

## پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ARIMA همراه با عامل‌های مداخله‌ای و مقایسه‌ی آن با مدل گام تصادفی

سمیه شاه‌حسینی\*

علی رضایی\*\*

### چکیده

نرخ ارز یکی از متغیرهای مهم و کلیدی اقتصادی می‌باشد که می‌تواند با تأثیر بر وضعیت تجارت خارجی و تراز پرداخت‌ها، تأثیرات به‌سزایی بر وضعیت تولید، تورم، اشتغال و سایر متغیرهای اقتصاد کلان بگذارد. با توجه به تغییرات فراوان نرخ ارز در ایران طی سی و پنج سال گذشته و علاوه بر آن با توجه به وابستگی درآمدهای ارزی کشور به صادرات نفت خام و وابستگی بودجه‌های سنواتی به نرخ ارز، تعیین نرخ ارز و پیش‌بینی نوسانات آن ضمن کاهش ریسک نوسانات نرخ ارز، منجر به برنامه‌ریزی بهتر در بودجه‌های سنواتی، واردات مواد اولیه مورد نیاز کشور و نیز صادرات غیرنفتی می‌شود. بر این اساس مقاله حاضر به مدل‌سازی و پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ARIMA همراه با عامل‌های مداخله‌ای می‌پردازد و این‌گور را با مدل گام‌برداری تصادفی مقایسه می‌کند. ابتدا با استفاده از نرم‌افزار R و بکارگیری داده‌های نرخ رسمی ارز از سال ۱۳۵۷ تا ۱۳۹۴، دو مدل مذکور برآزش شده و مقایسه می‌شوند و در مرحله بعد با مدل مناسب، نرخ رسمی ارز برای سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۴ پیش‌بینی می‌شود. نتایج حاکی از آن است که مدل ARIMA همراه با عامل‌های مداخله‌ای عملکرد بهتری در مقایسه با مدل گام تصادفی دارد.

**کلیدواژه‌ها:** نرخ ارز رسمی، پیش‌بینی نرخ ارز، مدل گام تصادفی، مدل خودرگرسیونی ARIMA، عامل‌های مداخله‌ای، پیش‌بینی.

\* استادیار گروه اقتصاد بازرگانی، دانشگاه علامه طباطبائی (نویسنده مسئول)، s.shahhosseini@atu.ac.ir

\*\* کارشناسی ارشد آمار ریاضی، دانشگاه علامه طباطبائی، ali.rezaei7091@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۵

## ۱. مقدمه

یکی از متغیرهای مهم و کلیدی اقتصاد که بر رفتار سایر متغیرها در اقتصاد داخل و بین‌الملل اثرگذار است، نرخ ارز می‌باشد که نوسانات آن می‌تواند تأثیرات قابل ملاحظه‌ای بر وضعیت بازرگانی خارجی کشورها و جریان سرمایه و بطور کل تراز پرداخت‌ها داشته‌باشد. در کشورهای درحال توسعه که تولید وابستگی زیادی به مواد اولیه، واسطه‌ای و سرمایه‌ای خارجی دارد، تأثیرات این متغیر شدیدتر و ماندگارتر است. به همین دلیل شناسایی عوامل مؤثر بر نرخ ارز و پیش‌بینی رفتار نرخ ارز از موضوعات حائز اهمیت اقتصاد بین‌الملل بوده و مورد توجه سیاست‌گذاران و محققان اقتصادی بویژه در کشورهای درحال توسعه می‌باشد.

بازار ارز خارجی به دلیل نقدشوندگی آن، عدم تجانس فعالان بازار و اندازه آن، بازاری منحصر به فرد است. بر طبق داده‌های بانک تسویه بین‌المللی ( BIS: Bank for International Settlement)، متوسط گردش مالی روزانه در بازار ارز خارجی در ماه اپریل ۲۰۱۳، ۵/۳ تریلیون دلار بوده که نسبت به سال ۲۰۱۲، ۳۳٪ افزایش داشت. بر این اساس افزایش اندازه و تنوع مشارکت‌کنندگان در بازار، ضرورت پیش‌بینی‌های نرخ ارز را ایجاب می‌کند (Macerinskiene and Balciunas, 2013: 9).

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. نگاهی به سیر تحولات نرخ ارز در ۳۶ سال گذشته نشان می‌دهد که اقتصاد ایران با سه جهش عمده در این مدت مواجه بوده است در حالی که میزان افزایش نرخ ارز در هر یک از سه جهش یکسان نبوده است. با توجه به اینکه نوسانات نرخ ارز یکی از موانع پیش‌برنده بسیاری از مبادلات و مراودات بین‌المللی می‌باشد، "آگاهی از تغییرات نرخ ارز می‌تواند مقامات پولی را برای طراحی یک سیاست پولی کارا به منظور تثبیت قیمت‌ها و افزایش سطح اشتغال مهیا کند (احسانی‌فر و احتشام راثی، ۱۳۹۴: ۳۶). از طرفی با توجه به وابستگی درآمدهای ارزی کشور به صادرات نفت و لذا وابستگی بودجه‌های سنواتی به نرخ ارز، تعیین نرخ ارز و پیش‌بینی نوسانات نرخ

ارز ضمن کاهش ریسک نوسانات نرخ ارز، منجر به برنامه‌ریزی بهتر در بودجه‌های سنواتی، واردات مواد اولیه مورد نیاز کشور و نیز صادرات غیرنفتی می‌شود.

پیش‌بینی نرخ ارز در کانون توجهات بسیاری از سیاست‌گذاران، اقتصاددانان و عاملان اقتصادی بوده و مطالعات مختلفی در زمینه مدل‌سازی و پیش‌بینی ارز انجام شده‌است تا جایی که یکی از معماهای اقتصاد بین‌الملل قابل پیش‌بینی بودن نرخ ارز است. در دهه‌های گذشته تصور بر این بوده که مدل‌های اقتصادی به ویژه مدل‌های پولی اساسی‌ترین ابزار پیش‌بینی نرخ ارز هستند. عملکرد ضعیف این مدل‌ها در پیش‌بینی نرخ ارز و حمایت ضعیف مطالعات تجربی از آن‌ها باعث شد که نسبت به مفید بودن آن‌ها در پیش‌بینی تردید جدی وارد شود (شیرازی و نصرالهی، ۱۳۹۲: ۶). گودمن (Goodman, 1979) مسأله بی‌فایده بودن پیش‌بینی را طرح کرده و بیان می‌کند که این مسأله مورد پذیرش اکثر اقتصاددانان می‌باشد. زیرا بازار ارز خارجی یک بازار کارا است. بازار کارا به این معنی است که عوامل عمده در بازار اعتقاد دارند که به تمام اطلاعات جاری که ممکن است در قیمت‌ها اثرگذار باشد، دسترسی دارند. نتیجه اینکه این اطلاعات در حال حاضر در قیمت‌ها منعکس شده‌اند یا اینکه حداقل در داده‌های تاریخی نرخ‌های ارز ثبت شده‌اند. بنابراین هیچ اطلاعات جدیدی که با استفاده از آن بتوان نرخ آتی ارز را پیش‌بینی کرد وجود ندارد.

این بدبینی در پیش‌بینی نرخ ارز پس از انتشار مقاله میس و رگوف (Meese and Rogoff, 1983) شدت یافت. از زمان شکست مدل‌های ساختاری در پیش‌بینی نرخ ارز در مقایسه با مدل گام تصادفی در کار میس و رگوف (۱۹۸۳)، تلاش برای توسعه مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز هم‌چنان ادامه دارد. به همین دلیل نیاز به ابزار و شیوه‌های پیش‌بینی نرخ ارز با کمترین خطا منجر به توسعه مدل‌های گوناگون برای پیش‌بینی آن شده‌است. با وجود توسعه ابزارها و شیوه‌های متعدد پیش‌بینی، هنوز پیش‌بینی‌های دقیق، به‌ویژه در بازار ارز کارچندان ساده‌ای نبوده و همین امر منجر شده تا محققان در این حوزه درصدد به‌کارگیری و ترکیب روش‌های متفاوت به‌منظور حصول به نتایج دقیق‌تر باشند.

در حالت کلی انتخاب مؤثرترین روش به منظور پیش‌بینی، کار دشواری است و بسیاری از محققان که روش‌های خطی و غیر خطی را بررسی کرده‌اند به این نتیجه رسیده‌اند که مدل‌های خودرگرسیون میانگین متحرک انباشته (ARIMA: Auto-Regressive Integrated) و شبکه‌های مصنوعی (ANN: Artificial Neural Network) و (Moving Average)

به ترتیب از جمله دقیق‌ترین مدل‌های خطی و غیرخطی در پیش‌بینی‌های سری‌های زمانی هستند (احسانی فر و احتشام راثی، ۱۳۹۴: ۳۶).

همانطور که پیش‌تر اشاره شد طی سال‌های گذشته تلاش‌های گوناگونی برای پیش‌بینی نرخ ارز توسط محققان و دانشگاهیان در سطح جهان انجام شده‌است. در ایران نیز پژوهش‌های زیادی در رابطه با بررسی رفتار نرخ ارز در کوتاه‌مدت و بلندمدت صورت گرفته‌است. اما پژوهش در زمینه بررسی وجود اثر مداخله‌ای در تغییرهای نرخ ارز محدود بوده و بیشتر تحقیقات انجام گرفته بر استفاده از رگرسیون‌های خطی استوار می‌باشد. از آنجا که تغییرات نرخ ارز در کشورهای مختلف متفاوت بوده و متأثر از عوامل مختلفی است و با توجه به اهمیت پیش‌بینی این متغیر از بعد اقتصاد کلان و بین‌الملل، در این تحقیق تلاش شده‌است با توجه به تغییرات نرخ ارز در ۳۵ سال گذشته، مدل سری زمانی مناسبی همراه با عامل‌های مداخله‌ای برای نرخ ارز در ایران ارائه و با مدل گام‌برداری تصادفی مقایسه شود و در نهایت پیش‌بینی نرخ ارز برای سال‌های آینده صورت پذیرد. برای برازش دو مدل، مقادیر نرخ رسمی ارز از سال ۱۳۵۷ تا ۱۳۹۴ مورد استفاده قرار گرفته‌است. با استفاده از مدل خودرگرسیون ARIMA همراه با عامل‌های مداخله‌ای و با استفاده از نرم‌افزار R دو مدل مقایسه و پیش‌بینی برای مدت زمان ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۴ انجام شده‌است.

