University of Sistan and Baluchestan

Stable Economy Journal

Online ISSN: 2821 - 1049

Iranian Scientific Social Welfare Association

A Methodological Approach to Calculating Exchange Rate Volatility: A Competition among GARCH, FIGARCH, Fourier-GARCH, and Semi-Parametric Rational Inattention Frameworks

Elham Vafaei[1] | Mohammad Rezvani[2] | Mahdi Pendar[3]

1. Assistant Professor,The Center for Development Research and Foresight, Tehran, Iran. E-mail: elham.vafaei@yahoo.com
2. Ph.D. Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics and Agricultural Development, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: m.rezvani67@ut.ac.ir
3. Corresponding Author, Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics and Agricultural Development, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mpendar@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 26 May 2026

Revised in revised form: 30June 2026

Accepted: 1July 2026

online:1July 2026

JEL: C22, D83, E44, F31.

Keywords:

Exchange Rate Volatility,

Rational Inattention,

Long Memory,

Structural Break,

Directional Volatility Ratio.

ABSTRACT

Exchange rate volatility in Iran, driven by an import-oriented economic structure, dependence on oil revenues, and sanction-induced shocks, is considered one of the primary sources of macroeconomic instability and systematic risk. Despite the extensive body of prior research, few studies have simultaneously compared approaches based on long memory (FIGARCH), control for structural breaks (Fourier-GARCH), and agents' behavioral constraints (the semi-parametric Rational Inattention model). This study aims to identify the most accurate analytical framework for calculating exchange rate volatility in Iran over the period from March 1992 to December 2025 by comparing the performance of four models: GARCH, FIGARCH, Fourier-GARCH, and the Rational Inattention model, using monthly exchange rate return data. After confirming the stationarity of the variables, the baseline GARCH(1,2) model was selected, and competing models were estimated. Performance evaluation in the out-of-sample period using RMSE, MAE, and MSE metrics indicated that the Rational Inattention model achieved the best forecasting performance, with the lowest error rates. The FIGARCH model confirmed the presence of long memory (with a fractional integration parameter d = 0.648; however, the Nyblom stability test revealed that these parameters are unstable over time. The Fourier-GARCH model also demonstrated better performance than the simple GARCH model, validating the role of structural breaks. The main finding of this study is that the root cause of exchange rate volatility persistence in Iran is less a fixed statistical feature (inherent long memory) and more a result of rational inattention, limited information processing capacity, and asymmetric agent responses to positive and negative news. The high speed of information processing ($\varphi = 0.235$) and the negative value of the Directional Volatility Ratio (DVR) index indicate a competitive market with rapid expectation adjustments. Given the superiority of the rational inattention model in forecasting exchange rate volatility, it is recommended that monetary policymakers incorporate market expectations and the behavior of market participants—alongside macroeconomic variables—into their currency analyses and decision-making processes. Furthermore, considering the significant role of structural breaks, the design of exchange rate policies should be accompanied by transparent communication and the management of market expectations.

Cite this article: Vafaei, E., Rezvani, M., Pendar, M. (2026). A Methodological Approach to Calculating Exchange Rate Volatility: A Competition among GARCH, FIGARCH, Fourier-GARCH, and Semi-Parametric Rational Inattention Frameworks. *Stable Economy Journal*,7 (2), 119-141. DOI: 10.22111/sedj.2026.55538.1706

© The Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/sedj.2026.55538.1706

Extended Abstract

Introduction: Exchange rate volatility in Iran, due to the economy's structural dependence on imports and its direct impact on inflation and welfare indicators, remains a fundamental macroeconomic policy challenge. Despite the abundance of research in this field, the core problem of this study lies in the methodological gap within theoretical literature. Most previous studies have either focused on the technical and statistical aspects of volatility (such as long memory) or solely modeled structural breaks, without investigating the behavioral roots of this persistence. The fundamental question is whether the turbulence in the Iranian currency market stems from the intrinsic properties of time series or from traders' information processing limitations (Rational Inattention Theory).

The necessity of this research lies in the integration of technical and behavioral approaches. Ignoring structural breaks and overlooking the suboptimal behavior of market participants leads to inaccurate volatility forecasts, which can have detrimental consequences for policymakers. Therefore, providing a comprehensive framework that simultaneously captures nonlinear dynamics, structural breaks, and cognitive limitations is imperative.

The primary objective of this study is to identify the most accurate analytical framework for explaining exchange rate volatility in Iran by comparing the performance of classical GARCH models, Fractional Integrated GARCH (FIGARCH) models, structural break-controlled models (Fourier-GARCH), and a semi-parametric model based on Rational Inattention Theory. This study aims to determine which of these approaches has -the better ability to explain volatility persistence by assessing their efficiency. To achieve this goal, four hypotheses have been formulated: First, it is hypothesized that using Fourier approximation to control for structural breaks improves forecast accuracy compared to classical models. Second, incorporating the fractional integration parameter in the FIGARCH model enhances the explanatory power of volatility. Third, the semi-parametric Rational Inattention model, by accounting for information constraints, yields the lowest forecast error. Fourth, the root cause of volatility persistence in Iran is behavioral, stemming from asymmetric reactions of participants, rather than purely statistical.

Method: This study employs a comparative and hybrid approach to analyze exchange rate volatility dynamics from March 1992 to December 2025. The core of the analysis is a semi-parametric model based on the Rational Inattention theory, where conditional variance is defined as a weighted sum of squared forecast errors (innovations). In this framework, the weighting of past shocks is a function of the information flow rate (ϕ), representing the speed at which agents react to new information. To assess the accuracy of this behavioral model, it is compared against three standard parametric approaches: the classical GARCH for short-term memory, the FIGARCH model to measure long memory (fractional integration), and the GARCH-Fourier model to control for structural breaks caused by sanction shocks.

The estimation process begins by extracting forecast errors (innovations) using an ARIMA filter. Subsequently, the parameter ϕ is estimated via Maximum Likelihood Estimation (MLE) based on a binomial distribution to calculate conditional variance within the behavioral model. Next, to

examine the asymmetric effects of shocks, the variance is decomposed into positive and negative components, and the Directional Volatility Ratio (DVR) index is calculated to gauge the dominance of upside or downside risks. Finally, the efficiency of the various models is evaluated using forecast error metrics (RMSE and MAE) to identify the most robust framework for explaining Iran's exchange rate volatility. All calculations were performed using the R software package with monthly data from the free market.

Results: Stationarity tests confirmed that exchange rate returns are stationary at the level, eliminating the need for differencing. In the model estimation phase, out-of-sample comparison based on forecast error metrics (RMSE, MAE, and MSE) demonstrated that the semi-parametric model based on Rational Inattention outperformed GARCH, Fourier-GARCH, and FIGARCH models with the lowest error rates. This finding confirms that accounting for agents' information processing constraints enhances forecasting accuracy.
Analysis of the Rational Inattention model parameters revealed an information flow rate (ϕ) of 0.235, indicating a relatively fast market reaction to new information. Additionally, the Directional Volatility Ratio (DVR) index, with a value of -0.0315, shows that corrections occur faster than increases after price peaks, with upward volatility dominating uncertainty.
Regarding other hypotheses, the Fourier-GARCH model, by controlling for structural breaks, yielded lower errors than the classical GARCH, supporting the first hypothesis. Furthermore, the FIGARCH model, with a fractional integration parameter of 0.648, confirmed the presence of long memory in volatility; however, the Nyblom stability test indicated that these parameters are unstable over time. This instability suggests that volatility persistence stems more from structural changes and dynamic player behavior (Rational Inattention) than from fixed statistical properties of the time series. Ultimately, the results indicate that the root cause of exchange rate volatility persistence in Iran is behavioral and structural rather than purely statistical.

Conclusion: Based on these results, instead of relying solely on statistical models, policymakers should reduce market uncertainty by regularly publishing macroeconomic data and providing policy outlooks. This helps manage irrational volatility by preventing emotional market reactions. Moreover, given the high share of upward volatility, policymakers should implement targeted and transparent interventions during periods of upward pressure to prevent the formation of bubbles.

Unlike classical models that rely exclusively on historical data, behavioral models (such as rational inattention) account for the cognitive limitations of traders' information processing capacity. These models assume that traders only process critical information when faced with an overwhelming volume of data. Utilizing these models enables economic agents to manage the 'speed of information absorption' and the 'asymmetric reaction of traders' as the primary drivers of risk, rather than focusing solely on price chart analysis.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines: All ethical principles were strictly observed, and the study was conducted in accordance with relevant regulations.

Funding: This research received no specific grant from any funding agency, commercial, or not-for-profit sectors

Authors' contribution: The first author was responsible for the conceptualization, study design, and drafting the original manuscript. The second author carried out the data collection and software-based analysis. The third author supervised the entire project and provided administrative and scientific oversight.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Acknowledgments: The authors would like to express their sincere gratitude to the editor, the reviewers, and the editorial board for their valuable comments and support.

