

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

سمیه شاه‌حسینی\*

علی رضایی\*\*

### چکیده

باتوجه به تغییرات فراوان نرخ ارز در ایران طی ۳۵ سال گذشته و علاوه بر آن، 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 به برنامه‌ریزی بهتر در بودجه‌های سنواتی، واردات مواد اولیه مورد نیاز کشور، و نیز صادرات غیرنفتی منجر می‌شود. بر این اساس، در مقاله حاضر به مدل‌سازی و پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیونی ARIMA همراه با عامل‌های مداخله‌ای می‌پردازیم و این الگو را با مدل گام‌برداری تصادفی مقایسه می‌کنیم. ابتدا، با استفاده از نرم‌افزار R و به‌کارگیری داده‌های نرخ رسمی ارز از سال ۱۳۵۷ تا ۱۳۹۴ دو مدل یادشده برآزش می‌شوند و مقایسه می‌گردند 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.

طبقه‌بندی JEL: F31، C14، C15.

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

\*\* کارشناس ارشد آمار ریاضی، دانشگاه علامه طباطبایی، ali.rezaei7091@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۲۷، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۲

## ۱. مقدمه

یکی از متغیرهای مهم و کلیدی اقتصاد، که در رفتار دیگر متغیرها در اقتصاد داخل و بین‌الملل اثرگذار است، نرخ ارز است که نوسانات آن می‌تواند تأثیرات قابل ملاحظه‌ای در وضعیت بازرگانی خارجی کشورها و جریان سرمایه و به‌طور کلی تراز پرداخت‌ها داشته باشد. 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 علت، شناسایی عوامل مؤثر در نرخ ارز و پیش‌بینی رفتار نرخ ارز از موضوع‌های حائز اهمیت اقتصاد بین‌الملل است و مورد توجه سیاست‌گذاران و محققان اقتصادی، به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه است.

بازار ارز خارجی به‌علت نقدشوندگی آن، تجانس نداشتن فعالان بازار، و اندازه آن بازاری منحصر به فرد است. بر طبق داده‌های بانک تسویه بین‌المللی (Bank for International Settlement/ BIS)، متوسط گردش مالی روزانه در بازار ارز خارجی در آوریل ۲۰۱۳، ۵/۳ تریلیون دلار است که در مقایسه با سال ۲۰۱۲، ۳۳ درصد افزایش دارد. بر این اساس، افزایش اندازه و تنوع مشارکت‌کنندگان در بازار ضرورت پیش‌بینی‌های نرخ ارز را ایجاب می‌کند (9: Macerinskiene and Balciunas 2013).

نرخ ارز از جمله متغیرهای اقتصادی‌ای است که عوامل مختلفی در آن اثرگذار هستند. در کشوری مانند ایران نیز به علل 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 این که نوسانات نرخ ارز یکی از موانع پیش‌برنده بسیاری از مبادلات و مراودات بین‌المللی است، «آگاهی از تغییرات نرخ ارز می‌تواند مقامات پولی را برای طراحی یک سیاست پولی کارآمد به منظور تثبیت قیمت‌ها و افزایش سطح اشتغال مهیا کند» (احسانی فر و احتشام راثی ۱۳۹۴: ۳۶). از طرفی، با توجه به وابستگی درآمدهای ارزی کشور به صادرات نفت و در نتیجه، وابستگی بودجه‌های سنواتی به نرخ ارز تعیین نرخ ارز و پیش‌بینی نوسانات نرخ ارز ضمن کاهش ریسک نوسانات نرخ ارز به برنامه‌ریزی بهتر در بودجه‌های سنواتی، واردات مواد اولیه مورد نیاز کشور، و نیز صادرات غیرنفتی منجر می‌شود.

پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ... ۱۳۳

پیش‌بینی نرخ ارز در کانون توجه بسیاری از سیاست‌گذاران، اقتصاددانان، و عاملان اقتصادی است و مطالعات مختلفی در زمینه مدل‌سازی و پیش‌بینی ارز انجام شده است. تاجایی که یکی از معماهای اقتصاد بین‌الملل پیش‌بینی‌پذیر بودن نرخ ارز است. در دهه‌های گذشته تصور بر این بود که مدل‌های اقتصادی، به‌ویژه مدل‌های پولی اساسی‌ترین ابزار پیش‌بینی نرخ ارزند. عملکرد ضعیف این مدل‌ها در پیش‌بینی نرخ ارز و حمایت ضعیف مطالعات تجربی از آن‌ها باعث شد که در مورد مفید بودن آن‌ها در پیش‌بینی تردیدهای جدی وارد شود (شیرازی و نصرالهی ۱۳۹۲: ۶). گودمن مسئله بی‌فایده بودن پیش‌بینی را طرح کرد و بیان کرد که این مسئله مورد پذیرش اکثر اقتصاددانان است؛ زیرا بازار ارز خارجی بازاری کارآست (Goodman 1978). بازار کاراً به این معنی است که عوامل عمده در بازار اعتقاد دارند که به تمامی 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 بدینی در پیش‌بینی نرخ ارز پس از انتشار مقاله میس و روگوف شدت یافت (Meese and Rogoff 1983). از زمان شکست مدل‌های ساختاری در پیش‌بینی نرخ ارز در مقایسه با مدل گام تصادفی در کار میس و روگوف تلاش برای توسعه مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز هم‌چنان ادامه دارد. به همین علت، نیاز به ابزار و شیوه‌های پیش‌بینی نرخ ارز با کم‌ترین خطا به توسعه مدل‌های گوناگون برای پیش‌بینی آن منجر شده است. با وجود توسعه ابزارها و شیوه‌های متعدد پیش‌بینی هنوز پیش‌بینی‌های دقیق، به‌ویژه در بازار ارز کارچندان ساده‌ای نیست و همین امر باعث شده است تا محققان در این حوزه درصدد به‌کارگیری و ترکیب روش‌های متفاوت به‌منظور حصول به نتایج دقیق‌تر باشند.