مقاله حاضر در بخش‌های ذیل سازماندهی شده‌است: در بخش دوم، ادبیات نظری مرتبط با مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز و ادبیات نظری سری‌های زمانی بیان می‌شود. در بخش سوم شواهد تجربی موضوع به اختصار بیان شده و در ادامه بخش چهارم، به معرفی روش‌شناسی مدل ARIMA همراه با عامل مداخله‌ای اختصاص دارد. هم‌چنین، تحلیل تجربی، ساختار الگو و تجزیه و تحلیل نتایج در بخش پنجم ارائه خواهد شد. در نهایت در بخش ششم جمع‌بندی از نتایج تحقیق بیان می‌شود.

## ۲. مبانی نظری

در ادبیات نظری موضوع، روش‌ها و مدل‌های سری زمانی متعددی به‌منظور پیش‌بینی نرخ ارز ارائه شده‌است و محققان فراوانی در این زمینه به تحقیق پرداخته‌اند. همان‌طور که در مقدمه بیان شد برخی پژوهش‌گران معتقدند که مدل‌سازی رفتاری و پیش‌بینی نرخ ارز اساساً امکان‌پذیر نبوده و روند حرکتی هر نوع نرخ ارز از فرضیه‌ی بازار کارا پیروی می‌کند.

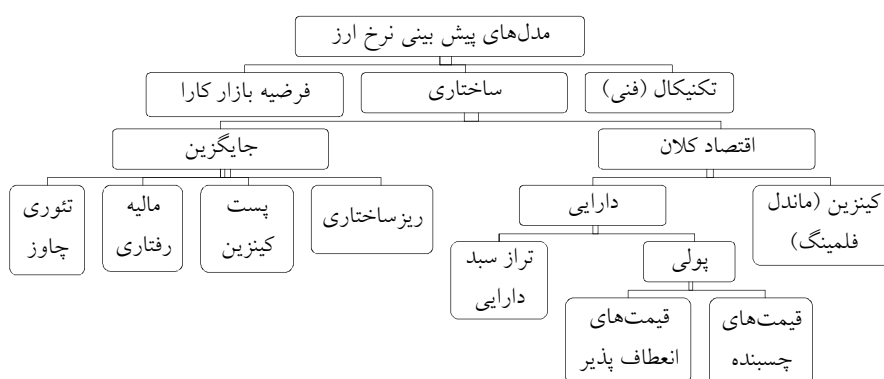
میس و روگوف (۱۹۸۳) در مقاله خود نشان دادند که هیچ‌یک از مدل‌های تک‌متغیره استفاده شده توسط آن‌ها قابلیت غلبه بر مدل گام تصادفی را در پیش‌بینی نرخ ارز ندارد. نتایج حاصله توسط آن‌ها توسط برخی از محققان بعدی نیز تأیید شده است. یک توضیح محتمل برای این شکست این است که ارتباط بین نرخ‌های ارز و متغیرهای اقتصاد کلان، ناپایدار و بی‌ثبات است که توسط باچتا و ون وینکوپ (Bacchetta and Van Wincoop, 2009) مطرح شده است. به علاوه وست و انگل (West and Engel, 2005) نشان داده‌اند که مدل قیمت‌گذاری دارایی که در آن حداقل یکی از متغیرها وجود دارد، یک ریشه واحد دارد و عامل تنزیل نزدیک به واحد است. این امر باعث می‌شود پیش‌بینی پذیری نرخ ارز با مشکل مواجه شود.

اواسط دهه ۱۹۹۰، مطالعاتی نظیر مارک (Mark, 1995) و چین و میس (Chinn and Meese, 1995) ادعا کردند که مدل گام‌برداری تصادفی (Random Walk) می‌تواند در افق زمانی بلندمدت موفق باشد. این دیدگاه خوش‌بینانه عمر زیادی نداشت و به‌طور قابل ملاحظه‌ای مورد نزاع و جدال بود. بعدتر روگوف (Rogoff, 2009) بیان می‌کند که احتمالاً مسأله پیش‌بینی‌پذیر نبودن نرخ ارز در آینده نیز باقی می‌ماند، همان معمای میس و روگوف در ۱۹۸۳ طرح کردند. در عین حال برخی از نویسندگان همچنان بحث می‌کنند که تئوری نرخ ارز تنها بر مبنای عملکرد پیش‌بینی آن نمی‌تواند کنار گذارده شود و از طرف دیگر همچنان قابلیت‌هایی از پیش‌بینی نرخ ارز وجود دارد (Ca' Zorzi et al, 2013: 5). با توجه به روش‌های متنوع پیش‌بینی نرخ ارز که در ادبیات اقتصادی مطرح است، مرور ادبیات نظری این تحقیق در دو بخش جداگانه شامل مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز و ادبیات نظری سری‌های زمانی به شرح ذیل ارائه می‌شود.

## ۱.۲ مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز

نظام ارزی موجود از دهه ۱۹۷۰ و بعد از فروپاشی نظام برتون وودز به وجود آمده است. از همان زمان تلاش‌های گوناگونی برای پیش‌بینی 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 به کار می‌رود وجود ندارد (Macerinskiene and Balciunas, 2013: 9).

برخی از محققان مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز را به سه گروه مدل‌های ساختاری (Fundamental Models)، مدل‌های تکنیکال (Technical Models) و مدل‌های جایگزین (Alternative Models) تقسیم‌بندی می‌کنند و برخی دیگر چهار گروه معرفی می‌کنند به این ترتیب که مدل‌های فرضیه بازار کارا (Efficiency Market Hypothesis) را نیز در نظر می‌گیرند. مدل‌های تکنیکال، نرخ ارز را براساس نوسانات گذشته آن پیش‌بینی می‌کنند در حالی که مدل‌های ساختاری، نرخ ارز را از طریق محاسبه بر مبنای متغیرهای اقتصاد کلان تعیین می‌کنند. رویکرد مدل‌های جایگزین، مدل‌های غیر متعارف برای پیش‌بینی می‌باشد و مدل‌های فرضیه بازار کارا نیز فرض غیر قابل پیش‌بینی بودن نوسانات را در نظر می‌گیرند. در بین محققان روی این‌که کدام رویکرد از رویکردهای موجود و اینکه در هر گروه، کدام مدل مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی نرخ ارز هستند، هیچ اتفاق نظری وجود ندارد. یک طبقه‌بندی عمومی از مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز وجود دارد که توسط برخی از محققین انجام شده است. نمودار ۱، طبقه‌بندی متعارف از مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز در ادبیات اقتصادی را نشان می‌دهد.



نمودار ۱. طبقه‌بندی مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز

منبع: ماکرینسکین و بلسیونس (۲۰۱۳): ۱۰

## ۱.۱.۲ مدل‌های فرضیه بازار کار

فرض اصلی این مدل‌ها این است که کارایی بازار ارز بسیار قدرتمند است و تغییرات نرخ ارز قابل پیش‌بینی نمی‌باشد که به معنای کاربرد فرضیه گام‌برداری تصادفی می‌باشد. ساده‌ترین الگوی مدل گام تصادفی می‌تواند به شکل معادله زیر بیان شود.

$$S_t = E(S_{t+1})$$

که  $S_t$  نرخ ارز در دوره  $t$  و  $E(S_{t+1})$  نرخ ارز دوره بعد است. اگر بازار ارز خارجی به صورت کامل کارا باشد، همه اطلاعات در نرخ ارز جاری منعکس شده است. نرخ ارز تنها زمانی تغییر می‌کند که برخی اطلاعات جدید اعلام شوند. اما از آنجا که هیچ‌کس نمی‌داند این اطلاعات چه هستند و چه زمانی اعلام می‌شوند، بنابراین نرخ ارز غیر قابل پیش‌بینی است. براساس این مدل، تغییرات آینده نرخ ارز از نوسانات گذشته مستقل هستند و این واقعیت، پیش‌بینی آنها برای آینده را غیر ممکن می‌کند. مقالات تحقیقی متنوعی وجود دارند که شواهدی از چنین مدل‌هایی را ارائه می‌کنند. در عین حال اقتصاددانانی نظیر گودمن (Goodman, 1979) مطرح می‌کنند فرضیه بازار کارا اساساً به این معنی نیست که نرخ ارز به مبانی و ساختارهای اقتصادی غیر مرتبط است یا اینکه نرخ‌های ارز باید حول ارزش گذشته خود بطور تصادفی نوسان کنند.

در برخی طبقه‌بندی‌های انجام شده، فرضیه بازار کارا مبنای ایجاد رویکردهای تکنیکال برای تحلیل رفتار نرخ ارز می‌باشد. "در این مدل‌ها، فرصت‌های شناخته‌شده جهت به دست آوردن هرنوع سود غیر نرمال در بازار حذف گردیده است و انتظارات عقلایی (RE: Rational Expectation) نقش تعیین‌کننده‌ای در این مدل ایفا می‌کند. به دلیل وجود برخی ضعف‌ها در بعضی از مدل‌های فرضیه بازار کارا و عدم انطباق با مشاهدات تجربی، فرضیه گام تصادفی (RWH: Random Walk Hypothesis) که حمایت‌های تجربی گسترده‌ای از آن صورت گرفته است و نیز در ارتباط با فرضیه بازار کارا بوده در پیش‌بینی نرخ ارز به عنوان یکی از روش‌های مؤثر دیگر مطرح گردید که در مطالعات تجربی مربوط به این رویکرد، انواع و اشکال بسیار گسترده آن به صورت مدل‌های خودرگرسیون، مدل میانگین متحرک، مدل خودرگرسیون با میانگین متحرک و سایر مدل‌ها مطرح می‌باشد" (مطهری و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۵ و ۷۶).

## ۲.۱.۲ 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. البته تحقیق میس و روگوف (۱۹۸۳) نشان داد که مدل‌های اقتصاد کلان که در ادبیات امروز اقتصاد دیده می‌شود، برای پیش‌بینی نرخ ارز نامناسب هستند. موسا و بهاتی (Moosa and Bhatti, 2010) یک گروه

جایگزین از مدل‌ها ارائه می‌کنند. این مدل‌ها در پاسخ به عدم موفقیت عملکرد مدل‌های ساختاری ایجاد شدند که عبارتند از مدل ریزساختاری (Microstructure model)، مالیه رفتاری (Behavioral finance)، پست کینزین (Post-Keynesian) و تئوری چاوزو همکاران (Chaos and others). مدل‌های ساختاری به شکل زیر قابل طبقه‌بندی هستند:

#### ۱.۲.۱.۲ تئوری برابری قدرت خرید (PPP: Theory of Purchasing Power Parity)

مرجع نظری استاندارد برای پیش‌بینی نرخ ارز، فرضیه برابری قدرت خرید است که یکی از برجسته‌ترین و جدال‌انگیزترین نظریه‌ها در تاریخ اندیشه اقتصادی است (Ca' Zorzi et al, 2013: 3). اقتصاددان سوئدی به نام گوستارکاسل (Cassel. G.) در ۱۹۱۹ و ۱۹۲۲ نشان داد که نرخ ارز متناسب با سطح عمومی قیمت‌ها تغییر می‌کند. 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). این مدل یک روش ساده تخمین نرخ ارز تعادلی در وضعیت عدم تعادل تراز پرداخت‌ها است. باید قیمت یک کالای معین پس از تبدیل پول ۲ کشور، با یکدیگر برابر باشد. 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 و مخالف نظریه برابری قدرت خرید تغییر کرده است (Ca' Zorzi et al, 2013: 5).