اقتصاد باثبات
شاپا الکترونیکی: ۱۰۴۹-۲۸۲۱
انجمن علمی رفاه اجتماعی ایران
دانشگاه سیستان و بلوچستان

رویکردی متدولوژیک برای محاسبه نوسانات نرخ ارز: رقابت چهار چارچوب GARCH ، FIGARCH، Fourier-GARCH و نیمه پارامتریک عقلانی

الهام وفائی[۱] | محمد رضوانی[۲] | مهدی پندار[۳]

۱. استادیار، مرکز پژوهش‌های توسعه و آینده‌نگری، تهران، ایران. رایانامه: elham.vafaei@yahoo.com

۲. دکتری، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: m.rezvani67@ut.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mpendar@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۳/۵
تاریخ ویرایش:۱۴۰۵/۴/۹
تاریخ پذیرش : ۱۴۰۵/۴/۱۰
تاریخ انتشار:۱۴۰۵/۴/۱۰

JEL : C22, D83, E44, F31.

واژه‌های کلیدی:
نوسانات نرخ ارز، بی‌توجهی عقلانی، حافظه بلند مدت، شکست ساختاری، نسبت نوسانات جهت‌دار.

چکیده

نوسانات نرخ ارز در ایران به دلیل ساختار واردات‌محور اقتصاد، وابستگی به درآمدهای نفتی و تکانه‌های تحریمی، از مهم‌ترین منابع بی‌ثباتی کلان اقتصادی و ریسک سیستماتیک محسوب می‌شود. با وجود گستردگی مطالعات پیشین، کمتر پژوهشی به مقایسه همزمان رویکردهای مبتنی بر حافظه بلندمدت (FIGARCH)، کنترل شکست‌های ساختاری (Fourier-GARCH) و محدودیت‌های رفتاری کارگزاران (مدل نیمه‌پارامتریک بی‌توجهی عقلانی) پرداخته است. این پژوهش با هدف شناسایی دقیق‌ترین چارچوب تحلیلی برای محاسبه نوسانات نرخ ارز در ایران در بازه فروردین ۱۳۷۱ تا آذر ۱۴۰۴ به مقایسه عملکرد چهار مدل GARCH ، FIGARCH، Fourier-GARCH و مدل بی‌توجهی عقلانی با استفاده از داده‌های ماهانه بازدهی نرخ ارز پرداخته شده است. پس از تأیید ایستایی متغیر، مدل پایه GARCH (1,2) انتخاب و مدل‌های رقیب برآورد شدند. ارزیابی عملکرد در دوره برون‌نمونه‌ای با معیارهای RMSE، MAE و MSE نشان داد که مدل بی‌توجهی عقلانی با کمترین میزان خطا، بهترین عملکرد پیش‌بینی را دارد. مدل FIGARCH وجود حافظه بلندمدت (پارامتر انباشتگی کسری d=۰/۶۴۸) را تأیید کرد، اما آزمون پایداری Nyblomنشان داد که این پارامترها در طول زمان ناپایدار هستند. مدل Fourier-GARCH نیز عملکرد بهتری نسبت به GARCH ساده داشت که نقش شکست‌های ساختاری را تأیید می‌کند. یافته اصلی پژوهش این است که ریشه اصلی پایداری نوسانات نرخ ارز در ایران، بیش از آنکه یک ویژگی آماری ثابت (حافظه بلندمدت ذاتی) باشد، ناشی از بی‌توجهی عقلانی، محدودیت ظرفیت پردازش اطلاعات و واکنش‌های نامتقارن کارگزاران به اخبار صعودی و نزولی است. سرعت بالای پردازش اطلاعات (φ = ۰/۲۳۴۶) و منفی بودن شاخص نسبت نوسانات جهت‌دار نشان‌دهنده بازار رقابتی با اصلاح سریع انتظارات است. با توجه به برتری مدل بی‌توجهی عقلانی در پیش‌بینی نوسانات نرخ ارز، پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران پولی در کنار متغیرهای اقتصادی، شاخص‌های انتظارات و رفتار فعالان بازار را نیز در تحلیل‌ها و تصمیم‌گیری‌های ارزی لحاظ کنند. همچنین، با توجه به نقش معنادار شکست‌های ساختاری، طراحی سیاست‌های ارزی باید همراه با اطلاع‌رسانی شفاف و مدیریت انتظارات بازار باشد. پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران پولی به جای تمرکز صرف بر ویژگی‌های آماری سری زمانی، مدیریت انتظارات و شفافیت اطلاعاتی را در اولویت قرار دهند.

استناد: وفائی؛ لهام ؛ رضوانی؛ محمد ؛ پندار ؛مهدی (۱۴۰۵). رویکردی متدولوژیک برای محاسبه نوسانات نرخ ارز: رقابت چهار چارچوب GARCH، FIGARCH، Fourier-GARCH و نیمه پارامتریک عقلانی؛. *اقتصاد باثبات*، ۷ (۲)، ۱۱۹-۱۴۱.

DOI: 10.22111/sedj.2026.55538.1706

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

حق‌مؤلف © نویسندگان.

۱. مقدمه

بی‌ثباتی نرخ ارز نشان‌دهنده ناپایداری در ساختار اقتصاد و شاخص میزان اطمینان نسبت به سیاست‌های کلان یک کشور است (*Dritsaki, 2019*). نوسانات نرخ ارز از مهم‌ترین عوامل سودآوری بنگاه‌ها و قیمت سهام آنها محسوب می‌شود (*Kim, 2003*). با توجه به وابستگی ساختاری تولید به واردات در ایران، این نوسانات منجر به کاهش ارزش افزوده بخش‌های صنعت، معدن و کشاورزی شده است (شجاعی و همکاران، ۱۴۰۲) و با ایجاد نااطمینانی، بر شاخص‌های رفاهی نظیر؛ فلاکت اثرگذار است (وفائی و همکاران، ۱۴۰۳). همچنین، مطالعات اخیر نشان می‌دهند نرخ ارز منبع اصلی سرریز نوسان[1] به متغیرهای نقدینگی و تورم در میان‌مدت و بلندمدت است (رودری و همکاران، ۱۴۰۲).

سنجش دقیق این نوسانات به دلیل وجود پویایی‌های غیرخطی همواره با چالش‌های روش‌شناختی همراه بوده است. یکی از چالش‌های بنیادین در بازار ارز ایران، تمایز میان پایداری ذاتی نوسانات و اثرات ناشی از شکست‌های ساختاری است. بازار غیررسمی ارز با پرش‌های قیمتی متعددی روبروست که ناشی از تکانه‌های سیاسی و تحریمی است (رستمی و همکاران، ۱۴۰۲). نادیده گرفتن این شکست‌ها در مدل‌های کلاسیک منجر به اریب در برآورد پارامترها می‌شود؛ علاوه بر این، واکنش معامله‌گران به نوسانات، وابسته به ویژگی‌های رفتاری و ظرفیت پردازش اطلاعات است (*Sercu & Vanhulle, 1992*). طبق نظریه بی‌توجهی عقلانی[2]، محدودیت ظرفیت پردازش اطلاعات باعث می‌شود تکانه‌ها با تأخیر در قیمت‌ها تخلیه شوند. با وجود گستردگی پژوهش‌ها، شکاف اصلی زمانی آشکار می‌شود که الگوهای موجود بر یک جنبه از پیچیدگی‌های بازار تمرکز کرده‌اند؛ به‌طوری که یا صرفاً بر کنترل شکست‌های ساختاری متمرکز بوده‌اند و یا تنها به مدل‌سازی حافظه بلندمدت و پرش‌های قیمتی پرداخته‌اند. خلأ اساسی در این میان، نادیده گرفتن «ریشه‌های رفتاری» پایداری نوسانات و عدم پیوند میان ویژگی‌های فنی و نظریه بی‌توجهی عقلانی است. در واقع، این پرسش که آیا تلاطمات بازار ارز ایران ناشی از ویژگی‌های آماری است یا از محدودیت ظرفیت پردازش اطلاعات توسط معامله‌گران نشأت می‌گیرد، همچنان بی‌پاسخ مانده است.

ضرورت این پژوهش در ترکیب مدل‌های انباشتگی کسری[3] برای سنجش حافظه بلندمدت و توابع فوریه[4] برای در نظر گرفتن شکست‌های ساختاری، در کنار تبیین رفتاری بر اساس بی‌توجهی عقلانی نهفته است تا تصویری جامع و دقیق برای سیاست‌گذاری بانک مرکزی ارائه گردد. با توجه به

---

[1] Volatility Spillover
[2] Rational Inattention (RI)
[3] Fractional Integration
[4] Fourier Functions

تداوم نوسانات نرخ ارز و وقوع مکرر تکانه‌های سیاسی و تحریمی در اقتصاد ایران، به‌کارگیری رویکردهای نوین برای تحلیل و پیش‌بینی دقیق نوسانات ارزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

هدف پژوهش حاضر، شناسایی دقیق‌ترین چارچوب تحلیلی برای پیش‌بینی نوسانات نرخ ارز در ایران از طریق مقایسه عملکرد مدل‌های GARCH، FIGARCH، Fourier-GARCH و مدل نیمه‌پارامتریک بی‌توجهی عقلانی است. این پژوهش بر آن است تا با استفاده از معیارهای خطای پیش‌بینی (RMSE و MAE)، کارایی هر یک از این رویکردها را در تبیین تلاطمات بازار و ارائه راهکارهای سیاستی جهت مدیریت انتظارات کارگزاران در شرایط توجه محدود مشخص نماید.