در حالت کلی، انتخاب مؤثرترین روش برای پیش‌بینی کار دشواری است و بسیاری از محققان که روش‌های خطی و غیرخطی را بررسی کرده‌اند به این نتیجه رسیده‌اند که مدل‌های خودرگرسیون میانگین متحرک انباشته (auto-regressive integrated moving average/ ARIMA) و شبکه‌های عصبی مصنوعی (artificial neural network/ ANN) 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 محققان و دانشگامیان در سطح جهان تلاش‌های گوناگونی برای پیش‌بینی نرخ ارز انجام داده‌اند. در ایران نیز پژوهش‌های

زیادی درباره بررسی رفتار نرخ ارز در کوتاه مدت و بلندمدت صورت گرفته است، اما پژوهش در زمینه بررسی وجود اثر مداخله‌ای در تغییرهای نرخ ارز محدود است و بیش تر تحقیق‌های انجام گرفته بر استفاده از رگرسیون‌های خطی استوار است. از آنجاکه تغییرات نرخ ارز در کشورهای مختلف متفاوت است و متأثر از عوامل مختلفی است و باتوجه به اهمیت پیش‌بینی این متغیر از بُعد اقتصاد کلان و بین‌الملل، در این تحقیق تلاش شده است باتوجه به تغییرات نرخ ارز در ۳۵ سال گذشته، مدل سری زمانی مناسبی همراه با عامل‌های مداخله‌ای برای نرخ ارز در ایران ارائه شود و با مدل گام‌برداری تصادفی مقایسه گردد و در نهایت، پیش‌بینی نرخ ارز برای سال‌های آینده صورت پذیرد. برای برآزش دو مدل مقادیر نرخ رسمی ارز از سال ۱۳۵۷ تا ۱۳۹۴ مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از مدل خودرگرسیونی ARIMA همراه با عامل‌های مداخله‌ای و با استفاده از نرم‌افزار R دو مدل مقایسه و پیش‌بینی برای مدت زمان سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۴ انجام شده است.

مقاله حاضر در بخش‌های ذیل سازمان‌دهی شده است: 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 است 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 نتایج تحقیق بیان می‌شود.

## ۲. مبانی نظری

در ادبیات نظری موضوع روش‌ها و مدل‌های سری زمانی متعددی به منظور پیش‌بینی نرخ ارز ارائه شده است و محققان فراوانی در این زمینه تحقیق کرده‌اند. همان‌طور که در مقدمه بیان شد، برخی پژوهش‌گران معتقدند که مدل‌سازی رفتاری و پیش‌بینی نرخ ارز امکان‌پذیر نیست و روند حرکتی هر نوع نرخ ارز از فرضیه بازار کاراً پیروی می‌کند. میس و روگوف در مقاله خود نشان دادند که هیچ‌یک از مدل‌های تک‌متغیره استفاده شده آن‌ها قابلیت غلبه بر مدل گام تصادفی را در پیش‌بینی نرخ ارز ندارد (Meese and Rogoff 1983). نتایج آن‌ها را برخی از محققان بعدی نیز تأیید کردند. یک توضیح محتمل برای این شکست این است که ارتباط نرخ‌های ارز و متغیرهای اقتصاد کلان ناپایدار و بی‌ثبات است که با چتتا و ون وینکوپ آن را مطرح کردند (Bacchetta and Van Wincoop 2013). به علاوه، وست و انگل

پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ... ۱۳۵

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 پیش‌بینی‌پذیری نرخ ارز با مشکل مواجه شود (West and Engel 2005).

اواسط دهه ۱۹۹۰ مطالعاتی نظیر مارک و چین و میس ادعا کردند که مدل گام‌برداری تصادفی (random walk) می‌تواند در افق زمانی بلندمدت موفق باشد (Mark 1995; Chinn and Meese 1995). این دیدگاه خوش‌بینانه عمر زیادی نداشت و بسیار محل نزاع و جدال بود. بعدتر روگوف بیان می‌کند که احتمالاً مسئله پیش‌بینی‌پذیر نبودن نرخ ارز در آینده نیز باقی می‌ماند، همان معمای میس و روگوف در ۱۹۸۳ طرح کردند (Rogoff 2009). در عین حال، برخی از نویسندگان همچنان بحث می‌کنند که تئوری نرخ ارز فقط 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).

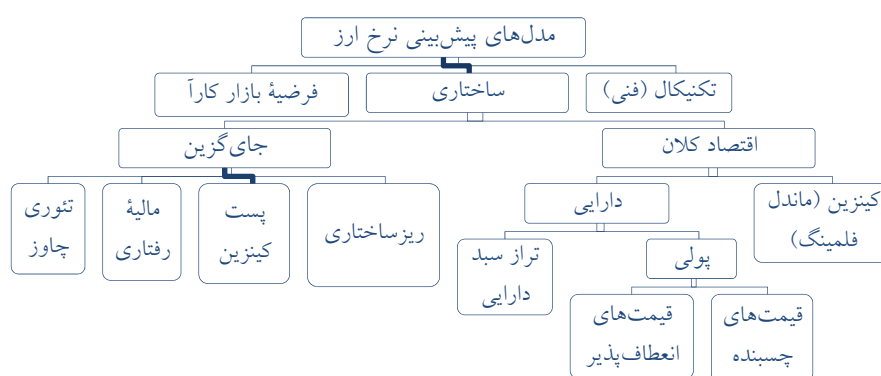
باتوجه به روش‌های متنوع پیش‌بینی نرخ ارز که در ادبیات اقتصادی مطرح است، مرور ادبیات نظری این تحقیق در دو بخش جداگانه شامل مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز و ادبیات نظری سری‌های زمانی به شرح ذیل ارائه می‌شود.

## ۱.۲ مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز

نظام ارزی موجود از دهه ۱۹۷۰ و بعد از فروپاشی نظام برتون وودز به وجود آمد. از همان زمان محققان و دانشگاهیان تلاش‌های گوناگونی را برای پیش‌بینی نرخ ارز انجام دادند، اما در ادبیات نظری موجود هیچ توافق جامعی در مورد 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 کاراً (efficiency market hypothesis) را نیز در نظر می‌گیرند. مدل‌های تکنیکال نرخ ارز را بر اساس 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 غیرمتعارف برای پیش‌بینی است و مدل‌های فرضیه بازار کاراً نیز فرض پیش‌بینی ناپذیر بودن نوسانات را در نظر می‌گیرند. بین محققان

در مورد این که کدام رویکرد از رویکردهای موجود و این که در هر گروه کدام مدل مناسب ترین مدل برای پیش بینی نرخ ارز است هیچ اتفاق نظری وجود ندارد. یک طبقه بندی عمومی از مدل های پیش بینی نرخ ارز وجود دارد که برخی از محققان انجام داده اند. نمودار ۱ طبقه بندی متعارف را از مدل های پیش بینی نرخ ارز در ادبیات اقتصادی نشان می دهد.



