

## معرفی نماگرهای نوین نوسانات نرخ ارز بر مبنای مدل ترکیبی Wavelet-GARCH

حمید ابریشمی

استاد اقتصاد دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

abrihami@ut.ac.ir

اکبر کمیجانی

استاد اقتصاد دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران

komijani@ut.ac.ir

محسن مهرآرا

استاد اقتصاد دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران

mmehrara@ut.ac.ir

مهدی نوری

دکتری اقتصاد و مدرس دانشگاه تهران

mahdinouri@ut.ac.ir

نرخ ارز به عنوان یکی از مهم ترین متغیرهای اقتصادی، ریسک‌های بسیاری را بر سایر بخش‌های اقتصادی تحمیل می‌سازد. یکی از وظایف بانک‌های مرکزی، مدیریت مناسب این نوسانات در بازار ارز و کاهش ریسک‌های ناشی از آن برای فعالان اقتصادی در دوره‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت است. این مطالعه نماگرهای نوینی از نوسانات نرخ ارز را در مقیاس‌های مختلف زمانی معرفی و برآورد کرده تا بر اساس رویکرد بانک مرکزی امکان مدیریت مناسب‌تر نوسانات نرخ ارز فراهم شود. این روش از ترکیب تجزیه موجک و مدل‌های GARCH، بهره گرفته و برای دوره زمانی مهرماه ۱۳۸۷ تا آذرماه ۱۳۹۴ نوسانات نرخ ارز در سطوح متفاوت زمانی مدل‌سازی شده است.

طبقه‌بندی JEL: C6, O24, F31

واژگان کلیدی: نوسانات نرخ ارز، تجزیه موجک، GARCH.

۱. مقدمه<sup>۱</sup>

تحولات در نظام‌های ارزی و گسترش تجارت جهانی در دهه‌های گذشته، سبب شده است تا مطالعات در حوزه نرخ ارز، مورد توجه محققان و تصمیم‌گیران اقتصادی قرار گیرد. نرخ ارز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقتصاد کلان که از جنبه‌های گوناگون، بخش‌های مختلف اقتصاد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نرخ ارز به‌عنوان معیار ارزش برابری پول ملی یک کشور در برابر پول کشورهای دیگر (کروگمن و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲)، منعکس‌کننده وضعیت اقتصادی آن کشور در مقایسه با شرایط سایر کشورهاست<sup>۳</sup>. در هر اقتصادی، نرخ ارز به سبب ارتباط آن با سایر متغیرهای داخلی و خارجی، متغیر کلیدی به شمار می‌رود که سیاست‌ها و تحولات اقتصادی داخلی و خارجی تأثیرات بسیاری بر آن می‌گذارد. به‌علاوه نرخ ارز متغیری است که می‌تواند عملکرد اقتصاد و متغیرهای آن را تحت تأثیر قرار دهد.

پس از فروپاشی نظام برتون وودز<sup>۴</sup> و برقراری نظام‌های نرخ ارز شناور و شناور مدیریت‌شده در سال ۱۹۷۳ تاکنون، نحوه مدیریت نوسانات نرخ ارز در دو سطح خرد و کلان در بسیاری از کشورها هم در حوزه نظری و هم در حوزه کاربردی همواره مورد توجه پژوهشگران اقتصادی قرار گرفته است. ریسک نوسانات نرخ ارز در سطح خرد<sup>۵</sup> می‌تواند بر فعالیت کارگزاران اقتصادی اثر بگذارد. در ادبیات نظری سه ریسک عمده شامل ریسک تبدیل<sup>۶</sup>، ریسک معامله<sup>۷</sup> و ریسک اقتصادی<sup>۸</sup> برای نوسانات نرخ ارز در نظر گرفته می‌شود<sup>۹</sup>. با توجه به اینکه در بسیاری از کشورهای در حال توسعه

۱. این مقاله مستخرج از رساله دکتری مهدی نوری در دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران است.

2. Krugman et al

۳. قابل ذکر است که به طور خاص تنها با ارزش پول ملی نمی‌توان در رابطه با توان اقتصادی یک کشور در مقایسه با کشورهای دیگر صحبت کرد.

4. Bretton Woods system

۵. نوسانات نرخ ارز معمولاً در مطالعات مربوط به سطح خرد و بنگاه، به صورت برونزا در نظر گرفته می‌شود، اما در مطالعات کلان به صورت درونزا در نظر گرفته می‌شود.

6. Translation Risk

7. Transaction Risk

8. Economic Risk

۹. ریسک تبدیل ناشی از تغییر واحد پول اقلام ترازنامه (دارایی‌ها، بدهی‌ها و سرمایه) است که در یک مقطع زمانی رخ می‌دهد. ریسک معامله به واسطه تغییر نرخ ارز بر روی جریان درآمدی و هزینه‌های بنگاه‌ها به وجود می‌آید؛ به خصوص

از جمله ایران، بازارهای مشتقه و ابزارهای پوشش ریسک شکل نگرفته و یا از عمق لازم برخوردار نیست؛ به طور عملی بنگاه‌های اقتصادی در این کشورها امکان مدیریت ریسک ناشی از نوسانات نرخ ارز را نداشته و دچار زیان خواهند شد.<sup>۱</sup>

در شرایط نبود بازارهای مشتقه توسعه یافته، مدیریت نوسانات نرخ ارز در سطح کلان به عنوان یکی از مهم ترین سیاست‌های اقتصادی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. برای مدیریت نوسانات نرخ ارز نخست بایستی شاخص‌های مناسب برای نوسانات آن برآورد شود تا در پیش‌بینی و رهگیری آن توسط سیاست‌گذار مورد استفاده قرار گیرد. برای مدل‌سازی نوسانات نرخ ارز، روش‌های متفاوتی در مطالعات استفاده شده است. این روش‌ها بیشتر ناظر بر مدل‌سازی تغییرات متغیر حول روند اصلی خود است و کمتر به تفکیک تغییرات یک متغیر می‌پردازد.

در این پژوهش با استفاده از داده‌های روزانه نرخ ارز در دوره زمانی مهرماه ۱۳۸۷ تا آذرماه ۱۳۹۴ نخست با استفاده از روش ناپارامتریک تجزیه موجک<sup>۲</sup> بازده نرخ ارز به سه سطح تجزیه شده و چهار سری زمانی شامل تقریب<sup>۳</sup> و سه سری زمانی جزئیات<sup>۴</sup> به دست آمده است و سپس با استفاده از برنامه نوشته شده در نرم افزار MATLAB و با بهره گیری از روش پارامتریک GARCH به مدل‌سازی هر کدام از سری‌های اصلی و به دست آمده از تجزیه موجک پرداخته شده است؛ به طوری که بهترین مدل پس از بررسی تصریح‌های مختلف مدل GARCH بر اساس معیارهای اطلاعات آکائیک (AIC) و بیزین-شوارتز (BIC) مدلی که کمترین مقدار را دارا بوده، انتخاب شده است. در پایان بر اساس مدل بهینه هر کدام از سری‌های زمانی، نوسانات در سطوح مختلف برآورد شده است.

سایر مدل‌های مرسوم مدل‌سازی نوسانات معمولاً تنها در یک سطح به برآورد نوسانات می‌پردازند در حالی که تمایز روش معرفی شده در این مقاله امکان برآورد نوسانات در مقیاس‌های

---

بنگاه‌هایی که رابطه تجاری گسترده‌تری با سایر کشورها دارند. ریسک اقتصادی نیز ناشی از نوسانات غیرمنتظره نرخ ارز بوده که اثر خود را بر ارزش حال تنزیل شده بازاری بنگاه می‌گذارد.

۱. برای مطالعات بیشتر رجوع شود به Papaioannou (2006) و سبحانی و همکاران (۱۳۹۳).

2. Wavelet Decomposition  
3. Approximation  
4. Details

متفاوت را ایجاد کرده و در نتیجه باعث می‌شود مجموعه دقیق‌تری از ویژگی‌های بازار ارز در اختیار سیاست‌گذار قرار گیرد تا با اهداف و سیاست‌های بانک مرکزی هر کشوری امکان مداخله مناسب‌تری در بازار ارز ایجاد شود؛ به گونه‌ای که طیفی از دوره‌های زمانی نوسانات محاسبه‌شده و امکان رهگیری و پیش‌بینی مناسب‌تری را برای سیاست‌گذار فراهم می‌سازد.

ساختار مقاله در ادامه به این صورت است که پس از بیان ادبیات موضوع و روش‌های متفاوت محاسبه نوسانات، به روش تحقیق می‌پردازد که به توضیح تجزیه موجک و مدل GARCH به صورت جزئی‌تر پرداخته خواهد شد. سپس تاریخچه‌ای از تحولات نرخ ارز در ایران آورده شده و در بخش پنجم مدل‌سازی تجربی نوسانات نرخ ارز با استفاده از روش ترکیبی ارائه می‌گردد. در نهایت، بخش پایانی نتیجه‌گیری را در بر خواهد داشت.

## ۲. ادبیات موضوع

در اکثر مطالعات خارجی و تمامی مطالعات داخلی، کمتر مطالعه مستقلی برای مدل‌سازی نوسانات نرخ ارز مشاهده می‌شود. اغلب مدل‌سازی‌های صورت گرفته به اثرگذاری این نوسانات و ریسک حاصل از آن بر سایر بخش‌های اقتصادی<sup>۱</sup> می‌پردازد. معمولاً در این مطالعات نخست با یک یا چندین روش مرسوم به برآورد نوسانات نرخ ارز پرداخته شده و پس از آن اثرگذاری بر سایر متغیرها صورت پذیرفته است.

در مقالاتی که در حوزه نوسانات نرخ ارز انجام شده است، واژه واحدی برای نوسانات مورد استفاده قرار گرفته نشده است. واژه‌های مانند نوسانات و یا نوسان‌پذیری<sup>۲</sup>، نااطمینانی یا عدم‌اطمینان<sup>۳</sup>، ریسک<sup>۴</sup>، تغییرات، تلاطم، فراریت، آشفتگی<sup>۵</sup>، بی‌ثباتی<sup>۶</sup>، تغییرپذیری<sup>۷</sup>، شوک<sup>۸</sup>،

۱. به طور نمونه اثرگذاری بر صادرات، واردات، سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی، رشد اقتصادی.

2. Volatility
3. Uncertainty
4. Risk
5. Turmoil
6. Instability
7. Variability
8. Shock

ناترازی (نامیزانی) نرخ ارز<sup>۱</sup> و جهش<sup>۲</sup> در این پژوهش‌ها استفاده شده است. علی‌رغم اینکه هر کدام از این کلمات دارای مفهوم و بستر متفاوتی بوده و برخی از آنها نیز با یکدیگر هم‌پوشانی‌هایی دارند، اما در این مطالعه بر اساس اکثر مطالعات انجام گرفته تمرکز را بر نوسانات خواهیم گذاشت.

در حالت کلی نوسانات به‌عنوان پدیده‌ای است که ویژگی‌های تغییرپذیری متغیر مورد بررسی را بیان می‌کند. به‌طور معمول و در ساده‌ترین روش، نوسانات را با انحراف معیار<sup>۳</sup> ساده بیان می‌کنند؛<sup>۴</sup> در این شاخص تمرکز بر پراکندگی از میانگین متغیر برای تعریف نوسانات است.<sup>۵</sup> در صورتی که نوسانات را بر مبنای خطای پیش‌بینی<sup>۶</sup> تعریف کنیم شاخص دیگری تحت عنوان جذر میانگین مجذور درصد خطا<sup>۷</sup> (RMSPE) مطرح می‌شود که پراکندگی را نسبت به مقدار پیش‌بینی شده از متغیر نمایش می‌دهد.<sup>۸</sup> برای مطالعات کاربردی به‌خصوص در حوزه سری‌های زمانی، این دو شاخص پویایی‌های زمانی

---

۱. ناترازی (نامیزانی) نرخ ارز (Exchange Rate Misalignment) را انحراف از مسیر تعادلی نرخ ارز تعریف می‌شود که با توجه به سیاست نامناسب بانک مرکزی و عدم تعدیل نرخ ارز، در بسیاری از سال‌ها در اقتصاد ایران شاهد ناترازی نرخ ارز هستیم. برای مطالعات بیشتر در این حوزه رجوع شود به کتاب

Exchange Rate Misalignment: Concepts and Measurement for Developing Countries

نوشته هینکل و مونتیل (Hinkle and Montiel, 1999).