در راستای تحقق هدف پژوهش، چهار فرضیه تدوین شده است:

۱. به‌کارگیری تقریب فوریه جهت کنترل شکست‌های ساختاری، منجر به کاهش معیارهای خطای پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای (RMSE و MAE) نسبت به مدل‌های کلاسیک GARCH می‌شود.

۲. لحاظ کردن پارامتر انباشتگی کسری در مدل FIGARCH، قدرت تبیین و پیش‌بینی نوسانات نرخ ارز را در مقایسه با مدل‌های با حافظه کوتاه‌مدت بهبود می‌بخشد.

۳. مدل نیمه‌پارامتریک بی‌توجهی عقلانی به دلیل لحاظ کردن محدودیت ظرفیت پردازش اطلاعات معامله‌گران، کمترین میزان خطای پیش‌بینی را در میان الگوهای رقیب ارائه می‌دهد.

۴. ریشه اصلی پایداری نوسانات نرخ ارز در ایران، بیش از آنکه ناشی از ویژگی‌های آماری سری زمانی (مانند حافظه بلندمدت) باشد، ناشی از بی‌توجهی عقلانی و واکنش نامتقارن کارگزاران به اخبار است. سازماندهی پژوهش حاضر به شرح زیر است:

ابتدا ادبیات موضوع و پیشینه پژوهش مرور می‌شود. سپس چارچوب روش‌شناختی پژوهش شامل مدل‌های GARCH، Fourier-GARCH، FIGARCH و مدل نیمه‌پارامتریک مبتنی بر بی‌توجهی عقلانی تشریح شده و داده‌های مورد استفاده معرفی می‌شوند. پس از آن، نتایج برآورد مدل‌ها و ارزیابی عملکرد آن‌ها در پیش‌بینی نوسانات نرخ ارز ارائه و تحلیل می‌شود. در نهایت، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای سیاستی مطرح می‌شود.

۲. ادبیات موضوع و پیشینه تحقیق

شواهد تجربی بر وجود ویژگی حافظه بلندمدت[1] در تلاطمات ارزی ایران تأکید دارند (دموری و میرزاد، ۱۳۹۷). در حالی که مدل‌های پایه واریانس ناهمسانی شرطی خودرگرسیو تعمیم‌یافته[2] بر

[1] Long Memory
[2] Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (GARCH)

حافظه کوتاه‌مدت تمرکز دارند، مدل‌های FIGARCH با معرفی پارامتر انباشتگی کسری (d)، ماندگاری نوسانات را بهتر تبیین می‌کنند (*Baillie et al., 1996*).
نادیده گرفتن شکست‌های ساختاری در مدل‌های کلاسیک منجر به اریب در برآورد پارامترها می‌شود، لذا استفاده از توابع مثلثاتی فوریه به مدل اجازه می‌دهد تا بدون نیاز به تعیین پیش‌فرض زمان شکست، تغییرات رژیم را کنترل نماید (*Apergis et al., 2021*).

علاوه بر این، نظریه بی‌توجهی عقلانی بیان می‌کند که فعالان اقتصادی با وجود رفتار عقلایی، در پردازش اطلاعات با محدودیت ظرفیت شناختی و هزینه‌های کسب و تحلیل اطلاعات مواجه‌اند. در نتیجه، تمامی اطلاعات و اخبار جدید به‌صورت کامل و هم‌زمان در تصمیمات آن‌ها منعکس نمی‌شود و واکنش بازار به تکانه‌های اقتصادی می‌تواند تدریجی و نامتقارن باشد. در بازار ارز، این محدودیت موجب می‌شود بخشی از اطلاعات با وقفه زمانی در قیمت‌ها منعکس شود و نوسانات مشاهده‌شده تنها حاصل عوامل بنیادی اقتصادی نباشد، بلکه به نحوه پردازش اطلاعات توسط معامله‌گران نیز وابسته باشد. از این رو، به‌کارگیری چارچوب‌های مبتنی بر بی‌توجهی عقلانی می‌تواند در تبیین رفتار نوسانات و بهبود دقت پیش‌بینی آن‌ها مفید باشد. با توجه به افزایش شدید نوسانات ارزی پس از فروپاشی نظام برتون وودز و همچنین تداوم شوک‌های سیاسی و تحریمی در اقتصاد ایران، استفاده از رویکردهایی که علاوه بر عوامل آماری، ابعاد رفتاری بازار را نیز در نظر می‌گیرند، برای تحلیل دقیق تلاطمات ارزی ضروری به نظر می‌رسد.

۱-۲ . مطالعات داخلی

در ادبیات اقتصادی ایران، مطالعات متعددی با تمرکز بر شناسایی ماهیت نوسانات نرخ ارز و اثرات کلان آن انجام شده است. دموری و میرزاد (۱۳۹۷) با استفاده از الگوهای تک‌متغیره و چندمتغیره GARCH در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴، وجود حافظه بلندمدت در سری‌های بازدهی را تأیید کردند. دمیری و همکاران (۱۳۹۹) با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها در دوره ۱۳۸۳ تا ۱۴۰۱، جهش‌های قیمتی سال‌های ۹۱ و ۹۷ را به عنوان شکست‌های ساختاری شناسایی کردند و نشان دادند که مدل‌های سیستمی توانایی بالایی در ارزیابی روند تغییرات و پیش‌بینی شکست‌های احتمالی دارند. سپس شجاعی و همکاران (۱۴۰۲) با مدل‌های GARCH و معادلات هم‌زمان در دوره ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۷، تأثیر نامتقارن نوسانات نرخ ارز را بر ارزش افزوده بخش‌های صنعت و کشاورزی اثبات کردند. در ادامه، رستمی و همکاران (۱۴۰۲) با تمرکز بر مسئله حافظه بلندمدت و با استفاده از

مدل‌های FIGARCH در بازه ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۲، نشان دادند که نادیده گرفتن پرش‌های[1] ساختاری منجر به برآورد تورمی در مدل‌های نوسان می‌شود؛ نتایج حاکی از تأثیر شدید شکست‌های ساختاری ناشی از تحریم‌های سال ۲۰۱۸ بر نوسانات بازار غیررسمی است. وفائی و همکاران (۱۴۰۴) با بهره‌گیری از تقریب فوریه، به بررسی رابطه میان عدم‌قطعیت نرخ ارز و شاخص فلاکت در بازه ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۳ پرداختند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که نوسانات نرخ ارز از طریق تکانه‌های خارجی، آثار مخربی بر شاخص‌های رفاهی داشته و کنترل شکست‌های ساختاری برای برآورد دقیق این نوسانات، ضرورتی انکارناپذیر است. در زمینه مدل‌سازی فنی نوسانات بازار غیررسمی، ناصری و همکاران (۱۴۰۴) با بررسی داده‌های روزانه بازار غیررسمی ارز در دوره ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۹، مطالعه جامعی بر روی مدل‌های متقارن و نامتقارن انجام دادند. نتایج نشان دادند که وجود اثر اهرمی در بازدهی نرخ ارز ایران مشهود است؛ یافته کلیدی این مطالعه آن بود که مدل نامتقارن PGARCH در مواجهه با شکست‌های ساختاری و تقسیم‌بندی داده‌ها، برازش به‌مراتب بهتری نسبت به مدل‌های متقارن GARCH ارائه می‌دهد.