#### ۲.۲.۱.۲ تئوری برابری نرخ بهره (IRP: Theory of Interest Rate Parity)

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.

#### ۳.۲.۱.۲ مدل ماندل فلمینگ (MFM: Mundell-Fleming Model)

این مدل براساس نظریات ماندل (۱۹۶۸) و فلمینگ (۱۹۶۲) در دهه ۱۹۶۰ مطرح شد. در این مدل حساب سرمایه تراز پرداخت‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. این مدل براین



اساس استوار است که مازاد تقاضای خالص برای ارز همان میزان تراز پرداخت‌ها است که تحت شرایط تعادل و نرخ ارز شناور این مقدار (مازاد تراز پرداخت‌ها) باید مساوی صفر باشد. تقاضای ارز تقاضای افراد داخل برای پول خارجی است که خواهان خرید کالا و سرمایه از افراد خارجی می‌باشند. طبق این مدل تأثیرگذارترین عوامل بر روی نرخ ارز تولید ناخالص داخلی، عرضه پول، مخارج دولت، نرخ بهره حقیقی داخلی و درآمدهای مالیاتی می‌باشد (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۱۵ و ۱۱۶). این رویکرد که بر فروض کینزی استوار است، مورد انتقاد قرار گرفت و پس از آن مدل‌های پولی ظهور کردند.

#### ۴.۲.۱.۲ مدل پولی (MM: Monetary Model)

در این مدل‌ها نرخ ارز را با عرضه و تقاضای پول داخلی و خارجی مدل‌سازی می‌نمایند. تحت نظام نرخ ارز انعطاف‌پذیر، عدم تعادل تراز پرداخت‌ها با تغییرات خودکار نرخ ارز و بدون انتقال پول یا ذخایر خارجی سریعاً تعدیل می‌شود. این رویکرد در مورد عرضه و تقاضای پول در هر کشور ۲ فرض را بیان می‌کند. الف) میزان تقاضای ارز (پول خارجی) به درآمد واقعی، سطح عمومی قیمت‌ها و نرخ بهره بستگی دارد. ب) میزان عرضه ارز (پول خارجی) به وسیله بانک مرکزی و بطور مستقل مشخص می‌شود. با افزایش نرخ بهره، هزینه فرصت نگهداری پول افزایش می‌یابد در نتیجه تمایل افراد برای نگهداری پول نقد کاهش می‌یابد و منجر به کاهش تقاضا برای مانده حقیقی پول می‌شود. با افزایش سطح عمومی قیمت‌ها، تقاضای پول افزایش می‌یابد. همین اثر با افزایش درآمد واقعی نیز اتفاق می‌افتد (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۱۶).

مدل‌های پولی در قالب دو مدل پولی با قیمت انعطاف‌پذیر (Flexible Price Model) و مدل پولی با قیمت‌های چسبنده (Sticky Price Model) بررسی می‌شود. در مدل پولی با قیمت‌های انعطاف‌پذیر، برابری قدرت خرید در کوتاه‌مدت به‌طور پیوسته فرض می‌شوند. در حالی که در حالت مدل پولی با قیمت‌های چسبنده، برابری قدرت خرید فقط در بلندمدت صادق است که این ناشی از چسبندگی قیمت در کوتاه‌مدت است (مطهری و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۴).

#### ۵.۲.۱.۲ مدل تراز سبب دارایی (Portfolio Balance Models)

در این الگو مازاد (کسری) حساب جاری منجر به افزایش (کاهش) میزان خالص موجودی دارایی‌های خارجی است که بر سطح دارایی کل تأثیر می‌گذارد و تقاضا برای ارز

۶۰ پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ARIMA همراه با ...

را تحت تاثیر تقاضا برای دارایی‌های مالی می‌داند. تعیین نرخ مبادله ارز در نتیجه تعادل دارایی‌های مالی به دست می‌آید و برخلاف رویکرد پولی نقش تجارت بین‌الملل و مبادلات بازرگانی دیده می‌شود.

### ۳.۱.۲ مدل‌های تکنیکال (فنی)

در رویکرد سری زمانی یا تک متغیره یا تکنیکال، نوسانات گذشته و روند تغییرات نرخ ارز برای پیش‌بینی روند آتی آن بکار می‌رود. در این مدل‌ها همانطور که پیش‌تر اشاره شد، پیش‌بینی نرخ ارز برپایه عملکرد گذشته برخی متغیرها پایه‌گذاری شده‌است که به معنی پذیرش این فرض است که گذشته خودش را تکرار می‌کند. علت توسعه مدل‌سازی فنی، ناکامی بعضی از مدل‌های بنیادی در توضیح و پیش‌بینی نرخ ارز کوتاه‌مدت بوده‌است (مطهری و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۵). تحلیل تکنیکال بر سه اصل استوار است (درگاهی و انصاری، ۱۳۸۷: ۶).

الف) همه عواملی که بر نرخ ارز اثرگذار هستند، در رفتار مشاهده شده نرخ ارز که در قالب نمودارها عرضه می‌شوند، منعکس شده‌اند. ب) نرخ ارز بر اساس روندهای تداومی تغییر می‌کند. تعادل عرضه و تقاضا یک روند متحرک را به وجود می‌آورد که تا وقتی که پایان یابد، دست نخورده باقی می‌ماند. ج) رفتار بازار تکرار شونده است.

### ۲.۲ سری‌های زمانی

در سال‌های اخیر با ثبت منظم داده‌ها و به وجود آمدن بانک‌های اطلاعاتی در سراسر دنیا، تمایل به استفاده از سری‌های زمانی افزایش یافته‌است. سری‌های زمانی دنباله‌ای از مشاهده‌ها هستند که در طول زمان جمع‌آوری شده‌اند و از دیرباز در بیشتر رشته‌ها مانند اقتصاد، مهندسی ارتباطات، زمین‌شناسی و غیره کاربرد فراوانی داشته‌اند. تفاوتی که بین سری‌های زمانی با سایر روش‌های مدل‌سازی از جمله رگرسیون وجود دارد، این است که در سری‌های زمانی با استفاده از اطلاعات قبلی مقادیر آینده را پیش‌بینی می‌کنند، در حالی که در روش‌های مدل‌سازی اغلب با استفاده از متغیرهای دیگر سعی می‌شود متغیر موردنظر پیش‌بینی شود. به همین دلیل معمولاً قدرت سری‌های زمانی در پیش‌بینی کم‌تر است، اما به دلیل این‌که به اطلاعات جانبی کم‌تری نیاز دارد، تمایل به استفاده از آن زیاد می‌باشد. داده‌ها در سری زمانی معمولاً مجموعه‌ای از مشاهده‌های متوالی می‌باشند که به صورت منظم با

فواصل زمانی یکسان مرتب شده‌اند. زمان در سری زمانی بسته به نوع متغیر مورد بررسی و هدف می‌تواند روز، هفته، ماه یا سال باشد.

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، بکارگیری روش‌های سری زمانی به‌منظور پیش‌بینی متغیرهای پولی و مالی، بهبود تصمیم‌گیری‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها به ضرورتی انکارناپذیر در دنیای امروز تبدیل شده‌است. پیش‌بینی سری‌های زمانی یکی از مهم‌ترین زمینه‌های پیش‌بینی است که در آن مشاهدات گذشته یک متغیر جمع‌آوری و به‌منظور به‌دست آوردن روابط اساسی بین مشاهدات و تعیین یک مدل توصیفی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و سپس مدل حاصل به‌منظور برون‌یابی سری‌های زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش مدل‌سازی مخصوصاً زمانی مفید است که درمورد فرآیند اساسی تولید داده‌ها دانش کمی در دسترس باشد و یا هنگامی که هیچ مدلی توضیح رضایت‌بخشی که متغیر وابسته را به سایر متغیرهای توضیحی مرتبط سازد وجود نداشته باشد (خاشعی و همکاران، ۱۳۹۲: ۶۳).

تجزیه و تحلیل سری زمانی بر دو فرض اساسی استوار است که عبارتند از فرض ایستایی و خطی بودن. دو دسته مدل در این گروه قرار دارند. مدل‌های پارامتری که در این مدل‌ها پذیره‌هایی مانند نرمال بودن یا در حالت بهتر مشخص بودن توزیع آماری جزء بخشی از روش است. مدل‌های ARIMA و ویرایش‌های غیرخطی ARCH و GARCH از جمله مهم‌ترین مدل‌های پارامتری هستند که برای پیش‌بینی نرخ ارز استفاده می‌شوند. مدل‌های ناپارامتری در صورتی که پذیره‌های مدل‌های پارامتری برقرار نباشند و امکان تصحیح مدل با استفاده از ابزارهایی مانند تبدیل، وزن‌دهی و تفاضل‌گیری فراهم نباشد، می‌تواند یک راهکار جایگزین باشد. روش‌هایی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی و موجک‌ها از جمله این روش‌ها است.

یکی از پرکاربردترین مدل‌های سری‌های زمانی، مدل‌های خودرگرسیون میانگین متحرک انباشته‌اند. از زمان پیشنهاد این‌گونه مدل‌ها توسط باکس-جینکینز (Box & Jenkins) تا به امروز از این مدل‌ها در مقالات متعددی به‌منظور بهبود دقت روش‌های موجود و یا ارائه روش‌های ترکیبی جدید به‌منظور پیش‌بینی نرخ ارز استفاده شده‌است. اما علی‌رغم تمامی مزایای منحصر به فردی که برای این‌گونه از مدل‌ها در نظر گرفته شده‌است مدل‌های خودرگرسیون میانگین متحرک انباشته معایبی نیز دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به محدودیت خطی بودن و نیاز به داده‌های زیاد برای حصول نتایج مطلوب اشاره کرد (پارمحمدی و محمودوند، ۱۳۹۵: ۱۳۶).

### ۳. مروری بر مطالعات تجربی و یافته‌های آن‌ها

#### ۱.۳ مطالعات انجام‌شده در خارج

مک دونالد و تیلور (MacDonald and Taylor, 1993) نوعی از انتظارات عقلایی مدل پولی را با استفاده از داده‌های ماهانه مارک آلمان در قبال دلار آمریکا طی دوره زمانی ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ برآورد کرده و بحث می‌کنند که تست‌های قبلی اشتباه به‌کار گرفته می‌شد. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌های ایجاد شده توسط یک مدل تصحیح خطای پویا بر مدل گام تصادفی برتری دارد.