نمودار ۱. طبقه بندی مدل های پیش بینی نرخ ارز  
منبع: (Macerinskiene and Balciunas 2013: 10)

### ۱.۱.۲ مدل های فرضیه بازار کار

فرض اصلی این مدل ها این است که کارایی بازار ارز بسیار قدرت مند است و تغییرات نرخ ارز پیش بینی پذیر نیست که به معنای کاربرد فرضیه گام برداری تصادفی است. ساده ترین الگوی مدل گام تصادفی می تواند به شکل این معادله 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 کارآ باشد، همه اطلاعات در نرخ ارز جاری منعکس شده است. نرخ ارز فقط زمانی تغییر می کند که برخی اطلاعات جدید اعلام شوند، اما از آن جاکه هیچ کس نمی داند این اطلاعات چه هستند و چه زمانی اعلام می شوند، بنابراین نرخ ارز پیش بینی ناپذیر است. براساس این مدل تغییرات آینده نرخ ارز از نوسانات گذشته مستقل

پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ... ۱۳۷

است و این واقعیت پیش‌بینی آن‌ها را برای آینده غیرممکن می‌کند. مقالات تحقیقی متنوعی وجود دارند که شواهدی از چنین مدل‌هایی ارائه می‌کنند. درعین حال، اقتصاددانانی نظیر گودمن نیز معتقدند که فرضیه بازار کاراً دراصل به این معنی نیست که نرخ ارز با مبانی و ساختارهای اقتصادی غیرمرتبط است یا این که نرخ‌های ارز باید به‌طور تصادفی حول ارزش گذشته خود نوسان کنند (Goodman 1978).

در برخی طبقه‌بندی‌های انجام‌شده فرضیه بازار کاراً مبنای ایجاد رویکردهای تکنیکال برای تحلیل رفتار نرخ ارز است.

در این مدل‌ها فرصت‌های شناخته‌شده جهت به‌دست‌آوردن هر نوع سود غیرنرمال در بازار حذف گردیده است و انتظارات عقلایی (rational expectation/ RE) نقش تعیین‌کننده‌ای در این مدل ایفا می‌کند. به‌دلیل وجود برخی ضعف‌ها در بعضی از مدل‌های فرضیه بازار کاراً و عدم انطباق با مشاهدات تجربی فرضیه گام تصادفی (random walk hypothesis/ RWH) که حمایت‌های تجربی گسترده‌ای از آن صورت گرفته است و نیز در ارتباط با فرضیه بازار کاراً بوده در پیش‌بینی نرخ ارز به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر دیگر مطرح گردید که در مطالعات تجربی مربوط به این رویکرد انواع و اشکال بسیار گسترده آن به‌صورت مدل‌های خودرگرسیونی، مدل میانگین متحرک، مدل خودرگرسیونی با میانگین متحرک، و سایر مدل‌ها مطرح می‌باشد (مطهری و دیگران ۱۳۹۴: ۷۵-۷۶).

## 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 علت، این مدل‌ها با عنوان «مدل‌های اقتصاد کلان» نامیده می‌شوند. البته تحقیق میس و روگوف نشان داد که مدل‌های اقتصاد کلان، که در ادبیات امروز اقتصاد دیده می‌شود، برای پیش‌بینی نرخ ارز نامناسب هستند (Meese and Rogoff 1983). موسا و بهاتی یک گروه جای‌گزین از مدل‌ها ارائه می‌کنند (Moosa and Bhatti 2010). این مدل‌ها در پاسخ به شکست عملکرد مدل‌های ساختاری ایجاد شدند که عبارت‌اند از مدل ریزساختاری (microstructure model)، مالیه رفتاری (behavioral finance)، پست کینزین (post-keynesian)، و تئوری چاوز و همکاران (Chaos and others). مدل‌های ساختاری را می‌توان به این شکل طبقه‌بندی کرد:

- **تئوری برابری قدرت خرید** (theory of purchasing power parity/ PPP): 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). اقتصاددانی سوئدی به نام گوستاو کاسل (G. Cassel) 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 در مقایسه با کشور دوم به‌طور متناسب کاهش می‌یابد تا قدرت خرید مقدار معینی کالا در کشورهای مختلف برابر باشد (مرزبان و دیگران ۱۳۸۴: ۱۸۳). این مدل یک روش ساده تخمین نرخ ارز تعادلی در وضعیت عدم تعادل تراز پرداخت‌هاست. باید قیمت یک کالای معین پس از تبدیل پول دو کشور با یکدیگر برابر باشد. نظریه PPP برای تفسیر و تعیین نرخ مبادله ارز بر دوره بلندمدت تغییرات قیمت ارز تأکید می‌کند. در بازننگری مناظره‌ها درباره نظریه برابری قدرت خرید تیلور و تیلور 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; Taylor and Taylor 2004).
- **تئوری برابری نرخ بهره** (theory of interest rate parity/ IRP): فرض اصلی تئوری برابری نرخ بهره این است که نرخ بهره برحسب 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 بالاتری پرداخت می‌کنند باید ارزان‌تر و در کشورهایی با نرخ بهره پایین‌تر باید گران‌تر باشد.
- **مدل ماندل فلمینگ** (mundell-fleming model/ MFM): 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 بر این اساس استوار است که مازاد تقاضای خالص برای ارز همان میزان تراز پرداخت‌هاست که در وضعیت 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 هستند. طبق این مدل تأثیرگذارترین عوامل در نرخ ارز تولید ناخالص داخلی، عرضه پول، مخارج دولت، نرخ بهره حقیقی داخلی، و درآمدهای



پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ... ۱۳۹

مالیاتی است (فتاحی و دیگران ۱۳۹۲: ۱۱۵-۱۱۶). این رویکرد، که بر فرض کینزی استوار است، مورد انتقاد قرار گرفت و پس از آن مدل‌های پولی ظهور کردند.

- **مدل پولی (monetary model/ MM):** در این مدل‌ها نرخ ارز را با عرضه و تقاضای پول داخلی و خارجی مدل‌سازی می‌کنند. در نظام نرخ ارز انعطاف‌پذیر عدم تعادل تراز پرداخت‌ها با تغییرات خودکار نرخ ارز و بدون انتقال پول یا ذخایر خارجی به سرعت تعدیل می‌شود. این رویکرد در مورد عرضه و تقاضای پول در هر کشور دو فرض را بیان می‌کند: ۱. میزان تقاضای ارز (پول خارجی) به درآمد واقعی، سطح عمومی قیمت‌ها، و نرخ بهره بستگی دارد؛ ۲. میزان عرضه ارز (پول خارجی) به وسیله بانک مرکزی و به طور مستقل مشخص می‌شود. با افزایش نرخ بهره هزینه فرصت نگهداری پول افزایش می‌یابد؛ در نتیجه، تمایل افراد برای نگهداری پول نقد کاهش می‌یابد و این امر به کاهش تقاضا برای مانده حقیقی پول منجر می‌شود. با افزایش سطح عمومی قیمت‌ها تقاضای پول افزایش می‌یابد. همین اثر با افزایش درآمد واقعی نیز اتفاق می‌افتد (همان: 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 به طور پیوسته فرض می‌شود، 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 دیگران ۱۳۹۴: ۷۴).