۲-۲. مطالعات خارجی

سیر تحول ادبیات جهانی در حوزه نوسانات با معرفی مدل گارچ انباشته کسری[2] توسط بایلی و همکاران (۱۹۹۶) آغاز شد که برای نخستین بار مفهوم انباشتگی کسری را برای تبیین حافظه بلندمدت وارد محاسبات کردند؛ در ادامه، سیمز[3] (۲۰۰۳) با ارائه نظریه بی‌توجهی عقلانی، بنیان رفتاری پایداری متغیرها را بر اساس محدودیت ظرفیت پردازش اطلاعات کارگزاران تبیین نمود. در دهه‌های اخیر، تمرکز مطالعات بر کنترل شکست‌های ساختاری و بهبود دقت پیش‌بینی معطوف شده است. آپرگیس و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی داده‌های ماهانه کشور ترکیه در دوره ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۹، تقریب فوریه[4] را به مدل‌های GARCH وارد کرد. نتایج نشان داد که نادیده گرفتن تغییرات ملایم و ناگهانی در واریانس شرطی، منجر به تورش‌های جدی در برآورد نوسانات می‌شود. همچنین چارفی و مسلمی[5] (۲۰۲۲) در پژوهشی برای ارزهای یورو، پوند، دلار کانادا و دینار تونس با استفاده از داده‌های روزانه در بازه زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ و مدل‌های خانواده GARCH و توزیع‌های با دنباله پهن ثابت کردند که این رویکرد، دقت مدل را در مواجهه با تکانه‌های شدید ارزی به طور چشمگیری

[1] Jumps
[2] Fractionally Integrated GARCH (FIGARCH)
[3] Sims
[4] Fourier Approximation
[5] Charfi and Mselmi

بهبود می‌بخشد. عبدالله و الوان[1] (۲۰۲۲) با تحلیل داده‌های روزانه دینار عراق در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱، وجود اثرات نامتقارن و اهرمی را تأیید کرده و نشان دادند که واکنش به اخبار «بد» به‌مراتب شدیدتر از اخبار «خوب» است. در نهایت، گارسیا-هیرناکس و همکاران[2] (۲۰۲۶)، با ارائه یک مدل نیمه‌پارامتریک در چارچوب نظریه بی‌توجهی عقلانی، شاخص نسبت نوسانات جهت‌دار[3] را معرفی کردند. آن‌ها در این پژوهش، مدل را بر روی داده‌های کشورهای آلمان، فرانسه، اسپانیا، منطقه یورو، ایالات متحده، بریتانیا، ژاپن و کانادا در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۴ اعمال کردند؛ همچنین داده‌های ایالات متحده را در دوره ۱۹۶۵ تا ۱۹۹۰ مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که چگونه محدودیت ظرفیت پردازش اطلاعات در میان کنشگران، منجر به واکنش‌های نامتقارن و غیربهینه به اخبار صعودی و نزولی می‌شود که این رویکرد، قدرت تبیین‌کنندگی بالایی در مقایسه با مدل‌های پارامتریک سنتی دارد.

نوآوری پژوهش حاضر در رویکردی تطبیقی نهفته است که پویایی‌های نوسان را از سه منظر فنی و رفتاری بررسی می‌کند: ابتدا از طریق مدل‌های Fourier-GARCH جهت کنترل شکست‌های ساختاری، سپس با استفاده از مدل FIGARCH برای سنجش پایداری و حافظه بلندمدت و در نهایت بر اساس مدل نیمه‌پارامتریک بی‌توجهی عقلانی. این تقابل روش‌شناختی اجازه می‌دهد تا مشخص شود آیا ریشه اصلی ماندگاری نوسانات ارز در ایران، ویژگی‌های آماری (انباشتگی کسری) است یا محدودیت ظرفیت پردازش اطلاعات توسط معامله‌گران (بی‌توجهی عقلانی). در این میان، شکاف تحقیقاتی پژوهش حاضر نسبت به پژوهش‌های پیشین از جمله وفائی و همکاران (۱۴۰۴) و ناصری و همکاران (۱۴۰۴) در این است که در حالی که مطالعات مذکور بر تبیین فنی و آماری ویژگی‌های سری زمانی متمرکز بوده‌اند، پژوهش حاضر با گذار از این دیدگاه، نوسانات را نه به عنوان یک پدیده‌ی صرفاً آماری، بلکه به عنوان خروجی رفتار بهینه‌ی کنشگران تحت محدودیت‌های اطلاعاتی تبیین می‌کند.

۳. روش تحقیق

در پژوهش حاضر، با به‌کارگیری رویکردی ترکیبی و مقایسه‌ای بر اساس چهارچوب مبانی نظری و مطالعات خارجی و داخلی نظیر؛ گارسیا-هیرناکس و همکاران (۲۰۲۶) و وفائی و همکاران (۲۰۲۵) پویایی‌های نوسان در نرخ ارز مورد بررسی قرار گرفته است. هسته اصلی این پژوهش، یک مدل نوسان

[1] Abdulla and Alwan
[2] Garcia-Hiernaux et al.
[3] Directional Volatility Ratio (DVR)

نیمه‌پارامتریک است که بر مبنای چارچوب نظری بی‌توجهی عقلانی استوار است. از آنجا که نوسان یک متغیر پنهان[1] محسوب می‌شود، در این مدل فرض بر این است که کارگزاران اقتصادی انتظارات خود را با وزن‌دهی مناسب به مربع خطاهای پیش‌بینی[2] شکل می‌دهند. این فرآیند وزن‌دهی تحت تأثیر فرآیند ورود اخبار[3] قرار دارد که سطح توجه بهینه[4] را در طول زمان هدایت کرده و نوسانات نرخ ارز را تعیین می‌کند.

چنین رویکردی با فرضیه قیمت‌های چسبنده همخوانی دارد، چرا که نشان می‌دهد در شرایط محدودیت جریان اطلاعات، قیمت‌ها با تأخیر به تکانه‌های عرضه و تقاضا واکنش نشان می‌دهند. بر خلاف رویکردهای استاندارد در ادبیات واریانس شرطی، این متدولوژی نرخ ورود اطلاعات[5] را در تابع وزن‌دهی لحاظ می‌کند تا انتظارات نوسان نرخ ارز را تحت اندازه احتمال فیزیکی تولید نماید. به منظور سنجش دقت و اعتبار نتایج، علاوه بر مدل رفتاری مبتنی بر بی‌توجهی عقلانی، نوسانات با استفاده از مدل‌های پارامتریک خانواده GARCH نیز تخمین زده می‌شوند. با توجه به اینکه مدل‌های پارامتریک در مواجهه با شکست‌های ساختاری با چالش مواجه هستند، در پژوهش حاضر برای کنترل شکست‌های ساختاری، مدل‌های واریانس ناهمسانی شرطی با توابع مثلثاتی فوریه[6] ترکیب شده‌اند. در نهایت، قدرت تبیین‌کنندگی مدل مبتنی بر بی‌توجهی عقلانی در مقابل الگوهای GARCH و GARCH-Fourier مورد مقایسه قرار می‌گیرد. از آنجا که مدل‌های استاندارد واریانس شرطی در مواجهه با ناپایداری‌های ساختاری و ویژگی‌های خاص داده‌ها مانند حافظه بلندمدت با محدودیت‌هایی مواجه هستند. حافظه بلندمدت در سری‌های زمانی به این مفهوم اشاره دارد که مقادیر گذشته می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر مقادیر فعلی داشته باشند. این پدیده برخلاف سری‌های زمانی با حافظه کوتاه است که در آن‌ها تأثیر مقادیر گذشته به سرعت کاهش می‌یابد. در واقع، در سری‌های زمانی با حافظه بلندمدت، خودهمبستگی به آرامی و به صورت هذلولی کاهش می‌یابد. به همین دلیل، در این پژوهش علاوه بر مدل‌های GARCH و GARCH-Fourier، از مدل FIGARCH نیز برای بررسی دقیق‌تر نوسانات نرخ ارز استفاده می‌شود.

در گام نخست، برای برآورد نوسانات، از الگوی ناهمسانی واریانس شرطی خودتوضیح تعمیم‌یافته استفاده می‌شود که در آن معادله واریانس شرطی به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

[1] Latent Variable
[2] Squared Forecast Errors
[3] News Arrival Process
[4] Optimal Attention
[5] Rate of Information Arrival
[6] GARCH-Fourier

$$\sigma_t^2 = \beta_0 + \sum_{i=1}^{p} \beta_i \, u_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^{q} \delta_i \, \sigma_{t-i}^2 \quad (۱)$$

با این حال، با توجه به وجود تکانه‌های شدید و شکست‌های ساختاری در اقتصاد ایران، به پیروی از تترین و همکاران[1] (۲۰۱۶) و آپرگیس و همکاران (۲۰۲۱) تقریب فوریه به معادله واریانس شرطی اضافه می‌شود تا مدل GARCH-Fourier به صورت رابطه (۲) بازنویسی شود که در آن مؤلفه‌های سینوسی و کسینوسی وظیفه کنترل شکست‌های ساختاری ناشناخته را بر عهده دارند. رابطه (۲) مستلزم تعیین تعداد بهینه فرکانس فوریه (K) است که مطابق پاسکالائو و همکاران[2] (۲۰۱۱) می‌توان از معیار اطلاعات آکایک یا شوارتز[3] استفاده کرد.

$$\sigma_t^2 = \beta_0 + \sum_{i=1}^{q} \beta_i \, u_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^{q} \delta_i \, \sigma_{t-i}^2 + \sum_{k=1}^{n} \gamma_{1,1k} \sin\left(2\pi kt/_T\right) + \sum_{k=1}^{n} \gamma_{1,2k} \cos\left(2\pi kt/_T\right) \quad (۲)$$

مدل FIGARCH (p,d,q)، برای در نظر گرفتن حافظه بلندمدت در نوسانات به کار می‌رود:

$$\sigma_t^2 = \omega + \{1 - \beta(\mathrm{L}) - \left(1 - \alpha(\mathrm{L})\right)(1 - \mathrm{L})^d\} u_t^2 + \beta(L)\sigma_t^2 \quad (۳)$$

در این رابطه، ضریب انباشتگی (d) نشان‌دهنده پارامتر حافظه بلندمدت است. اگر $d = 0$، مدل FIGARCH به GARCH تبدیل می‌شود و اگر $d = 1$ ، به IGARCH تبدیل می‌شود (Izati et al., 2024).

