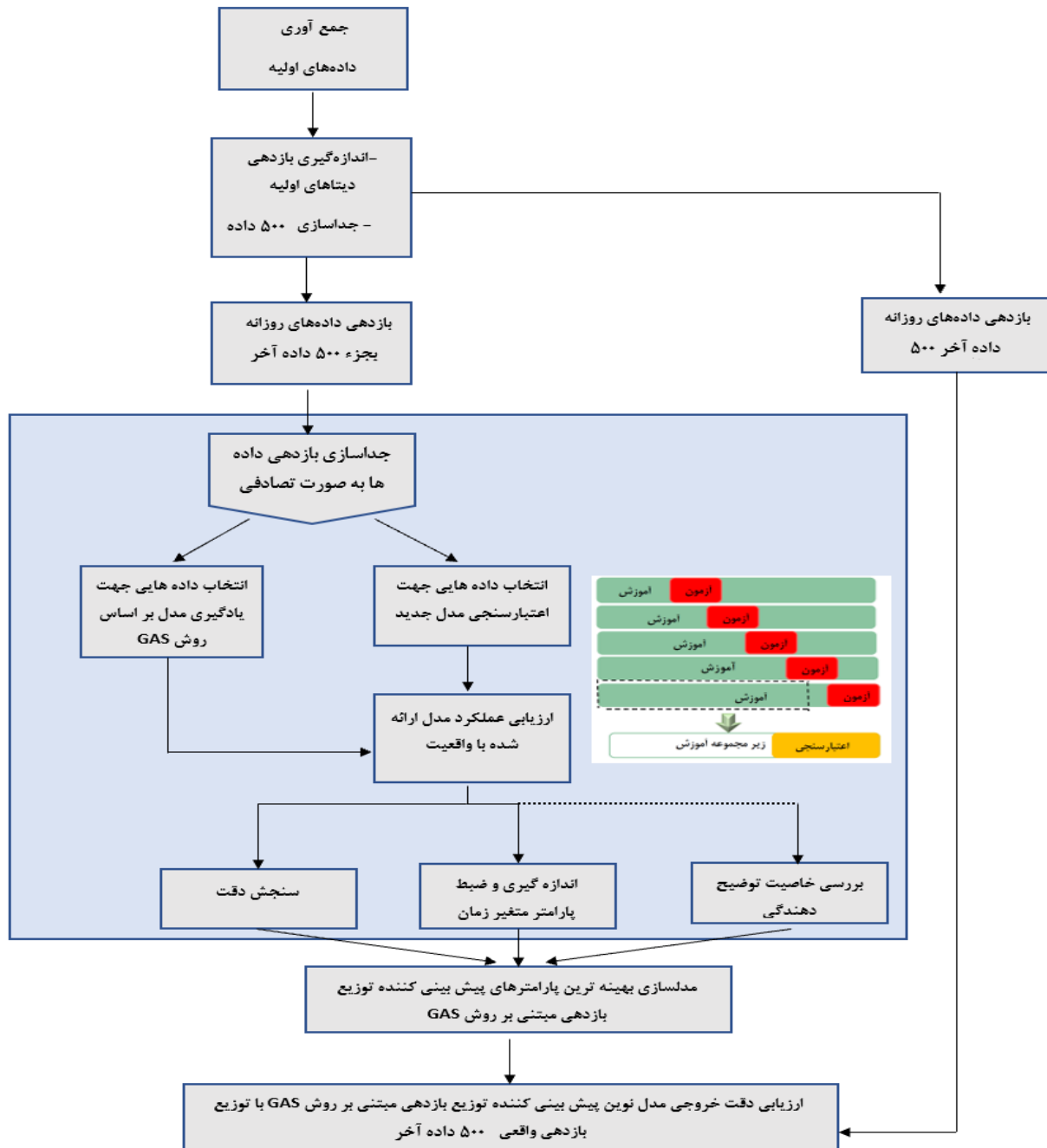
$$s_t \equiv \left( \frac{sZ_t(\nu+1)(r_t - \mu)}{(\xi_t^*)^2(\nu-2)} - 1 \right) \quad (۱۰)$$