- **مدل تراز سبد دارایی (portfolio balance models):** در این الگو مازاد (کسری) حساب جاری به افزایش (کاهش) میزان خالص موجودی دارایی‌های خارجی منجر می‌شود که در سطح دارایی کل تأثیر می‌گذارد و تقاضا برای ارز را تحت تأثیر 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 تک‌متغیره یا تکنیکال نوسانات گذشته و روند تغییرات نرخ ارز برای پیش‌بینی روند آتی آن به کار می‌رود. در این مدل‌ها، همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، پیش‌بینی

نرخ ارز بر پایه عملکرد گذشته برخی متغیرها پایه گذاری شده است که به معنی پذیرش این فرض است که گذشته خودش را تکرار می کند. علت توسعه مدل سازی فنی ناکامی بعضی از مدل های بنیادی در توضیح و پیش بینی نرخ ارز کوتاه مدت بوده است (همان: ۷۵).

تحلیل تکنیکال بر سه اصل استوار است: الف) همه عواملی که در نرخ ارز اثرگذار هستند در رفتار مشاهده شده نرخ ارز، که در قالب نمودارها عرضه می شوند، منعکس شده اند؛ ب) نرخ ارز بر اساس روندهای تداومی تغییر می کند. تعادل عرضه و تقاضا یک روند متحرک را به وجود می آورد که تا وقتی که پایان یابد، دست نخورده باقی می ماند؛ ج) رفتار بازار تکرار شونده است (در گاهی و انصاری ۱۳۸۷: ۶).

## ۲.۲ سری های زمانی

در سال های اخیر با ثبت منظم داده ها و به وجود آمدن بانک های اطلاعاتی در سراسر دنیا تمایل به استفاده از سری های زمانی افزایش یافته است. سری های زمانی دنباله ای از مشاهده ها هستند که در طول زمان جمع آوری شدند و از دیرباز در بیش تر رشته ها، مانند اقتصاد، مهندسی ارتباطات، زمین شناسی، و ... کاربرد فراوانی داشتند. تفاوتی که بین سری های زمانی با دیگر روش های مدل سازی، از جمله رگرسیون، وجود دارد این است که در سری های زمانی با استفاده از اطلاعات قبلی مقادیر آینده را پیش بینی می کنند، در حالی که در روش های مدل سازی اغلب با استفاده از متغیرهای دیگر سعی می شود متغیر مورد نظر پیش بینی شود. به همین علت، معمولاً قدرت سری های زمانی در پیش بینی کم تر است، اما به علت این که به اطلاعات جانبی کمتری نیاز دارد، تمایل به استفاده از آن زیاد است. داده ها در سری زمانی معمولاً مجموعه ای از مشاهده های متوالی هستند که به صورت منظم با فواصل زمانی یکسان مرتب شده اند. زمان در سری زمانی با توجه به نوع متغیر مورد بررسی و هدف می تواند روز، هفته، ماه، یا سال باشد.

همان طور که پیش تر اشاره شد، به کارگیری روش های سری زمانی به منظور پیش بینی متغیرهای پولی و مالی و بهبود تصمیم گیری ها و سرمایه گذاری ها به ضرورتی انکارناپذیر در دنیای امروز تبدیل شده است. پیش بینی سری های زمانی یکی از مهم ترین زمینه های پیش بینی است که در آن مشاهدات گذشته یک متغیر جمع آوری می شود و به منظور به دست آوردن روابط اساسی مشاهدات و تعیین یک مدل توصیفی مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد و سپس، مدل حاصل به منظور برون یابی سری های زمانی مورد استفاده قرار می گیرد.

پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ... ۱۴۱

این روش مدل‌سازی مخصوصاً زمانی مفید است که در مورد فرایند اساسی تولید داده‌ها دانش کمی در دسترس باشد یا هنگامی که هیچ مدلی توضیح رضایت‌بخشی که متغیر وابسته را به دیگر متغیرهای توضیحی مرتبط کند نداشته باشد (خاشعی و دیگران ۱۳۹۲: ۶۳).

تجزیه و تحلیل سری زمانی بر دو فرض اساسی استوار است که عبارت‌اند 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 جزو بخشی از روش است. مدل‌های ARIMA و ویرایش‌های غیرخطی ARCH و GARCH از جمله مهم‌ترین مدل‌های پارامتری‌ای 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 راه‌کاری جای‌گزین باشد. روش‌هایی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی و موجک‌ها از جمله این روش‌هاست.

یکی از پرکاربردترین مدل‌های سری‌های زمانی مدل‌های خودرگرسیون میانگین متحرک انباشته است. از زمان پیش‌نهاد این‌گونه مدل‌ها توسط باکس — جنکینز (Box and Jenkins) تا به امروز از این مدل‌ها در مقالات متعددی به‌منظور بهبود دقت روش‌های موجود یا ارائه روش‌های ترکیبی جدید به‌منظور پیش‌بینی نرخ ارز استفاده شده است، اما با وجود تمامی مزایای منحصر به فردی که برای این‌گونه از مدل‌ها در نظر گرفته شده است 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 (یارمحمدی و محمودوند ۱۳۹۵: ۱۳۶).

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

#### ۱.۳ مطالعات انجام‌شده در خارج

مک‌دونالد و تیلور 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 کردند و بحث می‌کنند که تست‌های قبلی اشتباه به‌کار گرفته می‌شد. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌های ایجادشده یک مدل تصحیح خطای پویا بر مدل گام تصادفی برتری دارد (MacDonald and Taylor 1993).

موسا و برنز در مطالعه خود نشان دادند 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 برای تغییرات استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داده است که مدل پولی عملکرد بهتری در مقایسه با گام تصادفی در پیش‌بینی خارج از نمونه برای چهار ارز شامل دلار آمریکا، ین ژاپن، پوند انگلیس، و دلار کانادا دارد (Moosa and Burns 2013). داده‌های مورداستفاده در این تحقیق داده‌های ماهانه در دوره زمانی ماه اول سال ۱۹۹۰ تا ماه هفتم سال ۲۰۱۰ است. برای دستیابی به پیش‌بینی خارج از نمونه دوره نمونه در دسامبر ۲۰۰۵ به دو دوره تخمین و یک دوره پیش‌بینی تقسیم شد و پیش‌بینی‌ها طی ژانویه ۲۰۰۶ تا ژوئیه ۲۰۱۰ انجام شد.

