

## بررسی رفتار غیرخطی نرخ ارز در ایران: شواهدی از الگوی مارکوف سوئیچینگ

مسلم انصاری نسب\*

زهرا محمدی\*\*

### چکیده

نرخ ارز یکی از مهمترین متغیرهای کلیدی و مهم اقتصادی است که می‌تواند با تاثیر بر وضعیت تجارت خارجی و ترازپرداخت‌ها، تاثیراتی بر وضعیت تولید، تورم، اشتغال و سایر متغیرهای اقتصاد کلان بگذارد، بر این اساس مقاله حاضر به مدلسازی نرخ ارز در ایران با استفاده از مدل غیرخطی مارکوف-سوئیچینگ (Markov Switching) می‌پردازد. داده‌های کاربردی در این مقاله شامل نرخ ارز در سال ۱۳۹۶-۱۳۳۸ است. یکی از دلایل مهم استفاده مدل مارکوف-سوئیچینگ، این است که نرخ ارز یک سری زمانی غیرخطی است که در طی چند سال مورد مطالعه دارای نوسانات مختلفی است، به طور کلی نتایج مدل مارکوف-سوئیچینگ نشان می‌دهد نرخ ارز رفتاری غیرخطی و نامتقارنی در ایران دارد و نرخ ارز در سه رژیم مختلف، رفتار متفاوتی برجای می‌گذارد و رفتار نرخ ارز در سه رژیم مورد نظر وابسته به دوره قرارگیری در آن بوده و این برای سیاستگذاری اقتصاد در حوزه نرخ ارز می‌تواند حائز اهمیت باشد.

**کلیدواژه‌ها:** پیش‌بینی نرخ ارز، مدلسازی نرخ ارز، مدل غیرخطی، مدل مارکوف سوئیچینگ، اقتصاد ایران

\* استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه ولی عصر رفسنجان (نویسنده مسئول)، M.Ansarinasab@vru.ac.ir

\*\* کارشناس ارشد برنامه‌ریزی سیستم‌های اقتصادی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان،

Mohammadi.zahra2016@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۶

## ۱. مقدمه

یکی از متغیرهای مهم و کلیدی اقتصاد که بر رفتار سایر متغیرها در اقتصاد داخل و بین‌الملل اثرگذار است، نرخ ارز است که نوسانات آن می‌تواند تأثیرات قابل ملاحظه‌ای بر وضعیت بازرگانی خارجی کشورها و جریان سرمایه و بطور کل ترازپرداخت‌ها داشته باشد، به همین دلیل شناسایی عوامل موثر بر رفتار نرخ ارز از موضوعات حائز اهمیت اقتصاد بین‌الملل بوده و مورد توجه سیاست‌گذاران و محققان اقتصادی بویژه در کشورهای در حال توسعه است. نرخ ارز از جمله متغیرهای اقتصادی است که عوامل مختلفی روی آن اثرگذار هستند. در کشوری مانند ایران نیز به دلایل مختلف اقتصادی، سیاسی، مالی و روانی نرخ ارز با نوسانات زیادی طی سال‌های گذشته همراه بوده است (احسانی‌فر و احتشام‌رانی، ۱۳۹۴: ۲۷).

بررسی نرخ ارز در کانون توجهات بسیاری از سیاست‌گذاران، اقتصاددانان و عاملان اقتصادی بوده و مطالعات مختلفی در زمینه مدل‌سازی و پیش‌بینی نرخ ارز بوده است، تاجایی که یکی از معماهای اقتصاد بین‌الملل قابل پیش‌بینی بودن نرخ ارز است (شیرازی و نصرالهی، ۱۳۹۲: ۵۳).

در حالت کلی بدلیل نوسانی بودن نرخ ارز، استفاده از رویکرد غیرخطی برای مدل‌سازی نرخ ارز بسیار حائز اهمیت است. در این راستا این مقاله تلاش کرده با کمک مدل مارکف-سوئیچینگ نسبت به مدل‌های متعارف خطی سری زمانی، نرخ ارز را در ایران مورد آزمون تجربی قرار دهد، به همین دلیل با انتخاب این مدل برای مدل‌سازی نرخ ارز به مسیری هموار برای پیوستن به پیش‌بینی‌های بسیاری از متغیرهای تأثیرگذار از جمله بیکاری، تورم و غیره در جامعه‌ی اقتصادی کشور ایران می‌توان دست یافت.

از همین رو در این مقاله به بررسی نرخ ارز ایران با استفاده از مدل مارکف-سوئیچینگ پرداخته شده است. در ادامه، ساختار مقاله به این شرح خواهد بود، بخش دوم ادبیات موضوع، بخش سوم روش تحقیق و توضیح مدل مارکف-سوئیچینگ، بخش چهارم پیشینه تحقیق و بخش پنجم تحلیل داده‌ها و نتایج مدل و در آخر نتیجه‌گیری کلی است که در بخش ششم ارائه می‌شود.

## ۲. ادبیات موضوع

نرخ ارز، قیمت یک واحد پول رایج بر حسب پول رایج دیگر است. لذا مقدار لازم از یک واحد پولی که می‌تواند مقداری از واحد پولی دیگر خریداری کند، همان نرخ ارز است. بنابراین، نرخ مزبور می‌تواند یک عامل تبدیل (Conversion factor) باشد. به طور کلی، نرخ ارز قیمت نسبی پول خارجی به پول داخلی است که به عنوان یکی از عوامل کلان اقتصادی، همواره مورد توجه جامعه اقتصادی و مالی بوده است. در واقع، این نرخ بیانگر شرایط اقتصادی کشور بوده و عاملی برای مقایسه اقتصاد ملی با اقتصاد سایر ملل است. در این بین، اتخاذ سیاست‌های ارزی مناسب با توجه به بستر اقتصادی هر کشور، توسط سیاست‌گذاران آن کشور انجام می‌شود. در ایران، چون عرضه ارز در انحصار دولت و بانک مرکزی است، به ناچار قیمت ارز بر اساس عرضه و تقاضا تعیین نمی‌شود. افزایش درآمد نفت، درآمدهای ارزی دولت را افزایش می‌دهد و از این رو، قیمت ارز نشانه‌ای از توان واقعی اقتصادی ایران نبوده و مجموعه‌ای از قیمت‌های مصنوعی را به اقتصاد تحمیل می‌کند (حیدری و بشیری، ۱۳۹۰: ۷۲).

روش‌های متعددی برای بررسی، آزمون و بررسی نرخ ارز در ادبیات اقتصادی وجود دارد که در ادامه به دسته‌بندی و معرفی آنها پرداخته خواهد شد:

### ۱.۲ مدل‌های نرخ ارز

نظام ارزی موجود از دهه ۱۹۷۰ و بعد از فروپاشی نظام برتون وودز بوجود آمده است. از همان زمان تلاش‌های گوناگونی برای نرخ ارز توسط محققان و دانشگاهیان صورت گرفته است. لیکن در ادبیات نظری موجود هیچ توافق جامعی روی طبقه‌بندی مدل‌هایی که برای پیش‌بینی نرخ ارز بکار می‌رود وجود ندارد (Macrinshiene and Balciunas, ۲۰۱۳: ۹). در این قسمت چند نمونه از مدل‌های بررسی نرخ ارز نام برده شده است. مدل‌های بررسی نرخ ارز به سه دسته‌بندی کلی تقسیم می‌شوند: ۱- مدل‌های تئوری پایه ۲- مدل‌های الگوریتمی ۳- مدل‌های سنجی.