و به صورت خطی در فرمول شماره (۱) لحاظ شده است. مشخصاً، توزیع پیش‌بینی یک گام جلو  $F(\cdot, \theta_{T+1}, \varphi)$  به شکل بسته وجود دارد، درحالی‌که توزیع  $h$  گام جلو ( $h > 1$ ) باید شبیه‌سازی شود. در نتیجه در زمان  $t$ ،  $Var_{t+1}(\alpha)$  به صورت مستقیم موجود است، درحالی‌که  $Var_{t+h}(\alpha)$  ( $h > 1$ ) باید بر حسب چندک ارزش‌های شبیه‌سازی شده، ارزیابی شود. براساس سری بازده‌های لگاریتمی  $T$  ( $r_1, \dots, r_T$ ) پارامترهای مدل با بیشینه‌سازی تابع احتمال لگاریتمی تخمین زده شده است (پدرو و همکاران، ۲۰۲۰). از طرفی مدل‌های تصریح شده براساس تابع زیان با هم مقایسه شده است. به این منظور، نمونه کامل بازده‌های  $T$  به دوره درون‌نمونه‌ای به طول  $S$  و دوره خارج از نمونه به طول  $H$  تقسیم شده است. نخست، پارامترهای مدل در دوره درون‌نمونه‌ای برآورد شده و سپس پیش‌بینی  $h$  گام جلوتر توزیع بازده در زمان  $S + h$  انجام شده است. این گام‌ها تکرار می‌شود تا مشاهده‌های جدید به شکل بازگشتی به این دوره درون‌نمونه‌ای اضافه شود، تا زمانی که مدل به انتهای سری  $T$  برسد. در طی گام داده‌افزایی، با توجه به اینکه مشاهده‌های قبلی حذف شده، از پنجره لغزان استفاده شده است. به دلیل ویژگی زمان متغیری که برای پارامترهای توزیع بازدهی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران در نظر گرفته شده، توزیع شرطی یک مدل امتیاز خودرگرسیون تعمیم‌یافته (GAS) قابلیت این را دارد که به‌طور پیوسته بر حسب داده‌های منظور شده تغییر یابد و یک مدل پویا می‌باشد. برای مثال، اگر سری زمانی جهش‌های تلاطمی چشم‌گیری داشته باشد، مدل می‌تواند این رفتار را از طریق ماهیت زمان متغیر پارامترها ضبط کند. این ویژگی در نمودار (۱) نمایش داده شده است.



شکل (۱): نمودار مدل امتیاز خودرگرسیونی تعمیم‌یافته دارای قابلیت توزیع شرطی در طول زمان

این روش به دلیل اینکه از امتیاز مقیاس‌بندی شده جهت استفاده می‌کند، قابلیت پیش بردن تغییرات زمانی در پارامتر  $\theta_t$  را دارد. بدین ترتیب شک توزیع شرطی بازدهی شاخص کل بورس به پویایی‌های خود پارامتر  $\theta_t$  متصل می‌گردد. نوآوری پژوهش حاضر در همین مورد است که مدل تبیین‌شده ضمن در نظر گرفتن فضای احتمالی که دقت بسیار بالاتری به فضای نقطه‌ای دارد، دارای ویژگی زمان متغیر است و قابلیت برآورد مناسب در زمان شوک‌های اقتصادی و به تبع آن تلاطم‌های مالی دارد.

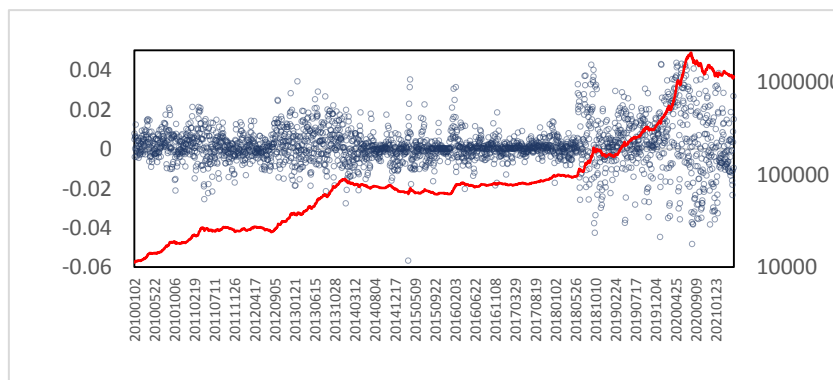


شکل (۲): روند نما مدل سازی پیش‌بینی توزیع بازدهی با امتیاز خودرگرسیون تعمیم یافته

در نتیجه با بررسی برآوردها خواص پارامترهای توزیع و ویژگی‌هایی نظیر زمان متغیر بودن احتمالی آن‌ها آزمودنی خواهد بود. سپس در گام بعدی براساس مدل‌های برآورده شده توزیع شرطی یک گام به جلوی بازده شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران برآورد شده و برای ارزیابی صحت و دقت پیش‌بینی‌ها از آزمون‌های آماری متناسب و داده‌های گروه آموزش بهره برده شده است. در راستای قیاس مدل‌ها، نتایج روش نوین زمان متغیر امتیاز خودرگرسیون تعمیم‌یافته (GAS) را با روش‌های سنتی غیرخطی نظیر مدل‌های GARCH و AR مقایسه شده و سرانجام درباره مدل نهایی با بیشترین دقت جهت برآورد توزیع بازدهی روزانه برای شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران در راستای شناسایی رفتار رمه‌ای بحث شده است.