کازرزی و همکاران با استفاده از داده‌های ماهانه نه ارز شامل ارز کشورهای استرالیا، کانادا، اتحادیه اروپا، ژاپن، مکزیک، نیوزیلند، سوئیس، انگلیس، و ایالت متحده آمریکا برای دوره ماه اول سال ۱۹۷۵ تا ماه سوم سال ۲۰۱۳ سه دیدگاه جدید را در رویکرد برابری قدرت خرید به بحث می‌گذارند (Ca' Zorzi et al. 2013). 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 این که سرعت تعدیل به سمت میانگین نمونه در مقادیر کالیبره شده بهتر از مدل برآوردی است.

لی، تسیاکاس، و وانگ در مطالعه خود نشان دادند 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 (Li et al. 2015). نکته اساسی در توانایی پیش‌بینی برآوردی رگرسیون سینک آشپزخانه این است که اثر پیش‌بینی کننده‌هایی را که کم‌تر حاوی اطلاعات مفید هستند کاهش می‌دهد و بدین ترتیب، عملکرد پیش‌بینی خارج از نمونه را بهبود می‌بخشد. آن‌ها در تحقیق خود داده‌های نرخ ارز را برای دلار آمریکا، دلار استرالیا، دلار کانادا، فرانک سوئیس، مارک آلمان، پوند انگلیس، ین ژاپن، کورن نورژ، دلار نیوزیلند، و کرون سوئد به صورت ماهانه از ژانویه ۱۹۷۶ تا ژوئن ۲۰۱۲ به کار بردند.

آباته و مارسلینو 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 فرایند تولید داده بهبود یابد (Abbate and Marcellino 2016). آن‌ها نشان می‌دهند که ارتباط نرخ‌های ارز و یک

پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ... ۱۴۳

مجموعه ساختارهای اقتصادی و مالی می‌تواند از طریق مدل‌سازی پارامتر ناپایداری زمانی حل شود که به ادبیات موجود در این حوزه کمک کرده است.

هانر و همکاران با استفاده از داده‌های انتظارات بازار این سؤال را مطرح می‌کنند که کدام یک از مدل‌های معروف نرخ ارز با پیش‌بینی‌های بازار و انتظارات سازگارترند؟ آن‌ها با به‌کارگیری 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 (Hauner et al. 2011). این نتیجه دلالت دارد که برابری قدرت خرید نسبی و اثر بالاسا—ساموئلسون عوامل متداول در شکل‌گیری انتظارات پیش‌بینی‌کننده‌های بازار هستند.

موسا و برنز با ارائه مدل‌های پویای نرخ ارز نشان می‌دهند نتایج پیش‌بینی نرخ ارز توسط این مدل‌ها در مقایسه با پیش‌بینی خارج از نمونه گام تصادفی بهتر است (Moosa and Burns 2014). 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 ماه اول سال ۲۰۰۰ تا ماه پایانی سال ۲۰۱۲ استفاده کردند.

### ۲.۳ مطالعات انجام‌شده در داخل

مرزبان و همکاران در مقاله خود این سؤال را بررسی کردند که آیا شبکه‌های عصبی مصنوعی در مقایسه با الگوهای سنتی و گام تصادفی نتایج بهتری دارد (مرزبان و دیگران ۱۳۸۴). نتیجه این‌که الگوی فرایند گام تصادفی در مقایسه با الگوهای ساختاری پولی در پیش‌بینی نرخ 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 (غیرخطی) و با داده‌های ماهانه مهر ۱۳۵۹ تا دی ۱۳۸۱ نشان دادند که مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌وضوح از قدرت بیش‌تری در زمینه پیش‌بینی نرخ ارز برخوردارند.

ابونوری و همکاران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) نرخ روزانه دلار آمریکا را در ایران طی دوره زمانی فروردین ۱۳۸۱ تا اسفند ۱۳۸۴ مدل‌سازی کردند و به‌صورت روزانه پیش‌بینی کردند (ابونوری و دیگران ۱۳۹۳). آن‌ها با کمینه‌کردن خطای پیش‌بینی روزانه در این روش نتایج را با مقادیر پیش‌بینی‌شده مدل ARIMA براساس معیارهای

اندازه‌گیری دقت پیش‌بینی مقایسه کردند و این نتیجه را ارائه کردند که شبکه عصبی مورد استفاده در مقایسه با مدل ARIMA از قدرت پیش‌بینی بهتری برخوردار است.

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

شیرازی و نصرالهی نرخ ارز را با استفاده از الگوهای پولی مختلف و مقایسه نتایج آن‌ها با الگوی گام تصادفی پیش‌بینی کردند (شیرازی و نصرالهی ۱۳۹۲). آمارهای مربوط به مدل‌های پولی برای دوره زمانی ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۸ و اطلاعات نرخ ارز بازار موازی برای دلار آمریکا در اقتصاد ایران است. 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 شد. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که مدل گام‌برداری تصادفی عملکرد بهتری در مقایسه با مدل‌های پولی دارد و در مدل‌های پولی، مدل فرانکل-دورنبوش پیش‌بینی بهتری را در مقایسه با دیگر مدل‌ها ارائه می‌کند.

خداویسی و ملامهرامی دو مدل براساس معادلات دیفرانسیل تصادفی حرکت براونی ژئومتری (geometric brownian motion/ GBM) و مدل انتشار - پرش مرتن (merton-jump- diffusion/MJD) را به منظور برازش و پیش‌بینی روند آتی سری زمانی نرخ ارز بازار رسمی ایران ارائه کردند (خداویسی و ملامهرامی ۱۳۹۱). 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 این مدل‌ها و مدل‌های اقتصادسنجی ARIMA نشان می‌دهند مدل MJD بر مدل‌های GBM و ARIMA در پیش‌بینی خارج از نمونه نرخ ارز براساس گشتاورهای RMSE برتری دارد.

خاشعی و همکاران روش ترکیبی جدیدی را از پرسپترون‌های چندلایه با استفاده از شبکه‌های عصبی احتمالی برای پیش‌بینی نرخ ارز یورو در مقابل ریال ایران ارائه کردند (خاشعی و دیگران ۱۳۹۲). روش پیش‌بینی آن‌ها با به‌کارگیری قابلیت‌های منحصربه‌فرد شبکه‌های عصبی احتمالی در تشخیص نقاط شکست عملکرد و دقت مدل را در پیش‌بینی سری‌های زمانی افزایش داده است. نتایج حاصل از به‌کارگیری روش ترکیبی پیش‌بینی

پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ... ۱۴۵

به‌منظور پیش‌بینی نرخ ارز بیان‌گر کارآمدی روش پیش‌بینی در افزایش دقت پیش‌بینی‌هاست. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش داده‌های روزانه نرخ ارز یورو مربوط به سیزدهم بهمن ۱۳۸۴ تا هجدهم خرداد ۱۳۸۵ است.