#### ۱.۱.۲ مدل‌های تئوری پایه

از جمله مدل‌های تئوری پایه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱-مدل‌های فرضیه بازار کار ۲-مدل‌های ساختاری ۳- تئوری برابری قدرت خرید ۴- تئوری برابری نرخ بهره، که در ذیل به توضیح هر کدام پرداخته می‌شود.

### ۱.۱.۱.۲ مدل‌های فرضیه بازار کار

فرض اصلی این مدل‌ها این است که کارایی بازار ارز بسیار قدرتمند است و تغییرات ارز قابل پیش‌گویی نیست که به معنای کاربرد فرضیه گام‌برداری تصادفی است، بر اساس این مدل، تغییرات آینده نرخ ارز از نوسانات گذشته مستقل هستند و این واقعیت، تخمین آن‌ها برای آینده را غیرممکن می‌کند، مقالات تحقیقی متنوعی وجود دارند که شواهدی از چنین مدل‌هایی را ارائه می‌کنند. در عین حال اقتصاددانانی نظیر گودمن (Goodman, 1979) مدل‌های فرضیه بازار کار را مطرح می‌کنند. فرضیه بازار کار اساساً به این معنی نیست که نرخ ارز به مبانی و ساختارهای اقتصادی غیرمرتبط است یا اینکه نرخ‌های ارز باید بر طبق مدل ارزش گذشته خود، بطور تصادفی نوسان کنند (مطهری و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۵).

### ۲.۱.۱.۲ مدل‌های ساختاری

این مدل‌ها دقیقاً از نیمه دوم قرن بیستم بعد از سقوط نظام برتون وودز معروف شدند. در این مدل‌ها متغیرهای مشخصی از اقتصاد کلان نرخ ارز را متأثر می‌کنند، به همین دلیل این مدل‌ها تحت عنوان مدل‌های اقتصاد کلان نامیده می‌شوند (Moosa and Bhatti, ۲۰۱۰). یک گروه جایگزین از مدل‌ها ارائه می‌کنند، این مدل‌ها در پاسخ عدم موفقیت عملکرد مدل‌های ساختاری ایجاد شدند که عبارتند از مدل زیر ساختاری (Microstructure model)، مالیه رفتاری (Behavioral finance)، مدل‌های ساختاری قابل طبقه‌بندی هستند.

### ۳.۱.۱.۲ تئوری برابری قدرت خرید PPP (Theory of purchasing power parity)

مرجع نظری استاندارد برای پیش‌گویی نرخ ارز، فرضیه برابری قدرت خرید است که یکی از برجسته‌ترین نظریه‌ها در تاریخاندیشه اقتصادی است کزوزی (Ca, zorzi and et all, 2013:3). با افزایش قیمت در یک کشور، ارزش پول آن کشور نسبت به کشور دوم بطور متناسب کاهش یافته تا قدرت خرید مقدار معینی کالا در کشورهای مختلف برابر باشد (مرزبان و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۸۳). نظریه PPP برای تفسیر و تعیین نرخ مبادله ارز، بر دوره بلندمدت تغییرات قیمت ارز تأکید می‌کند. در بازنگری منازعات پیرامون نظریه برابری

قدرت خرید تیلور و تیلور (Taylor and Taylor, 2004) بحث می‌کنند که چگونه اجماع عمومی در طول زمان به شکل موافق نظریه برابری قدرت خرید تغییر کرده است (کزرزی و همکاران، ۲۰۱۳: ۵).

#### ۴.۱.۱.۲ تئوری برابری نرخ بهره (Theory of interest rate parity) IRP

فرض اصلی تئوری برابری نرخ بهره این است که نرخ بهره بر حسب پول دو کشور باید با هم برابر باشد. اگر نرخ بهره در کشور خارج بالاتر از نرخ بهره پرداختی کشور داخل باشد، آنگاه ارزش پول خارج در مقایسه با ارزش پول داخل باید کاهش یابد تا نرخ بهره حقیقی در دو کشور با هم برابر باشد. نتیجه مهم تئوری برابری نرخ بهره این است که پول در کشورهایی که نرخ بهره بالاتر پرداخت می‌کنند باید ارزانتر و در کشورهایی با نرخ بهره پایین‌تر باید گرانتر باشد (شاه‌حسینی و رضایی، ۱۳۹۶: ۵۸).

#### ۲.۱.۲ مدل‌های الگوریتمی

از جمله یکی از مهمترین مدل‌های الگوریتمی، مدل شبکه عصبی است که در زیر به توضیحی در رابطه با آن پرداخته شده است.

#### ۱.۲.۱.۲ مدل شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی مصنوعی از جمله روش‌هایی هستند که قادر به تخمین موارد غیرخطی متعدد در داده‌ها بوده و یک چارچوب محاسبه‌ای انعطاف‌پذیر برای دامنه وسیعی از مسائل غیرخطی هستند، یکی از مزیت‌های بارز اینگونه مدل‌ها نسبت به مدل‌های دیگر غیرخطی این است که شبکه‌های مصنوعی، یک تقریب‌زننده جهانی هستند که می‌توانند هر نوع تابعی را با دقت دلخواه تقریب بزنند، اینگونه از شبکه‌ها نیاز به هیچ‌گونه پیش فرضی در مورد شکل مدل در فرآیند مدلسازی نداشته و بطور کلی یک مدل مبتنی بر داده هستند (خاشعی و بیجاری، ۱۳۸۹: ۴۴).

#### ۳.۱.۲ مدل‌های اقتصادسنجی

در مدل‌های مبتنی بر الگوهای اقتصادسنجی، دو مدل ARIMA و مارکف-سوئیچینگ از اهمیت بالایی برخوردارند که اولی عموماً بر پایه مقادیر گذشته به مدلسازی مدل می‌پردازد

و دومی علاوه بر این رژیم‌های قرارگیری متغیر را در دوره‌های مختلف را نیز در نظر می‌گیرد. در ادامه به معرفی اجمالی این مدل‌ها پرداخته خواهد شد.

#### ۱.۳.۱.۲ مدل ARIMA

مدل‌های ARMA و ARIMA، مدل‌های خطی تصادفی سری‌های زمانی در اقتصادسنجی هستند که برای سری‌های زمانی مانا و نامانا کاربرد دارند. از جمله روش‌های تبدیل سری نامانا به مانا استفاده از روش تفاضل‌گیری است. برای بررسی با مدل  $ARIMA(p, d, q)$  از متدولوژی (Box – Jenkins approach, 1976) استفاده می‌شود که دارای چهارمرحله شناسایی، برآورد، آزمون کنترل تشخیصی و پیش‌بینی هستند (سالارزهی و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۶).