### یافته‌های پژوهش

در ابتدا براساس داده‌های قیمتی، نمودار قیمتی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران و همچنین بازدهی لگاریتمی روزانه آن در نمودار شماره (۱) نمایش داده شده است.



نمودار (۱): لگاریتم مقدار شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران و بازدهی آن

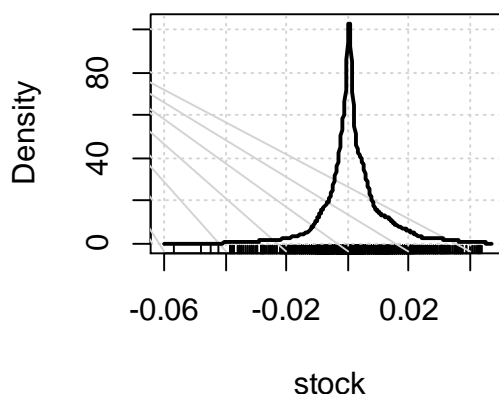
جهت بررسی بهتر بازدهی روزانه شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران، آماره‌های توصیفی شامل میانگین، میانه، بیشینه، کمینه، انحراف معیار، چولگی، کشیدگی و تعداد مشاهدات به همراه نتیجه آزمون جارک- برا جهت تشخیص وجود نرمالی توزیع بازدهی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران در جدول (۱) نگاشته شده است.

جدول (۱): آمار توصیفی داده‌ها

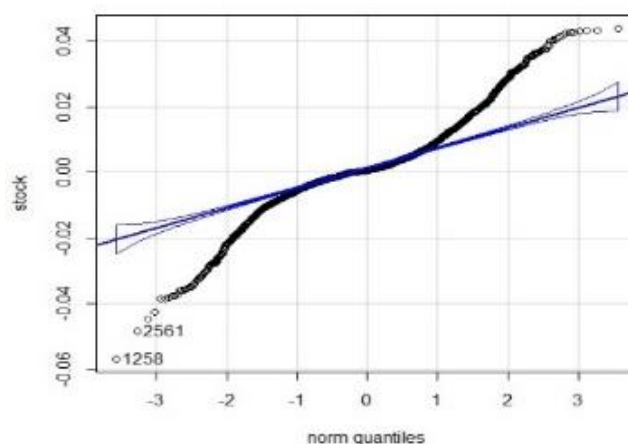
آماره	بازده شاخص کل
میانگین	۰/۰۰۱۷
میانه	۰/۰۰۰۶
بیشینه	۰/۰۴۳۸
کمینه	-۰/۰۵۶۷
انحراف معیار	۰/۰۱۰۶
چولگی	۰/۱۸۹۹
کشیدگی	۳/۳۲۱۸
آزمون جارک- برا	۱۲۸۲
(ارزش احتمال آزمون)	(۰/۰۰۰)
تعداد مشاهدات	۲,۷۵۳

منبع: یافته‌های پژوهش

یکی از اصلی‌ترین شاخص‌های مرکزی، میانگین حسابی است که مبین مرکز ثقل توزیع است و معیار مناسبی جهت نمایش شاخص مرکزیت داده‌های آماری کمی است. مقدار میانگین بازدهی شاخص کل برابر با ۱۷ صدم درصد است. از آنجایی که سطح معناداری متغیر آزمون جارک- برا کمتر از ۵ درصد است، توزیع بازدهی لگاریتمی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کند؛ به همین دلیل جهت بررسی بهتر در نمودار (۲) توزیع چگالی و نمودار چندک- چندک بازدهی لگاریتمی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران نمایش داده شده است.



نمودار (۲): توزیع چگالی بازده شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران



نمودار (۳): نمودار چندک- چندک شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران

از نمودارهای فوق مبرهن است که توزیع بازدهی‌های روزانه شاخص کل از توزیع بهنجار پیروی نمی‌کند. از این رو مدل‌هایی که دارای توزیع شرطی تی‌استیودنت باشند، انتخاب بهتری جهت ارائه مدلی نوین برای پیش‌بینی شاخص کل بورس و در ادامه تشخیص رفتار رهمای در بازار سرمایه ایران است. در ابتدا پیش از مدل‌سازی، از آنجایی که نامانایی متغیرها منجر به بی‌اعتباری تمامی استنباط‌های آماری می‌شوند (بر مبنای نظریهٔ مجانبی استاندارد<sup>۱</sup>)، پس با استفاده از آزمون دیک‌ی فولر تعمیم‌یافته مانایی متغیرها بررسی شده است. در جدول (۲) نتایج آزمون‌های ریشهٔ واحد برای متغیر بازدهی شاخص کل گزارش شده است.