## 2. Jump

## 3. Standard Deviation

۴. قابل ذکر است از واریانس (Variance) نیز برای این شاخص استفاده می‌شود اما با توجه به اینکه انحراف معیار دارای واحد اندازه‌گیری یکسانی با متغیر مورد بررسی است؛ انحراف معیار بیشتر از واریانس مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۵. در برخی از مطالعات برای مقایسه داده‌های آماری که واحدهای مختلفی دارند، از شاخص ضریب تغییرات (Coefficient of Variation) استفاده می‌کنند که بی‌مقیاس بوده و از تقسیم انحراف معیار بر میانگین به دست می‌آید. این شاخص را انحراف معیار نسبی (Standard Deviation Relative) نیز می‌نامند. علاوه بر این در ادبیات مالی سرمایه‌گذاران بیشتر بر ریسک نامطلوب یا ریسک فروسوی (Downside Risk) تمرکز دارند، لذا از تعریف نیمه واریانس (Semi-Variance) برای شاخص نوسانات استفاده می‌شود که تنها انحراف معیار بر اساس مشاهداتی به دست می‌آید که کمتر از میانگین و یا کمتر از مقدار هدف سرمایه‌گذار باشد. بر طبق این تعریف از ریسک بود که نظریه فرامدرن پرتفوی (The Post Modern Portfolio Theory) شکل گرفت.

## 6. Prediction Error

## 7. Root Mean Square Percentage Error (RMSPE)

۸. روش ساده برای جای‌گذاری مقدار پیش‌بینی متغیر، مقدار دوره قبل آن خواهد بود که فرمول آن به این صورت

$$\text{خواهد شد. } 100 \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \left( \frac{e_t - e_{t-1}}{e_t} \right)^2}$$

را نمایش نمی‌دهد و امکان اینکه به‌عنوان متغیر مستقل در مدل‌ها لحاظ شود را ندارند؛ در این شرایط شاخص‌های دیگری از نوسانات در ادبیات مطرح شدند به‌طوری‌که در هر زمان مقداری را اختیار کرده و یا به‌اصطلاح زمان متغیر<sup>۱</sup> بودند در نتیجه قابلیت نمایش پویایی‌های زمانی را خواهند داشت.

نخستین شاخص‌های مطرح شده با چنین ویژگی‌هایی، قدرمطلق بازده و مجذور بازده نرخ ارز به طور خاص برای داده‌های روزانه است که به ازای هر زمان میزان نوسانات را برای متغیر نشان خواهد داد.<sup>۲</sup> این دو روش شبیه یکدیگر هستند تنها در مجذور بازده، وزن بیشتری به مشاهدات بزرگ‌تر داده می‌شود. با توجه به گسترش بازارهای مشتقه شاخص دیگری که در مطالعات کاربردی مورداستفاده قرار گرفته شده، میانگین قدرمطلق تفاوت نرخ نقد<sup>۳</sup> با نرخ سلف<sup>۴</sup> دوره قبل است.<sup>۵</sup>

یکی دیگر از روش‌های پرکاربرد برآورد نوسانات، روش انحراف معیار میانگین متحرک (غلطان)<sup>۶</sup> نرخ ارز (MASD) است.<sup>۷</sup> این روش در واقع انحراف معیار غلطان<sup>۸</sup> را با فرض صفر بودن میانگین نرخ بازده، در طول دوره موردبررسی محاسبه می‌کند.<sup>۹</sup> در این روش به تمامی مشاهدات وزن یکسانی تعلق می‌گیرد در حالی که اگر فراوانی به‌اندازه کافی در داده‌های مالی وجود داشته باشد؛

#### 1. Time Varying

۲. به طور نمونه در مطالعه (Bailey et al.(1987)، Thursby and Thursby (1986) از این روش استفاده شده است.

#### 3. Spot rate

#### 4. Forward rate

۵. ر.ک.به: (Hooper and Kohlhagen (1978).

#### 6. Moving(Rolling) Average(MA)

۷. استفاده شده در مطالعات:

Arize(1995), Arize(1998), Corbo and Caballero(1989), Cushman (1988), De Vita and Abbott (2004b), Dog'anlar(2002), Koray and Lastrapes(1989), Kumar and Dhawan(1991), Lastrapes and Koray(1990).

۸. برای مطالعات بیشتر در رابطه با تجزیه و تحلیل غلطان سری زمانی؛ ر.ک. به فصل ۹ کتاب Zivot and Wang(2003).

۹. قابل ذکر است برای داده‌های با فراوانی بالا می‌توان چنین فرضی را در نظر گرفت؛ در غیر این صورت بایستی میانگین

نیز از آن کسر گردد و سپس به توان دو برسد. در ادبیات مدل‌سازی نوسانات نیز از رابطه  $RV_t = \sum_{i=1}^W r_{t-i}^2$  تحت

عنوان نوسانات تحقق‌یافته (Realized volatility) یاد می‌شود. به‌منظور مطالعات بیشتر در رابطه با نوسانات

تحقق‌یافته (RV) رجوع شود به مقاله مروری McAleer and Medeiros(2008)

و مقاله Andersen, Bollerslev, Diebold and Labys (2003).

یکی از ویژگی‌ها و حقایق آشکارشده<sup>۱</sup> این نوع از سری‌های زمانی، وجود اثرات خوشه‌ای<sup>۲</sup> و وابستگی میان نوسانات است.<sup>۳</sup> در جهت رفع ضعف مدل میانگین متحرک ساده و در نظر گرفتن وزن بیشتر برای مشاهدات نزدیک‌تر، مدل میانگین متحرک موزون نمایی<sup>۴</sup> (EWMA) نخستین بار توسط شرکت جی پی مورگان<sup>۵</sup> معرفی شد.<sup>۶</sup> شاخص‌های دیگری که بر مبنای پسماند<sup>۷</sup> حاصل از رگرسیون هستند؛ مانند پسماند حاصل از رگرسیون نرخ ارز با استفاده از مدل ARIMA و مدل روند زمانی نیز در ادبیات مطرح شدند.<sup>۸</sup> از روش‌هایی مانند فیلتر هودریک-پرسکات<sup>۹</sup> نیز برای مدل‌سازی نوسانات استفاده شده که در مطالعات کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.<sup>۱۰</sup>

در چند دهه اخیر عمده‌ترین روش برای برآورد نوسانات نرخ ارز، استفاده از مدل واریانس ناهمسان شرطی<sup>۱۱</sup> ARCH و مدل تعمیم‌یافته آن GARCH بوده که به ترتیب توسط انگل<sup>۱۲</sup> (۱۹۸۲) و بولرسلو<sup>۱۳</sup> (۱۹۸۶) معرفی شده است. پس از آن بیش از ۵۰ مدل از خانواده GARCH در ادبیات

---

1. Stylized Fact

2. Volatility clustering

۳. این نوع از وابستگی و دارا بودن نوسانات خوشه‌ای تحت عنوان اثرات آرج (ARCH) نیز مطرح می‌شود.

4. Exponentially Weighted Moving Average (EWMA)

5. J.P. Morgan

۶. J.P. Morgan برای داده‌های روزانه  $\lambda = 0.94$  را پیشنهاد داده است که تحت عنوان مدل RiskmetricsTM شناخته می‌شود.

EWMA ضعیف‌تر از مدل‌های EWMA ثابت بودن ضریب  $\lambda$  و یکسان در نظر گرفتن آن برای دارایی‌های

مختلف است. این ضعف در مدل‌های GARCH برطرف می‌شود.

7. Residual

۸. در این رابطه رجوع شود به مطالعات:

Arize and Shwiff(1998), Asseery and Peel(1991), Grobar(1993), Sauer and Bohara(2001), Arize and Ghosh(1994), De Grauwe(1987), Thursby and Thursby(1987).

9. Hodrick Prescott filter

۱۰. به نظر می‌رسد این نوع از مدل‌سازی بیشتر نشان‌دهنده شوک و انحراف از روند بلندمدت و برای مدل‌سازی رفتار

سیکلی نرخ ارز باشد. Goldfajn and Valdes (1999) و Broda and Romalis (2011) از این روش در مطالعات

خود بهره گرفته‌اند.

11. Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (ARCH)

12. Engle

13. Bollerslev

مدل‌سازی نوسانات مطرح شد که به فراخور موضوع، مورداستفاده قرار می‌گیرد.<sup>۱</sup> قابل ذکر است که مدل میانگین متحرک موزون نمایی (EWMA) نیز حالت خاصی از مدل‌های GARCH است. در کنار خانواده مدل‌های GARCH، روش دیگری که در حوزه بازارهای مالی کاربرد بسیاری دارد؛ مدل نوسانات تصادفی<sup>۲</sup> (SV) است. این مدل، نوسانات یک متغیر را بر مبنای معادلات دیفرانسیل تصادفی<sup>۳</sup> (SDE) محاسبه می‌کند. این روش نسبت به سایر روش‌های دارای مزیت‌هایی مانند دارا بودن پویایی درونی در معادله واریانس به واسطه وجود یک فرآیند حرکت براونی<sup>۴</sup> است که باعث می‌شود انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت مدل‌های GARCH داشته باشد. علاوه بر این مدل انطباق بیشتری با مشاهدات بازارهای مالی و مبانی نظری مرتبط باقیمت‌های مالی دارد.<sup>۵</sup> در جدول (۱) خلاصه‌ای از روش‌های سنجش نوسانات نرخ ارز بیان شده است.<sup>۶</sup>

همان‌طور که بیان شد در داخل پژوهش مشخصی در رابطه با مدل‌سازی نوسانات نرخ ارز انجام نگرفته است و بیشتر به اثرگذاری نوسانات بر بخش‌های اقتصادی پرداخته شده است. در این راستا می‌توان به مطالعات مانی و زیرک (۱۳۸۳)، کازرونی و دولتی (۱۳۸۶)، کرمی و زیبایی (۱۳۸۷)، احسانی و همکاران (۱۳۸۸)، مرتضوی و همکاران (۱۳۹۰)، اصغریور و همکاران (۱۳۹۱)، عباسیان و همکاران (۱۳۹۱)، نوری و نویدی (۱۳۹۱)، دوران‌دیش و همکاران (۱۳۹۳)، کلانترزاده و بصیرت (۱۳۹۴)، ذوالفقاری و سبحانی (۱۳۹۵) اشاره کرد.

۱. برای مطالعه بیشتر در خصوص انواع مدل‌های ARCH (GARCH) ر.ک. به: Bollerslev (2008).

2. Stochastic volatility

3. Stochastic Differential Equation

4. Brownian Motion Process

۵. به‌طور نمونه از این روش برای مدل‌سازی نوسانات نرخ ارز در مطالعات

Kulikova and Taylor (2013) و Bates (1996)

استفاده شده است. برای مطالعه بیشتر در مدل‌های نوسانات تصادفی رجوع شود به:

Cavaliere (2006) و Asai, McAleer and Yu (2006).