#### ۲.۳.۱.۲ مدل مارکف-سوئیچینگ

در مدل‌های STAR و شبکه عصبی فرآیند تبدیل رژیم تدریجی است، فرآیند تعدیل در این مدل‌ها بستگی به وضعیت سیستم دارد. برخلاف این مدل‌ها در مدل انتقال مارکوف که توسط همیلتون ارائه شده است، تبدیل رژیم به صورت برونزا در نظر گرفته شده است (Anders, 2004). رویکرد مارکف-سوئیچینگ زمانی مفید خواهد بود که سری از حالتی به حالت دیگر تغییر کند و متغیری که باعث تغییرات رژیم می‌شود، قابل مشاهده نباشد. پارامترهای مدل از روش حداکثر راستنمایی برآورد می‌شوند. این مطالعه یک راهکار مناسب برای مدل‌سازی تغییرات در میان رژیم‌ها ارائه می‌دهد؛ چون قادر به برآورد همزمان تغییرات متغیرها، مشروط به درونزا بودن وضعیت اقتصاد کشور در هر مقطعی از زمان (وضعیت آرامش یا بحران) است، برالگوهای پیشین ارجحیت دارند. یک قانون احتمال نیز وجود دارد که انتقالات از یک حالت به حالت دیگر را پوشش می‌دهد (Hamilton, 1989:359).

امروزه این مدل‌ها در مدل‌سازی اقتصاد بسیار مورد توجه قرار گرفته است؛ زیرا شواهد تجربی زیادی وجود دارد که برای تغییرات ساختاری و غیرخطی و ویژگی‌ها، پویایی بسیاری از مدل‌های سری زمانی بسیار مناسب می‌باشند. ذات غیرخطی بودن این مدل‌ها، آن‌ها را قادر می‌سازد که حالات مجزا را به دقت با الگوهای بازار ارز به تصویر بکشد، مثلاً پرش‌ها و سقوط‌ها در بازار ارز را نسبت به مدل‌های دیگر بهتر ارائه می‌کند (فتاحی و نظیفی، ۱۳۹۱: ۱۶۶).

### ۳. پیشینه تحقیق

در ذیل به بررسی مواردی چند از پژوهش‌های داخلی و خارجی در زمینه مدل‌سازی نرخ ارز پرداخته شده است.

#### ۱.۳ مطالعات خارجی

موسی و برنز (۲۰۱۳) در مطالعه خود نشان داده‌اند که مدل پولی نرخ‌های ارز از مدل گام تصادفی در پیش‌بینی خارج از نمونه موفق‌تر است. آن‌ها برای مقایسه دو پیش‌بینی از معیارهای نظیر بزرگی خطای پیش‌بینی و قدرت مدل در پیش‌بینی جهت تغییرات استفاده کردند. نتایج مطالعه‌ی آن‌ها نشان داده است که مدل پولی عملکرد بهتری در مقایسه با گام تصادفی در پیش‌بینی خارج از نمونه برای ۴ ارز شامل دلار آمریکا، ین ژاپن، پوند انگلیس و دلار کانادا دارد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، داده‌های ماهانه در دوره زمانی ۱:۱۹۹۰ تا ۲:۲۰۱۰ است. برای دستیابی به پیش‌بینی خارج از نمونه، دوره نمونه در دسامبر ۲۰۰۵ به دو دوره تخمین و یک دوره پیش‌بینی تقسیم شده و پیش‌بینی‌ها در طی ژانویه ۲۰۰۶ تا جولای ۲۰۱۰ انجام شده است.

موسی و برنز (Moosa and Burns, 2014) با ارائه مدل‌های پویای نرخ ارز، نشان می‌دهند نتایج پیش‌بینی نرخ ارز توسط این مدل‌ها نسبت به پیش‌بینی خارج از نمونه گام تصادفی بهتر است. معیار مقایسه دو مدل، خطای مربعات میانگین است که باید پایین‌تر باشد. موسی و برنز، در این تجزیه و تحلیل از داده‌های ماهانه برای سه نرخ ارز ین به دلار آمریکا، پوند به دلار آمریکا و دلار کانادا به دلار آمریکا طی دوره ۱:۲۰۰۰ تا ۲:۲۰۱۲ استفاده کردند.

آباته و مارسلیانو (Abbate and Marcellino, 2016) در مطالعه خود با تمرکز بر ادبیات نظری مدل‌سازی و پیش‌بینی نرخ ارز، نشان می‌دهند که پیش‌بینی فاصله و چگالی سه ارز مهم در مقابل دلار آمریکا می‌تواند با فرض کردن ناپایداری زمانی در ضرایب فرآیند تولید داده، بهبود می‌یابد. آن‌ها نشان می‌دهند که ارتباط بین نرخ‌های ارز و یک مجموعه ساختارهای اقتصادی و مالی می‌تواند از طریق مدل‌سازی پارامتر ناپایداری زمانی حل شود که به ادبیات موجود در این حوزه کمک کرده است.

## ۲.۳ مطالعات داخلی

فتاحی و نظیفی (۱۳۹۱) در مقاله خود به مدلسازی نرخ واقعی ارز ایران با استفاده از مدل مارکوف-سوئیچینگ (MSAR) پرداختند. نتیجه نشان می‌دهد که در ایران، مدت ماندن نرخ ارز در رژیم پرنوسان کمتر از ماندن در رژیم کم‌نوسان است و همچنین در داده‌های ایران، نرخ ارز واقعی دارای روند منطقی است که حاکی از رد نظریه برابری قدرت خرید می‌باشد.

ابراهیمی و توکلیان (۱۳۹۱) به طراحی سامانه هشدار دهی زودهنگام بحران‌های ارزی در ایران با استفاده از رویکرد مارکوف-سوئیچینگ پرداخته‌اند. در این مقاله، با استفاده از نرخ رشد ارز بازار آزاد، بحران‌های ارزی که در اقتصاد ایران در دوره ۱۳۶۷-۱۳۸۹ پیوسته شناسایی و طبقه‌بندی شده است. نتایج حاصل از برآورد مدل نشان می‌دهد که برای دوره‌های زمانی نیمه دوم ۱۳۶۷ و نه ماهه اول ۱۳۶۸، سه ماهه اول ۱۳۶۹، نیمه دوم ۱۳۷۲، سال ۱۳۷۳، نیمه اول ۱۳۷۴، سه ماهه سوم ۱۳۷۵، سالهای ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸ وقوع بحران هشدار داده شده است که با واقعیات اقتصاد ایران انطباق مناسبی دارد.

خیابانی و گلجه‌ای (۱۳۹۳)، در مطالعه‌ی خود از یک مدل انعطاف‌پذیر فشار بازار ارز برای اندازگیری نوسانات نرخ ارز و تعیین میزان مداخله‌ی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران برای مدیریت این نوسانات استفاده کرده‌اند. سپس این مدل را با استفاده از الگوی مارکوف-سوئیچینگ خودرگرسیو- $MSMH(2)-VAR(2)$  با داده‌های فصلی و در دوره‌ی ۱۳۶۲-۱۳۹۲ مورد برآورد قرار داده‌اند. در این الگو تغییرات سه متیر شاخص قیمت‌های داخلی، نقدینگی و درآمد صادرات نفت به عنوان عوامل موثر بر فشار بازار ارز شناسایی شده‌اند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که افزایش ارزش پول ملی شده که با افزایش احتمال گذار به رژیم تقویت ارزش پول ملی و کاهش فشار نرخ ارز همراه می‌باشد، درحالی که کاهش درآمدهای نفتی با افزایش احتمال گذار به رژیم تضعیف ارزش پول ملی و افزایش فشار نرخ ارز همراه بوده است. همچنین نتایج بزرگتر بودن احتمال ماندن در رژیم تضعیف ارزش پول ملی را نسبت به احتمال ماندن در رژیم تقویت ارزش پول ملی نشان می‌دهد.