1. The Standard Asymptotic Theory

جدول (۲): آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته

بازده شاخص کل	آزمون ریشه واحد
۱۴	وقفه بهینه (معیار آکائیک)
-۱۰/۰	آماره آزمون
۰/۰۰۰	ارزش احتمال

منبع: یافته‌های پژوهش

با در نظر گرفتن نتایج جدول (۲)، باتوجه به اینکه ارزش احتمال کمتر از ۵ درصد شده پس متغیر بازدهی شاخص کل بورس در سطح اطمینان ۹۵ درصد فاقد ریشه واحد است و در نتیجه قابلیت مدل شدن جهت تشخیص وجود رفتار رمه‌ای را دارد. در ادامه جهت برآورد مدل‌ها، ابتدا داده‌های بازدهی به دو قسمت درون‌نمونه<sup>۱</sup> و برون‌نمونه<sup>۲</sup> تقسیم شده است. از داده‌های درون‌نمونه برای برآورد مدل‌ها و از داده‌های برون‌نمونه برای پیش‌بینی و آزمون قابلیت‌های مدل‌ها جهت بررسی وجود رفتار رمه‌ای استفاده شده است.

### آزمون درون‌نمونه‌ای

همه داده‌ها به غیر از پانصد داده آخر به عنوان داده‌های درون‌نمونه‌ای می‌باشد. در جهت ارائه مدل ریاضی از روش‌های سنتی غیرخطی GARCH و AR و همچنین مدل نوین امتیاز خودرگرسیون تعمیم یافته (GAS) بر اساس داده‌های درون‌نمونه‌ای جهت برآورد توزیع بازدهی آتی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران و تشخیص وجود رفتار رمه‌ای، بهره گرفته شده و نتایج آن‌ها با هم قیاس شده است. قابل ذکر است که هر سه پارامتر مکان  $\mu$ ، مقیاس  $\phi$  و شکل  $\nu$  (درجه آزادی) توزیع، زمان متغیر هستند در نتیجه مدل GAS دارای ویژگی زمان متغیر می‌باشد که از ویژگی‌های منحصر به فرد آن است. نتایج برآورد پارامتر مدل‌ها جهت تشخیص بازدهی آتی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران در جدول (۳) آورده شده است.

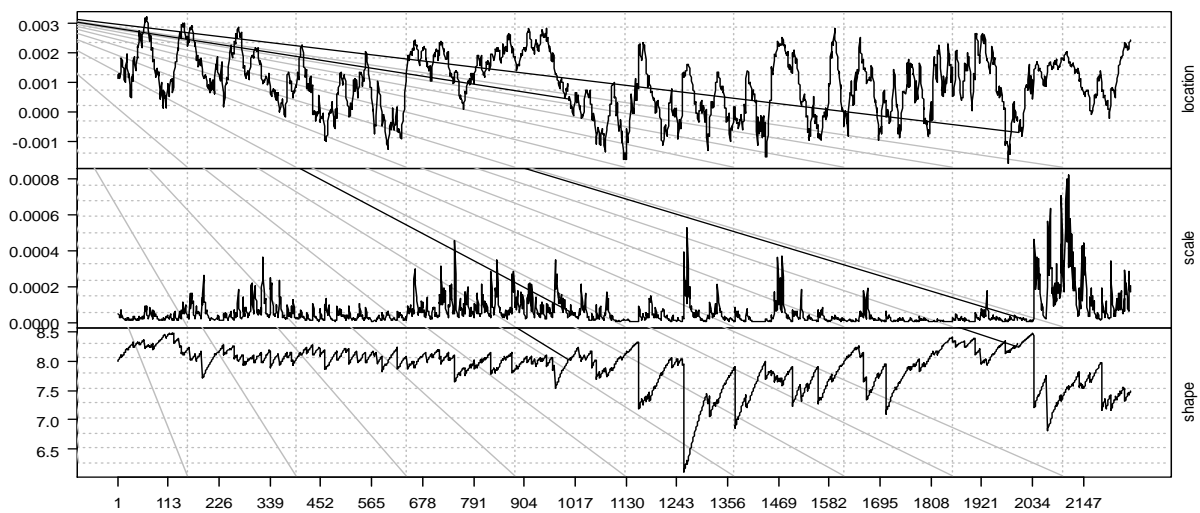
مطابق جدول (۳) مدل نوین امتیاز خودرگرسیون تعمیم یافته (GAS) دارای لگاریتم راست‌نمای بزرگتری نسبت به دو مدل غیرخطی GARCH و AR است که نشان از برتری آن دارد. تمامی ضرایب  $a$  و  $b$  مدل در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار هستند که مبین تصریح بهتر پارامترهای توزیع شرطی بازده شاخص کل به صورت زمان متغیر است.