موسا و برنز (Moosa and Burns, 2013) 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 معیارهایی نظیر بزرگی خطای پیش‌بینی و قدرت مدل در پیش‌بینی جهت تغییرات استفاده کردند. نتایج مطالعه‌ی آن‌ها نشان داده‌است 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 ۱۹۹۰:۱ تا ۲۰۱۰:۷ می‌باشد. 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 شده‌است.

کازرزی و همکاران (Ca' Zorzi et al, 2013) با استفاده از داده‌های ماهانه ۹ ارز شامل ارز کشورهای استرالیا، کانادا، اتحادیه اروپا، ژاپن، مکزیک، نیوزلند، سوئیس، انگلیس و ایالت متحده آمریکا برای دوره ۱:۱۹۷۵ تا ۳:۲۰۱۳، سه دیدگاه جدید را در رویکرد برابری قدرت خرید به بحث می‌گذارند. اول نشان می‌دهند مدل برابری قدرت خرید نیمه عمر قادر است نرخ ارز حقیقی را بهتر از مدل گام تصادفی هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت پیش‌بینی کند. دوم اینکه سرعت تعدیل به سمت میانگین نمونه در مقادیر کالیبره شده بهتر از مدل برآوردی می‌باشد.

لی، تسیاسکاس و وانگ (Li, Tsiakas and Wang, 2015) در مطالعه خود نشان داده‌اند که مدل بنیادی بر مبنای رگرسیون سینک آشپزخانه (استفاده از همه متغیرهای پیش‌بینی کننده نرخ ارز در رگرسیون) می‌تواند پیش‌بینی‌های قابل اعتمادتری را برای نرخ‌های ارز ارائه کند. نکته اساسی در توانایی پیش‌بینی برآوردی رگرسیون سینک آشپزخانه، این است که اثر

پیش‌بینی‌کننده‌هایی که کمتر حاوی اطلاعات مفید هستند را کاهش می‌دهد و بدین ترتیب عملکرد پیش‌بینی خارج از نمونه را بهبود می‌بخشد. آن‌ها در تحقیق خود داده‌های نرخ ارز برای دلار آمریکا، دلار استرالیا، دلار کانادا، فرانک سوئیس، مارک آلمان، پوند انگلیس، ین ژاپن، کورن نروژ، دلار نیوزلند و کرونا سوئد را به صورت ماهانه از ژانویه ۱۹۷۶ تا جون ۲۰۱۲ بکار برده‌اند.

آباته و مارسلینو (Abbate and Marcellino, 2014) 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 کرده‌است.

هانر و همکاران (Hauer et al, 2011) با استفاده از داده‌های انتظارات بازار، این سؤال را مطرح می‌کنند که کدام یک از مدل‌های معروف نرخ ارز با پیش‌بینی‌های بازار و انتظارات سازگارتر هستند؟ آن‌ها با بکارگیری داده‌های مربوط به نرخ ارز ۵۵ کشور پیشرفته و نوظهور که پیش‌بینی نرخ ارز آن‌ها برای دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶ منتشر شده بود، دریافتند انتظارات بازار با تغییرات تورمی و بهره‌وری ارتباط بیشتری دارد. این نتیجه دلالت دارد که برابری قدرت خرید نسبی و اثر بالاسا-ساموئلسون عوامل متداول در شکل‌گیری انتظارات پیش‌بینی‌کننده‌های بازار هستند.

موسا 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. آن‌ها 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 ۲۰۰۰:۱ تا ۲۰۱۲:۱۲ استفاده کردند.

### ۲.۳ مطالعات انجام شده در داخل

مرزبان و همکاران (۱۳۸۴) در مقاله خود به بررسی این سؤال پرداختند که آیا شبکه‌های عصبی مصنوعی در مقایسه با الگوهای سنتی و گام تصادفی (Random Walk) دارای نتایج بهتری هستند؟ نتیجه اینکه الگوی فرآیند گام تصادفی نسبت به الگوهای ساختاری پولی در

پیش‌بینی نرخ ارز رسمی ایران (ریال به دلار آمریکا) از عملکرد بهتری برخوردار است. آن‌ها با مقایسه مستقیم عملکرد مدل‌های اقتصادسنجی ساختاری و سری زمانی با شبکه‌های عصبی (غیر خطی) و با داده‌های ماهانه مهر ۱۳۵۹ تا دی‌ماه ۱۳۸۱، نشان دادند که مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌وضوح از قدرت بیشتری در زمینه پیش‌بینی نرخ ارز برخوردار هستند.

ابونوری و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) نرخ روزانه دلار آمریکا در ایران طی دوره زمانی فروردین ۱۳۸۱ تا اسفند ۱۳۸۴ را مدل‌سازی و به‌صورت روزانه پیش‌بینی کردند. آن‌ها با کمینه نمودن خطای پیش‌بینی روزانه در این روش، نتایج را با مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل ARIMA براساس معیارهای اندازه‌گیری دقت پیش‌بینی مورد مقایسه قرار دادند و این نتیجه را ارائه کردند که شبکه عصبی مورد استفاده نسبت به مدل ARIMA از قدرت پیش‌بینی بهتری برخوردار است.

فتاحی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از الگوریتم ژنتیک یک الگوی ترکیبی شامل مدل‌های ساختاری و سری زمانی را ارائه کرده و عملکرد آن‌ها را با مدل‌های ساختاری و سری زمانی منفرد و هم‌چنین با روش‌های دیگر ترکیب مانند استفاده از میانگین مقایسه کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد که در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ برای نرخ ارز ریال-دلار در میان روش‌های پیش‌بینی نرخ ارز، روش ترکیب مدل‌ها به وسیله الگوریتم ژنتیک دقت بالاتری دارد.

شیرازی و نصرالهی (۱۳۹۲) به پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از الگوهای پولی مختلف و مقایسه نتایج آن‌ها با الگوی گام تصادفی پرداختند. آمارهای مربوط به مدل‌های پولی برای دوره زمانی ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۸ و اطلاعات نرخ ارز بازار موازی برای دلار آمریکا در اقتصاد ایران می‌باشد. نرخ ارز ایران در مدل پولی با استفاده از روش‌های VECM برآورد شده است. در مرحله بعد نرخ ارز با استفاده از مدل گام‌برداری تصادفی برای دوره ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ محاسبه گردید. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که مدل گام‌برداری تصادفی عملکرد بهتری در مقایسه با مدل‌های پولی دارد و در میان مدل‌های پولی، مدل فرانکل-دورنبوش، پیش‌بینی بهتری را در مقایسه با دیگر مدل‌ها ارائه می‌کند.

خداویسی و ملابهرامی (۱۳۹۱) دو مدل براساس معادلات دیفرانسیل تصادفی حرکت براونی ژئومتری (GBM: Geometric Brownian Motion) و مدل انتشار-پرش مرتن (MJD: Merton-Jump-Diffusion) را جهت برآزش و پیش‌بینی روند آتی سری زمانی نرخ ارز

بازار رسمی ایران ارائه کردند. آن‌ها با استفاده از داده‌های روزانه نرخ ارز بازار رسمی ایران (ریال در مقابل دلار) در بازه زمانی ۲۳ فروردین ۱۳۸۰ تا اول مرداد ۱۳۹۰، و مقایسه بین این مدل‌ها و مدل‌های اقتصادسنجی ARIMA، نشان می‌دهند مدل MJD بر مدل‌های GBM و ARIMA در پیش‌بینی خارج از نمونه‌ی نرخ ارز براساس گشتاورهای RMSE برتری دارد. خاشعی و همکاران (۱۳۹۲) روش ترکیبی جدید از پرسپترون‌های چندلایه با استفاده از شبکه‌های عصبی احتمالی را برای پیش‌بینی نرخ ارز یورو در مقابل ریال ایران ارائه کرده‌اند. روش پیشنهادی آن‌ها با بکارگیری قابلیت‌های منحصربه‌فرد شبکه‌های عصبی احتمالی در تشخیص نقاط شکست، عملکرد و دقت مدل در پیش‌بینی سری‌های زمانی را افزایش داده‌است. نتایج حاصل از بکارگیری روش ترکیبی پیشنهادی به‌منظور پیش‌بینی نرخ ارز بیانگر کارآمدی روش پیشنهادی در افزایش دقت پیش‌بینی‌ها بوده‌است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، داده‌های روزانه نرخ ارز یورو مربوط به سیزدهم بهمن‌ماه ۱۳۸۴ تا هجدهم خردادماه ۱۳۸۵ می‌باشد.

زراءنژاد و همکاران (۱۳۸۷) دو مدل خودتوضیح جمعی میانگین متحرک (ARIMA) و شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) را برای پیش‌بینی نرخ روزانه ارز (دلار کانادا، یورو، پوند، ین ژاپن و دلار آمریکا) از دوره زمانی مارس ۲۰۰۶ تا فوریه ۲۰۰۹ مورد استفاده قرار داده‌اند. نتیجه مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد شبکه‌های عصبی تخمین‌های بهتری نسبت به روش ARIMA ارائه می‌کنند.

در مقاله بافنده ایمان‌دوست و همکاران (۱۳۸۸)، کارایی مدل‌های غیرخطی با مدل‌های خطی سری زمانی در پیش‌بینی برابری نرخ ارز ریال/دلار و ریال/یورو برای ۲، ۴ و ۸ روز با استفاده از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی کارایی مدل‌ها و داده‌های روزانه مربوط به دوره ۱۳۸۱/۱/۱ تا ۱۳۸۷/۹/۱ مقایسه شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های غیرخطی در مقایسه با مدل‌های خطی از کارایی بیشتری در پیش‌بینی نرخ ارزهای مورد بررسی برخوردار می‌باشند.

در تحقیق احسانی‌فر و احتشام‌راثی (۱۳۹۴)، توانایی پیش‌بینی مدل‌های خودتوضیح جمعی میانگین متحرک و شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد مقایسه قرار می‌گیرد. از این دو روش برای پیش‌بینی نرخ روزانه ارز در دوره‌های ۱۹۹۰/۱/۱ تا ۲۰۱۲/۱/۱ استفاده شده‌است. نتایج تحقیق نشان داده‌است که روش شبکه‌های عصبی تخمین‌های بهتری نسبت به روش میانگین متحرک خودرگرسیون انباشته ارائه می‌کند. در این مطالعه از داده‌های

اقتصادی کشورهای استرالیا، کانادا، ژاپن و انگلستان و نرخ ارز آن کشورها نسبت به دلار آمریکا استفاده شده‌است.