زرانژاد و همکاران دو مدل خودتوضیح‌جمعی 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 دادند (زرانژاد و دیگران ۱۳۸۷). نتیجه مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد شبکه‌های عصبی تخمین‌های بهتری در مقایسه با روش ARIMA ارائه می‌کنند.

در مقاله بافنده ایمان‌دوست و همکاران کارایی مدل‌های غیرخطی با مدل‌های خطی سری زمانی در پیش‌بینی نرخ ارز ریال/دلار و ریال/یورو برای دو، چهار، و هشت روز با استفاده از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی کارایی مدل‌ها و داده‌های روزانه مربوط به دوره ۱۳۸۱/۱/۱ تا ۱۳۸۷/۹/۱ مقایسه شده است (بافنده ایمان‌دوست و دیگران ۱۳۸۸). نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های غیرخطی در مقایسه با مدل‌های خطی از کارایی بیشتری در پیش‌بینی نرخ ارزهای مورد بررسی برخوردارند.

در تحقیق احسانی‌فر و احتشام‌رایی توانایی پیش‌بینی مدل‌های خودتوضیح‌جمعی، 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 شده است (احسانی‌فر و احتشام‌رایی ۱۳۹۴). نتایج تحقیق نشان داد که روش شبکه‌های عصبی تخمین‌های بهتری در مقایسه با روش میانگین متحرک خودرگرسیون انباشته ارائه می‌کند. در این مطالعه از داده‌های اقتصادی کشورهای استرالیا، کانادا، ژاپن، و انگلستان و نرخ ارز آن کشورها در مقایسه با دلار آمریکا استفاده شده است.

یارمحمدی و محمودوند در تحقیق خود از روش تحلیل مجموعه مقادیر تکین (singular spectrum analysis/ SSA)، که یک روش ناپارامتری برای تحلیل سری‌های زمانی است، برای مدل‌سازی و پیش‌بینی نرخ روزانه دلار به ریال در بازه زمانی تیر ۱۳۹۲ تا شهریور ۱۳۹۴ استفاده کردند (یارمحمدی و محمودوند ۱۳۹۵). برای ارزیابی کیفیت مدل ارائه شده از مدل ARIMA به‌منزله یک مدل رقیب استفاده شده است. برای مقایسه دو مدل خطای برازش (درون‌نمونه‌ای) و خطای پیش‌بینی (برون‌نمونه‌ای) برای گام‌های پیش‌بینی کوتاه‌مدت، متوسط، و بلندمدت استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که SSA می‌تواند به‌منزله یک روش توانمند برای این منظور به کار گرفته شود.

در مقاله بهرام پور و جوادیان نرخ جفت ارز دلار/ یورو در بازار فارکس با استفاده از شبکه عصبی و مدل ARIMA پیش‌بینی شده است و دو مدل مقایسه شدند (بهرام پور و جوادیان ۱۳۹۳). نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که شبکه‌های عصبی از قدرت پیش‌بینی بهتری برخوردارند.

همان‌طور که مطالعات پیشین نشان می‌دهند، مطالعات پیش‌بینی نرخ ارز مدل‌های مختلف پیش‌بینی نرخ ارز را مقایسه کرده‌اند و نتایج متفاوتی از برتری مدل‌های موجود در پیش‌بینی نرخ به دست آمده است. با توجه به مطالعات گذشته تاکنون در هیچ مطالعه‌ای از روش مدل خودتوضیح جمعی میانگین متحرک (ARIMA) همراه با عامل‌های مداخله‌ای استفاده نشده است که از این نظر این مقاله در روش برآورد و پیش‌بینی نوآوری دارد.

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

یک سری زمانی فاقد هریک از وضعیت‌های 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 دامنه نوسان از مشخصه‌های نمودارهای سری‌های زمانی ناماناست. معمولاً در تحلیل چنین سری‌هایی در ابتدا، با استفاده از تبدیل‌های مناسب آن‌ها را به سری‌هایی با میانگین و واریانس ثابت تبدیل می‌کنند و سپس از مدل‌ها و روش‌های تحلیل سری‌های مانا استفاده می‌کنند. یکی از روش‌های پرکاربرد برای حذف روند در سری زمانی و تثبیت‌کننده میانگین و واریانس تفاضلی کردن است، برای این منظور عملگر تفاضلی مرتبه اول یا  $\nabla$  به این صورت 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 مرتبه  $d$  تبدیل به سری زمانی مانایی از نوع ARMA (p,q) می‌شوند معروف‌اند به سری‌های زمانی میانگین متحرک جمع‌بسته خودرگرسیون ARIMA (p,d,q) که باکس و جنکینز (۱۹۷۰) این نوع نامانایی را نامانایی هم‌گن نامیده‌اند و فرم کلی آن به این صورت است:

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



پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ... ۱۴۷

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

سری‌های زمانی اغلب با پیش‌آمدهای خارجی از قبیل اعتصاب‌ها، تحول‌ها، و دیگر تغییرات در سیاست متأثر می‌شوند که به این پیش‌آمدهای خارجی عامل‌های مداخله‌ای می‌گویند. در مواجهه با چنین وضعیتی 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 در مقایسه با 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 عبارت‌اند از: عامل مداخله‌ای جمعی (additive outlier/ AO) و عامل مداخله‌ای نوآورانه (innovational outlier/ IO) که فاکس آن را معرفی کرد (Chang et al. 1988: 4). عامل مداخله‌ای انتقال سطح (level shift/ LS) و تغییر گذرا در سطح (transient change/ TC) که تسای و تیائو با پیروی از کار باکس و تیائو آن را معرفی کردند (Tsay and Tiao 1984; Box and Tiao 1975). عامل AO فقط در مشاهده  $T$  ام تأثیرگذار است و عامل IO در تمامی مشاهده‌های بعد از زمان  $T$  نیز اثرگذار است، 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 اندازه  $(T)$  WLS انتقال پیدا کرده است و در آخر، عامل TC نشان می‌دهد که سطح سری زمانی در زمان  $T$  به چه اندازه‌ای تغییر می‌کند، اما مقدار این تغییر سطح به‌طور نمایی کاهش پیدا می‌کند و در نهایت، به مقدار اولیه خود بازمی‌گردد (Tiao 1988: 4). فرم کلی این‌گونه مدل‌ها به این صورت نمایش داده می‌شوند:

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

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

( $\delta = 0.7$ )