مطهری و همکاران (۱۳۹۴) با ارائه یک الگوی هشدار پیش از وقوع نوسانات ارزی در بازار ارز ایران، با استفاده از مدل مارکوف-سوئیچینگ گارچ با کمک از داده‌های روزانه نرخ بازار غیر رسمی ارز در بازه زمانی بیست و پنجم اردیبهشت سال ۱۳۸۵ تا بیست و یکم



تیرماه سال ۱۳۹۴ پرداخته است. نتایج این الگو نشان می‌دهد که احتمال ماندن در رژیم پر نوسان ارزی، احتمال انتقال از رژیم پرنوسان به رژیم کم نوسان ارزی، احتمال انتقال از رژیم کم نوسان به رژیم پر نوسان ارزی و احتمال ماندن در رژیم کم نوسان ارزی به ترتیب برابر با ۰/۱۴، ۰/۰۳، ۰/۸۶، ۰/۹۷ است.

جعفری و ممی‌پور (۱۳۹۵) در مقاله‌ای تحت عنوان عوامل موثر بر فشار بازار ارز در ایران: در چارچوب الگوی مارکوف-سوئیچینگ با احتمال انتقال متغیر طی دوره‌ی زمانی ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳ به بررسی عوامل موثر بر فشار بازار ارز پرداختند. نتایج حاصله از این پژوهش نشان می‌دهد که رفتار نرخ ارز با دو رژیم تقویت و تضعیف ارزش پول ملی با تلاطم بالا و پایین قابل ارزیابی است، همچنین افزایش درآمدهای نفتی از طریق افزایش احتمال گذار به رژیم تقویت ارزش پول ملی و کاهش فشار نرخ ارز همراه شده است. شاه‌حسینی و رضایی (۱۳۹۶) به پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل ARIMA همراه با عامل‌های مداخله‌ای و مقایسه‌ی آن با مدل گام تصادفی پرداختند. آن‌ها با استفاده از داده‌های سالانه از ۱۳۵۷-۱۳۹۴ و برای سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۴ پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که مدل ARIMA مدل بهتری خواهد بود.

## ۴. روش تحقیق

### ۱.۴ مدل مارکوف - سوئیچینگ

مدل مارکوف سوئیچینگ برای نخستین بار از سوی کوانت (۱۹۷۲)، کوانت و گولد فلد (۱۹۷۳)، معرفی شد. سپس، از سوی همیلتون (۱۹۸۹) برای استخراج چرخه‌های تجاری توسعه داده شد. برخلاف دیگر روش‌های غیرخطی، همانند ANN، STAR که در آن‌ها انتقال از یک رژیم به رژیم دیگر به صورت تدریجی صورت می‌پذیرد، در مدل مارکوف-سوئیچینگ انتقال به سرعت (Abbate and Marcellino) انجام می‌شود.

در مدل مارکوف-سوئیچینگ فرض می‌شود رژیمی که در زمان  $t$  رخ می‌دهد، دیدنی نبوده و بستگی به یک فرآیند غیرقابل مشاهده (st) دارد. در یک مدل با دو رژیم، به سادگی می‌توان فرض کرد که st، مقادیر ۱ و ۲ را اختیار می‌کند. یک مدل AR(1) دو رژیمی را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$y_t = \begin{cases} \phi_{0,1} + \phi_{1,1}y_{t-1} + \varepsilon_t & \text{if } s_t = 1 \\ \phi_{0,2} + \phi_{1,2}y_{t-1} + \varepsilon_t & \text{if } s_t = 2 \end{cases} \quad (1)$$

(۲)

و یا بطور خلاصه می توان نوشت:

$$y_t = \phi_{0,s_t} + \phi_{1,s_t}y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3)$$

برای تکمیل مدل، باید ویژگی های فرآیند  $s_t$  را مشخص کنیم. در مدل مارکوف - سویچینگ،  $s_t$  یک فرآیند مارکوف از درجه ی اول در نظر گرفته می شود. این فرض، بیانگر این نکته است که  $s_t$  فقط به رژیم دوره قبل، یعنی  $s_{t-1}$  بستگی دارد. در زیر، معرفی احتمالات (Transition Probabilities) از یک وضعیت به وضعیت دیگر، مدل خود را کامل می کنیم:

$$p(s_t = 1 | s_{t-1} = 1) = p_{11} \quad (4)$$

$$p(s_t = 2 | s_{t-1} = 1) = p_{12} \quad (5)$$

$$p(s_t = 1 | s_{t-1} = 2) = p_{21} \quad (6)$$

$$p(s_t = 2 | s_{t-1} = 2) = p_{22} \quad (7)$$

در روابط بالا،  $p_{ij}$  بیانگر احتمال حرکت زنجیره ی مارکوف-سویچینگ، از وضعیت  $i$  در زمان  $t-1$  به وضعیت  $j$  در زمان  $t$  است.  $p_{ij}$  باید غیر منفی بوده و همچنین، شرط زیر برای آن ها برقرار باشد:

$$p_{11} + p_{12} = 1 \quad (8)$$

$$p_{21} + p_{22} = 1 \quad (9)$$

می توان مدل معرفی شده ی بالا را به حالتی تعمیم داد که شامل  $m$  رژیم و  $p$  وقفه باشد، در این صورت، چند حالت کلی پیش می آید که در زیر به مرور آن ها می پردازیم:

#### جدول ۱. حالت های مختلف مدل مارکوف-سویچینگ

نام مدل	معادله	توزیع جملات اخلال	جزء وابسته به رژیم
MSM(Markov-switching mean)(m) AR(P)	$\Delta y_t - \mu(s_t) = \sum_{i=1}^p \alpha_i (\Delta y_{t-i} - \mu(s_{t-1}))$	$\varepsilon_t \sim IID(0, \sigma^2)$	میانگین

MSI (Markov-switching intercept term)(m) AR(P)	$\Delta y_t = c(s_t) + \sum_{i=1}^p \alpha_i(\Delta y_{t-i}) + \varepsilon_t$	$\varepsilon_t \sim IID(0, \theta^2)$	عرض از مبدا
MSH (Markov-switching intercept term)(m) AR(p)	$\Delta y_t = c + \sum_{i=1}^p \alpha_i(\Delta y_{t-i}) + \varepsilon_t$	$\varepsilon_t \sim IID(0, \theta^2(s_t))$	واریانس جملات خطا
MSA (Markov-switching autoregressive parameters)(m) AR(P)	$\Delta y_t = c + \sum_{i=1}^p \alpha_i(s_t)(\Delta y_{t-i}) + \varepsilon_t$	$\varepsilon_t \sim IID(0, \theta^2)$	ضرایب جملات خود توضیح

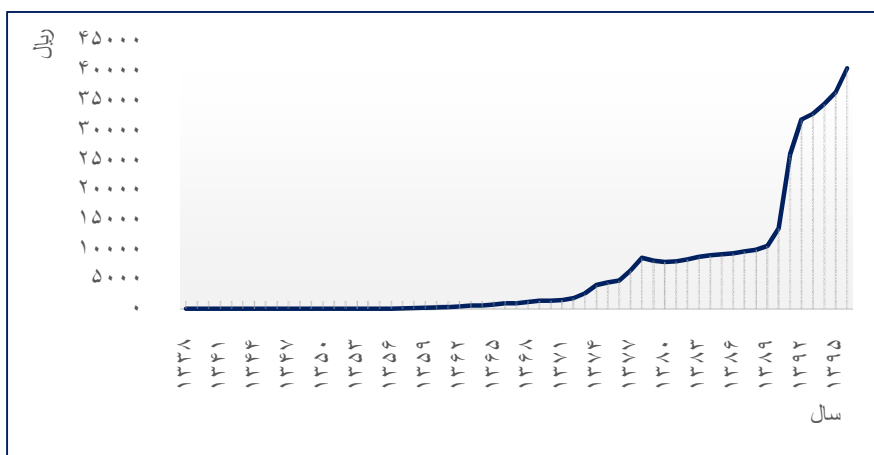
منبع: (کازرونی و همکاران، ۱۳۹۰)