۶. برای مطالعه بیشتر در رابطه با مدل‌سازی نوسانات نرخ ارز رجوع شود به فصل ۱۶ کتاب Handbook of Research

Methods and Applications in Empirical Finance نوشته Erdemlioglu, Laurent and Neely (2013)

و Bauwens, Hafner and Laurent (2012) و Daly (2008) ر.ک. به:

جدول ۱. برخی از معیارهای سنجش نوسانات نرخ ارز

ردیف	روش	توضیحات
۱	$\hat{\sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^T (re_{t-i} - \bar{re}_t)^2 / T - 1}$	انحراف معیار ساده (تنها یک مقدار برای کل دوره)، $re$ نرخ بازده ارز است
۲	$\hat{\sigma} = 100 \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \left( \frac{e_t - \hat{e}_t}{e_t} \right)^2}$	جذر میانگین مجذور درصد خطا (RMSPE)، مبنای محاسبه انحراف از پیش‌بینی نرخ ارز است.
۳	$\hat{\sigma}_t =  re_t  = \left  \frac{e_t - e_{t-1}}{e_{t-1}} \right $	مقدار مطلق درصد تغییرات نرخ ارز (بازده نرخ ارز)
۴	$\hat{\sigma}_t^2 = re_t^2$	مجذور نرخ بازده ارز ( $re$ )
۵	$\hat{\sigma}_t = \sqrt{\frac{1}{W} \sum_{i=1}^W  f_{t-1} - e_t }$	f نرخ سلف ارز و e نرخ نقدی آن است.
۶	$\hat{\sigma}_t = \sqrt{\frac{1}{W} \sum_{i=1}^W re_{t-i}^2}$	انحراف معیار میانگین متحرک (غلطان) <sup>۱</sup> نرخ ارز (MASD)، W طول پنجره است.
۷	$\hat{\sigma}_t = \sqrt{\frac{1-\lambda}{\lambda(1-\lambda^W)} \sum_{i=1}^W \lambda^i re_{t-i}^2}$ $\hat{\sigma}_t = \sqrt{(1-\lambda)re_{t-1}^2 + \lambda\hat{\sigma}_{t-1}^2}$	مدل میانگین متحرک موزون نمایی <sup>۲</sup> (EWMA)، $0 < \lambda < 1$
۸	$\frac{\max e_{t-k}^t - \min e_{t-k}^t}{\min e_{t-k}^t} + \left[ 1 + \frac{ e_t - e_t^p }{e^p} \right]^2$	نوسانات بلندمدت بر مبنای مقادیر حداکثر و حداقل نرخ ارز، $e^p$ مقدار تعادلی نرخ ارز به دست آمده از معادله رگرسیونی
۹	پسماند حاصل از مدل ARIMA	مجذور باقیمانده‌های به دست آمده از تخمین یک مدل ARIMA برای متغیر نرخ ارز
۱۰	$\hat{\xi}_t^2 = \ln e_t - (\hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 t + \hat{\alpha}_2 t^2)$	مجذور باقیمانده‌های حاصل از تخمین لگاریتم نرخ ارز حول روند (درجات مختلف روند نیز امکان پذیر است)
۱۱	فیلتر هودریک-پرسکات	انحراف معیار سیکل‌های به دست آمده از هودریک-پرسکات نرخ ارز

1. Moving (Rolling) Average (MA)  
2. Exponentially Weighted Moving Average (EWMA)

ردیف	روش	توضیحات
۱۲	خانواده مدل‌های ARCH (مانند GARCH، TARCH، FIGARCH، EGARCH)	معرفی شده توسط انگل (۱۹۸۲)، بولرسلو (۱۹۸۶)، زاکوئیان (۱۹۹۴) و گلوستن، جانانان و رانکل (۱۹۹۳)، نلسون (۱۹۹۱)، بایلی، بولرسلو و میکلسن (۱۹۹۶).
۱۳	مدل نوسانات تصادفی (SV)	برآورد نوسانات بر مبنای معادلات دیفرانسیل تصادفی (SDE)

مأخذ: جمع‌آوری مطالعات بر مبنای ادبیات مدل‌سازی نوسانات

دو مفهوم کلی نوسانات تاریخی<sup>۵</sup> و نوسانات ضمنی<sup>۶</sup> نیز در ادبیات مدل‌سازی نوسانات مطرح می‌شوند. نوسانات تاریخی بر مبنای داده‌های گذشته و حال محاسبه می‌شوند لذا تمامی روش‌های ذکر شده زیر مجموعه نوسانات تاریخی قرار خواهند گرفت. این در حالی است که نوسانات ضمنی در مقابل نوسانات تاریخی قرار می‌گیرد چرا که نشان‌دهنده پیش‌بینی از نوسانات آینده بوده و از قرارداد اختیار معامله<sup>۷</sup> به دست می‌آید.

این مطالعه با ترکیب روش ناپارامتریک موجک و روش پارامتریک GARCH مجموعه نماگرهای نوینی را برای مدل‌سازی نوسانات نرخ ارز ارائه داده است که در ادامه به توضیح دقیق‌تری از آن‌ها پرداخته خواهد شد.

### ۳. روش تحقیق

#### ۳-۱. تجزیه موجک

ایده اساسی در موجک، تحلیل بر اساس مقیاس<sup>۸</sup> است. جسمی را در نظر بگیرید که از فواصل مختلف به آن نگریسته می‌شود. هنگامی که از فاصله بسیار دور به آن نگاه می‌کنیم، تصویری با مقیاس

1. Zakoian
2. Glosten, Jagannathan, and Runkle
3. Nelson
4. Baillie, Bollerslev and Mikkelsen Baillie, Bollerslev and Mikkelsen
5. Historical Volatility
6. Implied Volatility
7. Option contract
8. Scale

بزرگ از آن حاصل می شود که بدون نمایش جزییات، اطلاعاتی کلی از آن جسم در اختیار ما قرار می دهد. اما با نزدیک تر شدن به جسم، و مشاهده آن در مقیاس های کوچک تر، جزییات بیشتری را به دست خواهیم آورد. برای مثال، می توان به نمای جنگلی بزرگ اشاره کرد که از دور دست، به مثابه جسمی واحد انگاشته می شود، اما اگر به آن نزدیک شویم، خواهیم دید که از اجزای کوچک تری مانند درختان تشکیل شده است و اگر به نزدیک شدن خود ادامه دهیم، اجزای کوچک تری همچون گیاهان نیز قابل تشخیص خواهند بود (ابریشمی و همکاران، ۱۳۸۹).

الگوریتم های موجک نیز داده ها را در مقیاس های مختلف پردازش می کنند؛ به این ترتیب قادر خواهیم بود از فواصل زمانی طولانی مدت برای مشاهده اطلاعات فرکانس پایین و از فواصل زمانی کوتاه تر برای درک اطلاعات فرکانس بالا استفاده کنیم. تحلیل موجک به تعبیر دایشنز<sup>۱</sup> (۱۹۹۰)، تبدیل موجک برای آنالیز آن دسته از سری های زمانی که در فرکانس های مختلف نامانا هستند، ابزاری مناسب محسوب می شود.

نظریه موجک، برگرفته از تحلیل کلاسیک فوریه<sup>۲</sup> و به نوعی حاصل بهسازی آن است. در تحلیل فوریه محتوای فرکانس<sup>۳</sup> یا فراوانی تابع در طول محور زمان یا ساکن فرض می شود. اما در سوی مقابل، مهم ترین ویژگی موجک ها آن است که در فضا و زمان تعریف می شوند و همین امر سبب شده است که ابزاری مناسب برای تحلیل نامانایی یا غیر ساکن بودن سیگنال ها و نیز سیگنال های زود گذر<sup>۴</sup> و یکینه<sup>۵</sup> باشند. موجک ها در تحلیل موقعیت هایی که دارای سیگنال های ناپیوسته و نقاط اوج نوک تیز باشند، عملکردی بهتر از تحلیل فوریه از خود نشان می دهند (میترا و میترا<sup>۶</sup>، ۲۰۰۶).

توابع سینوسی و کسینوسی به عنوان مبنای تبدیل فوریه در ریاضیات، تنها در فضای فرکانس تعریف می شوند، اما تعریف توابع موجک در فضا و زمان صورت می گیرد و این امر امکان تمرکز

- 
1. Daubechies
  2. Fourier Analysis
  3. Frequency Content
  4. Transient
  5. Singularities
  6. Mitra and Mitra

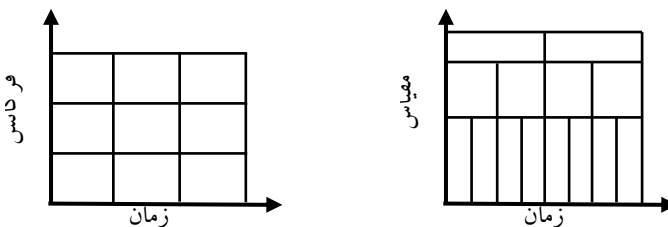
موضعی<sup>۱</sup> را فراهم می‌آورد. به این ترتیب می‌توان به هنگام تبدیل، بسیاری از متغیرها و توابع آنها را پراکنده<sup>۲</sup> کرد (رمزی<sup>۳</sup>، ۲۰۰۲). این پراکنده‌سازی به کاربردهای مفیدی می‌انجامد که کشف ویژگی‌های تصاویر و نوفه‌زدایی (برطرف کردن نویز) از سری‌های زمانی از آن جمله محسوب می‌شوند. در واقع منحنی‌های سینوسی هموار و قابل پیش‌بینی هستند در صورتی که موجک‌ها تمایل به بی‌نظمی و عدم تقارن دارند. به عبارت بهتر، برای تحلیل سیگنال‌های دارای تغییرات تند، موجک‌های نامنظم در مقایسه با موج‌های سینوسی هموار از برتری قابل توجهی برخوردار هستند.

صفحه زمان - فرکانس<sup>۴</sup>، ابزار مناسبی برای بازنمایی تفاوت پیش‌گفته میان تبدیل فوریه و تبدیل موجک است که نمای ساده‌ای از آن در شکل (۱) به تصویر کشیده شده است. در سمت چپ تصویر، خانه‌های نمایش یا رزولوشن زمان - فرکانس تبدیل فوریه پنجره‌ای نشان داده شده‌اند. گرچه اندازه پنجره، شکل مستطیل‌ها را تغییر می‌دهد اما این مستطیل‌ها کاملاً مشابه و یکسان هستند؛ بنابراین شکل پنجره ثابت می‌ماند، رزولوشن تغییر نمی‌کند و برای تمامی فرکانس‌ها از همان پنجره استفاده خواهد شد. تبدیل فوریه با گسترش اطلاعات فرکانس در طول کل زمان، به از دست رفتن برخی ویژگی‌های فرکانس سری زمانی در محدوده‌های مشخصی از زمان می‌انجامد. تبدیل فوریه پنجره‌ای - به دلیل تداخل فرکانس‌های بالا و پائینی که در محدوده فرکانس پنجره قرار نمی‌گیرند - نادرست و - به دلیل آزمایش پنجره‌های مختلف به منظور انتخاب پنجره مناسب و ثابت بودن اندازه آن بعد از انتخاب پنجره - ناکاراست (جاگریس و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۴).

اما همان‌گونه که در سمت راست مشاهده می‌شود، در تبدیل موجک برای فرکانس‌های بالا، پنجره‌های زمانی کوتاه و پنجره‌های فرکانسی وسیع هستند. اما در فرکانس‌های پائین، شرایط کاملاً برعکس است. این ویژگی موجک‌ها، در فرکانس‌های پائین، رزولوشن فرکانسی و در فرکانس‌های بالا، رزولوشن زمانی بهتری را به دست خواهد داد. توجه به این نکته که بسیاری از سیگنال‌ها خصوصیت

- 
1. Localization
  2. Sparse
  8. Ramsey
  4. Time-Frequency Plane
  5. Jagric and Ovin

فرکانس پائین طولانی مدت و فرکانس بالای کوتاه مدت را از خود نشان می دهند، اهمیت ویژگی پیش گفته در موجک ها را بیشتر نمایان می کند. به این ترتیب می توان سری زمانی مورد مطالعه را به مؤلفه ها یا توابع پایه ای که در بُعد زمان و فرکانس تعریف می شوند، تجزیه کرد. برای شکار تغییرات ناگهانی باید توابع پایه کوتاه (پنجره های محدود) را به کار بست و برای شکار حرکات پایدار و کند آهنگ باید توابع پایه طولانی (پنجره وسیع) را به کار بست. این همان کاری است که تبدیلات موجک آن را انجام می دهد (شین و هان<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰). از دیگر مزیت های تبدیل موجک می توان به گستردگی و تنوع توابع پایه آن در مقایسه با توابع پایه ای محدود تبدیل فوریه (توابع سینوسی) اشاره کرد.