یارمحمدی و محمودوند (۱۳۹۵) در تحقیق خود از روش تحلیل مجموعه مقادیر تکین (SSA: Singular Spectrum Analysis) که یک روش ناپارامتری برای تحلیل سری‌های زمانی است، برای مدل‌سازی و پیش‌بینی نرخ روزانه دلار به ریال در بازه زمانی تیرماه ۹۲ تا شهریور ۹۴ استفاده کردند. برای ارزیابی کیفیت مدل ارائه شده از مدل ARIMA به‌عنوان یک مدل رقیب استفاده شده‌است. برای مقایسه دو مدل، خطای برازش (درون نمونه‌ای) و خطای پیش‌بینی (برون نمونه‌ای) برای گام‌های پیش‌بینی کوتاه‌مدت، متوسط و بلندمدت استفاده شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که SSA می‌تواند بعنوان یک روش توانمند برای این منظور بکار گرفته شود.

در مقاله بهرام‌پور و جوادیان (۱۳۹۳) به پیش‌بینی نرخ جفت ارز دلار/یورو در بازار فارکس با استفاده از شبکه عصبی و مدل ARIMA پرداخته شده و دو مدل مقایسه شدند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که شبکه‌های عصبی از قدرت پیش‌بینی بهتری برخوردار هستند. همانطور که مطالعات پیشین نشان می‌دهند، مطالعات پیش‌بینی نرخ ارز اصولاً به مقایسه مدل‌های مختلف پیش‌بینی نرخ ارز پرداخته‌اند و نتایج متفاوتی از برتری مدل‌های موجود در پیش‌بینی نرخ بدست آمده‌است. با توجه به مطالعات گذشته، تاکنون در هیچ مطالعه‌ای از روش مدل خودتوضیح جمعی میانگین متحرک (ARIMA) همراه با عامل‌های مداخله‌ای استفاده نشده‌است که از این جهت این مقاله دارای نوآوری در روش برآورد و پیش‌بینی می‌باشد.

#### ۴. روش‌شناسی مدل ARIMA همراه با عامل‌های مداخله‌ای

یک سری زمانی فاقد هر یک از شرایط مانایی از جمله تنوع رفتار توابع میانگین و اتوکواریانس نامانا نامیده می‌شود. در مقایسه با نمودار سری‌های زمانی مانا که تمایل به نوسان حول سطحی ثابت با دامنه‌ای ثابت دارند، تغییر در سطح یا دامنه‌ی نوسان، از مشخصه‌های نمودارهای سری‌های زمانی نامانا است. معمولاً در تحلیل چنین سری‌هایی نخست با استفاده از تبدیل‌های مناسب، آن‌ها را به سری‌هایی با میانگین و واریانس ثابت تبدیل کرده، سپس از مدل‌ها و روش‌های تحلیل سری‌های مانا استفاده می‌کنند. یکی از روش‌های پرکاربرد برای حذف روند در سری زمانی و تثبیت‌کننده‌ی میانگین و واریانس،



تفاضلی کردن است، برای این منظور عملگر تفاضلی مرتبه‌ی اول، یا  $\nabla$  را به صورت زیر تعریف می‌شود (خزائی، ۱۳۸۷: ۱۴۲):

$$\nabla X_t = X_t - X_{t-1} = (1 - B)X_t$$

از مزایای این روش می‌توان به محاسبات ساده و درگیر نشدن با خطای حاصل از برآورد پارامترها اشاره کرد. در حالت کلی، سری‌های زمانی نامانایی که بعد از تفاضلی کردن مرتبه‌ی  $d$  تبدیل به سری زمانی مانایی از نوع  $ARMA(p,q)$  می‌شوند، معروف‌اند به سری‌های زمانی میانگین متحرک جمع‌بسته‌ی خودرگرسیون  $ARIMA(p,d,q)$  که باکس و جنکینز (۱۹۷۰) این نوع نامانایی را نامانایی همگن نامیده‌اند و فرم کلی آن به صورت زیر می‌باشد:

$$\varphi_p(B)\nabla^d X_t = \theta_q(B)Z_t$$

که  $\{Z_t\} \sim WN(0, \sigma^2)$  است و  $\varphi_p = 1 - \varphi_1 B - \dots - \varphi_p B^p$  و  $\theta_q = 1 + \theta_1 B + \dots + \theta_q B^q$  میانگین متحرک مرتبه‌ی  $p$  و میانگین متحرک مرتبه‌ی  $q$  هستند و مرتبه‌ی تفاضلی را نشان می‌دهد (نیرومند، ۱۳۹۱: ۸۷).

سری‌های زمانی اغلب به وسیله‌ی پیشامدهای خارجی از قبیل: اعتصاب‌ها، تحولات و سایر تغییرات در سیاست متأثر می‌شوند که به این پیشامدهای خارجی عامل‌های مداخله‌ای می‌گویند. در مواجهه با چنین شرایطی معمولاً از دو شیوه استفاده می‌کنند: یک روش این است که بر استفاده از مدل مفروض اصرار شود ولی از روش‌های برآوردی استفاده شود که نسبت به اثر مداخله‌ها استوار باشند یا اینکه از مدلی استفاده شود که اثر عامل‌های مداخله‌ای را در مدل تبیین کند که در مقاله حاضر از رویکرد دوم استفاده شده است. چهار نوع عامل مداخله‌ای وجود دارد که عبارتند از: عامل مداخله‌ای جمعی (AO: Additive Outlier) و عامل مداخله‌ای نوآورانه (IO: Innovational Outlier) که توسط فاکس (Fox, 1972) معرفی شدند و عامل مداخله‌ای انتقال سطح (LS: Level Shift) و تغییر گذرا در سطح (TC: Transient Change) که توسط تسای (Tsay, R.S., 1984) با پیروی از کار باکس و تیائو (Box, G.E.P; Tiao, G.C., 1975) معرفی شدند. عامل AO فقط روی مشاهده‌ی  $T$ ام تأثیر گذار است و عامل IO بر تمام مشاهده‌های بعد از زمان  $T$  نیز اثر گذار می‌باشد، عامل LS دنباله‌ای از عوامل AO با اندازه یکسان است که از زمان  $T$  آغاز می‌شود و تا انتهای سری زمانی باقی می‌ماند، یعنی از زمان  $T$  سطح سری به اندازه‌ی  $WLS(T)$  انتقال پیدا کرده است و در آخر عامل TC نشان می‌دهد که سطح سری زمانی در زمان  $T$  به چه

۶۸ پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ARIMA همراه با ...

اندازه‌ای تغییر می‌کند اما مقدار این تغییر سطح به‌طور نمایی کاهش پیدا می‌کند و در نهایت به مقدار اولیه‌ی خود بازمی‌گردد (Tiao, G.C., 1988:4). فرم کلی این‌گونه مدل‌ها به‌صورت زیر نمایش داده می‌شوند:

$$X_t = \frac{\theta_q(B)}{\nabla^d \phi_p(B)} Z_t + \sum_{i=1}^K W_{tp}^{(T_i)} \frac{\eta_i(B)}{\zeta_i(B)} I_{T_i}(t)$$

$$W_{tp}^{(T)} = \begin{cases} W_{AO}^{(T)} & tp = AO \\ W_{IO}^{(T)} & tp = IO \\ W_{LS}^{(T)} & tp = LS \\ W_{TC}^{(T)} & tp = TC \end{cases} = \begin{cases} 1 & tp = AO \\ \frac{\theta_q(B)}{\nabla^d \phi_p(B)} & tp = IO \\ \frac{1}{1-B} & tp = LS \\ \frac{1}{1-\delta B} & tp = TC \end{cases}$$

( $\delta = 0.7$ )

## ۵. تحلیل نتایج تجربی

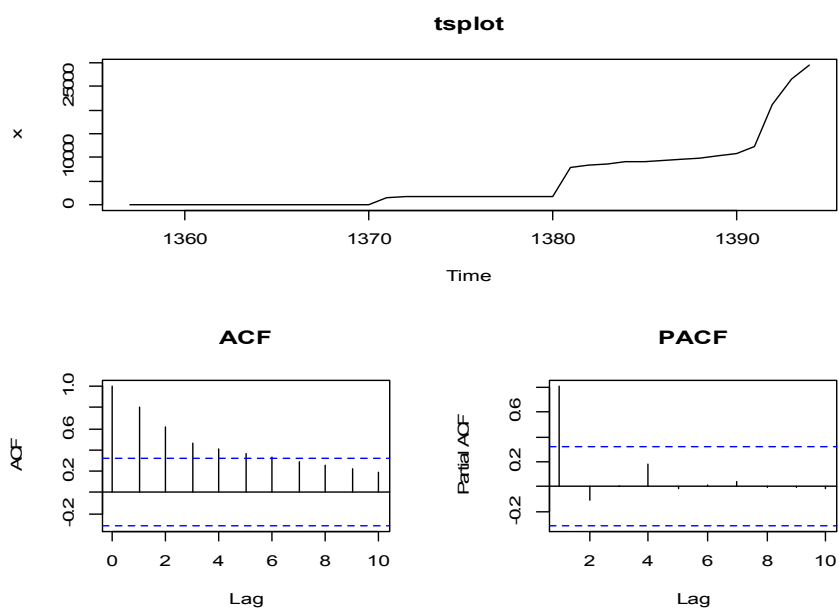
در این بخش، الگوهای تعیین و پیش‌بینی نرخ ارز ارائه و الگوی مناسب انتخاب می‌شود و سپس با استفاده از هر دو الگو مقادیر نرخ ارز برای سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۴ پیش‌بینی و مقادیر مقایسه می‌شوند و نتایج تحلیل خواهند شد.

### ۱.۵ یافتن الگو مناسب برای نرخ ارز

در این مقاله برای برآزش مدل پیش‌بینی نرخ ارز از داده‌های نرخ ارز رسمی ایران طی سال‌های ۱۳۵۷ تا ۱۳۹۴ استفاده شده‌است. داده‌ها از سایت بانک مرکزی استخراج شده و ارزش هر دلار آمریکا را بر حسب ریال ایران نشان می‌دهد. با توجه به نمودارهای مختلف سری زمانی از جمله نمودار داده‌ها بر حسب زمان و توابع خودهمبستگی (ACF: Autocorrelation function) و خودهمبستگی جزئی (PACF: Partial Autocorrelation function) رفتار داده‌ها بررسی و مدل مناسب مشخص می‌شود.