با ترکیب حالت‌های مختلف مدل‌های جزئی‌تری را بدست آورد که در آن امکان وابستگی اجزای مختلف به رژیم‌ها وجود دارد. بنابراین، برای آنکه بتوان بهترین مدل را از میان مدل‌های فوق انتخاب کرد، استراتژی انتخاب مدل به صورت زیر خواهد بود:

۱. تعیین خطی بودن یا غیرخطی بودن الگوی داده‌ها با استفاده از آزمون نسبت درستنمایی (Likelihood Ratio)
۲. تعیین تعداد وقفه‌های بهینه برای متغیرهای حاضر در مدل با استفاده از معیارهای اطلاعاتی آکائیک (Akaike Information Criterion) برای تمام حالت‌های ممکن مدل مارکوف-سوئیچینگ (حالت‌های مذکور در جدول شماره ۱)
۳. تعیین تعداد رژیم‌ها برای حالت‌های مختلف مدل مارکوف-سوئیچینگ با استفاده از معیارهای اطلاعاتی آکائیک و شوارتز
۴. مقایسه حالت‌های تخمین زده شده بر مبنای سه ویژگی ((داشتن بیشترین ضرایب معنادار (به ویژه اجزای وابسته به رژیم))، داشتن بیشترین مقدار تابع حداکثر راستنمایی، و ((داشتن حداقل واریانس جملات اخلال))
۵. انتخاب مدل بهینه بر مبنای ویژگی فوق (کازرونی و همکاران، ۱۳۹۱: صص ۱۱-۱۲).

## ۵. تجزیه و تحلیل داده‌ها

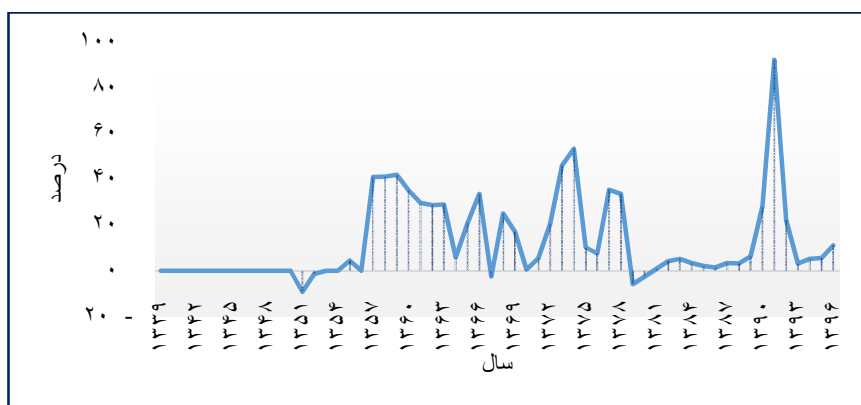
در این مقاله از ۵۹ داده‌ی سالانه نرخ ارز غیر رسمی کشور ایران از سایت بانک مرکزی، در زمان‌های ۱۳۳۸ تا ۱۳۹۶ استفاده شده است. روند حرکت این شاخص در نمودار زیر نشان داده شده است.



نمودار ۱. شاخص نرخ ارز غیر رسمی کشور ایران

منبع: یافته‌های تحقیق

همانگونه که در نمودار بالا مشاهده شده است، نرخ ارز یک روند ثابتی طی سالهای ۱۳۳۸ تا اواخر ۱۳۶۰ داشته است در همین دوره‌ها یعنی در سال ۱۳۷۸ شوکی وارد شده تا اوایل سال ۱۳۹۰ و به همین ترتیب تا سال ۱۳۹۶ روند صعودی داشته است.



## نمودار ۲. تغییرات نرخ ارز ایران

منبع: یافته‌های تحقیق

در نمودار شماره (۲) تغییرات یا رشد نرخ ارز در کشور ایران طی سال‌های ۱۳۳۸-۱۳۹۶ را نشان می‌دهد، همانطور که دیده شده در سال‌های اولیه نرخ ارز تغییرات ثابتی داشته است طی سال‌های ۱۳۵۷ به بعد تغییرات رو به افزایش و در سال‌های ۱۳۶۸ تغییرات نزولی داشته است و همچنان در نمودار تغییرات افزایشی و کاهشی را نشان داده است.

## ۱.۵ نتایج مدل مارکوف سوئیچینگ

در ادامه به ترتیب مراحل و نتایج حاصل از مدل مارکوف-سوئیچینگ مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۱.۱.۵ بررسی مانایی

با استفاده از نرم‌افزار ایویوز، مانایی با روش دیکی فولر تعمیم‌یافته مورد بررسی قرار گرفت، ضرورت انجام این مرحله این است که از رگرسیون کاذب جلوگیری به عمل آید. بررسی مانایی متغیر نرخ ارز انجام شد و نتیجه حاصله از آن نشان داد که داده‌های نرخ ارز غیر رسمی نایستا هستند، به طور کلی به این دلیل که این داده‌ها دارای شوک و نوسانات زیادی طی سال‌های اخیر بوده‌اند، بررسی مانایی با روش دیکی فولر تعمیم‌یافته نتایج صحیح و درستی نخواهد داد و به دلیل وجود شکست ساختاری بررسی مانایی به صورت جدول شماره (۳) بررسی شده است:

جدول ۲. نتایج آزمون مانایی

level	احتمال	با تفاضل‌گیری مرتبه اول (t-statistic=12.01)	مانایی یا نامانایی
Level %1	۰.۰۱	-۴.۹۴	مانا
Level %5	۰.۰۱	-۴.۴۴	مانا
Level %10	۰.۰۱	-۴.۱۹	مانا

منبع: یافته‌های تحقیق

با استفاده از جدول شماره (۲) مانایی با تفاضل گیری مرتبه اول انجام شده است و سال ۱۳۹۱ دارای شوک و یا به عبارتی شکست ساختاری بوده است، همانطور که مشاهده شده است، نرخ ارز در سه سطح ۱٪ و ۵٪ و ۱۰٪ مانا است.

### ۲.۱.۵ تعیین تعداد وقفه‌های مدل مارکف-سوئیچینگ

بعد از نخستین مرحله که سنجیدن مانایی است به سراغ تعیین تعداد وقفه‌های بهینه رفته برای این کار از آماره‌ی اطلاعاتی آکائیک استفاده می‌شود. در جدول شماره ۱۰ هم مقدار رژیم بهینه و هم تعداد وقفه‌ها مشخص شد. از آنجایی که معیار آکائیک از تابع راست نمایی مناسب‌تر است برای تعیین رژیم از این معیار استفاده می‌شود.