در مرحله بعد، برای تبیین ریشه‌های رفتاری این نوسانات، از مدل نیمه‌پارامتریک مبتنی بر نظریه بی‌توجهی عقلانی ارائه شده توسط گارسیا-هیرناکس و همکاران (۲۰۲۶) استفاده می‌شود. ابتدا برای شناسایی بخش پیش‌بینی‌نشده نرخ ارز از فیلتر ARIMA استفاده می‌شود. با فرض اینکه نرخ ارز (p_t) از یک فرآیند خودتوضیح میانگین متحرک انباشته تبعیت می‌کند، داریم:

$$\phi_p(\mathrm{B})(\Delta^d p_t - \mu) = \theta_q(\mathrm{B}) a_t \quad (۴)$$

[1] Teterin et al.
[2] Pascalau et al.
[3] Akaike or Schwarz Information Criterion

در رابطه (۳)، a_t نشان‌دهنده خطای پیش‌بینی یک دوره به جلو[1] است که به صورت $a_t = p_t - p_{t|t-1}$ محاسبه می‌شود. این خطا را می‌توان به صورت $a_t = Z_t h_t^{1/2}$ تجزیه کرد که در آن Z_t یک فرآیند نوفه سفید استاندارد شده و h_t واریانس شرطی زمان‌مند است. در ادبیات بی‌توجهی عقلانی، a_t همان «نوآوری» یا تکانه‌ای است که خانوارها به دلیل محدودیت در پردازش اطلاعات، تنها زمانی به آن واکنش نشان می‌دهند که از یک آستانه مشخص فراتر رود.همچنین μ بیانگر میانگین بلندمدت نرخ ارز است که سطح پایدار انتظارات را نشان می‌دهد. بر این اساس، روند نرخ ارز (π_t) طبق تجزیه بوریج و نلسون[2] (۱۹۸۱) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\pi_t = \lim_{l \to \infty} \mathbb{E}[p_{t+l} | \mathcal{F}_t] \qquad (۵)$$

واریانس شرطی نرخ ارز ($h_{p,t}$) به صورت مجموع وزنی مجذور خطاهای پیش‌بینی گذشته برآورد می‌شود:

$$h_{p,t} = \sum_{i=0}^{\infty} \omega_i \, a_{t-i}^2 \qquad (۶)$$

در این الگو، وزن‌دهی به تکانه‌های گذشته (ω_i) بر اساس فرضیه بی‌توجهی عقلانی و با ساختار هندسی زیر تعیین می‌شود:

$$\omega_i = \varphi(1-\varphi)^i, \qquad \forall i \geq 0, \qquad 0 < \varphi \leq 1 \qquad (۷)$$

در اینجا φ پارامتر «نرخ جریان اطلاعات» (احتمال ورود اخبار جدید) است. این پارامتر نشان می‌دهد که خانوارهای شهری و روستایی با چه سرعتی اطلاعات جدید را در محاسبات ذهنی خود جایگزین اطلاعات قدیمی می‌کنند. مقدار φ بین صفر و یک است؛ هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده واکنش سریع‌تر به تکانه‌ها و تمرکز بیشتر بر اطلاعات اخیر است. برای برآورد این پارامتر از روش حداکثر درست‌نمایی (MLE) مبتنی بر توزیع دوجمله‌ای استفاده می‌شود. اگر n تعداد کل مشاهدات و u تعداد دفعاتی باشد که خطای پیش‌بینی استاندارد شده از یک آستانه بحرانی فراتر رفته‌اند (تعداد پرش‌ها)، داریم:

$$\hat{\varphi} = \hat{u}/n \qquad (۸)$$

بنابراین واریانس برآورد شده برابر است با:

[1] One-Step-Ahead Forecast Error
[2] Beveridge and Nelson

$$\hat{h}_{p,t} = \sum_{i=0}^{n-1} \hat{\varphi}(1-\hat{\varphi})^i \, \hat{a}_{t-i}^2 \quad (۹)$$

برای واکاوی اثر نامتقارن تکانه‌ها بر خانوارهای شهری و روستایی، واریانس کل به دو جزء مثبت و منفی تجزیه می‌شود:

$$h_{p,t} = \sum_{i=0}^{\infty} \omega_i \, a_{t-i}^2 = \sum_{i=0}^{\infty} \omega_i \, I_{t-i}^- a_{t-i}^2 + \sum_{i=0}^{\infty} \omega_i \, I_{t-i}^+ a_{t-i}^2 = h_{t,\ p}^- + h_{t,\ p}^+ \quad (۱۰)$$

که در آن I_t^+ و I_t^- توابع نشانگر برای تکانه‌های صعودی و نزولی هستند. در نهایت، شاخص DVR برای سنجش غلبه ریسک‌های صعودی یا نزولی محاسبه می‌شود:

$$DVR_{t,\ p} = \ln\left(V_{t,\ p}^+ \Big/ V_{t,\ p}^-\right) \quad (۱۱)$$

مقادیر مثبت DVR نشان‌دهنده این است که نوسانات ناشی از افزایش غیرمنتظره نرخ ارز (ریسک صعودی) بر نوسانات ناشی از کاهش نرخ ارز غلبه دارد. متغیر مورد بررسی در پژوهش حاضر بازدهی لگاریتم نرخ ارز می‌باشد که با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$R_t = \ln\left(EXC_t \Big/ EXC_{t-1}\right) \quad (۱۲)$$

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل نرخ ارز در بازار آزاد به صورت ماهانه است که از وبسایت دفتر آینده پژوهی، مدلسازی و مدیریت اطلاعات اقتصادی[1] استخراج شده است. دوره زمانی پژوهش حاضر، بازه فروردین ۱۳۷۱ تا آذر ۱۴۰۴ را در بر می‌گیرد. همچنین، تمامی برآوردها با استفاده از بسته‌های آماری نرم‌افزار R انجام شده است.

۴. نتایج و بحث

بررسی ایستایی متغیرها گام مهمی در تحلیل متغیرهای سری زمانی است. با توجه به ماهیت ماهانه داده‌ها، برای اطمینان از عدم وجود ریشه واحد در فرکانس‌های مختلف (فصلی و غیرفصلی)، از آزمون ریشه واحد فصلی استفاده شد. این آزمون شامل هفت فرضیه مستقل می‌باشد. دو فرضیه اول از آماره t و سایر فرضیه‌ها از آماره F برخوردارند. آماره‌ی t_1، حاکی از وجود ریشه واحد غیرفصلی (وجود ریشه واحد در فرکانس صفر) و سایر آماره‌ها (t_1 و آماره‌های F) بیانگر وجود ریشه واحد

[1] https://databank.mefa.ir/

فصلی می‌باشند. در صورت عدم معنی‌داری آماری، سری زمانی دارای ریشه واحد بوده و نیاز به تفاضل‌گیری دارد. نتایج ارائه شده در جدول (۱) بیانگر معنی‌داری آماره‌ها در تمام ریشه‌ها و عدم وجود ریشه واحد فصلی و غیر فصلی در متغیر بازدهی نرخ ارز است.

جدول ۱: نتایج آزمون ریشه واحد (منبع: یافته‌های تحقیق)

	آزمون فصلی							
فراوانی	0	π	$\pi/2$	$2\pi/3$	$\pi/3$	$5\pi/6$	$\pi/6$
فرض صفر	$\boldsymbol{\pi_1 = 0}$	$\boldsymbol{\pi_2 = 0}$	$\boldsymbol{\pi_3 = \pi_4 = 0}$	$\boldsymbol{\pi_5 = \pi_6 = 0}$	$\boldsymbol{\pi_7 = \pi_8 = 0}$	$\boldsymbol{\pi_9 = \pi_{10} = 0}$	$\boldsymbol{\pi_{11} = \pi_{12} = 0}$
آزمون	t_1	t_2	$F_{3,4}$	$F_{5,6}$	$F_{7,8}$	$F_{9,10}$	$F_{11,12}$
نرخ ارز	-۴/۴۰	-۴/۸۲	۲۲/۶۱	۱۹/۸۴	۲۳/۰۵	۲۴/۲۱	۲۶/۶۹
مقدار بحرانی (۱۰ درصد)	-۲/۵۰	-۲/۵۰	۵/۳۹	۵/۳۹	۵/۳۹	۵/۳۹	۵/۳۹
مقدار بحرانی (۵ درصد)	-۲/۸۰	-۲/۸۰	۶/۳۷	۶/۳۷	۶/۳۷	۶/۳۷	۶/۳۷

علاوه بر این، با توجه به وجود تکانه‌های ساختاری در اقتصاد ایران، از آزمون ریشه واحد اندرز و لی[1] (۲۰۱۲) نیز استفاده شد. این آزمون با مدل‌سازی شکست‌های ساختاری به صورت توابع مثلثاتی، قدرت تشخیص بالاتری نسبت به آزمون‌های سنتی دارد. نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که آماره آزمون فرض صفر را رد می‌کند و تأیید می‌نماید که بازدهی نرخ ارز در سطح متغیر ایستا است.