در نمودارهای ۲، روند حرکت نرخ ارز رسمی ایران بر حسب زمان و خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی داده‌ها نمایش داده شده‌است. همانطور که مشاهده می‌شود، ناهمسانی در واریانس در سری زمانی مشاهده نمی‌شود ولی در عین حال روند محسوسی در میانگین قابل مشاهده است. همچنین با توجه به نمودار ACF که بسیار کند نزول می‌کند و نمودار PACF که بعد از تأخیر یک قطع می‌شود، لزوم تفاضلی کردن به وضوح مشاهده می‌شود

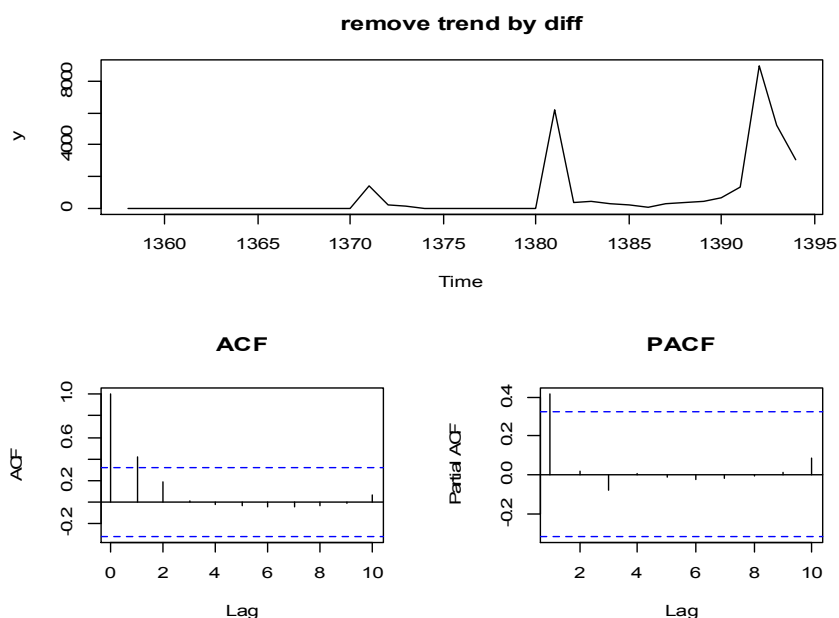
(نیرومند، ۱۳۹۱: ۱۳۱). بعلاوه با توجه به جهش‌های ناگهانی که در سری زمانی که سبب انتقال داده‌ها به سطوح بالاتر شده‌است، نقش عامل‌های مداخله‌ای نیز در این سری زمانی انکارناپذیر است.



نمودار ۲، روند حرکت نرخ ارز رسمی ایران  
در طول زمان و نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی آن  
منبع: محاسبات محقق

پس از تفاضل‌گیری مرتبه اول، نمودارهای داده بر حسب زمان و ACF و PACF در زیر نشان داده شده‌است.

۷۰ پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ARIMA همراه با ...



نمودار ۳، نمودارهای سری زمانی تفاضلی شده نرخ رسمی ارز ایران  
منبع: محاسبات محقق

نمودار سری زمانی تفاضلی شده نشان می‌دهد که روند از سری حذف شده، بنابراین مدل با یک مرتبه تفاضلی پذیرفته شده ولی هم‌چنان عامل‌های مداخله‌ای وجود دارند. در ادامه برای بررسی یکی دیگر از شرایط مانایی سری زمانی تفاضلی شده، یعنی عدم وجود ریشه واحد آزمون زیر انجام می‌شود:

$$\begin{cases} H_0 : \phi = 1 \\ H_1 : \phi < 1 \end{cases}$$

به نحوی که فرض صفر بیان‌کننده ریشه واحد و در نتیجه نامانایی سری مورد نظر است و فرض مقابل، عدم وجود ریشه واحد و لذا مانایی سری زمانی است. برای انجام این آزمون روش‌های مختلفی از جمله آزمون‌های دیکی-فولر (AD)، دیکی-فولر تعمیم‌یافته (ADF)، فیلپس-پرون (PP)، زیوت-آندریو (ZA) و سایر آزمون‌ها وجود دارد که هرکدام با توجه به شرایط موجود برای آزمون انتخاب می‌شوند. چون در این سری زمانی عامل مداخله‌ای وجود دارد از آزمون زیوت-آندریو استفاده می‌شود که نسبت به این عامل‌ها غیرحساس است. نتیجه آزمون مانایی با توجه به ارزش احتمال (P-value=0.012) که

کوچکتر از سطح معنی‌داری  $\alpha=0.05$  می‌باشد و به‌علاوه بزرگ‌تر بودن آماره آزمون از سطح بحرانی، نشان می‌دهد که فرضیه‌ی صفر یعنی وجود ریشه‌ی واحد رد شده‌است. به‌عبارت دیگر سری داده‌ها با یک مرتبه تفاضل‌گیری مانا می‌باشد.

جدول ۱، نتیجه آزمون ریشه واحد متغیر نرخ ارز رسمی ایران

آماره آزمون	مقدار بحرانی ( $\alpha = 0.05$ )	ارزش احتمال (P-value)
-۳/۴۶	-۵/۰۸	۰/۰۱۲

منبع: نتایج تحقیق

در ادامه آزمون وجود رانش برای سری داده‌های تفاضلی شده انجام می‌شود که معادل آزمون وجود روند قطعی در سری زمانی است.

$$\begin{cases} H_0 : \mu_w = 0 \\ H_1 : \mu_w \neq 0 \end{cases}$$

در آزمون فوق  $p - \text{value} = 0.018$  است که فرض صفر یعنی نبود رانش در سطح  $\alpha = 0.05$  رد می‌شود بنابراین رانش در سری زمانی گام تصادفی وجود دارد. با توجه به اینکه ACF روند نزولی میرا به سمت صفر دارد و PACF بعد از تأخیر یک صفر می‌شود می‌توان دریافت که مدل ARIMA(1,1,0) همراه با عامل‌های مداخله‌ای مدلی مناسبی برای این سری زمانی می‌باشد.

به منظور یافتن زمان و نوع عامل‌های مداخله‌ای در داده‌ها از الگوریتم ارائه شده توسط چانگ و تیائو (Chang, I.; Tiao, G.C., 1983) استفاده می‌شود که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده‌است.

جدول ۲، نتایج الگوریتم چانگ و تیائو برای تعیین نوع و زمان عامل‌های مداخله‌ای

تکرار	زمان	نوع	$\bar{W}_{tp}^{(T)}$	آماره t
۱	۱۴(۱۳۷۱)	TC	۸۰۴/۲	۳/۴
۲	۲۴(۱۳۸۱)	TC	۵۹۲۰/۶	۱۸/۴
۳	۳۵(۱۳۹۲)	TC	۷۳۹۶/۵	۱۶/۳

منبع: نتایج تحقیق

۷۲ پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ARIMA همراه با ...

از میان عوامل مداخله‌ای متعدد تنها سه عامل مداخله‌ای فوق از میان آن‌ها معنادار هستند. بنابراین سه عامل تغییر گذرا در سطح در زمان‌های ۱۳۷۱ و ۱۳۸۱ و ۱۳۹۲ باید به مدل اضافه شوند. این برآوردها که مربوط به مدل نوفه سفید بوده در مدل مورد نظر برآورد شده‌اند که نتایج برآورد پارامترها و اثر عامل‌های مداخله‌ای همراه با خطای برآورد به شرح زیر می‌باشد:

جدول ۳، نتایج برآورد پارامترها و اثر عامل‌های مداخله‌ای همراه با خطای برآورد مدل  $ARIMA(1, 1, 0)$  با سه عامل مداخله‌ای

TC35	TC24	TC14	AR	
۳۶۰۸/۶۳۶	-۳۰۹۵/۵۲۹	-۶۹۲/۹۲۹	۰/۶۹۱	برآورد
۱۰۳۶/۶۱۷	۱۰۳۶/۹۰۲	۱۰۳۵/۹۷۹	۰/۱۱۶	خطای معیار

منبع: نتایج تحقیق

در ادامه مدل گام تصادفی  $ARIMA(0,1,0)$  برآورد شده‌است. در این مدل مقدار رانش برابر با  $۸۵/۳۰۵$  و خطای معیار  $۳۵۰/۴۱$  می‌باشد. بدین ترتیب مدل آن به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$Y_t = 85.305 + Y_{t-1} + \varepsilon$$

در این مرحله از میان دو مدل برآورد شده، مناسب‌ترین مدل با توجه به معیارهای میانگین قدرمطلق خطا (MAE) و جذر میانگین مجموع مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدرمطلق درصد خطا (MAPE) انتخاب می‌شوند. نتایج در جدول ۴ خلاصه شده‌اند:

جدول ۴، نتایج مقادیر MAE، RMSE و MAPE دو مدل رقیب

MAPE	RMSE	MAE	
۴۰/۲۱	۱۴۳۹/۴۲	۶۳۷/۶۱	$ARIMA(1,1,0)$
$+\infty$	۲۰۷۳/۰۵	۸۸۲/۳۱	$ARIMA(0,1,0)$

منبع: نتایج تحقیق

هرچه ارزش این سه معیار کم‌تر باشد نشان‌دهنده مناسب بودن مدل می‌باشند. با توجه به نتایج جدول ۴، برحسب هر سه معیار، مدل  $ARIMA(1,1,0)$  همراه با عامل‌های مداخله‌ای، نسبت به مدل گام تصادفی برازش مناسب‌تری به داده‌ها دارد.

برای بررسی ناهمبستگی مانده‌ها از آزمون لیونگ-باکس استفاده می‌کنیم. آماره آزمون فوق ( $Q_{LB} = 4.09$ )،  $4/0.9$  و ارزش احتمال ( $p - value = 0.3927$ ) آن  $0.39$  است. بنابراین دلیلی بر رد فرض صفر وجود ندارد. بر این اساس نتایج آزمون فوق نشان می‌دهد مانده‌ها در این مدل ناهمبسته‌اند و این پیش‌فرض اساسی در مدل برقرار است.

با توجه به نتایج فوق، مناسب‌ترین مدل برای برازش نرخ ارز ایران، مدل  $ARIMA(1,1,0)$  همراه با سه عامل تغییر گذرا در سطح (TC) است که بصورت زیر نمایش داده می‌شود:

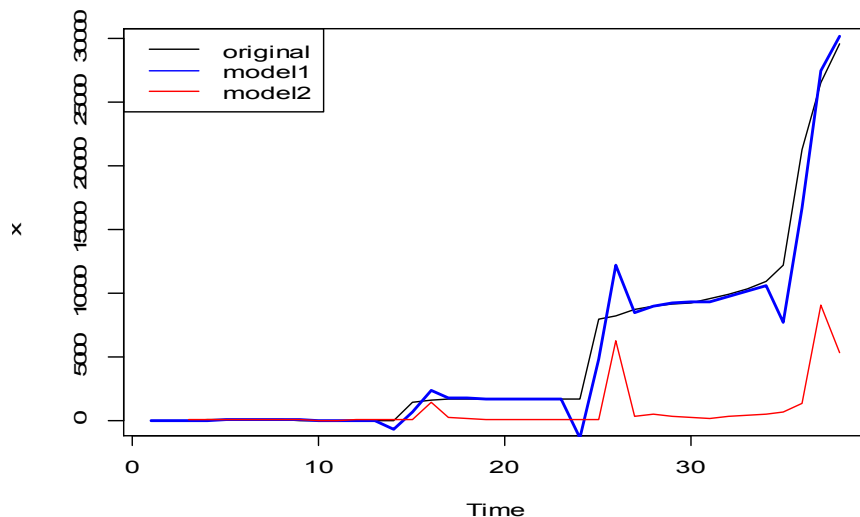
$$X_t = \frac{1}{(1-B)(1-0.6914B)} Z_t - \frac{692.929}{1-0.7B} I_{14}(t) - \frac{3095.529}{1-0.7B} I_{24}(t) - \frac{3608.636}{1-0.7B} I_{35}(t)$$

$Z_t \sim WN(0, 2385867)$ .