شکل ۱. رزولوشن زمان-فرکانس برای تبدیل های فوریه (سمت چپ) و موجک (سمت راست)

نخستین گام در تحلیل موجک، انتخاب یکی از توابع نمونه موجک است که موجک مادر یا موجک تحلیل گر<sup>۲</sup> نامیده می شود. موجک مادر، ویژگی های تجزیه موجک از جمله کارایی، رزولوشن یا نمایش و حفاظت نوفه<sup>۳</sup> را نشان می دهد. در این تبدیل، تحلیل زمانی توسط شکل منقبض با فرکانس بالای موجک مادر و تحلیل فرکانس توسط شکل منبسط با فرکانس پایین همان موجک انجام می گیرد (گراپس<sup>۴</sup>، ۱۹۹۵). موجک مادر باید در رابطه (۱) (استروژیک<sup>۵</sup>، ۲۰۰۱) صدق کند:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\Psi(v)|^2}{|v|} dv < \infty \quad (1)$$

1. Shin and Han
2. Analyzing Wavelet
3. Noise Immunity
4. Graps
5. Struzik

در رابطه مذکور  $\Psi(v)$  تابع موجک مادر و  $v$  فرکانس را نشان می‌دهند. با توجه به این شرط، می‌تواند نتیجه‌گیری کرد که اندازه میانگین توابع موجک صفر است. به عبارت بهتر  $\Psi(0) = 0$  چرا که در غیر این صورت، مقدار انتگرال در  $v = 0$  بی‌نهایت خواهد شد. البته شرط پذیرفتگی، شرط لازم و نه کافی برای توابع موجک مادر به شمار می‌آید و دلیل نام‌گذاری موجک‌ها را به خوبی نشان می‌دهد؛ تابعی که نوسان می‌کند اما در مدتی کوتاه! به علاوه، شرط پذیرفتگی، امکان بازسازی تابع اولیه را از تجزیه موجک فراهم می‌آورد.

با انتخاب تابع موجک نمونه  $\Psi(t)$  سایر موجک‌ها را می‌توان با کشیدن و انتقال آن به صورت زیر به دست آورد:

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad t, a, b \in \mathcal{R}, a > 0 \quad (2)$$

که در آن پارامترهای  $a$  و  $b$  نشان‌دهنده کشیدگی یا مقیاس و انتقال (موقعیت زمانی یا مکانی) موجک نمونه هستند. به این ترتیب تبدیل پیوسته موجک سیگنال زمان پیوسته  $x(t)$  را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$w_x(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \Psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3)$$

از ضرب داخلی  $x(t)$  در نسخه انتقال یافته و مقیاس شده تابع  $\Psi(t)$  که ویولت نامیده می‌شود، تبدیل پیوسته موجک به دست می‌آید. از آنجا که در فرآیند بالا تابع  $\Psi(t)$  مقیاس می‌شود، اغلب آنالیز ویولت را به جای آنالیز زمان - فرکانس، آنالیز زمان - مقیاس می‌نامند؛ هر چند آنالیز زمان - فرکانس به پارامتر مقیاس  $a$  نیز بستگی دارد (کاو و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۹۵).

### ۳-۲. تبدیل گسسته<sup>۲</sup> و تجزیه موجک<sup>۳</sup>

بازنمایی سری‌های موجک<sup>۴</sup> یک تابع قابل انتگرال‌گیری مربع<sup>۵</sup>  $f(t) \in L^2(k)$  به صورت زیر است:

1. Coa et al
2. Discrete Wavelet Transformation (DWT)
3. Wavelet Decomposition
4. Wavelet Series Representation
5.  $L^2(k)$  یعنی  $f(t) \in L^2(k)$  if  $\int f^2(t)dt < \infty$ .

$$f(t) = \sum_{j,k=-\infty}^{\infty} \eta_{j,k} \Psi_{j,k}(t) \quad (۴)$$

که در آن  $\Psi_{j,k} = \Psi(2^j t - k)$  ;  $j, k \in E = \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$

ضرایب موجک<sup>۱</sup>  $\eta_{j,k}$  نیز به صورت زیر تعریف می شوند:

$$\eta_{j,k}(t) = \langle f, \Psi_{j,k} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi_{j,k}(t) dt \quad (۵)$$

مجموعه  $\{\Psi_{j,k}(t), j, k \in E = \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}\}$  پایه‌ای<sup>۲</sup> برای  $L^2(k)$  تشکیل می دهد؛ پایه‌ای که در

عمل، عمده‌تاً متعامد<sup>۳</sup> است؛ یعنی  $\langle \Psi_{j,k}, \Psi_{l,m} \rangle = \delta_{j,l} \delta_{k,m}$   $j, k, l, m \in E$

افزون بر این، با معرفی تابع مقیاس گر یا تابع پدر<sup>۴</sup>  $\Phi$  و پایه متعامدی که برای  $L^2(k)$  می سازد،

بازنمایی سری‌های موجک گسسته به صورت زیر درمی آید:

$$f(t) = \sum \alpha_{j_0,k} \Phi_{j_0,k}(t) + \sum_{j \geq j_0} \sum_k \beta_{j,k} \Psi_{j,k}(t) \quad (۶)$$

ضرایب موجک در رابطه (۶) به صورت زیر تعریف می شوند:

$$\alpha_{j_0,k} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Phi_{j_0,k}(t) dt \quad , \quad \beta_{j,k} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi_{j,k}(t) dt \quad (۷)$$

به علاوه،  $j_0$  درشت ترین مقیاس<sup>۵</sup> و اشکافتی موجک نامیده می شود.

رابطه (۸) تابع پدر را نشان می دهد:

$$\Phi(t) = \sqrt{2 \sum p_k} \Phi(2t - k) \quad (۸)$$

و پایه متعامدی که  $\Phi$  تولید می کند به صورت (۹) است:

$$\Phi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \Phi(2^j t - k) \quad j, k \in E \quad (۹)$$

تابع مادر را می توان به صورت شکلی از تابع پدر نوشت:

$$\Psi(t) = \sqrt{2} \sum q_k \Phi(2t - k) \quad (۱۰)$$

که در آن  $q_k = (-1)^k p_{1-k}$

- 
1. Wavelet Coefficients
  2. Basis
  3. Orthogonal
  4. Scaling or Father Function
  5. Coarsest scale

$p_k$  و  $q_k$  ضرایب فیلترهای پائین‌گذر<sup>۱</sup> و بالاگذر<sup>۲</sup> نامیده می‌شوند و برای محاسبه تبدیل گسسته موجک به کار می‌روند.  $p_k$  و  $q_k$  به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$p_k = \sqrt{2} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(t) \Phi(2t - k) dt \quad , \quad q_k = \int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t - k) dt \quad (11)$$

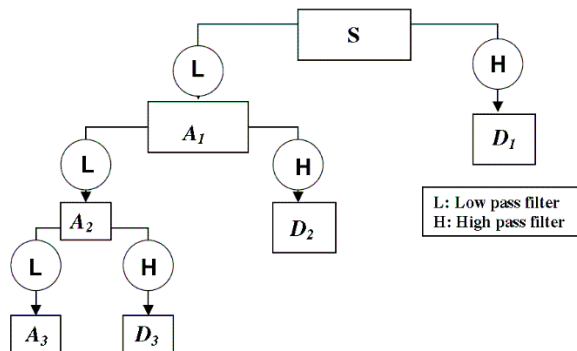
در ادبیات تبدیلات گسسته موجک، سیستم متعامد  $\{\Phi_{j,k}(t), \Psi_{j,k}(t), j, k \in E\}_{j \geq j_0, k}$  بازنمایی سری‌های موجک خوانده می‌شود.

تبدیل گسسته موجک با استفاده از الگوریتم مالات<sup>۳</sup> و به کمک ترکیبی از فیلترهای پائین‌گذر  $p_k$  و بالاگذر  $q_k$  صورت می‌گیرد. سیگنال‌های اولیه با گذر از دو فیلتر مکمل پائین‌گذر و بالاگذر، به دو مؤلفه با محتوای فرکانس بالا و پائین تجزیه می‌شود. محتوای با فرکانس پائین (تقریب<sup>۴</sup>)، ویژگی و مشخصه اصلی سیگنال را نشان می‌دهد و محتوای با فرکانس بالا (جزئیات<sup>۵</sup>)، ویژگی‌های دقیق‌تری از داده‌ها را در اختیار پژوهشگر قرار می‌دهد. در تجزیه چند سطحی<sup>۶</sup>، سری‌های تقریب یعنی سری حامل ویژگی‌های اصلی، پس از گذر از اولین فیلتر در سطح بعد، دوباره واشکافته می‌شوند تا سری‌های تقریب و جزئیات تازه‌ای از آنها به دست آید. این کار تا رسیدن به سطح مطلوب تجزیه - که معمولاً از قبل تعیین می‌شود - ادامه می‌یابد. در تجزیه موجک ابتدا ضرایب موجک را به دست می‌آوریم و سپس با استفاده از آن، دو مؤلفه تقریب و جزئیات را در هر سطح از تجزیه به دست می‌آوریم. برای مثال، در تجزیه یک سطحی، سیگنال  $S$  به دو مؤلفه فرکانس پائین  $a(1)$  و فرکانس بالا  $d(1)$  تجزیه می‌شود. در این سطح سیگنال  $S$  را می‌توان به صورت حاصل جمع این مؤلفه‌ها نشان داد یعنی  $S = a(1) + d(1)$ .

در مرحله دوم، خود  $a(1)$  واشکافته و به  $a(2)$  و  $d(2)$  تبدیل می‌شود؛ در این حالت سیگنال  $S$  را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$S = a(2) + d(2) + d(1)$$

- 
1. Low-pass
  2. High-pass
  3. Mallats Algorithm
  4. Approximation
  5. Details
  6. Multi-level Decomposition



شکل ۲. تجزیه سه سطحی سیگنال به کمک فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر؛ منبع: (میترا، ۲۰۰۶)

به همین ترتیب برای مرحله  $t$  ام تجزیه خواهیم داشت:

$$S = a(r) + d(r) + d(r-1) + \dots + d(1)$$

شکل (۲)، نمای کلی تجزیه سه سطحی یک سیگنال را نشان می‌دهد<sup>۱</sup> (ابریشمی و همکاران، ۱۳۸۹).

### ۳-۳. مدل GARCH

یکی از ویژگی‌های سری‌های زمانی مالی با فراوانی بالا، دارا بودن نوسانات خوشه است به طوری که در دوره‌هایی با نوسانات اندک و در دوره‌هایی با نوسانات بالا همراه هستند. این ویژگی نشان‌دهنده غیرثابت بودن واریانس سری زمانی در طی زمان خواهد بود. همان‌طور که در بخش پیشین بیان شد مدل‌های ARCH نخستین بار توسط انگل (۱۹۸۲) مطرح شدند. این مدل‌ها توانایی محاسبه نوسانات در هر زمان را برای محققان فراهم می‌آورد. معادله میانگین و واریانس در مدل ARCH(q) در رابطه (۱۲) و (۱۳) نمایش داده شده است.

۱. ر.ک. به: رمزی (۲۰۰۲). برخی از مقالات داخلی مانند عباسی‌نژاد و محمدی (۱۳۸۵)، محمدی (۱۳۸۵)، بهرام‌مهر (۱۳۸۷)، ابریشمی و همکاران (۱۳۸۹)، سحابی و همکاران (۱۳۹۴)، رستمی و همکاران (۱۳۹۴) از این روش در مطالعه خود استفاده کرده‌اند.

$$\varepsilon_t | \Omega_{t-1} \sim N(0, h_t) \quad r_t = \mu + \varepsilon_t \quad (12)$$

$$h_t = \sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 \quad (13)$$

بالرسلو (۱۹۸۶) مدل انگل را با در نظر گرفتن وقفه‌های واریانس، گسترش داد و موجب کاهش تعداد پارامترها نسبت به مدل ARCH شد که تشخیص و برآورد آن آسان‌تر است. رابطه (۱۴) معادله واریانس یک فرآیند GARCH(p,q) را نشان می‌دهد.

$$h_t = \sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^p \gamma_i \sigma_{t-i}^2 \quad (14)$$

یکی از روش‌های اصلی و پرکاربرد مدل‌سازی نوسانات، روش GARCH و روش‌های مشتق شده از آن است که در اکثر مطالعات داخل و خارج مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### ۴. تاریخچه تحولات نرخ ارز

روند زمانی نرخ ارز (دلار در بازار غیررسمی) و نرخ بازده آن در نمودار (۱) رسم شده است. همان‌طور که از نمودار ملاحظه می‌شود، در ابتدای دهه ۸۰ و پس از یکسان‌سازی موفق نرخ ارز در سال ۱۳۸۱، نوسانات قیمت دلار روند باثباتی را با وجود درآمدهای مناسب نفتی و کنترل نرخ ارز توسط بانک مرکزی تا اواخر این دهه تجربه کرد. اما با شروع محدودیت‌هایی در حواله ارز به امارات و لذا بروز مشکل در نقل و انتقالات ارزی، پاییز ۱۳۸۹ نوسانات در بازار ارز و شکاف میان نرخ رسمی و غیررسمی ارز نمایان شد. روند افزایش قیمت دلار ادامه پیدا کرد به طوری که در سال ۱۳۹۰ با اختلاف بیش از ۱۰۰ تومان میان نرخ رسمی و غیررسمی، به‌طور عملی اقتصاد کشور از نظام تک‌نرخ ارز فاصله گرفت. در بهمن ماه همین سال، بانک مرکزی به‌عنوان اصلی‌ترین بازیگر در بازار ارز، نرخ ارز خود (مرجع) را ۱۲۲۶ تومان تعیین کرد. این سیاست، اثری بر جلوگیری از نوسانات و افزایش نرخ ارز در بازار نداشت. تحریم‌های جدیدی که در حوزه نفت و نیز سیستم بانکی کشور وضع شده بود، نوسانات ارز را از نیمه دوم سال ۹۰ تا اواخر سال ۹۱ افزایش قابل توجهی داد و موجب گسترش فضای عدم اطمینان در اقتصاد کشور شد.