جدول ۲: نتایج آزمون ریشه واحد با تقریب فوریه (منبع: یافته‌های تحقیق)

متغیر	بهینه k	آماره آزمون
تفاضل نرخ ارز	۱	-۱۳/۰۱***

(*،** و *** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱۰، ۵ و ۱ درصد)

پس از تأیید ایستایی، برای شناسایی ساختار بهینه نوسانات، خانواده مدل‌های GARCH مورد آزمون قرار گرفتند. بر اساس معیارهای اطلاعاتی AIC و BIC، مدل GARCH(1,2) با توزیع نرمال به عنوان الگوی پایه انتخاب شد. سپس برای در نظر گرفتن مولفه‌های فصلی و چرخه‌ای، از بسط

[1] Enders and Lee

فوریه استفاده گردید. بررسی مراتب مختلف فوریه نشان داد که مرتبه K=1 بیشترین توان تبیینی را دارد.

پس از برآورد مدل Fourier-GARCH(1,2)، آزمون‌های تشخیصی (Ljung-Box و ARCH-LM) انجام شد. نتایج نشان داد که پسماندها فاقد خودهمبستگی و اثرات ARCH اضافی هستند، که نشان‌دهنده صحت مدل است. در نهایت، برای انتخاب الگوی برتر، عملکرد مدل‌ها در دوره برون‌نمونه‌ای[1] و بر اساس شاخص‌های خطای پیش‌بینی (MSE, RMSE, MAE) ارزیابی شد.

جدول ۳: مقایسه عملکرد برون‌نمونه‌ای الگوهای پیش‌بینی نوسان بازدهی نرخ ارز (منبع: یافته‌های تحقیق)

متغیر	شاخص ارزیابی	بی‌توجهی عقلانی	GARCH(1,2)	Fourier GARCH(1,2)	FIGARCH(1,2)
بازدهی نرخ ارز	MSE	۰/۰۰۰۰۳۹	۰/۰۰۰۰۶۱	۰/۰۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۰۴۱
	RMSE	۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۶۴
	MAE	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۷۸	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۳۸

همان‌طور که در جدول (۳) مشخص است، مدل بی‌توجهی عقلانی با کمترین میزان خط عملکرد بهتری داشته است. این یافته حاکی از آن است که مدل‌های مبتنی بر محدودیت‌های پردازش اطلاعات، در پیش‌بینی نوسانات نرخ ارز کارآمدتر از مدل‌های صرفاً آماری (GARCH) یا مدل‌های مبتنی بر چرخه‌های ریاضی (Fourier و FIGARCH) هستند. این مدل با افزودن پارامتر انباشتگی کسری، توانایی مدل‌سازی حافظه بلندمدت در واریانس را فراهم می‌کند. برآورد پارامترهای مدل بی‌توجهی عقلانی در جدول (۴) نشان می‌دهد که سرعت پردازش اطلاعات نوسانات (ϕ) برابر با ۰/۲۳۵ است. این پارامتر که در بازه صفر و یک تعریف می‌شود، سرعت تعدیل «پیش‌بینی‌های ذهنی» کنشگران را در مواجهه با تکانه‌های بازار نشان می‌دهد. در این طیف، مقدار نزدیک به صفر بیانگر پایبندی به اطلاعات گذشته و مقدار نزدیک به یک، گویای واکنش آنی و کامل به داده‌های جدید است. مقدار ۰/۲۳۵ نشان می‌دهد که بازیگران بازار در هر دوره، به‌طور میانگین ۲۳/۵ درصد از «الگوی تصمیم‌گیری» خود را بر اساس جریان اطلاعات جدید بازسازی می‌کنند. این امر حاکی از آن است که کنشگران اقتصادی، علی‌رغم وجود هزینه‌های پردازش اطلاعات، فرآیند مستمری از به‌روزرسانی پارامترهای مدل ذهنی خود را در مواجهه با نوسانات نرخ ارز دنبال می‌کنند.[2]

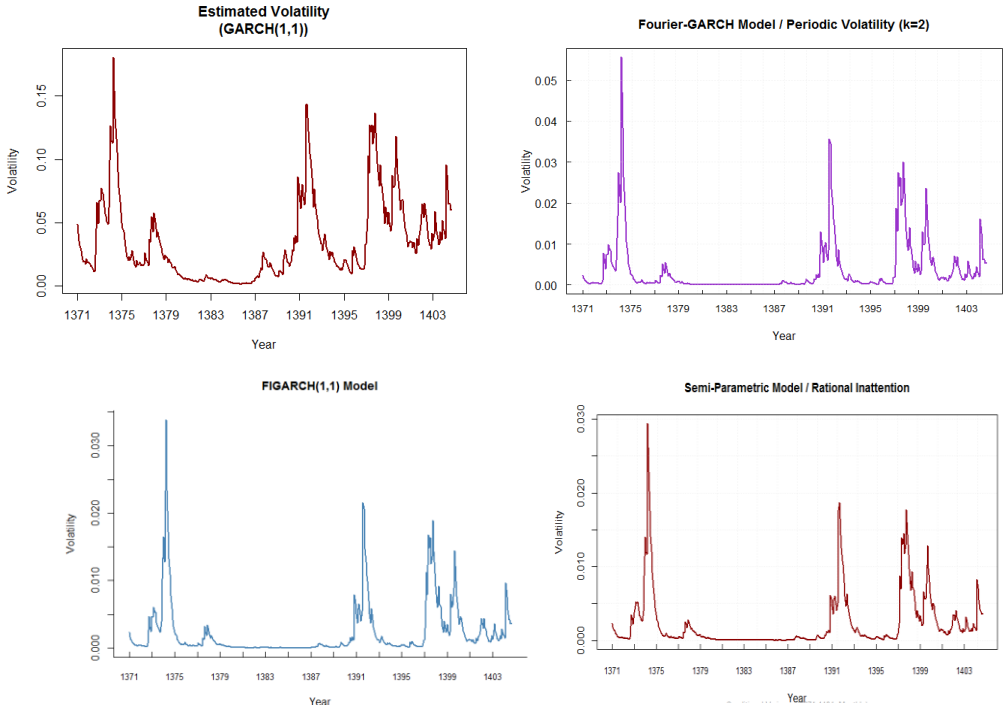
[1] Out-of-Sample

[2] برای توضیحات بیشتر به مقاله Garcia-Hiernaux et al. (2026) رجوع شود.

جدول ۴: پارامترهای برآورد شده الگوی بی‌توجهی عقلانی (منبع: یافته‌های تحقیق)

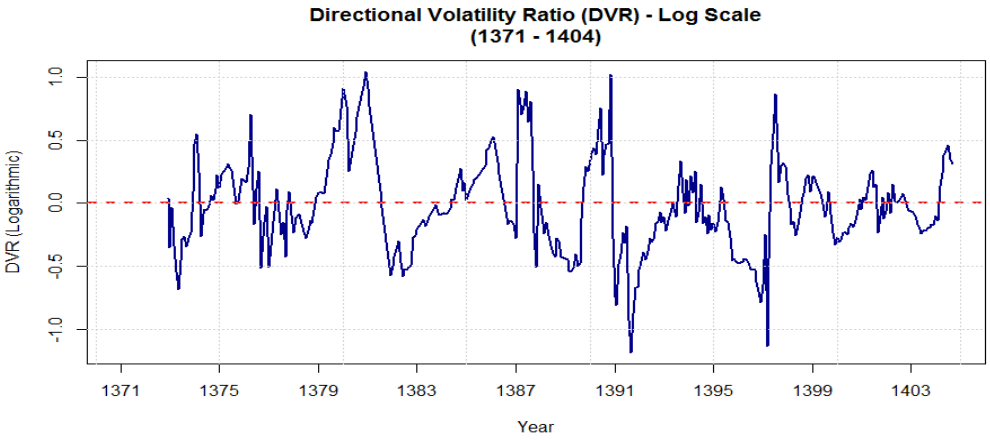
شاخص	بی‌توجهی عقلانی
سرعت پردازش اطلاعات نوسانات (Ø)	۰/۲۳۵
شاخص نسبت نوسانات جهت‌دار (DVR)	-۰/۰۳۱۵

برای درک عمیق‌تر رفتار بازار، نوسانات استخراج شده توسط هر چهار مدل در شکل (۱) مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که هر چهار مدل توانسته‌اند ادوار تلاطم و خوشه‌های نوسانی را شناسایی کنند. با این حال، شباهت زیاد بین مدل‌های GARCH و Fourier-GARCH نشان می‌دهد که مولفه‌های فوریه در این سری زمانی خاص، نقش کمرنگی ایفا کرده‌اند و نوسانات عمدتاً از فرآیندهای خودهمبسته پیروی می‌کنند. همچنین، عدم تفاوت چشمگیر مدل بی‌توجهی عقلانی با سایر مدل‌ها در شکل، با سرعت بالای پردازش اطلاعات همخوانی دارد؛ به این معنا که اگرچه مدل بی‌توجهی عقلانی به طور نظری نویزهای گذرا را فیلتر می‌کند، اما در بازار نرخ ارز که اطلاعات به سرعت منتقل می‌شود، این فیلتر کردن تأثیر محسوسی بر شکل نوسان ندارد، اما در کاهش خطای پیش‌بینی (جدول (۳)) مؤثر بوده است.