براساس نتایج به‌دست آمده از مدل خودرگرسیون  $ARIMA(1,1,0)$  همراه با عامل‌های مداخله‌ای و با توجه به معیارهای میانگین قدرمطلق خطا و جذر میانگین مجموع مربعات خطا و میانگین قدرمطلق درصد خطا نسبت به مدل گام تصادفی، مدل پیشنهادی برازش بهتری از سری زمانی نرخ ارز رسمی در ایران داشته و پیش‌بینی‌های بهتر و نزدیک‌تری ارائه کرده‌است.

در نمودار ۴ سری زمانی مشاهده‌ها همراه با مقادیر برازش شده در دو مدل گام تصادفی و مدل خودرگرسیون  $ARIMA$  همراه با عامل مداخله‌ای مشاهده می‌شود. همانطور که از نمودار مشخص است، مقادیر برازش شده مدل پیشنهادی انطباق بیشتری با مشاهدات دنیای واقعی دارد در حالیکه مقادیر برازش شده مدل گام برداری تصادفی قادر به توصیف داده‌ها بر مبنای مشاهدات واقعی نمی‌باشد و با فاصله زیاد از منحنی مشاهدات نرخ ارز رسمی حرکت می‌کند. بر این اساس نیز، مدل مناسب برای برازش نرخ ارز در ایران که حداکثر انطباق با مشاهدات واقعی باشد مدل خودرگرسیون  $ARIMA$  همراه با عامل مداخله‌ای است که در مقایسه با مدل گام تصادفی ارجحیت دارد. بنابراین می‌توان مدل یادشده را به عنوان مدل جایگزین برای مدل‌های متداول سری زمانی تعیین نرخ ارز بکار برد.

۷۴ پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ARIMA همراه با ...



نمودار  $x_t$ ، سری زمانی مشاهده‌ها همراه با مقادیر برازش شده در دو مدل گام‌برداری تصادفی و مدل خودرگرسیون ARIMA همراه با عامل مداخله‌ای منبع: نتایج تحقیق

## ۲.۵ پیش‌بینی

با استفاده از نتایج بخش قبل و انتخاب مدل  $ARIMA(1,1,0)$  همراه با عامل‌های مداخله‌ای به‌عنوان مدل مناسب برای پیش‌بینی نرخ ارز رسمی ایران، در جدول ۵ مقادیر پیش‌بینی شده سری زمانی داده‌ها تا سال ۱۴۰۴ توسط دو مدل گام تصادفی و خودرگرسیونی میانگین متحرک انباشته با عامل مداخله‌ای پیشنهادی برآورد شده‌است. در نمودار ۵ نیز منحنی‌های مقادیر پیش‌بینی شده دو مدل ارائه شده‌است.

جدول ۵، پیش‌بینی نرخ ارز رسمی ایران طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۴ (ارقام به ریال)

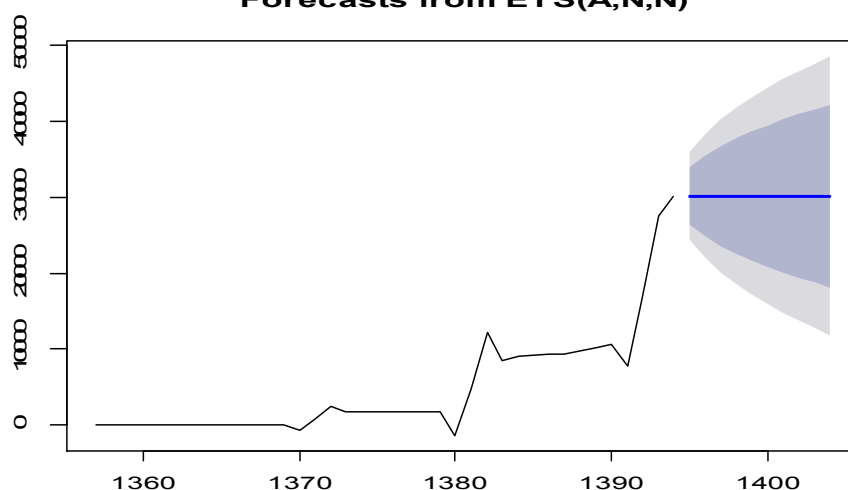
سال	مدل پیشنهادی	مدل گام‌برداری تصادفی
۱۳۹۵	۳۳۱۲۱/۳۷	۳۱۵۶۳/۰۶
۱۳۹۶	۳۶۰۹۲/۹۷	۳۲۴۱۶/۱۱
۱۳۹۷	۳۹۰۶۴/۵۷	۳۲۲۶۹/۱۷
۱۳۹۸	۴۲۰۳۶/۱۷	۳۴۱۲۲/۲۲



۳۴۹۷۵/۲۸	۴۵۰۰۷/۷۷	۱۳۹۹
۳۵۸۲۸/۳۳	۴۷۹۷۹/۳۷	۱۴۰۰
۳۶۶۸۱/۳۹	۵۰۹۵۰/۹۷	۱۴۰۱
۳۷۵۳۴/۴۴	۵۳۹۲۲/۵۷	۱۴۰۲
۳۸۳۸۷/۵۰	۵۶۸۹۴/۱۷	۱۴۰۳
۳۹۲۴۰/۵۶	۵۹۸۶۵/۷۷	۱۴۰۴

منبع: یافته‌های تحقیق

Forecasts from ETS(A,N,N)



نمودار ۵، مقادیر پیش‌بینی نرخ ارز ایران  
در دو مدل گام تصادفی و مدل خودرگرسیون ARIMA همراه با عامل مداخله‌ای

منبع: نتایج تحقیق

نتایج برآورد مدل نشان می‌دهد مدل گام‌برداری تصادفی حرکت ملایمی برای تغییرات نرخ ارز ایران پیش‌بینی می‌کند. با مقایسه داده‌های نرخ ارز رسمی در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ و مقایسه آن با مقادیر برآوردی مدل گام‌برداری تصادفی به وضوح مشخص است مدل گام تصادفی با شکاف زیادی از مقادیر تحقق‌یافته متغیر نرخ ارز رسمی ایران را برازش و پیش‌بینی می‌کند در حالی که مدل پیشنهادی تحقیق به مقادیر تحقق‌یافته نزدیک‌تر است. با توجه به برتری مدل خودرگرسیون ARIMA همراه با عامل مداخله‌ای، براساس پیش‌بینی صورت گرفته نرخ ارز رسمی ایران در سال ۱۴۰۴ به رقم ۵۹۸۶۵ ریال خواهد رسید. این

پیش‌بینی می‌تواند برای سیاست‌گذاران، فعالان حوزه تجارت بین‌الملل، بانک‌ها و اشخاص مفید و قابل استفاده باشد.

## ۶. نتیجه‌گیری

نرخ ارز یکی از متغیرهای مهم در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی می‌باشد که توسط بسیاری از سیاست‌گذاران، اقتصاددانان و فعالان حوزه اقتصاد بین‌الملل مورد توجه است. تغییرات این متغیر در کشورهای در حال توسعه از جمله اقتصاد ایران به دلیل وابستگی این کشورها به واردات مواد اولیه واسطه‌ای و سرمایه‌ای، بسیار حائز اهمیت است و می‌تواند با تأثیر بر وضعیت تجارت خارجی و تراز پرداخت‌ها، تأثیرات به‌سزایی بر وضعیت تولید، تورم، اشتغال و سایر متغیرهای اقتصاد کلان بگذارد. از زمان فروپاشی نظام برتون وودز و حاکم شدن نظام ارزی کنونی بر جهان، پیش‌بینی نرخ ارز در ادبیات اقتصاد بین‌الملل بسیار گسترش یافته و بسیاری از تحقیقات به پیش‌بینی این متغیر و مقایسه مدل‌های رقیب با یکدیگر پرداخته‌اند. یکی از مدل‌های متداول در پیش‌بینی نرخ ارز در ادبیات موجود، مدل گام‌برداری تصادفی است که با چالش جدی در این حوزه مواجه می‌باشد.

با توجه به عدم اجماع و اتفاق نظر در کارایی مدل‌های مختلف در پیش‌بینی نرخ ارز و همچنین رفتار سری داده‌ها در بازه زمانی ۱۳۵۷ تا ۱۳۹۴، در این تحقیق ضمن بررسی مبسوط مبانی نظری پیش‌بینی نرخ ارز و مروری بر مطالعات انجام شده، با هدف ارائه مدل مناسب برای پیش‌بینی نرخ ارز رسمی در ایران، مدل خودرگرسیونی میانگین متحرک انباشته همراه با عامل مداخله‌ای پیشنهاد و با مدل متداول برای پیش‌بینی نرخ ارز یعنی مدل گام‌برداری تصادفی مقایسه شده‌است.

برای این منظور ابتدا پس از اینکه شرایط مانایی برای تخمین مدل ARIMA بررسی و شرایط مناسب برای برازش مدل پیشنهادی فراهم شد، با استفاده از نمودارهای ACF و PACF و به‌کارگیری الگوریتم چانگ و تیائو، مدل ARIMA مناسب همراه با سه عامل مداخله‌ای تغییر گذرا در سطح، مناسب تشخیص داده شد. در ادامه هر دو مدل پیشنهادی و مدل گام تصادفی برازش داده شده و پارامترهای مجهول آن‌ها برآورد شدند. در نهایت نیز پس از مقایسه دو مدل براساس معیارهای برازش مدل و انتخاب مدل مناسب، نرخ ارز رسمی برای دوره زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۴ پیش‌بینی شد.

بر اساس نتایج به دست آمده از مدل خودرگرسیون  $ARIMA(1,1,0)$  همراه با عامل‌های مداخله‌ای و با توجه به معیارهای میانگین قدرمطلق خطا و جذر میانگین مجموع مربعات خطا و میانگین قدرمطلق درصد خطانسبت به مدل گام تصادفی، مدل پیشنهادی برآزش بهتری از سری زمانی نرخ ارز رسمی در ایران داشته است و هم‌چنین پیش‌بینی‌های بهتر و نزدیک‌تری ارائه کرده است. بنابراین می‌توان مدل یادشده را به عنوان مدل جایگزین برای مدل‌های متداول سری زمانی تعیین نرخ ارز بکار برد.