سیاست‌گذار پولی، در ۴ مهرماه ۱۳۹۱ به‌منظور جلوگیری از افزایش دامنه نوسانات ارز، کمک به ورود واردات کالاهای ضروری و سهمیه‌بندی منابع محدودشده ارزی، مرکز مبادلات ارزی را

تأسیس کرد که باعث سه‌نرخ شدن (نرخ ارز مرجع، نرخ مرکز مبادلات و نرخ بازار آزاد) نظام ارزی کشور شد. این اقدام نیز اثر قابل توجهی بر نوسانات بازار ارز نداشت؛ در این مدت قیمت دلار به بیش از سه برابر رسید.

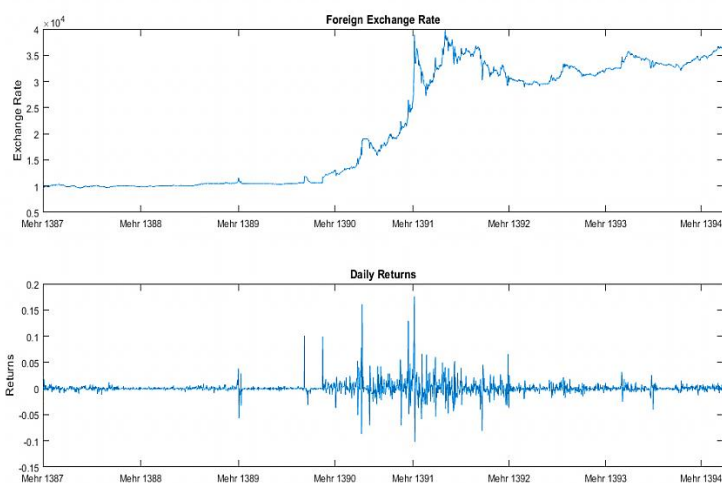
در سال ۱۳۹۲ با تغییر دولت و در نتیجه تغییر نگرش سیاست‌های اقتصادی و تمرکز بر کاهش تنش‌های بین‌المللی، روند قیمتی دلار و نوسانات ناشی از آن در مسیر کاهشی قرار گرفت. در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ بازار ارز، نوسانات کمی را تجربه کرد. شروع مذاکرات ایران با برخی از کشورهای غربی در رابطه با مسائل هسته‌ای کشور و تلاش برای رفع تحریم‌ها نقش بسیاری در کاهش نوسانات بازار ارز داشت. البته پس از تمدید دوباره مذاکرات هسته‌ای در اوایل آذر ۹۳ به یک‌باره قیمت دلار افزایش یافت ولی پس از دو ماه تلاطم و با ورود بازارساز روند کاهشی در پیش گرفت. با توجه به کاهش قیمت نفت در سال ۹۳، درآمدهای نفتی کشور کاهش یافت. بر اساس توافق اولیه صورت گرفته، تحریم اقتصادی جدیدی اضافه نشده بود و از طرف دیگر دلار در بازارهای جهانی به نسبت سایر ارزها تقویت شده، به طوری که شاخص جهانی دلار<sup>۱</sup> افزایش یافته بود و لذا این عوامل اثر خود را در قیمت دلار در این سال گذاشت.

در سال ۱۳۹۴ نیز بازار ارز علی‌رغم کاهش شدید درآمدهای نفتی، دارای آرامشی نسبی بود. یکی از عوامل اصلی کاهش دامنه نوسانات، مذاکرات هسته‌ای بود که در نهایت در زمستان سال ۹۴ (۲۶ دی‌ماه) با اجرایی شدن توافق جامع و نهایی هسته‌ای وین، تحت عنوان برجام (برنامه جامع اقدام مشترک)<sup>۲</sup> به وقوع پیوست.

---

۱. شاخص دلار (Dollar Index) آمریکا بانام اختصاری (USDIX) ارزش دلار آمریکا را در مقایسه با یک سبد متشکل از ۶ ارز بین‌المللی دیگر (یورو، ین ژاپن، پوند انگلیس، کرون سوئد، دلار کانادا و فرانک سوئیس) نشان می‌دهد.

2. Joint Comprehensive Plan of Action

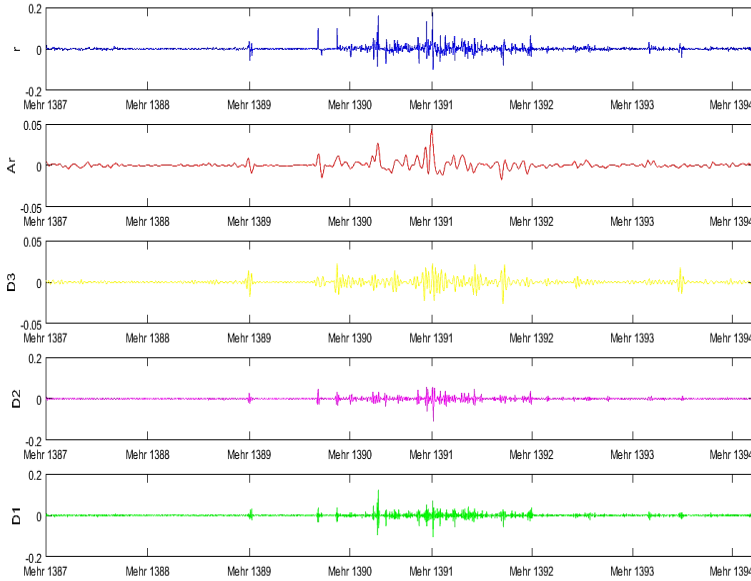


نمودار ۱. قیمت و بازده روزانه ارز در بازار غیررسمی

## ۵. مدل‌سازی نوسانات نرخ ارز با روش ترکیبی تجزیه موجک و GARCH

در این بخش به مدل‌سازی نوسانات نرخ ارز از طریق ترکیب روش ناپارامتریک تجزیه موجک و روش پارامتریک GARCH می‌پردازیم. به منظور کشف روابط و اطلاعات پنهان در سری زمانی، بازده روزانه نرخ ارز در بازار غیررسمی در دوره مهرماه ۱۳۸۷ تا آذرماه ۱۳۹۴ با استفاده از آنالیز موجک تجزیه شده و روند زمانی آنها در نمودار ۲ نشان داده شده است. به طوری که  $R$  سری زمانی اصلی یا همان بازده نرخ ارز در بازار غیررسمی،  $AR$  تقریب<sup>۱</sup> و یا روند بلندمدت بازده نرخ ارز،  $D1$ ،  $D2$ ،  $D3$  به ترتیب اجزا تجزیه شده در سطوح سوم تا اول هستند.

### 1. Approximation



نمودار ۲. تجزیه بازده نرخ ارز بازار غیررسمی در مقیاس‌های زمانی مختلف توسط آنالیز موجک

جدول ۱. آمار توصیفی سری‌های اصلی و تجزیه‌شده

	میانگین	میانه	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	چولگی	کشدگی
<b>R</b>	۰/۰۰۰۶۵۸	۰	۰/۰۱۳۰۱۶	۰/۱۷۵۵۷۶	-۱/۰۲۱۷	۲/۹۸۰۷۴	۴۷/۲۶۱۹۶
<b>AR</b>	۰/۰۰۰۶۵۶	۰/۰۰۰۲۱۳	۰/۰۰۴۴۹۳	۰/۰۴۳۰۴۲	-۰/۰۱۶۸۵	۲/۹۴۳۶۵۹	۲۴/۹۳۶۴۴
<b>D3</b>	۱.۵۲E-۰۶	۲.۰۴E-۰۶	۰/۰۰۳۷۱۴	۰/۰۲۲۱۴۲	-۰/۰۲۶۶۱	-۰/۰۵۵۴۷	۱۳/۲۴۴۶۹
<b>D2</b>	۸.۰۷E-۰۷	-۵.۵۶E-۰۶	۰/۰۰۷۴۲۴	۰/۰۵۷۵۳۲	-۰/۱۰۵۱۹	-۰/۰۵۹۳۷۵	۳۷.۱۶۶۳۲
<b>D1</b>	-۶.۳۸E-۰۹	-۴.۰۷E-۰۵	۰/۰۰۸۹۴	۰/۱۲۰۷۱۸	-۰/۱۰۵۱۱	-۰/۰۴۰۰۷	۴۴.۴۸۳۲۳

مأخذ: نتایج تحقیق

برای شناخت مناسب‌تری از این سری‌های زمانی، ویژگی‌های آماری این متغیرها در جدول ۱ گزارش شده است. با مشاهده ویژگی‌های هر کدام می‌توان دریافت میانگین سری اصلی و روند بلندمدت آن بسیار به هم نزدیک بوده و تقریباً برابر ۰/۰۰۰۶۶ است. با توجه به تجزیه سری زمانی و

کاهش نوسانات در سری زمانی AR، انحراف معیار آن کمتر از بازده نرخ ارز شده است. پیش از مدل‌سازی متغیرها توسط مدل‌های GARCH، نخست لازم است مانایی هر کدام از سری‌های زمانی بررسی شده و سپس آزمون وجود اثرات ARCH برای هر یک صورت پذیرد. البته در نمودار ۲، می‌توان به مانایی و وجود نوسانات خوشه‌ای پی برد. با این حال تنها تحلیل اکتشافی برای وجود ناهمسانی واریانس کفایت نمی‌کند و بایستی آزمون‌های مرتبط انجام گردد.

برای بررسی مانایی متغیرها از دو آزمون ریشه واحد دیک‌ی فولر تعمیم‌یافته (ADF) و فیلپس-پرون (PP) استفاده شده است. مقادیر تقریبی بحرانی آزمون ADF در سطوح ۱، ۵ و ۱۰ درصد به ترتیب ۳/۴۳۳۴۳۵، ۲/۸۶۲۷۸۹ و ۲/۵۶۷۴۸۱ بوده و مقادیر بحرانی آزمون PP در سطوح ۱، ۵ و ۱۰ درصد به ترتیب ۳/۴۳۳۳۹۵، ۲/۸۶۲۷۷۱ و ۲/۵۶۷۴۷۲ است. با توجه به نتایج جدول ۲ تمامی متغیرها در سطح مانا هستند و نیازی به تفاضل‌گیری وجود ندارد. بر اساس آزمون وجود اثرات ARCH نیز که در جدول ۳ نمایش داده شده است؛ آماره محاسباتی برای هر متغیر در سطح اطمینان ۹۹ درصد بزرگ‌تر از مقدار بحرانی بوده و فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود ناهمسانی واریانس رد خواهد شد و لذا بایستی گشتاور مرتبه دوم نیز مدل‌سازی شود.