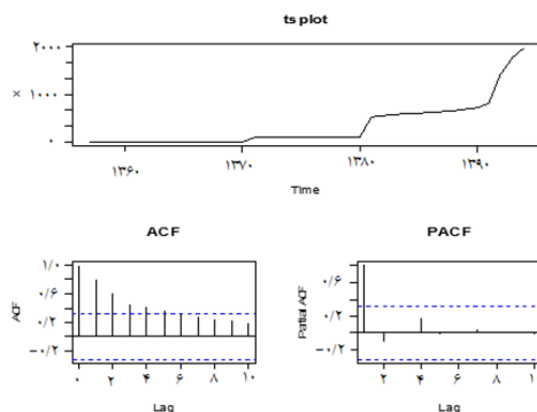
## ۵. تحلیل نتایج تجربی

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

### ۱.۵ یافتن الگوی 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 شده است. داده‌ها از سایت بانک مرکزی استخراج شد و ارزش هر دلار آمریکا را برحسب ریال ایران نشان می‌دهد. باتوجه‌به نمودارهای مختلف سری زمانی از جمله نمودار داده‌ها برحسب زمان و توابع خودهم‌بستگی (autocorrelation function/ ACF) و خودهم‌بستگی جزئی (partial autocorrelation function/ PACF) رفتار داده‌ها بررسی و مدل مناسب مشخص می‌شود.

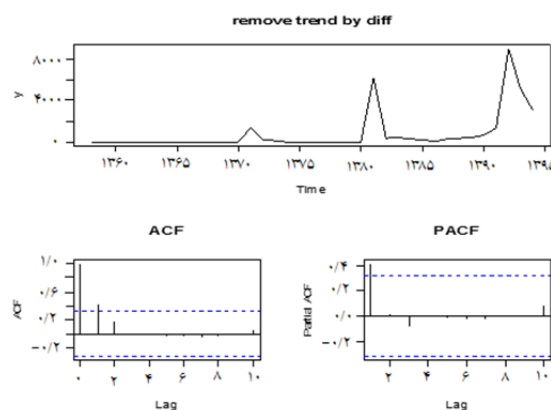
در نمودارهای ۲ روند حرکت نرخ ارز رسمی ایران برحسب زمان و خودهم‌بستگی و خودهم‌بستگی جزئی داده‌ها نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ناهم‌سانی در واریانس در سری زمانی مشاهده نمی‌شود، ولی روند محسوسی در میانگین قابل مشاهده است. همچنین، باتوجه‌به نمودار ACF که بسیار کند نزول می‌کند و نمودار PACF که بعد از تأخیر یک قطع می‌شود، لزوم تفاضلی کردن به‌وضوح مشاهده می‌شود (وی ۱۳۹۱: ۱۳۱). به‌علاوه، باتوجه‌به جهش‌های ناگهانی که در سری زمانی سبب انتقال داده‌ها به سطوح بالاتر شده است، 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

پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ... ۱۴۹

پس از تفاضل‌گیری مرتبه اول نمودارهای داده برحسب زمان و ACF و PACF در ذیل نشان داده شده است.



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 است، بنابراین مدل با یک مرتبه تفاضلی پذیرفته شده است، ولی هم‌چنان عامل‌های مداخله‌ای وجود دارند. در ادامه، برای بررسی یکی دیگر از شرایط مانایی سری زمانی تفاضلی شده، یعنی نبود ریشه واحد این آزمون 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 موردنظر است و فرض مقابل نبود ریشه واحد و بنابراین مانایی سری زمانی است. برای انجام دادن این آزمون روش‌های مختلفی از جمله آزمون‌های دیکی-فولر (AD)، دیکی-فولر تعمیم‌یافته (ADF)، فیلیپس-پرون (PP)، زیوت-اندریو (ZA)، و آزمون‌های دیگر وجود دارد که هر کدام باتوجه به وضعیت موجود برای آزمون انتخاب می‌شوند. چون در این سری زمانی عامل مداخله‌ای وجود دارد از آزمون زیوت-اندریو استفاده می‌شود که در برابر این عامل‌ها غیرحساس است. نتیجه آزمون مانایی باتوجه به ارزش احتمال (P-value= 0.012) که کوچک‌تر از سطح معنی‌داری  $\alpha=0.05$  است و به علاوه، بزرگ‌تر بودن آماره آزمون از سطح بحرانی نشان می‌دهد که فرضیه صفر، یعنی وجود ریشه واحد رد شده است. به عبارت دیگر، سری داده‌ها با یک مرتبه تفاضل‌گیری ماناست.

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	۰/۰۱۸

منبع: یافته‌های 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 مذکور  $p\text{-value}=0/018$  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 این که 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 مناسب برای این سری زمانی است.

به منظور یافتن زمان و نوع عامل‌های مداخله‌ای در داده‌ها از الگوریتم ارائه شده چانگ و تیائو استفاده می‌شود که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است (Chang and Tiao 1983).

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: یافته‌های تحقیق

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

پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ... ۱۵۱

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	۱۰۳۷/۹۰۲	۱۰۳۵/۹۷۹	۰/۱۱۶	خطای معیار

منبع: یافته‌های تحقیق

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

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

در این مرحله از میان دو مدل برآورد شده مناسب‌ترین مدل باتوجه 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، MAPE دو مدل رقیب

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

منبع: یافته‌های تحقیق

هرچه ارزش این سه معیار کم‌تر باشد نشان‌دهنده مناسب بودن مدل است. باتوجه به نتایج جدول ۴ برحسب هر سه معیار مدل ARIMA (1,1,0) همراه با عامل‌های مداخله‌ای در مقایسه با مدل گام تصادفی برآزش مناسب‌تری به داده‌ها دارد.

برای بررسی ناهم‌بستگی مانده‌ها از آزمون لیونگ-باکس استفاده می‌کنیم. آماره این آزمون ( $Q_{LB} = 4.09$ ) و ارزش احتمال ( $p - \text{value} = 0.3927$ ) آن ۰/۳۹ است؛ بنابراین، دلیلی بر رد کردن فرض صفر وجود ندارد. بر این اساس، نتایج این آزمون نشان می‌دهد مانده‌ها در این مدل ناهم‌بسته‌اند و این پیش‌فرض اساسی در مدل برقرار است.

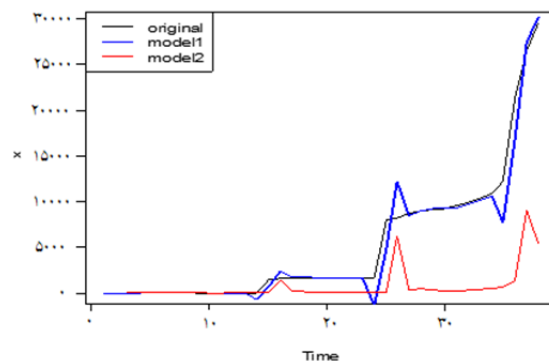
باتوجه به نتایج یادشده مناسب‌ترین مدل برای برآزش نرخ ارز ایران مدل ARIMA (1,1,0) همراه با سه عامل تغییر گذرا در سطح (TC) است که به این صورت نمایش داده می‌شود:

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

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

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 خطا در مقایسه با مدل گام تصادفی مدل پیش‌نهادی برازش بهتری از سری زمانی نرخ ارز رسمی در ایران دارد و پیش‌بینی‌های بهتر و نزدیک‌تری ارائه می‌کند.