### کتاب‌نامه

- ابونوری، عباسعلی، فرخی، فرداد و شجاعیان، سیده فاطمه (۱۳۹۳). مقایسه عملکرد شبکه‌های مصنوعی (ANN) و مدل میانگین متحرک انباشته اتورگرسیو (ARIMA) در مدلسازی و پیش‌بینی کوتاه‌مدت روند نرخ ارز در ایران، فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری، سال سوم، شماره ۱۰، ۸۵-۹۹.
- احسانی‌فر، محمد، احتشام راثی، رضا (۱۳۹۴). پیش‌بینی نرخ ارز در بازار سرمایه با استفاده از مدل‌های میانگین متحرک خودرگرسیون انباشته و شبکه عصبی (مطالعه موردی: دلار استرالیا، دلار کانادا، یین ژاپن و پوند انگلستان)، فصلنامه دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، سال هشتم، شماره ۲۷، ۳۵-۵۲.
- بافنده ایمان‌دوست، صادق، فهیمی فرد، سیدمحمد و شیرزادی، سمیه (۱۳۸۸). پیش‌بینی نرخ ارز با مدل‌های عصبی-فازی ANFIS، شبکه عصبی-خودرگرسیونی NNARX و خودرگرسیونی ARIMA در اقتصاد ایران (۱۳۸۱-۸۷)، مجله دانش و توسعه، سال شانزدهم، شماره ۲۸، ۱۷۶-۱۹۲.
- بهرام‌پور، پیمان، جوادیان، نیکبخش (۱۳۹۳). پیش‌بینی روزانه نرخ جفت ارز پوند/دلار در بازار فارکس با استفاده از شبکه عصبی، نشریه مهندسی صنایع و مدیریت تولید، شماره ۴، جلد ۲۵، ۳۷۸-۳۸۸.
- تقوی، مهدی، خدام، محمود (۱۳۹۰). بررسی تطبیقی کارآمدی نظریه‌های ارزی در پیش‌بینی تغییرات نرخ ارز در بازار تبادلات بین‌المللی ارز، مجله دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، شماره ۹، ۱۹۲-۱۴۷.
- خاشعی، مهدی، بیجاری، مهدی (۱۳۸۶). به‌کارگیری مدل میانگین متحرک خودرگرسیون انباشته فازی به منظور پیش‌بینی نرخ ارز، مجله استقلال، سال بیست‌وششم، شماره ۲، ۶۷-۷۵.
- خاشعی، مهدی، مخاطب رفیعی، فریماه و بیجاری، مهدی (۱۳۹۱). به‌کارگیری مدل‌های ترکیبی میانگین متحرک خودرگرسیون انباشته فازی احتمالی به منظور پیش‌بینی نرخ ارز، فصلنامه روش‌های عددی در مهندسی، سال سی و یکم، شماره ۱، ۹۷-۱۱۳.
- خاشعی، مهدی، بیجاری، مهدی و مخاطب رفیعی، فریماه (۱۳۹۲). پیش‌بینی نرخ ارز با به‌کارگیری مدل‌های ترکیبی پرسپترون‌های چندلایه (MLPs) و طبقه‌بندی‌کننده‌های عصبی احتمالی (PNNs)، فصلنامه روش‌های عددی در مهندسی، سال سی‌ودوم، شماره ۱، ۱-۱۴.

۷۸ پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ARIMA همراه با ...

خداویسی، حسن، ملابهرامی، احمد (۱۳۹۱). مدل‌سازی و پیش‌بینی نرخ ارز براساس معادلات دیفرانسیل تصادفی، مجله تحقیقات اقتصادی، دوره ۴۷، شماره ۳، ۱۴۴-۱۲۹.  
خزائی، مجتبی (۱۳۸۷)، آشنایی با تحلیل سری‌های زمانی به کمک نرم‌افزار S-PLUS، تهران: پژوهشکده آمار.

درگاهی، حسن، انصاری، رضا (۱۳۸۷). بهبود مدل‌سازی شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی نرخ ارز با به‌کارگیری شاخص‌های تلاطم، مجله تحقیقات اقتصادی، دوره ۴۳، شماره ۴.

زراءنژاد، منصور، فقه مجیدی، علی و رضایی، روح‌الله (۱۳۸۷). پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل ARIMA، فصلنامه اقتصاد مقداری، دوره ۵، شماره ۴، ۱۳۰-۱۰۷.

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، ۲۴-۵.

عباسی‌نژاد، حسین، محمدی، احمد (۱۳۸۶). پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از شبکه‌های عصبی و تبدیل موجک، نامه مفید، شماره ۶۰، ۴۲-۱۹.

فتاحی، شهرام، احمدی، آرش و میرزایی، علی اکرم (۱۳۹۲). مقایسه دقت روش الگوریتم ژنتیک با روش‌های دیگر پیش‌بینی‌های نرخ ارز، سیاست‌های اقتصادی، دوره ۹۶، جلد ۹، شماره ۱، ۱۱۳-۱۳۶.

مرزبان، حسین، اکبریان، رضا و جواهری، بهنام (۱۳۸۴). یک مقایسه بین مدل‌های اقتصادسنجی ساختاری، سری زمانی و شبکه عصبی برای پیش‌بینی نرخ ارز، مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۶۹، ۱۸۱-۲۱۶.

مطهری، محب اله، لطفعلی پور، محمدرضا و احمدی شادمهری، محمدطاهر (۱۳۹۴). ارائه یک الگوی هشدار پیش از وقوع نوسانات ارزی در بازار ارز ایران: روش مارکوف سوئیچینگ گارچ، فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصادی، سال دوم، شماره ۴، ۹۲-۷۱.

مهرآرا، محسن، سرخوش، اکبر (۱۳۸۹). آثار غیرخطی متغیرهای کلان اقتصادی بر رشد اقتصادی با تأکید بر نرخ ارز (مورد ایران)، مجله تحقیقات اقتصادی، دوره ۴۵، شماره ۹۳، ۲۲۸-۲۰۱.

ویلیام. دبلیو. اس. وی (۱۳۹۱). تحلیل سری‌های زمانی، روش‌های یک متغیری و چند متغیری (مترجم: حسینعلی نیرومند)، مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد (۱۹۹۰).

یارمحمدی، مسعود، محمودوند، رحیم (۱۳۹۵). پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از روش تحلیل مجموعه‌ی مقادیر تکین، فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، سال پنجم، شماره ۱۸، ۱۴۶-۱۳۷.

Abbate, Angela, Marcellino, Massimiliano (2016). "Point, interval and density forecasts of exchange rates with time-varying parameter models", *Discussion Papers* 19/2016, Deutsche Bundesbank, Research Centre.

Bilson, John F.O. (1978), "Rational Expectations and the Exchange Rate", In: J. Frenkel and H. Johnson, eds., *The Economics of Exchange Rates* (Addison- Wesley Press, Reading).

- Ca' Zorzi, Michele, Muck, Jakub and Michal Rubaszek (2013), "Real Exchange Rate Forecasting; a Calibrated Half-Life PPP Model Can Beat the Random Walk", *European Central Bank*, Working Paper Series, No. 1576.
- Ca' Zorzi, Michele, Kolasa, Marcin and Michal Rubaszek (2016), "Exchange Rate Forecasting with DSGE Models", *European Central Bank*, Working Paper Series, No. 1905.
- Cai, Charlie X., Zhang, Qi (2016), "High-Frequency Exchange Rate Forecasting", *European Financial Management*, Vol. 22, No. 1, 120–141.
- Chinn, M. D. & A. R. Meese (1995), "Banking on Currency Forecasts: Is Change in Money Predictable?", *Journal of International Economics*, Vol. 38, 161–178.
- Cuaresma, C. J., Ines, F. & H. Jaroslava (2005), "Evaluating Euro Exchange Rate Predictions from a Battery of Multivariate", *Macroeconomic Models and Forecasts for Austria*, Vienna, PP. 326-336.
- Engel, Charles, Mark, Nelson C., West, Kenneth D. (2012), "Factor Model Forecasts of Exchange Rates", *Econometric Reviews, Taylor & Francis Journals*, vol. 34(1-20, 32-55.
- Goodman, Stephen H. (1978), "Foreign Exchange Rate Forecasting Techniques: Implication for Business and Policy", *Journal of Finance*, V. 34, No. 2, 29-31.
- Hauer, David, Lee, Jaewoo, Takizawa, Hajime (2011), "In Which Exchange Rate Models Do Forecasters Trust?", *IMF Working Paper*, 11/116.
- Hsieh, W. J. (2009), "Study of the Behavior of the Indonesian Rupiah/US Dollar Exchange Rate and Policy Implications", *International Journal of Applied Economics*, Vol. 6, No. 2, 41-55.
- Li, Jiahua, Tsiakas, Ilias and Wei Wang (2015), "Predicting Exchange Rates Out of Sample: Can Economic Fundamentals Beat the Random Walk?", *Journal of Financial Econometrics*, 2015, Vol. 13, No. 2, 293-341.
- Macerinskiene, Irena, Balciunas, Andrius (2013), "Fundamental Exchange Rate Forecasting Models. Advantages and Drawbacks", *KSI Transactions on Knowledge Society*, Vol.6, No. 3, 9-17.
- 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
- Moosa, Imad, Burns, Kelly (2014), "Error Correction Modeling and Dynamic Specifications as a Conduit to Outperforming the Random Walk in Exchange Rate Forecasting", *Applied Economics*, Vol. 46, No. 25, 3107–3118.
- Rossi, Barbara (2013), "Exchange Rate Predictability", *Journal of Economic Literature*, Vol. 51, No. 4, 1063–1119.
- Sichei, Moses, Gebreselasie, Tewodros & AkanbiOlusegunAyodele (2005), "Econometric Model Support Vector Machines Model in Stock Price Forecasting", *The Journal of Omega* Vol. 33, 497-500.
- Sichei, Moses, Gebreselasie, Tewodros & AkanbiOlusegunAyodele (2005), "Econometric Model of the Rand-US Dollar Nominal Exchange Rate", *University of Pretoria, Department of Economics*, Working Papers, No. 200514.

۸۰ پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ARIMA همراه با ...

Tanaka.H, H. Ishibuchi (1992), "Possibilistic Regression Analysis Based on Linear Programming, in: J. Kacprzyk, M. Fedrizzi(Eds), Fuzzy Regression analysis", *Ominitech press*, Warsaw–and physica-verlag, Heidelberg, 260-265