از طرفی نزدیک به یک بودن مقادیر ضرایب  $b$  است که پایداری بالای میانگین شرطی، واریانس شرطی و درجه آزادی توزیع بازدهی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران را نمایش داده است. علاوه بر آن تفاوت ضرایب پارامترهای برآوردی توزیع نشان می‌دهد که پارامترهای مکان، مقیاس و شکل توزیع شرطی بازده هر کدام رفتار نسبتاً منحصر به فردی دارند و متمایز از یکدیگر در طول زمان می‌باشند.

جدول (۳): نتایج برآورد مدل‌ها در داده‌های درون‌نمونه‌ای بازده شاخص کل بورس

مدل			پارامتر
t-AR	t-GARCH	tv-t-GAS	
۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۴	ضریب
۴/۱۲	۳۳/۳۳	۲/۰۶	آماره t
	۰/۰۰۰۰۱	-۰/۶۸	ضریب
	۰/۶۳	-۱۴/۳۴	آماره t
		-۰/۰۴	ضریب
		-۹/۴۲	آماره t
۰/۳۳		۰/۰۰۰۰۰۱	ضریب
۱۶/۵۱		۱۷۰/۵۷۷	آماره t
	۰/۲۰	۰/۷۵	ضریب
	۴/۵۵	۱۴/۱۹	آماره t
		۰/۱۸	ضریب
		۶۸۴/۵۱	آماره t
		۰/۹۶	ضریب
		۱۰۱۵۰	آماره t
	۰/۷۸	۰/۹۳	ضریب
	۱۸/۱۳	۲۰۱/۴۶	آماره t
		۰/۹۸	ضریب
		۱۸۱۶	آماره t
۲/۳۲	۴/۶۲		ضریب
۱۴/۵۲	۱۱/۱۰		آماره t
۸۰۵۷	۸۲۴۵	۸۲۶۹	log-likelihood

منبع: یافته‌های پژوهش



نمودار (۴): پارامترهای زمان متغیر برآوردی توزیع شرطی مبتنی بر مدل GAS

در نمودار (۴) پارامترهای زمان متغیر توزیع شرطی بازده شاخص کل بورس تهران نمایش داده شده است. بسیار واضح است که در طول دوره نمونه میانگین شرطی و واریانس شرطی بازدهی شاخص کل در دوره‌های مختلف متفاوت و متمایز از هم بوده و رفتار نسبتاً مستقلاً از یکدیگر نیز دارند.

### مقایسه عملکرد مدل‌های برون‌نمونه‌ای

در مرحله بعدی، پس از برآورد مدل‌ها با استفاده از داده‌های درون‌نمونه‌ای مقتضی است که عملکرد مدل‌ها جهت تعمیم‌دهی به آینده در داده‌های برون‌نمونه‌ای هم ارزیابی شود. در این راستا با بهره‌گیری از پیش‌بینی یک دوره رو به جلوی مدل‌ها، عملکرد آن‌ها با استفاده از پیش‌بینی غلتان<sup>۱</sup> ارزیابی و مقایسه شده است. پانصد داده آخر به عنوان داده‌های برون‌نمونه‌ای لحاظ شده است. با توجه به هدف پژوهش که بررسی وجود رفتار رمه‌ای با استفاده از پیش‌بینی توزیع بازده شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران است، پیش‌بینی‌ها از نوع چگالی شرطی خواهند بود؛ یعنی  $y_{T+h}|y_{1:T}$  به ازای  $h = 1$  که در آن  $T$  تعداد مشاهدات درون‌نمونه‌ای است. از قواعد امتیازدهی<sup>۲</sup> جهت قیاس توانایی سه مدل برآورده شده در پیش‌بینی یک گام به جلوی بازدهی شاخص کل استفاده شده است. این روش بدین صورت است که چگالی پیش‌بینی شده توزیع بازدهی را با بازدهی پس‌وقوع<sup>۳</sup> واقعی تحقق‌یافته مقایسه می‌نماید و امتیازی تولید می‌کند که در هر لحظه از زمان، رتبه‌بندی میان مدل‌های جایگزین را تعریف می‌کند (گنیتینگ و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۷). معیار لگاریتم امتیاز<sup>۵</sup> یکی از قواعد امتیازدهی متداول است که در این پژوهش از آن استفاده شده است. علت این امر آن است که لگاریتم امتیاز برای هر دوره پیش‌بینی محاسبه شده و قابلیت قیاس سه مدل را دارد. در این راستا از آزمون دیبولد و ماریانو<sup>۶</sup> جهت سنجش معناداری تفاوت آن‌ها بهره گرفته شده است. این آزمون برابری لگاریتم امتیاز محاسبه شده برای مدل‌ها را از نظر آماری آزمون می‌کند و فرض صفر آن یکسان بودن عملکرد دو مدل رقیب است. در جدول (۴) آزمون نام‌برده جهت پیش‌بینی توزیع بازدهی شاخص کل در مدل‌ها به صورت دو به دو بررسی شده است. اگر آماره آزمون منفی باشد، نشان از برتری مدل اول نسبت به مدل دوم دارد و در صورت وجود ارزش احتمال کمتر از پنج درصد این برتری پذیرفته می‌شود.