جدول ۲. آزمون ریشه واحد ADF و PP برای متغیرها

متغیر	آماره ADF محاسبه‌شده	آماره PP محاسبه‌شده	نتیجه
R	-۳۷/۰۱۰۰۸	-۴۲/۶۰۱۳۱	مانا
AR	-۶/۳۶۴۰۰۰	-۱۰/۳۳۸۸۰	مانا
D3	-۲۵/۷۴۳۳۲	-۹/۸۷۲۴۱۴	مانا
D2	-۳۰/۰۳۱۶۶	-۷۲/۵۹۵۶۸	مانا
D1	-۳۲/۶۰۷۹۵	-۶۹۶/۱۱۱۵	مانا

مأخذ: نتایج تحقیق

جدول ۳. نتایج آزمون ARCH-LM برای متغیرها

	اماره $\chi^2$ محاسبه شده	احتمال $\chi^2$ محاسبه شده
R	۳۵/۶۹۹۱۷	۱.۷۷E-۰۸
AR	۱۹۴۳/۲۳۸	.
D3	۶۳۲/۷۷۷۵	.
D2	۳۳/۲۱۷۴۷	۶.۱۲E-۰۸
D1	۱۴۷/۷۹۸۱	.

مأخذ: نتایج تحقیق

جدول ۴. مقادیر عددی دو معیار اطلاعات (AIC) و (BIC) برای سری‌های اصلی و تجزیه شده

BIC			AIC			
۳	۲	۱	۳	۲	۱	
-۳۶۶۳/۱۵۱۹۱	-۶۸۹۳/۱۵۴۱۶	-۷۹۴۹/۱۵۵۴۰	-۴۱۳۲/۱۵۲۱۹	-۷۳۶۱/۱۵۴۴۴	-۸۴۱۷/۱۵۵۶۸	۱
-۳۹۸۴/۱۵۲۹۶	-۶۱۳/۱۵۳۴۶	-۳۸۸۶/۱۵۴۹۲	-۴۴۵۲/۱۵۳۲۴	-۶۵۹۸/۱۵۳۷۴	-۴۳۵۵/۱۵۵۲۰	۲ R
-۱۴۰۸/۱۵۲۳۱	-۴۹۴۸/۱۵۳۴۱	-۲۸۴۶/۱۵۳۸۴	-۱۸۷۷/۱۵۲۵۹	-۵۴۱۷/۱۵۳۶۹	-۳۳۱۴/۱۵۴۱۲	۳
-۷۷۲۱/۱۹۴۱۰	-۲۹۸۹/۲۰۰۷۷	-۳۰۴۱/۲۰۹۱۵	-۸۱۸۹/۱۹۴۳۸	-۳۴۵۷/۲۰۱۰۵	-۳۵۱/۲۰۹۴۳	۱
-۲۰۸/۱۹۵۱۶	-۲۸۴۹/۲۰۱۸۶	-۲۲۱/۲۰۹۶۳	-۲۵۴۸/۱۹۵۴۴	-۳۳۱۸/۲۰۲۱۴	-۲۶۷۸/۲۰۹۹۱	۲ AR
-۴۶۳۸/۱۹۵۹۰	-۷۴۳۴/۲۰۲۳۴	-۶۸۷۴/۲۰۹۷۴	-۵۱۰۶/۱۹۶۱۸	-۷۹۰۲/۲۰۲۶۲	-۷۳۴۳/۲۱۰۰۲	۳
-۰۴۸۶/۱۹۸۷۰	-۱۲۴۹/۱۹۹۰۶	-۲۲۷۷/۲۰۴۹۸	-۰۹۵۴/۱۹۸۹۸	-۱۷۱۸/۱۹۹۳۴	-۲۷۴۵/۲۰۵۲۶	۱
-۳۵۸/۱۹۸۴۶	-۵۰۶۳/۱۹۹۷۸	-۴۷۲۹/۲۰۶۷۳	-۴۰۴۸/۱۹۸۷۴	-۵۵۳۱/۲۰۰۰۶	-۵۱۹۷/۲۰۷۰۱	۲ D3
-۲۱۵۳/۱۹۷۱۵	-۸۳۸۸/۱۹۸۹۷	-۶۹۴۷/۲۰۶۷۱	-۲۶۲۲/۱۹۷۴۳	-۸۸۵۷/۱۹۹۲۵	-۷۴۱۵/۲۰۶۹۹	۳
-۷۶۱۴/۱۷۷۶۵	-۵۸۰۹/۱۸۲۶۱	-۰۸۵۴/۱۸۲۹۲	-۸۰۸۲/۱۷۷۹۳	-۶۲۷۷/۱۸۲۸۹	-۱۳۲۳/۱۸۳۲۰	۱
-۹۸۴/۱۷۵۲۵	-۱۴۹۵/۱۸۱۷۳	-۳۷۲۴/۱۷۶۸۲	-۰۳۰۹/۱۷۵۵۴	-۱۹۶۳/۱۸۲۰۱	-۴۱۹۲/۱۷۷۱۰	۲ D2
-۸۲۱۴/۱۷۶۷۷	-۵۲۴۵/۱۸۰۱۵	-۰۰۱۳/۱۷۷۲۵	-۸۶۸۲/۱۷۷۰۵	-۵۷۱۳/۱۸۰۴۳	-۰۴۸۲/۱۷۷۵۳	۳
-۹۸۰۱/۱۶۵۹۴	-۲۴۴۳/۱۶۷۵۳	-۷۹۶/۱۷۱۵۲	-۰۲۶۹/۱۶۶۲۳	-۲۹۱۲/۱۶۷۸۱	-۸۴۲۸/۱۷۱۸۰	۱
-۹۷۷۵/۱۶۴۵۴	-۵۹۷/۱۶۷۷۲	-۱۹۲۴/۱۶۹۱۱	-۰۲۴۳/۱۶۴۸۳	-۶۴۳۹/۱۶۸۰۰	-۲۳۹۳/۱۶۹۳۹	۲ D1
-۵۱۰۵/۱۶۵۵۱	-۴۳۸/۱۶۶۷۸	-۵۱۴۵/۱۶۹۵۲	-۵۵۷۴/۱۶۵۷۹	-۴۸۴۸/۱۶۷۰۶	-۵۶۱۴/۱۶۹۸۰	۳

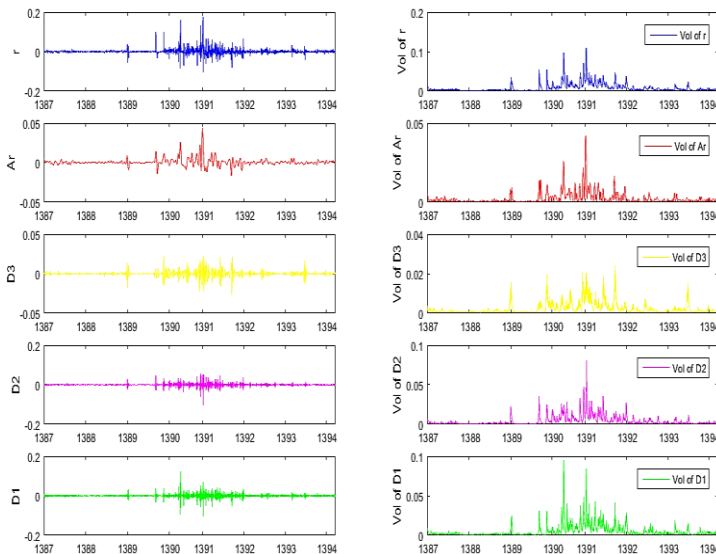
مأخذ: نتایج تحقیق

به منظور تعیین مدل بهینه GARCH برای هر کدام از سری‌های اصلی و تجزیه‌شده از روش موجک، برنامه‌ای در محیط MATLAB نوشته شده و با استفاده از معیارهای اطلاعات آکائیک (AIC) و بیزین-شوارتز (BIC) مدلی که کمترین مقدار را دارا بوده، انتخاب شده است. مقدار این معیارها در جدول (۴) گزارش شده و مدل بهینه برای هر کدام از سری‌های اصلی و تجزیه‌شده در جدول (۵) مشخص شده است. که نشان می‌دهد فرآیند تولید داده‌های آنها یکسان نیست. هر دو معیار یک مدل را تعیین کرده و نمودارها بر اساس آنها ترسیم شده است.

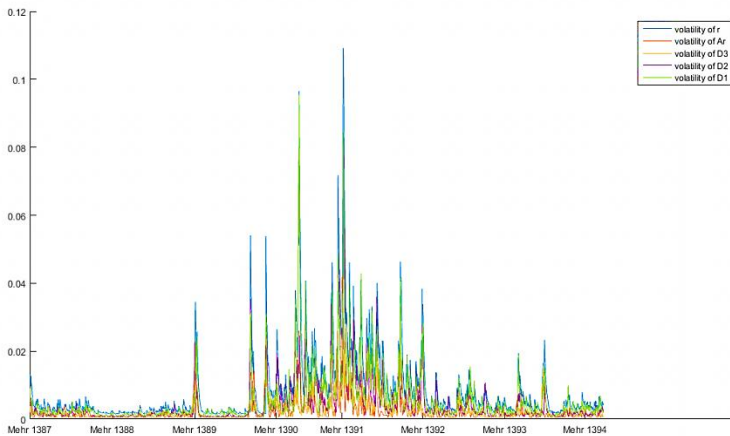
جدول ۵. مدل بهینه GARCH برای سری‌های اصلی و تجزیه‌شده

Q	P	
۱	۱	<b>R</b>
۱	۳	<b>AR</b>
۱	۲	<b>D3</b>
۱	۱	<b>D2</b>
۱	۱	<b>D1</b>

مأخذ: نتایج تحقیق



نمودار ۳. روند زمانی سری‌های اصلی و تجزیه‌شده (سمت چپ) و نوسانات آنها (سمت راست)



نمودار ۴. نوسانات سری‌های اصلی و تجزیه‌شده

هر کدام از جزئیات به دست آمده نشان‌دهنده پویایی‌ها و اطلاعات مربوط به همان دوره و فرکانس مربوطه است.  $D_1$  پویایی ۲ تا ۴ روزه،  $D_2$  پویایی ۴ تا ۸ روزه،  $D_3$  پویایی ۸ تا ۱۶ روزه را نمایش می‌دهد. به طور کلی  $D_1$  پویایی  $2^j$  تا  $2^{j+1}$  دوره‌ای را نشان می‌دهد که برای داده‌های هفتگی، ماهانه و سالانه طول دوره‌ها تغییر خواهد کرد<sup>۱</sup>. لذا بانک مرکزی برای دوره بسیار کوتاه‌مدت تا دوره‌های با طول بیشتر می‌تواند به ترتیب بر مبنای نماگر<sup>۲</sup> نوسانات محاسبه‌شده برای  $D_1$  تا  $D_3$  تصمیم‌گیری نماید. به طور مثال برای دوره‌های بسیار کوتاه‌مدت نماگر مشخصی مانند نوسانات

۱. ر.ک. به: An introduction to wavelets and other filtering methods in finance and economics

تألیف (Gençay and et al. (2002).

۲. در این مدل، نوسانات برآورد شده به عنوان یک نماگر (Indicator) در نظر گرفته می‌شود و نه یک شاخص (Index)، به این دلیل از ترجمه نماگر برای (Indicator) استفاده شده است که با شاخص متمایز باشد؛ این در حالی است که در برخی از متون برای معادل فارسی (Indicator) از شاخص نیز استفاده شده است. معمولاً در متون اقتصادی (Indicator) را یک سنجه‌ای در نظر می‌گیرند که می‌تواند برای پیش‌بینی روندهای اقتصادی مورد استفاده قرار گیرد همانند نرخ بیکاری اما (Index) یک عددی است که از چندین آرایه دیگر مانند آرایه‌ای از قیمت‌ها و یا مقادیر محاسبه می‌شود همانند شاخص قیمت و یا شاخص بورس (<http://wikidiff.com/indicator/index>).

حاصل از  $D_1$  را در اختیار دارد که امکان رصد، پیش‌بینی و در نهایت کنترل نوسانات را به سیاست‌گذار خواهد داد<sup>۱</sup>.