جدول ۳. نتایج آزمون LR

مقدار آماره	ارزش احتمال
۲۷۹/۹۲	۰/۰۰۰

منبع: یافته‌های تحقیق

مدل مارکف-سوئیچینگ برای مدل‌های غیر خطی استفاده می‌شود، در این آزمون برای اینکه تشخیص دهیم مدل خطی بهتر است یا مدل غیر خطی، آزمونی تحت عنوان LR صورت گرفته است که این آزمون مانند سایر آزمون‌های دیگر دارای فرضیه‌ی  $H_0$  و  $H_1$  است. همانگونه که نتایج جدول نشان می‌دهد، مقدار آماره‌ی آزمون LR از مقدار بحرانی آن در سطح معنی داری ۵ درصد بزرگ است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که به جای مدل‌های خطی بهتر است از روش غیر خطی مارکوف-سوئیچینگ برای برآورد مدل استفاده کرد.

### ۳.۱.۵ انتخاب بهترین مدل مارکف-سوئیچینگ

در جدول شماره (۴) تمامی حالت‌های مدل مورد تخمین نشان داده شده‌اند.

جدول شماره ۴: تعیین حالت بهینه‌ی مدل مارکوف سوئیچینگ

MSM	MSI	MSH	MSA	MSIA	MSIAH	MSMA	MSMAH
۱۶/۸۳	۱۶/۵۱	۱۴/۰۳	۱۴/۷۷	۱۴/۲۹	۱۳/۷۶	۱۵/۷۹	۱۳/۲۴*

منبع: یافته‌های تحقیق

مدل مارکف-سوئیچینگ حالت‌های مختلفی دارد که در ابتدای مقاله در جدول اذکر شد. این داده‌ها با رژیم‌های مختلف حداکثر تا ۳ رژیم و وقفه‌های اتورگرسیون تا ۴ سال امتحان شده است. دلیل انتخاب این مقادیر این است که میزان تاثیرگذاری این شوک‌ها حداکثر تا ۳ سال می‌تواند تاثیر بگذارد و چون داده‌ها سالانه هستند وقفه‌ها تا ۴ سال انتخاب شده‌اند. در این جدول تمامی راه‌حل‌ها را در مدل مارکوف سوئیچینگ امتحان شده و مدل بهینه با معیار کمترین آکائیک، مدل MSMAH انتخاب شد، که جزئیات بیشتر این مدل که یک مدل ترکیبی از مدل‌های دیگر است نشان داده شده است.

جدول شماره ۵. تعداد رژیم و وقفه در مدل MSMAH

تعداد رژیم/تعداد وقفه	۲	۳
۱	۱۴/۶۴	۱۳/۲۴*
۲	۱۴/۶۷	۱۴/۶۱
۳	۱۴/۵۴	۱۳/۷۵
۴	۱۴/۴۵	۱۳/۹۵

منبع: یافته‌های تحقیق

پس از مراحل که برای گزینش مدل بهینه انجام شد، با در نظر گرفتن معیارهای بالا، مدل بهینه برای نرخ واقعی ارز دلار (MSMAH) برآورد می‌شود. نتایج این برآورد را می‌توان در جدول ۶ دید.

جدول ۶. تخمین مدل سه رژیمه مارکف-سوئیچینگ

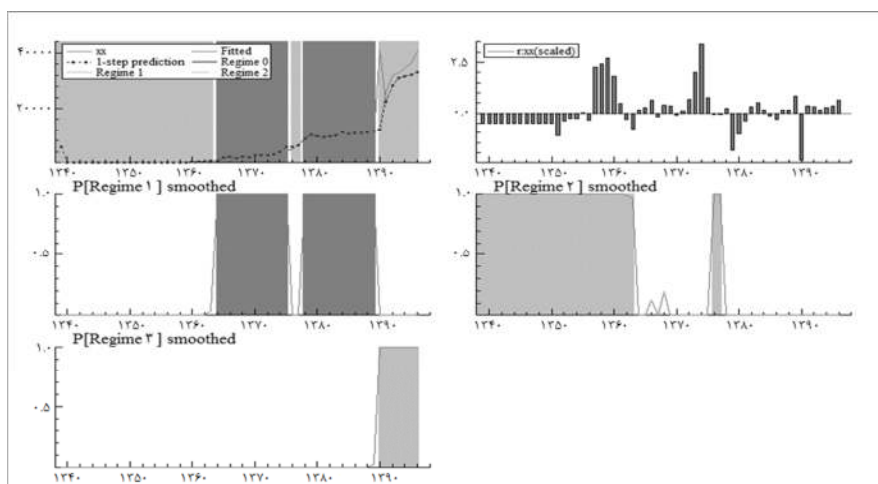
متغیر	ضریب	انحراف معیار	t آماره	احتمال t
AR(1) (0)	۱/۰۲۶۳۰	۰/۰۰۶۵۹۴	۱۵۶	۰/۰۰۰
AR(1) (1)	۱/۳۵۷۱۶	۰/۰۰۲۴۲۰	۵۶۱	۰/۰۰۰
AR(1) (2)	۰/۴۷۷۵۰۵	۰/۵۹۶۳	۰/۸۰۱	۰/۴۳۷
Constant(0)	-۱۵۵/۳۵۵	۲۸/۲۳	-۵/۵۰	۰/۰۰۰
Constant(1)	۶۰/۱۰۷۰	۶/۳۲۹	۹/۵۰	۰/۰۰۰
Constant(2)	۳۰۲۱۳/۱	۰/۰۰۰	۹/۹	۰/۰۰۰
Sigma(0)	۳۹۰/۲۶۵	۵۷/۰۰		
Sigma(1)	۱۱/۱۴۱۲	۱/۵۱۲		

Sigma(2)	۱۱۴۲۴/۹	۱۰۰۹		
----------	---------	------	--	--

منبع: یافته‌های تحقیق

در جدول شماره (۶) مقادیر مارکف-سوئیچینگ تخمین زده شده، همانطور که می‌بینیم مقادیر اتورگرسیو ۱ در سه رژیم که رژیم اول با ۰ و رژیم دوم با ۱ و رژیم سوم با ۲ نشان داده شده است و مقادیر عرض از مبدا در سه رژیم، و میانگین جملات خطا در سه رژیم نشان داده شده است. و در ادامه سطح معناداری با آماره نشان داده شده است. نتایج برآورد مدل که در جدول گزارش شده است، نشان می‌دهد که عرض از مبدا در رژیم یک برابر ۳۵۵/۱۵۵-، در رژیم دو برابر ۶۰/۱۰۷۰ و در رژیم سه برابر ۳۰۲۱۳/۱ است. وقفه‌های اول در سه رژیم معنی‌دار است. نمودار زیر نرخ ارز دلار و مقادیر توضیح داده شده و بوسیله‌ی مدل را نمایش می‌دهد. همانگونه که نمودار زیر نشان می‌دهد مدل برآورد شده توانسته است برازشی مناسب بر داده‌ها داشته باشد.

نمودار ۳. مقادیر نرخ ارز دلار و مقادیر توضیح داده شده آن بوسیله‌ی مدل غیر خطی



منبع: یافته‌های تحقیق

در نمودار شماره (۳) مقادیر مارکف-سوئیچینگ نشان داده شده است، مقادیر واقعی، مقادیر پیش‌بینی، خطاها در سه رژیم نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مدل مارکف سوئیچینگ بخوبی نرخ ارز ایران را مدلسازی نموده است. در قسمت راست و بالا جملات خطا تفاوت مقدار واقعی و تخمینی را نشان می‌دهد. و نمودارهای پایین‌تر بطور واضح‌تر در سه رژیم نشان می‌دهد. پس از برآورد مدل مارکوف-سوئیچینگ برای نرخ ارز،



آنچه که اهمیت دارد، جملات اخلاص بدست آمده از این برآورد است، در حقیقت، جملات اخلاص همان شوک‌های پیش‌بینی نشده و مقادیر توضیح داده نشده بوسیله‌ی مدل را از مقادیر نرخ واقعی ارز دلار کسر کرده و به دو جز شوک‌های مثبت و منفی تقسیم می‌کنیم.