جدول (۴): آزمون قیاس عملکرد مدل‌ها در پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای

دارایی	قیاس عملکرد مدل‌ها	آماره آزمون	ارزش احتمال	نتیجه (مدل با عملکرد بهتر طبق آزمون)	نتیجه وجود تورش رمه‌ای
شاخص کل	یکسان بودن عملکرد مدل t-GARCH و tv-t-GAS	-۳/۵۰	۰/۰۰	tv-t-GAS	وجود دارد
	یکسان بودن عملکرد مدل t-AR و tv-t-GAS	-۱۰/۱۴	۰/۰۰	tv-t-GAS	وجود دارد
	یکسان بودن عملکرد مدل t-AR و t-GARCH	-۹/۴۷	۰/۰۰	t-GARCH	وجود دارد

منبع: یافته‌های پژوهش

1. Rolling Forecast
2. Scoring Rules
3. Ex-post
4. Gneiting et al.
5. Log Scores
6. Diebold-Mariano

طبق جدول (۴)، براساس نتایج برون‌نمونه‌ای هر سه مدل، وجود تورش رمه‌ای در بازار سرمایه ایران تأیید می‌گردد. از طرفی همان‌طور که ملاحظه می‌شود جهت پیش‌بینی توزیع بازدهی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران، مدل نوین امتیاز خودرگرسیون‌ی تعمیم‌یافته (GAS)، مدلی ارجح برای پیش‌بینی بازدهی شاخص کل در سطح اطمینان ۹۹ درصد است. از بین مدل‌های سنتی GARCH و AR، مدل GARCH ارجح است.

### بحث و نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر بررسی وجود تورش رفتاری رمه‌ای با ارائه مدل نوین ریاضی در حوزه پیش‌بینی قیمت مبتنی بر داده‌های قیمتی گذشته است. در راستای پیش‌بینی بازدهی با کمترین خطا، طبق ادبیات مدل امتیاز خودرگرسیون‌ی تعمیم‌یافته (GAS) برخلاف مدل‌های سنتی و خطی توانایی پاسخ‌گویی به شوک‌های اقتصادی و تلاطم‌های قیمتی ناشی از آن را دارد و از طرفی دارای قیود محدودکننده غیرواقعی نمی‌باشد و علاوه بر آن دارای ویژگی زمان متغیری می‌باشد، در این صورت می‌تواند بهترین روش تشخیص وجود رفتار رمه‌ای باشد. در این راستا عملکرد مدل GAS جهت پیش‌بینی بازدهی داده‌های درون و برون‌نمونه‌ای روزانه شاخص کل بورس ایران برای سال ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۹ با عملکرد مدل‌های سنتی غیرخطی AR و GARCH قیاس شده است. برای داده‌های درون‌نمونه‌ای نتایج، نشان‌دهنده برتری مدل GAS در مقابل مدل‌های سنتی AR و GARCH برای پیش‌بینی بازدهی شاخص کل بورس ایران بوده و تورش رمه‌ای وجود داشته است و فرضیه اول تأیید می‌گردد. این نتیجه با نتایج پدرو و همکاران (۲۰۲۰)، ال‌قربایی و همکاران (۲۰۲۱) و کریل و همکاران (۲۰۱۳) همخوانی دارد در مورد آزمون‌های برون‌نمونه‌ای که نشان‌دهنده قابلیت تعمیم‌سازی نتایج به دوره‌های آتی می‌باشد، نتایج نشان داد که برای پیش‌بینی بازدهی روزانه شاخص کل بورس ایران مدل GAS نسبت به دو مدل AR و GHARCH و مدل GARCH نسبت به مدل AR عملکرد بهتری داشت، پس فرضیه دوم هم تأیید می‌گردد. از این رو با توجه به نتایج به‌دست‌آمده پژوهش حاضر پیشنهاد می‌گردد در بازار سرمایه ایران از مدل نوین GAS جهت پیش‌بینی توزیع بازدهی شاخص کل بورس و فرا بورس استفاده گردد تا سیاست‌گذاران و نهادهای ناظر برای اعمال پیش‌بینی‌هایی با دقت بالا و سرمایه‌گذاران حقیقی و حقوقی در راستای کسب منافع حاصل از پیش‌بینی با کمترین انحراف از آن بهره‌برند. در عین حال با توجه به وجود رفتار رمه‌ای پیشنهاد می‌گردد سیاست‌گذار جوانب احتیاط این تورش را در تصمیم‌های خود لحاظ کند تا بحران‌هایی همانند ریزش شدید بازار سرمایه در سال ۱۳۹۹ تکرار نگردد. همچنین با توجه به عملکرد مطلوب روش زمان متغیر امتیاز خودرگرسیون‌ی تعمیم‌یافته (GAS) برای پیش‌بینی شاخص کل بورس ایران هم برای داده‌های درون‌نمونه‌ای و هم برون‌نمونه‌ای، پیشنهاد می‌گردد این مدل جهت پیش‌بینی بازدهی سایر شاخص‌ها همانند شاخص هم‌وزن، شاخص صنعت‌های مختلف به تفکیک اندازه آن و همچنین سایر ابزارها همانند گواهی‌های سپرده، قراردادهای آتی، اختیار معامله، صندوق‌های سرمایه‌گذاری کالایی، مختلط و سهامی آزمون شود. با توجه به اینکه مدل GAS قابلیت پیش‌بینی توزیع بازدهی را دارد پس می‌توان از آن برای برآورد ارزش در معرض خطر دارایی‌های مالی مدل‌سازی نمود و در نهایت برای طراحی سیستم‌های معاملاتی هوشمند آن را بررسی کرد.