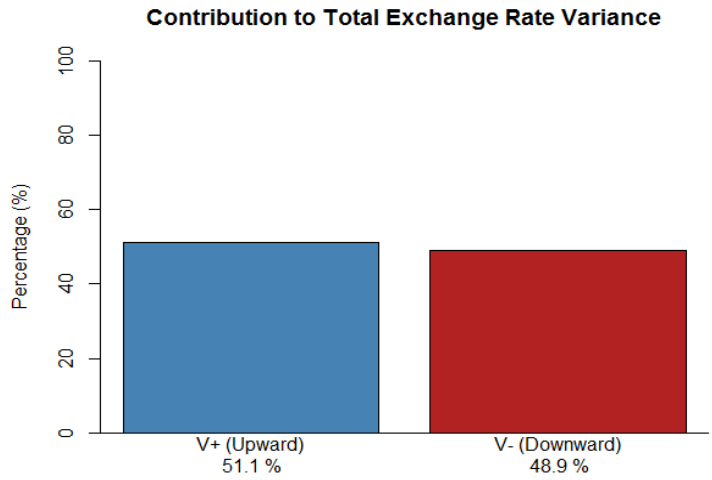
شکل ۱: مقایسه روند نوسانات برآورد شده نرخ ارز (منبع: یافته‌های تحقیق)

تحلیل شاخص DVR در شکل (۲) نشان‌دهنده نوسانات شدید و اصلاحات سریع انتظارات است. افت‌وخیزهای عمیق در این نمودار بیانگر آن است که عوامل اقتصادی به دلیل سرعت بالای جریان اطلاعات، مدام در حال اصلاح انتظارات خود هستند. جهش‌های ناگهانی نیز دوره‌هایی را نشان می‌دهند که تلاطمات واقعی ناگهان از انتظارات سبقت گرفته‌اند.



شکل ۲: تحلیل پویای شاخص DVR نرخ ارز (منبع: یافته‌های تحقیق)

در نهایت، تجزیه واریانس در شکل (۳) نشان می‌دهد که نوسانات افزایشی (صعودی) سهم غالبی (بیش از ۵۰ درصد) در ایجاد نااطمینانی کل بازار دارند. نکته جالب توجه، منفی بودن شاخص DVRاست. این موضوع نشان می‌دهد که پس از رسیدن قیمت به اوج، تکانه‌های قیمتی با سرعت بیشتری اصلاح شده و به سمت میانگین بازمی‌گردند. این رفتار، که در شکل (۲) نیز مشاهده می‌شود، با ویژگی‌های یک بازار رقابتی و شفاف که در آن اطلاعات به سرعت پردازش می‌شود، همخوانی دارد.



شکل ۳: تحلیل پویای نوسانات مثبت و منفی در نرخ ارز (منبع: یافته‌های تحقیق)

برای آزمون فرضیه‌های پژوهش، نتایج برآورد مدل‌های FIGARCH و مقایسه آن با مدل‌های دیگر (GARCH، Fourier-GARCH و بی‌توجهی عقلانی) در ادامه ارائه می‌شود.

- بررسی فرضیه اول: کارایی تقریب فوریه

نتایج مقایسه‌ای در جدول (۳) نشان می‌دهد که مدل Fourier-GARCH (1,2) با لحاظ کردن شکست‌های ساختاری به صورت توابع مثلثاتی، توانسته است معیارهای خطای پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای (RMSE و MAE) را نسبت به مدل کلاسیک GARCH کاهش دهد. این کاهش خطا نشان می‌دهد که نوسانات نرخ ارز در ایران تحت تأثیر تغییرات ساختاری ناگهانی است و مدل‌های استاندارد بدون در نظر گرفتن این شکست‌ها، کارایی کمتری دارند. بنابراین، فرضیه اول مبنی بر بهبود عملکرد مدل با تقریب فوریه تایید می‌شود.

- بررسی فرضیه دوم: نقش حافظه بلندمدت (FIGARCH)

برای بررسی وجود حافظه بلندمدت، مدل FIGARCH(1,2) برآورد شد. همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، پارامتر انباشتگی کسری (d) با مقدار ۰/۶۴۸ برآورد شده است. مقدار بین ۰ و ۱ نشان‌دهنده وجود حافظه بلندمدت در نوسانات نرخ ارز است. این بدان معناست که تکانه‌های وارد شده به بازار، اثرات خود را برای مدت طولانی حفظ می‌کنند و فرآیند بازگشت به تعادل بسیار کندتر از مدل‌های GARCH معمولی (که حافظه کوتاه‌مدت دارند) است. این یافته به طور قوی فرضیه

دوم را تایید می‌کند؛ به این معنا که لحاظ کردن پارامتر انباشتگی کسری، ساختار واقعی نوسانات را بهتر از مدل‌های با حافظه کوتاه‌مدت تبیین می‌کند. برای سنجش پایداری پارامترهای مدل FIGARCH در طول زمان، از آزمون پایداری نیبلوم[1] استفاده شد. چون آماره آزمون نیبلوم بزرگتر از مقدار بحرانی در سطح یک درصد (۲/۳۵) است، فرض صفر (پایداری پارامترها) رد می‌شود. این یعنی پارامترهای مدل FIGARCH در طول زمان ثابت نبوده‌اند و تغییر کرده‌اند. این یافته بسیار مهم است. اگرچه مدل FIGARCH وجود حافظه بلندمدت آماری را تایید می‌کند، اما ناپایداری پارامترها نشان می‌دهد که این حافظه بلندمدت، یک ویژگی ثابت و ذاتی سری زمانی نیست، بلکه ناشی از تغییرات ساختاری و رفتار پویای بازیگران بازار است.

جدول ۵: نتایج برآورد الگوی FIGARCH (منبع: یافته‌های تحقیق)

شاخص	FIGARCH (1,2)
ضریب انباشتگی (d)	۰/۶۴۸*** (۲۸/۲۹)
آزمون نیبلوم	۳/۲۰***

- بررسی فرضیه سوم: برتری مدل بی‌توجهی عقلانی

با وجود اینکه مدل FIGARCH حافظه بلندمدت را به خوبی نشان داد، اما در مقایسه با مدل بی‌توجهی عقلانی خطای پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای بالاتری داشت. مدل بی‌توجهی عقلانی با کمترین میزان خطا نشان داد که درک محدودیت‌های پردازش اطلاعات معامله‌گران، برای پیش‌بینی دقیق‌تر نوسانات ضروری است. بنابراین، فرضیه سوم مبنی بر برتری مدل نیمه‌پارامتریک بی‌توجهی عقلانی تایید می‌شود.

- بررسی فرضیه چهارم: ریشه رفتار بازار در برابر ویژگی‌های آماری

ترکیب نتایج FIGARCH و برتری مدل بی‌توجهی عقلانی، فرضیه چهارم را تایید می‌کند. ریشه اصلی پایداری و نوسانات نرخ ارز در ایران، بیش از آنکه ناشی از ویژگی‌های آماری ثابت سری زمانی (مانند پارامتر ضریب انباشتگی) باشد، ناشی از بی‌توجهی عقلانی، واکنش‌های نامتقارن و تغییرات رفتاری کارگزاران به اخبار است.

[1] Nyblom Parameter Stability Test

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف این پژوهش، شناسایی دقیق‌ترین چارچوب تحلیلی برای محاسبه نوسانات نرخ ارز در ایران طی بازه فروردین ۱۳۷۱ تا آذر ۱۴۰۴، از طریق مقایسه عملکرد چهار رویکرد GARCH، FIGARCH، Fourier-GARCH و مدل نیمه‌پارامتریک بی‌توجهی عقلانی بود. بر اساس نتایج تحقیق، مدل نیمه‌پارامتریک بی‌توجهی عقلانی با کمترین میزان خطای پیش‌بینی در دوره برون‌نمونه‌ای، برترین عملکرد را در میان مدل‌های رقیب داشت. این نتیجه نشان می‌دهد که لحاظ کردن محدودیت ظرفیت پردازش اطلاعات توسط کارگزاران، نقشی تعیین‌کننده در پیش‌بینی دقیق‌تر نوسانات ارزی ایفا می‌کند. آنچه در بازار ارز ایران به عنوان «نوسان ماندگار» مشاهده می‌شود، بیش از آنکه یک ویژگی آماری صرف باشد، ریشه در رفتار تطبیقی و توجه محدود معامله‌گران دارد.