#### ۴.۱.۵ شناسایی سال‌های قرارگیری در هر رژیم

در این نمودار سال‌های قرارگیری در هر کدام از رژیم‌ها را نشان می‌دهد، و تغییرات آنها در نمودار ۲ مشخص شده است.

جدول ۷. سال‌های قرارگیری در هر کدام از رژیم‌ها

رژیم ۱	رژیم ۲	رژیم ۳
۱۳۶۳-۱۳۷۴	۱۳۳۸-۱۳۶۲	۱۳۹۰-۱۳۹۶
۱۳۶۳-۱۳۸۹	۱۳۷۵-۱۳۷۷	

منبع: یافته‌های تحقیق

در واقع رژیم‌های بدست آمده حاکی از آن است که یک رژیم بیشتر مربوط به سال‌های قبل از انقلاب بوده و رژیم دیگر بیشتر سال‌های پس از انقلاب و جنگ را در برمی‌گیرد. این تفکیک کاملاً طبیعی است زیرا ویژگی‌های سیاست‌گذاری، نحوه اداره اقتصاد، نحوه پویایی هاص تجاری ایران (و تاثیرگذاری آن بر عرضه و تقاضای ارز از طریق صادرات و واردات)، مدیریت بازار ارز توسط دولت و بانک مرکزی با توجه به تغییرات اساسی در این دو نهاد، همگی بر رفتار نرخ ارز در ایران تاثیر بسزایی گذاشته است (البته در این میان سال‌های استثنایی نیز وجود دارد که بهر حال بازار در حال تغییر و تعدیل بوده است).

همچنین رژیم دیگری که مدل مارکوف سوئیچینگ آن را به صورت یک رژیم مجزای ارزی تفکیک نموده است، سال‌های بعد از ۱۳۹۰ بوده است که مشخصاً می‌تواند مربوط به شروع دو دوره تحریمی شدید اقتصاد ایران باشد که تاثیر بارز آن در نرخ ارز در تحولات سالیان اخیر بازار ارز ایران کاملاً نمود داشته است. از این رو مدل مارکوف سوئیچینگ نشان می‌دهد که رفتار نرخ ارز در این سالیان، با رفتار این متغیر در دو رژیم قبلی کاملاً متفاوت بوده و برای بررسی رفتار نرخ ارز باید این مورد را کاملاً در نظر گرفت. اصولاً عدم توجه به تفکیک دوره‌های مختلف در مدلسازی نرخ ارز ایران و نگاه یکسان به همه دوره‌ها می‌تواند محاسبات را دچار تورش جبران ناپذیری نموده و سیاست‌های اتخاذ شده را از اهداف مورد نظر خود کاملاً منحرف سازد.

### ۵.۱.۵ شناسایی احتمالات قرارگیری در هر رژیم

در جدول شماره (۷) احتمال انتقال از یک رژیم به رژیم دیگر را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود احتمال ماندن در رژیم ۱ برابر ۰/۹ است. و همچنین احتمال انتقال از رژیم ۱ به رژیم ۲ برابر ۰/۰۸ و احتمال انتقال رژیم ۱ به رژیم ۳ برابر ۰/۰۲ است و بقیه احتمالات به همین ترتیب ادامه پیدا می‌کند.

جدول ۸. احتمالات از یک رژیم به رژیم

	رژیم ۱	رژیم ۲	رژیم ۳
رژیم ۱	۰/۹۰	۰/۰۸	۰/۰۲
رژیم ۲	۰/۰۵	۰/۹۱	۰/۰۴
رژیم ۳	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۹۴

منبع: یافته‌های تحقیق

طبق تحلیل و بررسی نتایج بدست آمده بر طبق پژوهش حاضر، مدل تخمینی مارکف-سوئیچینگ با ۳ رژیم و یک وقفه انتخاب شد. همانطور که دیده شده است، رژیم ۱ شامل سال‌های ۱۳۶۳-۱۳۷۴ و ۱۳۷۸-۱۳۸۹ است، در رژیم ۱ میانگین جملات خطا برابر ۳۹۰/۲۶۵ و در رژیم ۲ میانگین جملات خطا برابر ۱۱/۱۴۱۲ و این مقدار در رژیم شماره ۳ برابر ۱۴۲۴/۹ است. به طور کلی در این تحقیق نشان داده شده است که مدل مارکف-سوئیچینگ توانایی بالایی در مدلسازی نرخ ارز به خواهد داشت و از یکی دیگر از مزیت‌های این مدل برخوردار بود. میانگین جملات خطای کمتری است، پس قابلیت اعتماد به مدل مارکف به بسیار بالا است. در ادامه برای تخمین بسیاری از تخمین‌های لازم و مربوطه به موضوعات مختلف، پیشنهاد می‌شود تا از مدل مارکف استفاده شود. مدل مارکف طبق جداول تحت سه رژیم بصورت جزئی تری نشان داده شده و دقیق‌تر احتمالات انتقال از رژیم‌های مختلف را نشان می‌دهد.

### ۶. نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، متغیر نرخ ارز طی سالهای متمادی ۱۳۳۸-۱۳۹۶ مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است؛ متغیر نرخ ارز با نوسانات زیادی در کشور ایران همراه بوده و با توجه به نمودارهای مربوطه در این مقاله نشان داده شده است که این

متغیر به صورت غیر خطی بوده و در همچنین نشان داده شده است که مدل مارکوف-سوئیچینگ توانایی بالایی در مدلسازی نرخ ارز خواهد داشت زیرا میانگین خطای کمتری خواهد داشت، به دلیل این که در کشور ایران متاسفانه تغییرات متغیرها به صورت ثابت یا به عبارتی با نوسانات و تغییرات کمی برخوردار نیستند، برای دقت بیشتر و توجه کردن باید تغییرات در طول هر دوره به طور کامل نشان داده شود، مدل مارکوف تغییرات هر رژیم را به طور کامل نشان می دهد و طبق نمودار مربوطه با سه رژیم مختلف، تغییرات این متغیر نشان داده شده است؛ بنابراین نتایج حاکی از آن است که رفتار نرخ ارز در ایران غیرخطی، نامتقارن و قابل تفکیک به سه رژیم مختلف است. لذا بر مبنای یافته‌های مدل مارکوف سوئیچینگ، پیشنهادات سیاستی زیر برای اقتصاد ایران توصیه می شود:

- رفتار نرخ ارز در ایران غیرخطی و نامتقارن است، لذا توصیه می شود از هرگونه پیش بینی و اتخاذ سیاست‌های کلان کشور بر اساس رفتار خطی و به ویژه متقارن نرخ ارز جدا خودداری شود در غیر این صورت سیاست اتخاذ شده از کارایی لازم برخوردار نخواهد بود.

- نرخ ارز ایران در سه رژیم مختلف، رفتار متفاوتی از خود نشان می دهد بنابراین در مدلسازی و پیش بینی نرخ ارز ایران باید این واقعیت کاملاً در نظر گرفته شود و سیاست های ارزی کشور بر اساس موقعیت زمانی آن اتخاذ و اعمال شوند.