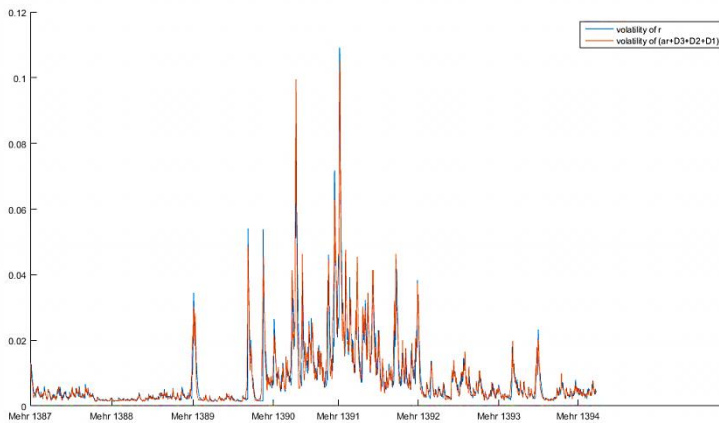
همان‌طور که در نمودار ۴ ملاحظه می‌شود در دوره‌های پرتلاطم بازار ارز، تمامی نوسانات مدل‌سازی شده برای سری اصلی و سری‌های تجزیه‌شده این تلاطم‌ها را به‌خوبی نمایش می‌دهد. در کنار شباهت‌های کلی نوسانات به‌دست آمده، تفاوت‌هایی در هرکدام مشاهده می‌شود (نمودار ۳) که می‌تواند برای تصمیم‌گیران در حوزه ارزی مورد استفاده قرار گیرد. مراحل به کار گرفته‌شده در این روش یعنی تجزیه بازده ارز و مدل‌سازی نوسانات هرکدام از سطوح، این امکان را برای سیاست‌گذار ارزی فراهم می‌کند که به‌منظور مدیریت نوسانات ارزی، میزان مناسب‌تری از سطح مداخله در بازار ارز را مشخص نماید. در واقع نوآوری دیگری که این روش برای سیاست‌گذار فراهم آورده است؛ در اختیار قرار دادن یک مجموعه نماگر در مقیاس‌های مختلف زمانی جهت ورود به بازار برای کاهش تلاطم‌های ارزی است. در فرکانس‌های بالا و یا در طول دوره زمانی کمتر، شاید نیاز جدی برای ورود به بازار برای بازسازی مشاهده نشود اما اگر نوسانات در بازار عمیق‌تر شود خود را در نماگرهای با فرکانس کمتر نشان داده و لذا لزوم مداخله جدی‌تر بانک مرکزی اهمیت پیدا خواهد کرد.

این روش ترکیبی علاوه بر تحلیل مجزای هر کدام از نوسانات استخراجی سری‌های تجزیه‌شده، می‌تواند نماگر دقیق‌تری از نوسانات کلی متغیر نرخ ارز را با جمع نوسانات به دست آمده از سری‌های

---

۱. با این روش امکان در نظر گرفتن ناهمگونی‌های موجود در بازار به واسطه اهداف و راهبردهای مختلف عامل‌ها وجود دارد. در این شرایط حتی پیش از مدل‌سازی نوسانات به‌وسیله مدل‌های GARCH، می‌توان بر مبنای هر کدام از سری‌های تجزیه‌شده یک کریدور ارزی تعریف کرد به گونه‌ای که اگر خارج محدوده تعریف شده باشد بانک مرکزی ورود کرده و نوسانات را کنترل می‌نماید. در واقع با توجه به ویژگی خاص زمانی هر کدام از سری‌ها، ما چندین کریدور ارزی برای مدیریت نوسانات نرخ ارز خواهیم داشت. برای مطالعات بیشتر در رابطه با مدیریت نوسانات در کریدور ارزی رجوع شود به مقاله سیاستی تحت عنوان مدیریت نرخ ارز تحت نظام ارزی خزنده در کریدور نوشته زمانزاده و همکاران (۱۳۹۳).

AR، D1، D2، D3 برای محققان فراهم نماید<sup>۱</sup> (نمودار ۵). با توجه به اینکه هر کدام از سری‌های زمانی تجزیه شده دارای یک فرآیند برای تولید داده‌ها هستند در نتیجه مدل‌سازی هر کدام به صورت مجزا و سپس تجمیع آنها نتیجه دقیق‌تری از میزان نوسانات برای سری زمانی اصلی ارائه خواهد کرد.



نمودار ۵. حاصل جمع نوسانات سری‌های تجزیه شده و نوسانات سری‌های اصلی

## ۶. نتیجه گیری

یکی از منابع اصلی ارزی اقتصاد ایران، درآمدهای حاصل از صادرات نفت و گاز است که با توجه به نوسانات قیمت جهانی نفت و گاز، درآمدهای صادراتی ایران نیز روند با ثباتی را طی نکرده و به دلیل کارکرد ضعیف حساب ذخیره ارزی در گذشته و صندوق توسعه ملی در جهت کاهش وابستگی به درآمدهای نفتی و کاهش اثرگذاری نوسانات اقتصادی شده است.

۱. در مطالعات بسیاری مانند (Tan, Zhang, Wang and Xu (2010), Nouri, Oryoie and Fallahi (2012), Kriechbaumer, Angus, Parsons and Casado (2014), Berger (2016), Ismail, Audu and Tumala (2016) نشان داده شده است که تجزیه سری زمانی در مقیاس‌ها مختلف زمانی با استفاده از تجزیه موجک، پیش‌بینی‌های بهتری ارائه می‌کند.

## 2. Data Generating Process

در دهه‌های گذشته بی‌ثباتی‌های درآمد‌های ارزی و مدیریت نامناسب بانک مرکزی در بازار ارز باعث وجود التهاب و نوسانات بالا در این بازار شده است که اثرات منفی بر بخش‌های مختلف اقتصادی برجای گذاشته است. لذا مدیریت نوسانات نرخ ارز همواره یکی از چالش‌های اقتصاد ایران بوده است. به نظر می‌رسد در کنار راهکارهای کلی برای کاهش نوسانات بازار ارز در اقتصاد ایران مانند کاهش وابستگی اقتصادی به درآمد‌های نفتی، افزایش کمی و کیفی داخلی‌سازی تولید<sup>۱</sup> و کاهش وابستگی تولیدی کشور به خارج، ارتقاء بهره‌وری کل عوامل تولید و نهاده‌های تولید، کنترل رشد نقدینگی و هدف‌گذاری تورم، افزایش سرمایه‌گذاری خارجی، بهبود محیط کسب و کار به طور خاص در حوزه صادراتی، افزایش درآمد‌های ارزی، اصلاح ساختارهای نهادی کشور به منظور گسترش صادرات غیرنفتی، افزایش کارایی صندوق توسعه ملی، به کارگیری عملی نظریه‌های اقتصادی در مدیریت بازار ارزی کشور، افزایش رقابت‌پذیری در فضای تولید داخلی، ایجاد بازار مشتقه ارزی، تنوع‌بخشی به صادرات غیرنفتی، تنوع‌بخشی به طرف‌های تجاری، به کارگیری سیاست‌هایی در جهت گسترش گردشگری، کاهش و رفع چالش‌های بین‌المللی کشور همانند تحریم‌های اقتصادی و گسترش روابط کارگزاری بانک‌ها در سطح بین‌الملل، کاهش واردات از طریق افزایش کیفیت محصولات داخلی، کاهش قاچاق کالا و اقتصاد غیررسمی، کاهش وابستگی درآمد‌های ارزی حاصل از صادرات نفت و گاز با بودجه دولت، افزایش انضباط مالی و پولی، به کارگیری قواعد مالی<sup>۲</sup> برای جلوگیری از رشد بی‌رویه هزینه‌های دولت، افزایش اعتماد عمومی به بانک مرکزی، بهبود سیاست‌های ارتباطی بانک مرکزی، تغییر واحد ارز گزارشگری (از دلار به یورو و یا سبدهی از ارزها که در تجارت خارجی کشور سهم بیشتری دارند)، افزایش شفافیت در بازار ارز، نظارت بیشتر بر صرافی‌ها و افزایش سهم بانک‌ها در مبادلات بین‌المللی، ایجاد بازار بین‌بانکی ارز، استفاده از سیاست‌های غیرمستقیم مانند ورود در بازار بین‌بانکی ارز و تمرکز بر نرخ حواله درهم و کاهش دخالت‌های مستقیم در بازار نقدی، کنترل انتظارات در بازار ارز و کاهش انتظارات برون

- 
1. Internationalization of Production
  2. Fiscal Rules

یابانه<sup>۱</sup>، کاهش فشار بر بازار ارز<sup>۲</sup> و غیره، بانک مرکزی نیازمند در اختیار داشتن شاخص و یا شاخص‌های مناسبی از نوسانات این بازار است تا به طور دقیق‌تری شرایط بازار را رصد و پیش‌بینی نماید تا امکان مدیریت مناسب‌تر نوسانات بازار ارز را داشته باشد.

در این مطالعه با استفاده از ترکیب دو روش تجزیه موجک و مدل GARCH مجموعه نماگرهایی برای نوسانات بازار ارز در مقیاس‌های متفاوت زمانی محاسبه شده است که موجب افزایش توانمندی بانک مرکزی در جهت مداخله مؤثرتر در این بازار خواهد شد. در نتیجه سیاست‌گذار برخلاف نوسانات محاسبه شده از سایر روش‌های مرسوم با طیفی از نماگرهای کوتاه‌مدت تا بلندمدت مواجه بوده تا اطلاعات بیشتری از تغییر و تحولات بازار ارز را در راستای مدیریت نوسانات در اختیار داشته باشد. اگر بانک مرکزی برای دخالت در بازار ارز بر مبنای کریدور ارزی میزان مداخله خود را معلوم کند؛ با این روش در واقع چندین کریدور ارزی را می‌تواند بر اساس تعیین حدود بالا و پایین آن در هر کدام مشخص کرده و با توجه به مقیاس زمانی و میزان محدوده نوسانات هدف‌گذاری شده، بازار ارز را کنترل نماید. از این نماگرها به منظور سیستم هشدار پیش از وقوع<sup>۳</sup> نیز می‌توان استفاده کرد. علاوه بر این در صورت وجود بازار مشتقه ارز، بنگاه‌هایی که در معرض ریسک نوسانات نرخ ارز هستند می‌توانند بر مبنای هدف‌های راهبردی خود و با بهره‌گیری از این نماگرها، برای کاهش اثرات منفی تلاطم‌های ارزی بر فعالیت خود ابزار پوشش ریسک مناسب‌تری را انتخاب نمایند.

---

### 1. Extrapolation Expectation

۲. فشار بازار ارز (Exchange Market Pressure) نخستین بار توسط Girton and Roper (1977) تحت یک مدل پولی مطرح شد و توسط مطالعات Weymark ادامه پیدا کرد. شاخص فشار بازار ارز که بر مبنای مازاد تقاضا ارز است؛ نشان‌دهنده تغییر مورد نیاز نرخ ارز بدون مداخله بانک مرکزی در بازار ارز برای حذف فشار وارد بر این بازار را نمایش می‌دهد.

### 3. Early Warning System

## منابع

- ابریشمی، حمید، مهرآرا، محسن، نوری، مهدی و محسن محقق (۱۳۸۹)، "رابطه میان تورم و رشد بهره‌وری در اقتصاد ایران"، فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، ۱(۱). صص ۱-۲۸.
- احسانی، محمدعلی، خانعلی پور، امیر و جعفر عباسی (۱۳۸۸)، "اثر بی‌ثباتی نرخ ارز بر صادرات غیرنفتی در ایران"، پژوهشنامه علوم اقتصادی، سال ۹، شماره ۱.
- اصغرپور، حسین، محمدپور، سیاوش، رضازاده، علی و خلیل جهانگیری (۱۳۹۱)، "بررسی اثر بی‌ثباتی نرخ ارز بر صادرات بخش کشاورزی ایران"، تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۴، شماره ۱.
- بهراد مهر، نفیسه (۱۳۸۷)، "پیش‌بینی قیمت نفت خام با استفاده از هموارسازی موجک و شبکه عصبی مصنوعی"، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، دوره ۵، شماره ۱۸.
- دوراندیش، آرش، شریعت، الهام و ندا ارزنده (۱۳۹۳)، "بررسی اثر سرریز نوسانات نرخ ارز بر شاخص صنایع کشاورزی پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار"، فصلنامه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸(۹).
- ذوالفقاری، مهدی و بهرام سجایی (۱۳۹۵)، "بررسی تأثیر نوسانات نرخ ارز بر ریسک بازدهی سهام صنایع خودرو، معدن و سیمان برپایه انتقالات رژیم مارکوف"، مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار (مدیریت پرتفوی)، ۷(۲۹).
- رستمی نوروژآباد، مجتبی؛ شجاعی، عبدالناصر؛ خضری، محسن و سامان رحمانی نوروژآباد (۱۳۹۴)، "تخمین ارزش در معرض ریسک بازده بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از آنالیز موجک"، تحقیقات مالی، ۱۷(۱).
- زمانزاده، حمید؛ بهادر، علی؛ باستانزاد، حسین و حسین توکلیان (۱۳۹۳)، "مدیریت نرخ ارز تحت نظام ارزی خزنده در کریدور"، مقاله سیاستی، پژوهشکده پولی و بانکی.
- سجایی، بهرام؛ ذوالفقاری، مهدی؛ مهرگان، نادر و علیرضا سارنج (۱۳۹۳)، "بررسی انواع ریسک نوسانات نرخ ارز و شیوه‌های مدیریت آن: مبانی نظری و مرور تجربیات کشورها"، فصلنامه برنامه‌بودجه، ۱۹(۴)، صص ۳-۳۴.