### References

- Abdolmaleki, A., Hamidian, M., & Baghani, A. (2020). Investigation of Fractal Property Price and Stock Returns of Tehran Stock Exchange Companies Using Nonlinear ARIFMA Model. *Financial Engineering and Portfolio Management*, (44), 207-226 (In persian).



- Amjad, M., & Shah, D. (2017). *Trading bitcoin and online time series prediction*( 1<sup>st</sup> edition). In NIPS Time Series Workshop,
- Anatolyev, S., & Baruník, J. (2019). Forecasting dynamic return distributions based on ordered binary choice. *International Journal of Forecasting*, 35(3), 823-835.
- Banerjee, A. V.(1992). Simple Model of Herd Behavior. *The Quarterly Journal of Economics*, 107(3), 797-817.
- Basak, S., Kar, S., Saha, S., Khaidem, L., & Dey, S. R. (2019). Predicting the direction of stock market prices using tree-based classifiers. *The North American Journal of Economics and Finance*, 47, 552-567.
- Behzadfar, B., Ahmadi, Sh., Samavi, M. (2022). *Behavioral Investor* (2<sup>nd</sup> edition). Chalesh publication. (In persian).
- Chivukula, R., & Lakshmi, T. J. (2020). Cryptocurrency Price Prediction: A Machine Learning Approach. *Sensors & Transducers*, 244(5), 44-47.
- Creal, D., Koopman, S. J., & Lucas, A. (2013). Generalized autoregressive score models with applications. *Journal of Applied Econometrics*, 28(5), 777-795.
- Davallou, M., & Papaei, S. (2017). Micro and Macro Herding by Investors and Their Effects on Market Volatility. *Journal of Asset Management and Financing*, 5(2), 149-166 (In persian).
- Dehghani, M., Mohammad, M., & Ansari-Samani, H.(2019). Machine learning algorithms for time series in financial markets. *Journal of Soft Computing and Information Technology*, 8(3), 60-67 (In persian).
- El Ghourabi, M., Nani, A., & Gammoudi, I. (2021). A value-at-risk computation based on heavy-tailed distribution for dynamic conditional score models. *International Journal of Finance & Economics*, 26(2), 2790-2799.
- Erza, A., & Seifi, F. (2020). The Impact of Financial Risk on the Efficiency in the Tehran Stock Exchange Companies. *Financial Knowledge of Securities Analysis*, 13(45), 1-13 (In persian).
- Eyvazi, A., Mojahedi Moakher, M., & Mohammadi, T. (2020). The Effect of Exchange Rate Returns on Stock Returns in Various Percentiles of the Distribution: Quantile Regression Approach. *Parliamentary Diplomacy*, 27(103), 279-306 (In persian).
- Gebka, B., & Wohar, M. E. (2019). Stock return distribution and predictability: Evidence from over a century of daily data on the DJIA index. *International Review of Economics & Finance*, 60, 1-25.
- Golarzi, G., Ziyachi, A. (2014). A Survey in Investor Herding Behavior With Trading Volume Approach in Tehran Stock Exchange. *Financial Research Journal*, 16(2), 359-371. (In persian).
- Harvey, A. C. (2013). *Dynamic models for volatility and heavy tails: with applications to financial and economic time series* (Press, 1<sup>st</sup> edition) Cambridge University
- Lazar, E., & Xue, X. (2020). Forecasting risk measures using intraday data in a generalized autoregressive score framework. *International Journal of Forecasting, Sensors & Transducers*, 36(3), 1057-1072.
- Linden, M. (2001). A model for stock return distribution. *International Journal of Finance & Economics*, 6(2), 159-169.
- Madanchi Zaj, M., Samavi, M., & koosha, E. (2021). Measurement of Bitcoin Daily and Monthly Price Prediction Error Using Grey Model, Back Propagation Artificial Neural Network and Integrated model of Grey Neural Network. *Advances in Mathematical Finance and Applications*, (Article in Press). DOI :10.22034/amfa.2020.1881110.1315
- Makatjane, K., Xaba, D., & Moroke. N (2017). Application of Generalised Autoregressive Score Model to Stock Returns. *International Journal of Economics and Management Engineering*, 11(11), 13-26.
- Mirlohi, S. M., Tehrani, R., & Hosseini, B. S. M. (2019). Investigating Time Varying Herd Behavior: A Markov Switching Approach. *Accounting and Auditing Research*, 11(42), 125-142 (In persian).
- Najarzadeh, R., Zolfaghari, M., & Golami, S. (2020). Designing a model for forecasting the return of the stock index (with emphasis on neural network combined models and long-term memory models). *Journal of Investment Knowledge*, 9(34), 231-257 (In persian).