مدل FIGARCH وجود حافظه بلندمدت در نوسانات نرخ ارز را تأیید کرد، اما آزمون پایداری نیبلوم نشان داد که پارامترهای این مدل در طول زمان ناپایدار هستند. این یافته کلیدی نشان می‌دهد که حافظه بلندمدت، یک ویژگی ثابت و ذاتی سری زمانی نرخ ارز ایران نیست؛ بلکه این پایداری ظاهری، حاصل تغییرات ساختاری و رفتار پویای کارگزاران است. مدل Fourier-GARCH نیز با کنترل شکست‌های ساختاری، عملکردی بهتر از مدل پایه GARCH داشت که نقش تکانه‌های تحریمی و سیاسی را در نوسانات ارزی تأیید می‌کند. همچنین، تحلیل شاخص DVR نشان داد نوسانات افزایشی (صعودی) سهم غالبی (بیش از ۵۰ درصد) در ایجاد نااطمینانی کل بازار دارند. منفی بودن مقدار DVR بیانگر آن است که پس از رسیدن قیمت به اوج، تکانه‌های قیمتی با سرعت بیشتری اصلاح می‌شوند. سرعت بالای پردازش اطلاعات نیز با ویژگی‌های یک بازار رقابتی و نسبتاً شفاف همخوانی دارد.

یافته‌های این پژوهش، با نگاهی به پژوهش‌های پیشین، تفاوت‌های معناداری را آشکار می‌سازد. در حالی که پژوهش‌هایی نظیر دموری و میرزاد (۱۳۹۷) و رستمی و همکاران (۱۴۰۲) با مدل‌های خانواده GARCH و FIGARCH، وجود حافظه بلندمدت را به عنوان یک ویژگی ذاتی آماری تأیید کرده بودند، یافته‌های این پژوهش با استفاده از آزمون پایداری نیبلوم نشان داد که پارامترهای حافظه بلندمدت در طول زمان ناپایدارند. همچنین، برتری مدل Fourier-GARCH در این پژوهش نسبت به نتایج ناصری و همکاران (۱۴۰۰)، تأییدکننده این است که کنترل شکست‌های ساختاری با تقریب فوریه، سوگیری‌های ناشی از تکانه‌ها را به‌مراتب دقیق‌تر از مدل‌های متقارن و نامتقارن GARCH مدیریت می‌کند.

در مجموع، هر چهار فرضیه پژوهش تأیید شد. از این رو به سیاستگذاران، برنامه‌ریزان و اقتصاددانان پیشنهاد می‌شود که:

- به جای اتکای صرف به مدل‌های آماری، سیاست‌گذار باید با انتشارِ منظم داده‌های کلان و ارائه چشم‌انداز سیاستی، ابهام بازار را کاهش دهد. این کار با جلوگیری از واکنش‌های هیجانی، نوسانات غیرمنطقی را مدیریت می‌کند. همچنین با توجه به سهم بالای نوسانات افزایشی، سیاست‌گذاران باید در دوره‌های فشار صعودی با مداخلات هدفمند و شفاف، از شکل‌گیری حباب جلوگیری نمایند.
- برخلاف مدل‌های کلاسیک که تنها بر داده‌های گذشته تکیه دارند، «مدل‌های رفتاری» (مانند بی‌توجهی عقلانی) محدودیت ظرفیت پردازش ذهن معامله‌گران را در نظر می‌گیرند. این مدل‌ها فرض می‌کنند که معامله‌گران در مواجهه با حجم زیاد اطلاعات، فقط اخبار مهم را پردازش می‌کنند. استفاده از این مدل‌ها به فعالان اقتصادی کمک می‌کند تا به جای صرف تحلیل نمودارهای قیمتی، «سرعت جذب اطلاعات» و «واکنش نامتقارن معامله‌گران» را به عنوان محرک‌های اصلی ریسک، مدیریت کنند.

References

Abdulla, S. N., & Alwan, D.H. (2022). Using apgarch/avgarch models Gaussian and non-Gaussian for modeling volatility exchange rate. *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications*, 13(1), 3029-3038. Doi: 10.22075/ijnaa.2022.6035

Apergis, N., Bulut, U. Ucler, G., & Ozsahin, S. (2021). The causal linkage between inflation and inflation uncertainty under structural breaks: Evidence from Turkey. *Manchester School, University of Manchester*, 89(3), 259-275. DOI: 10.1111/manc.12361

Baillie, R. T. Bollerslev, T., & Mikkelsen, H. O. (1996). Fractionally integrated generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 74(1): 3-30. RePEc:eee:econom:v:74:y:1996:i:1:p:3-30

Beveridge, S., & Nelson, C. (1981). A new approach to decomposition of economic time series into permanent and transitory components with particular attention to measurement of the ‘‘business cycle’’. *Journal of Monetary Economics*, 7 (2), 151–174. http://dx.doi.org/10.1016/0304-3932(81)90040-4.

Charfi, S., & Mselmi, F. (2022). Modeling exchange rate volatility: application of GARCH models with a Normal Tempered Stable distribution.

Quantitative Finance and Economics, 6(2), 206-222. Doi: 10.3934/QFE.2022009

Damiri, M.H. Saeedi, P. Didehkhani, H. abbasi, E. (2020). Modeling of exchange rate fluctuations with systems dynamics approach. *Financial Engineering and Portfolio Management*, (In Persian). 11(43), 220-244. https://sanad.iau.ir/ar/Journal/fej/Article/676331?jid=676331&lang=en

Damoori, D., & Mirzad, N. (2018). The Study of long-Term Memory in Dynamic Volatility Relationship between Stock Returns and Exchange Rates. *Journal of Asset Management and Financing*, 6(3), 147-164. (In Persian). Doi: 10.22108/amf.2018.103992.1106

Dritsaki, C. (2019). Modeling the volatility of exchange rate currency using GARCH model. *International Economics*, 72(2), 209-230. RePEc:ris:ecoint:0846

Garcia-Hiernaux, A., Gonzalez-Perez, M.T., & Guerrero. D.E. (2026). Inflation volatility under rational inattention: A semi-parametric model and the directional volatility ratio. *Economic Modelling*, 157-107516. DOI:10.1016/j.econmod.2026.107516

Izati, P.P. Prastyo, D.D. & Akbar, M.S. (2024). Modeling the Volatility of World Energy Commodity Prices Using the GARCH-Fractional Cointegration Model. *Procedia Computer Science*, 234, 412–419. Doi: 10.1016/j.procs.2024.03.022

Kim, K.H. (2003). Dollar exchange rate and stock price: evidence from multivariate cointegration and eroror correction model. *Review financial economiscs*, 21, 301-313, https://doi.org/10.1016/S1058-3300(03)00026-0

Naseri, S. M., Shakeri, A., Mohammadi, T. & Salem, A. A. (2024). Modeling Exchange Rate Volatility in Iran Using GARCH Models: a Comparison of symmetric and Asymmetric Models. *Journal of Investment Knowledge*, *14*(53), 741-769. (In Persian).

Pascalau, R. Thomann, C. & Gregoriou, G. N. (2011). Unconditional mean, volatility, and the FOURIER-GARCH representation. In G. N. Gregoriou and R. Pascalau (Eds.), Financial econometrics modeling: Derivatives pricing, hedge funds and term structure models (pp. 90–106). Palgrave Macmillan.

Rostami, M., Nilchi, M., and Momenzadeh, M. M. (2023). Instability in Iran's informal Foreign exchange market: structural breaks and jumps or long memory in volatility? *Journal of Economic Research (Tahghighat- E-Eghtesadi)*, *58*(1), 61-94. (In Persian). Doi: 10.22059/jte.2023.93459

Rudari, S., Arabi, S. H., & Rahimi Kahkashi, S. (2024). Volatility Spillover among Exchange Rate, Inflation and Liquidity in Iran’s Economy:

A TVPVAR-BK Approach. *Iranian Journal of Economic Research*, *28*(97), 152-190. (In Persian). https://doi.org/10.22054/ijer.2024.74542.1200

Sercu, P., & Vanhulle, C. (1992). Exchange rate volatility, international trade, and the value of exporting firms. *Journal of Banking & Finance*, *16*(1), 155–182 .RePEc:eee:jbfina:v:16:y:1992:i:1:p:155-182

Shojaee, S. A., Maaboudi, R., & Asayesh, H. (2023). Investigating the effect of exchange rate fluctuations on the growth of Iran's economic sectors. *Islamic Economics and Banking*, 12 (44), 221-244. (In Persian).

Sims, C. (2003). Implications of rational inattention. *J. Monet. Econ*. 50, 665–690. http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3932(03)00029-1.

Teterin, P., Brooks, R., and Enders, W. (2016). Smooth volatility shifts and spillovers in US crude oil and corn futures markets. *Journal of Empirical Finance*, 38(1), 22–36. https://doi.org/10.1016/j.jempfin.2016.05.005.
URL: http://mieaoi.ir/article-1-1449-fa.html

Vafaei, E., Pendar, M., & Rezvani, M. (2025). Evaluating the Causal Relationship Between Exchange Rate and Its Volatility with the Misery Index in Iran. *Accounting, Finance and Computational Intelligence*, 3(1), 1-14. (In Persian). https://jafci.com/index.php/jafci/article/view/115.]