- سحابی، بهرام؛ صادقی سقدل، حسین و ولی‌اله خورسندی طاسکوه (۱۳۹۴)، "بررسی و محاسبه ارزش در معرض ریسک بازده سهام دو صنعت کانی‌های فلزی و صنایع دارو با استفاده از آنالیز موجک و مدل‌های سری زمانی"، *پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)*، سال پانزدهم، شماره ۱.
- عباسیان، عزت‌الله؛ مرادپور اولادی، مهدی و نادر مهرگان (۱۳۹۱)، "تأثیر عدم اطمینان نرخ ارز واقعی بر رشد اقتصادی"، *مجله تحقیقات اقتصادی*، شماره ۹۸.
- عباسی‌نژاد، حسین و شاپور محمدی (۱۳۸۵)، "تحلیل سیکل‌های تجاری ایران با استفاده از نظریه موجک‌ها"، *مجله تحقیقات اقتصادی*، دوره ۴۱، شماره ۴.
- کازرونی، علیرضا و مهناز دوتلی (۱۳۸۶)، "اثر نااطمینانی نرخ ارز بر سرمایه‌گذاری بخش خصوصی (مطالعه موردی ایران)"، *فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی*، شماره ۴۵.
- کریمی، آیت‌الله و منصور زیبایی (۱۳۸۷)، "اثرات نوسان‌پذیری نرخ ارز بر صادرات محصولات کشاورزی در کشورهای مختلف"، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی*، سال ۸، شماره ۳.
- کلانترزاده، مهسا و مهدی بصیرت (۱۳۹۴)، "بررسی تأثیر نرخ ارز و نوسانات آن بر صادرات فرش دستباف ایران"، *اقتصاد کاربردی*، دوره ۵، ص ۶۱-۷۶.
- مانی، محمدعلی و محمود زیرک (۱۳۸۳)، "تأثیر شرایط عدم اطمینان ناشی از نوسانات نرخ ارز بر صادرات غیرنفتی ایران (دوره سال‌های ۷۹-۱۳۳۸)"، *فصلنامه پیک نور*، سال ۲، شماره ۴.
- محمدی، احمد (۱۳۸۵)، "پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از شبکه عصبی و تبدیل موجک"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران.
- مرتضوی، سید ابوالقاسم؛ زمانی، امید؛ نوری، مهدی و هیمن نادر (۱۳۹۰)، "بررسی تأثیر نوسانات نرخ ارز بر صادرات پسته ایران"، *نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)*، جلد ۲۵، شماره ۳.
- نوری، مهدی و حامد نویدی (۱۳۹۱)، "ریسک نرخ ارز و صادرات غیرنفتی در ایران"، *فصلنامه پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی*، دوره ۳، شماره ۹، ص ۵۹-۷۰.

- Andersen, T.G.; Bollerslev, T.; Diebold, F. X. and P. Labys** (2003), "Modeling and Forecasting Realized Volatility". *Econometrica*, 71(2), pp. 579-625.
- Arize, A. C. and S.S. Shwiff** (1998), "Does Exchange Rate Volatility Affect Import Flows in G-7 Countries? Evidence from Cointegration Models". *Applied Economics*, Vol. 30, pp. 1269-1276.
- Arize, A.C.** (1995), "Trade Flows and Real Exchange-rate Volatility: an Application of Cointegration and Error-correction Modeling", *North American Journal of Economics & Finance*, Vol. 6, No. 1, pp. 37-51.
- Arize, A.C.** (1996), "A Reexamination of the Demand for UK Exports: Evidence From an Error Correction Model", *International Trade Journal*, Vol. 10 No. 4, pp. 501-25.
- Arize, A.C.** (1998), "The Long Run Relationship Between Import Flows and Real Exchange Rate Volatility: The Experience of Eight European Economies". *International Review of Economics and Finance*, Vol. 7, No.4, pp. 417-435.
- Arize, A.C. and D.K. Ghosh** (1994), "Exchange Rate Uncertainty and Recent US Export Demand Instability". *The International Trade Journal*, 8(3), pp. 347-365.
- Asai, M.; McAleer, M. and J. Yu** (2006), "Multivariate Stochastic Volatility: a Review", *Econometric Reviews*, 25(2-3), pp. 145-175.
- Baillie, R.T.; Bollerslev, T. and H.O. Mikkelsen** (1996), "Fractionally Integrated Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity," *Journal of Econometrics*, pp. 74, 3-30.
- Bates, D. S.** (1996), "Jumps and Stochastic Volatility: Exchange Rate Processes Implicit in Deutsche Mark Options", *The Review of Financial Studies*, 9(1), pp. 69-107.
- Bauwens, L.; Hafner, C. M. and S. Laurent** (2012), *Handbook of Volatility Models and Their Applications*, Vol. 3, John Wiley & Sons.
- Berger, T.** (2016), Forecasting Based on Decomposed Financial Return Series: A Wavelet Analysis. *Journal of Forecasting*, 35(5), pp. 419-433.
- Bollerslev, T.** (1986). "Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity," *Journal of Econometrics*, No. 31, pp. 307-327.
- Bollerslev, T.** (2009), "Glossary to ARCH (GARCH. In *Volatility and Time Series Econometrics: Essays in Honour of Robert F. Engle*.
- Broda, C and John Romalis** (2011), "Identifying the Relationship Between Trade and Exchange Rate Volatility," NBER Chapters, in: *Commodity Prices and Markets*, East Asia Seminar on Economics, National Bureau of Economic Research, NO. 20, pp. 79-110 .
- Cavaliere, G.** (2006), Stochastic Volatility: Selected Readings. *The Economic Journal*, 116(512).
- Coa, Y. L.; Hong, G. Y.; Fang, P. H. and W. G. He** (1995), "Predicting Chaotic Time Series with Wavelet Networks". *Physica D, No 85*, pp. 225-238.
- Daly, K.** (2008), "Financial Volatility: Issues and Measuring Techniques". *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387(11), pp. 2377-2393.
- Daubechies, I.** (1990), "The Wavelet Transform, Time -Frequency Localization and Signal Analysis". *IEEE Transactions of Information Theory*, 36(5), pp. 961-1005.
- Engle, R. F.** (1982), "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation", *Econometrica*, NO. 50, pp. 987-1007.

**Erdemlioglu, D.; Laurent, S. and C.J. Neely** (2013), 16 *Econometric Modeling of Exchange rate Volatility and Jumps*. Handbook of Research Methods and Applications in Empirical Finance, pp. 373.

**Gençay, R.; Selçuk, F. and B.J. Whitcher** (2002), *An Introduction to Wavelets and Other Filtering Methods in Finance and Economics*. Academic press.

**Girton, L. and D. Roper** (1977), "A Monetary Model of Exchange Market Pressure Applied to the Postwar Canadian Experience", *The American Economic Review*, pp. 537-548.

**Glosten, L. R.; Jagannathan, R. and D. E. Runkle** (1993), "On the Relation between Expected Value and the Volatility of the Nominal Excess Return on Stocks," *Journal of Finance*, No. 48, pp. 1779-1801.

**Goldfajn, I. and R. Valdes** (1999), "The Aftermath of Appreciations". *Quarterly Journal of Economics*, No. 114, pp. 229-262.

**Graps, A.** (1995), "An Introduction to Wavelets". *IEEE Computational Science and Engineering*, 2(2), pp. 50-61.

**Grobar, L.M.** (1993), "The Effect of Real Exchange Rate Uncertainty on LDC Manufactured Exports", *Journal of Development Economics*, 41(2), pp. 367-76.

**Hinkle, L. E. and P.J. Monteil** (1999), *Exchange Rate Misalignment: Concepts and Measurement for Developing Countries*, Oxford University Press.

**Hooper, P. and S.W. Kohlhagen** (1978), "The Effect of Exchange Rate Uncertainty on the Prices and Volume of International Trade", *Journal of International Economics*, No. 8, pp. 483-511.

<http://econ.as.nyu.edu/docs/IO/9377/RR02-02.PDF>

**Ismail, M.T.; Audu, B. and M.M. Tumala** (2016), "Volatility Forecasting with the Wavelet Transformation Algorithm GARCH Model: Evidence from African Stock Markets", *The Journal of Finance and Data Science*, 2(2), pp. 125-135.

**Jagric, T. and R. Ovin** (2004), "Method of Analyzing Business Cycles in a Transition Economy: The Case of Slovenia". *The Developing Economy XLII*, pp. 42-62.

**Kriechbaumer, T.; Angus, A.; Parsons, D. and M.R. Casado** (2014), "An Improved Wavelet-ARIMA Approach for Forecasting Metal Prices", *Resources Policy*, NO. 39, pp. 32-41.

**Krugman, P.R.; Obstfeld, M. and M.J. Melitz** (2012), *International Economics: Theory and Policy*, The Addison-Wesley Series in Economics.

**Kulikova, M. V. and D.R. Taylor** (2013), "Stochastic Volatility Models for Exchange Rates and their Estimation using Quasi-maximum-likelihood Methods: an Application to the South African Rand", *Journal of Applied Statistics*, 40(3), pp. 495-507.

**McAleer, M. and M.C. Medeiros** (2008), "Realized Volatility: A Review". *Econometric Reviews*, 27(1-3), pp.10-45.

**Mitra, S.** (2006), "A Wavelet Filtering Based Analysis of Macroeconomic Indicators: the Indian Evidence". *Applied Mathematics and Computation*, No. 175, pp. 1055-1079.

**Mitra, S., Mitra, A.** (2006), "Modeling Exchange Rates Using Wavelet Decomposed Genetic Algorithm Neural Networks", *Statistical Methodology* 3(2), pp. 103-124.

**Nouri, M.; Oryoie, A. R. and S. Fallahi** (2012), "Forecasting Gold Return Using Wavelet Analysis". *World Applied Sciences Journal*, 19(2), pp. 276-280.

**Papaioannou, M. G.** (2006), "Exchange Rate risk Measurement and Management: Issues and Approaches for Firms", *IMF Working Paper*.

- Ramsey, B., J.** (2002), “Wavelets in Economics and Finance: Past and Future”. Working Paper, No. 2002-02. C.V. Starr Center for Applied Economics. New York University: Economic Research Reports. Available at:
- Shin, T. and I. Han** (2000), “Optimal Signal Multi Resolution by Genetic Algorithm to Support Artificial Neural Networks for Exchange Rate Forecasting”, *Expert Systems with Applications*.
- Struzik, Z. R.** (2001), “Wavelet Methods in (financial) Time-series Processing”. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 296(1), pp. 307-319.
- Tan, Z.; Zhang, J.; Wang, J. and J. Xu** (2010), “Day-ahead Electricity Price Forecasting Using Wavelet Transform Combined with ARIMA and GARCH Models”, *Applied Energy*, 87(11), pp. 3606-3610.
- Thursby, J. G. and M.C. Thursby** (1987), “Bilateral Trade Flows, the Linder Hypothesis, and Exchange Risk”, *the Review of Economics and Statistics*, pp. 488-495.
- Zakoian, J.-M.** (1994), “Threshold Heteroskedasticity Models,” *Journal of Economic Dynamics and Control*, No. 15, pp. 931–955.
- Zivot, E., & Wang, J.** (2003), *Rolling Analysis of time Series. In Modeling Financial Time Series with S-Plus®* (pp. 299-346). Springer New York.