- Nikusokhan, M. (2018). An Improved Hybrid Model with Automated Lag Selection to Forecast Stock Market. *Financial Research Journal*, 20(3), 389-408. (In persian).
- Gavrinski, P. G., & Ziegelmann, F. A. (2020). Measuring Systemic Risk via GAS models and Extreme Value Theory: Revisiting the 2007 Financial Crisis, *Finance Research Letters*, 38(11), 23-37.
- Rahnamay Roodposhti, F., & Klantari Dehaghi, M. (2014). Investigation of Multifractaly Models in Finance. *Financial Knowledge of Securities Analysis*, 7(24), 25-47, (In persian).
- Saeedi, A., & Farhanian, M. (2012). Studying the Investor Herd Behavior in Tehran Stock Exchange. *Journal of Securities Exchange*, 4(16), 175-198.
- Salemi najafabadi, M., sa'adatfar, N., & Karimi, F. (2015). Estimating the return on investment opportunities in financial markets due to their interaction relation and establishing optimized portfolio by Artificial Intelligence. *Journal of Asset Management and Financing*, 2(7), 35-50 (In persian).
- Samadi, F., Roodposhti, F. R., & Nikoomaram, H. (2016). Evaluation of return in investment company with three Markov switching model, symmetric and asymmetric. *Financial Engineering and Portfolio Management*, 29, 131-150 (In persian).
- Hosseinidoust, S. E., Fotros, M. H., & Massahi, S. (2016). Application of Dynamic Parametric and Non Parametric Systems in Stock Market Return Forecasting: Case Study of Tehran Stock Market. *Quarterly Journal of Fiscal and Economic Policies*, 3(12), 125-148 (In persian).
- Vedadi, A., Warkentin, M., & Dennis, A. (2021). Herd behavior in information security decision-making. *Information & Management*, 58(8), <https://doi.org/10.1016/j.im.2021.103526>.
- Virbickaitė, A., Frey, C., & Macedo, D. N. (2020). Bayesian sequential stock return prediction through copulas. *The Journal of Economic Asymmetries*, 22(3), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jeca.2020.e00173>.
- Yao, Y., & Xu, B. (2018). Conditional Distribution Prediction of Stock Returns and its Application on Risk Aversion Analysis. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 22(4), 448-456.
- Yousefi, R., & Shahrabadi, A. (2009). Investigating and Testing the Herding Behaviour of Investors in Stock Exchange. *Journal of Development & Evolution Management*, 2(1), 57-64 (In persian).
- Zhang, G., & Li, J. (2018). Multifractal analysis of Shanghai and Hong Kong stock markets before and after the connect program. *Physica A*, 503, 611-622.
- Zhu, S., Fan, M., & Li, D. (2014). Portfolio management with robustness in both prediction and decision: a mixture model based learning approach. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 48, 1-25.
- Zolfaghari, M., Sahabi, B., & Bakhtyaran, M. (2020). Designing a Model for Forecasting the Stock Exchange Total Index Returns (Emphasizing on Combined Deep Learning Network Models and GARCH Family Models). *Financial Engineering and Portfolio Management*, 11(42), 138-171 (In persian).