- بدست آوردن ضرایب و پارامترها (مثل حساسیت نرخ ارز به تقاضا و عرضه بازار و محاسبه کشش صادرات و واردات به نرخ ارز)، تنها بر اساس یک سری زمانی بلندمدت و به کاربردن این ضرایب در اتخاذ سیاست‌های ارزی و تجاری ایران، فارغ از تفکیک رژیم‌های مختلف، می تواند خسارت‌های جبران ناپذیری را به دنبال داشته باشد لذا نتایج یافته‌های این پژوهش اکیدا نشان داد در نظر گرفتن رژیم قرارگیری نرخ ارز از اهمیت فوق‌العاده‌ای در کارایی تصمیمات سیاستی برخوردار است.

## کتابنامه

ابراهیمی، ایلناز، توکلیان، حسین (۱۳۹۱). طراحی یک سامانه هشداردهی زودهنگام بحرانهای ارزی در ایران با استفاده از رویکرد مارکوف سوئیچینگ. بیست و دومین همایش سالانه سیاست‌های پولی و ارزی، تهران، پژوهشکده پولی و بانکی.

- احسانفر، محمد، احتشامرائی، رضا (۱۳۹۴). پیشبینی نرخ ارز در بازار سرمایه با استفاده از مدل‌های میانگین متحرک خود رگرسیون انباشته و شبکه عصبی. مطالعه موردی: دلار استرالیا، دلار کانادا، ین، ژاپن و پوند انگلستان، فصلنامه دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، سال هشتم (شماره ۵۲)، ۲۷-۳۵.
- آماده، عفتی‌باران، فرشید، امینی، امین (زمستان ۱۳۹۳). فصلنامه علوم اقتصادی، سال ۸ (شماره ۹). تاثیر سیاست‌های تجاری و ارزی بر بخش صنعت ایران (۲۰۰۰). موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، صص ۹۰-۱۰۰.
- حیدری، حسن، بشیری، حسن، بررسی رابطه بین ناطمینانی نرخ واقعی ارز و شاخص قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران: مشاهداتی بر پایه مدل VAR-GARCH، فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی شماره ۹، پاییز ۱۳۹۱.
- خاشعی، مهدیوبیجاری، مهدی (۱۳۸۹). بیکارگیری مدل ترکیبی شبکه‌های عصبی مصنوعی با رگرسیون فازی با هدف پیش‌بینی قیمت طلا. مجله مهندسی صنایع، (شماره ۱)، ۳۹-۴۷.
- خیابانی، ناصر و غلج‌های، سمیرا (۱۳۹۳). رژیم‌های ارزی و فشار بازار ارز در یک اقتصاد صادرکننده نفت (مورد ایران). فصلنامه‌ی برنامه‌ریزی و بودجه، شماره (۳)، صفحات ۳-۲۲.
- سالارزهی، حبیب اله، کاشی، منصور، حسینی، سیدحسن، دنیایی، محمد (تابستان ۱۳۹۱). فصلنامه دانش سرمایه‌گذاری سال اول (شماره دوم).
- شاه‌حسینی، سمیه، رضایی، علی (بهار ۱۳۹۶). اقتصاد و تجارت نوین. پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی سال دوازدهم (شماره اول)، ۵۱-۸۰.
- شیرازی، همایون، نصرالهی، خدیجه (۱۳۹۲). مدل‌های پولی و پیش‌بینی نرخ ارز در ایران از تئوری تا شواهد تجربی. فصلنامه سیاست‌های مالی و اقتصادی، سال اول (شماره ۴)، ۵-۲۴.
- عباسی‌نژاد، حسین، گودرزی فراهانی (بهار ۱۳۹۳). فصلنامه پژوهش‌نامه اقتصادی سال چهاردهم (شماره ۵۲)، ۱-۲۶.
- فتاحی، شهرام، نظیفی، مینو، مدل‌سازی نرخ واقعی ارز ایران با استفاده از مدل چرخشی خودبازگشتی مارکف (MSAR)، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)، سال چهاردهم (شماره دوم)، تابستان ۱۳۹۳، صفحات ۱۷۸-۱۵۷.
- کازرونی، علیرضا و اصغرپور، حسین و محمدپور، سیاوش و بهاری، صابر (۱۳۹۱). اثرات نامتقارن نوسانات نرخ واقعی ارز بر رشد اقتصادی در ایران: رهیافت مارکوف-سوئیچینگ. مجله‌ی اقتصادی-دو ماهنامه‌ی بررسی مسائل و سیاست‌های اقتصادی، شماره‌های ۷ و ۸، صفحات ۵-۲۶.
- مرزبان، حسین، اکبریان، رضا و جواهری، بهنام (۱۳۸۴). یک مقاله بین مدل‌های اقتصادسنجی ساختاری سری زمانی و شبکه عصبی برای پیش‌بینی نرخ ارز. مجله تحقیقات اقتصادی (شماره ۶۹)، ۲۱۶-۱۸۱.
- محمدی، تیمور و رضا طالبلو (۱۳۸۹). پویایی‌های تورم و رابطه تورم و عدم اطمینان اسمی با استفاده از الگوی ARFIMA-GARCH. پژوهش‌نامه اقتصادی، سال دهم (شماره اول).

بررسی رفتار غیرخطی نرخ ارز در ایران: شواهدی از الگوی مارکوف ... ۴۹

مطهری، محب اله، لطفعلی پور، محمدرضا، شادمهری، محمدطاهر احمدی (زمستان ۱۳۹۴). فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد، سال دوم (شماره ۴)، صفحات ۹۲-۷۱.  
ممی پور، سیاب، جعفری، صغری. اموال موثر بر فشار بازار ارز در ایران: در چارچوب الگوی مارکوف-سوئیچینگ با احتمال انتقال متغیر، تحقیقات اقتصادی، دوره ۵۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، ص ۴۲۹-۴۵۷.

Abbate, A., & Marcellino, M. (2018). Point, interval and density forecasts of exchange rates with time varying parameter models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)*, 181(1), 155-179.

Hurst, H. E. (1951). Long-term storage capacity of reservoirs. *Trans. Amer. Soc. Civil Eng.*, 116, 770-799.

Ca'Zorzi, M., Muck, J., & Rubaszek, M. (2013). Real exchange rate forecasting: a calibrated half-life PPP model can beat the random walk.

Hamilton, J. D. (1989). A new approach to the economic analysis of nonstationary time series and the business cycle. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 357-384.

Macerinskiene, I., & Balciunas, A. (2013). Fundamental exchange rate forecasting models. Advantages and drawbacks. *KSI transactions on knowledge society*, 6(3), 9-17.

Moosa, Imad, Burns, Kelly (2014), "Error Correction Modeling and Dynamic specifications aca Conduit to Outperforming the Random Walk in Exchange Rate Forecasting", *Applied Economics*, Vol. 46, No. 25, 3107-3118.

Moosa, Imad, Burns, Kelly (2013), "The Monetary Model of Exchange Rates is Better than the Random Walk in Out-of-Sample Forecasting", *Applied Economics Letters*, Vol. 20, No. 14, pp. 1293-1297.

Quandt, R. E. (1972). A new approach to estimating switching regressions. *Journal of the American statistical association*, 67(338), 306-310.