در نمودار ۴ سری زمانی مشاهده‌ها همراه با مقادیر برازش شده در دو مدل 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 حالی که مقادیر برازش شده مدل گام برداری تصادفی قادر به توصیف داده‌ها بر مبنای مشاهدات واقعی نیست 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 است، مدل خودرگرسیون  $ARIMA$  همراه با عامل مداخله‌ای است که در مقایسه با مدل گام تصادفی ارجحیت دارد. بنابراین، می‌توان مدل یادشده را به‌منزله مدل جای‌گزین برای مدل‌های متداول سری زمانی تعیین نرخ ارز به‌کار برد.



نمودار ۴. سری زمانی مشاهده‌ها همراه با مقادیر برازش شده در دو مدل گام برداری تصادفی و مدل خودرگرسیون  $ARIMA$  همراه با عامل مداخله‌ای  
منبع: یافته‌های تحقیق

پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ... ۱۵۳

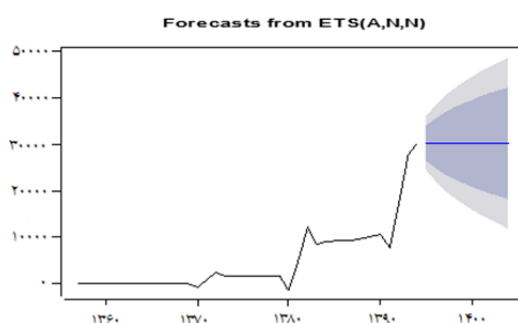
## ۲.۵ پیش‌بینی

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

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

منبع: یافته‌های تحقیق



نمودار ۵. مقادیر پیش‌بینی نرخ ارز ایران در دو مدل گام تصادفی و مدل خودرگرسیون  $ARIMA$  همراه با عامل مداخله‌ای  
منبع: یافته‌های 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 به‌وضوح مشخص است که مدل گام تصادفی با شکاف زیادی از مقادیر تحقق‌یافته متغیر نرخ ارز رسمی ایران را برازش و پیش‌بینی می‌کند، درحالی‌که مدل پیش‌نهادی تحقیق به مقادیر تحقق‌یافته نزدیک‌تر است. با توجه به برتری مدل خودرگرسیون ARIMA همراه با عامل مداخله‌ای براساس پیش‌بینی صورت‌گرفته 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 قابل‌استفاده باشد.

## ۶. نتیجه‌گیری

نرخ ارز یکی از متغیرهای مهم در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی است که بسیاری از سیاست‌مداران، اقتصاددانان، و فعالان حوزه اقتصاد بین‌الملل به آن توجه دارند. تغییرات این متغیر در کشورهای در حال توسعه از جمله اقتصاد ایران به‌علت وابستگی این کشورها به واردات مواد اولیه واسطه‌ای و سرمایه‌ای بسیار حائز اهمیت است و می‌تواند با تأثیر در وضعیت تجارت خارجی و تراز پرداخت‌ها تأثیرات به‌سزایی در وضعیت تولید، تورم، اشتغال، و دیگر 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 یافت و بسیاری از تحقیقات به پیش‌بینی این متغیر و مقایسه مدل‌های رقیب با یکدیگر پرداختند. یکی از مدل‌های متداول در پیش‌بینی نرخ ارز در ادبیات موجود مدل گام‌برداری تصادفی است که با چالشی جدی در این حوزه مواجه است.

با توجه به نبود 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 انجام‌شده با هدف ارائه مدل مناسب برای پیش‌بینی نرخ ارز رسمی در ایران مدل خودرگرسیونی میانگین متحرک انباشته همراه با عامل مداخله‌ای پیش‌نهاد شده است و با مدل متداول برای پیش‌بینی نرخ ارز، یعنی مدل گام‌برداری تصادفی مقایسه شده است.



پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ... ۱۵۵

برای این منظور، در ابتدا، پس از این‌که وضعیت مانایی برای تخمین مدل ARIMA بررسی شد و وضعیت 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 شد 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.

براساس نتایج به‌دست‌آمده از مدل خودرگرسیونی ARIMA (1,1,0) همراه با عامل‌های مداخله‌ای و باتوجه‌به معیارهای میانگین قدرمطلق خطا و جذر میانگین مجموع مربعات خطا و میانگین قدرمطلق درصد خطا در مقایسه با مدل گام تصادفی مدل پیش‌نهادی برازش بهتری از سری زمانی نرخ ارز رسمی در ایران داشت و همچنین، پیش‌بینی‌های بهتر و نزدیک‌تری ارائه کرد. بنابراین، می‌توان مدل یادشده را به‌منزله مدل جای‌گزین برای مدل‌های متداول سری زمانی تعیین نرخ ارز به‌کار برد.

## کتاب‌نامه

- ابونوری، عباس‌علی، فرداد فرخی، و سیده‌فاطمه شجاعیان (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، س ۳، ش ۱۰.
- احسانی‌فر، محمد و رضا احتشام راثی (۱۳۹۴)، «پیش‌بینی نرخ ارز در بازار سرمایه با استفاده از مدل‌های میانگین متحرک خودرگرسیون انباشته و شبکه عصبی (مطالعه موردی: دلار استرالیا، دلار کانادا، ین ژاپن، و پوند انگلستان)»، فصل‌نامه دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، س ۸، ش ۲۷.
- بافنده ایمان‌دوست، صادق، سیدمحمد فهیمی‌فرد، و سمیه شیرزادی (۱۳۸۸)، «پیش‌بینی نرخ ارز با مدل‌های عصبی - فازی ANFIS، شبکه عصبی - خودرگرسیونی NNARX، و خودرگرسیونی ARIMA در اقتصاد ایران (۱۳۸۱-۱۳۸۷)»، مجله دانش و توسعه، س ۱۶، ش ۲۸.
- بهرام‌پور، پیمان و نیک‌بخش جوادیان (۱۳۹۳)، «پیش‌بینی روزانه نرخ جفت ارز پوند/دلار در بازار فارکس با استفاده از شبکه عصبی»، نشریه مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ش ۴.
- تقوی، مهدی و محمود خدام (۱۳۹۰)، «بررسی تطبیقی کارآمدی نظریه‌های ارزی در پیش‌بینی تغییرات نرخ ارز در بازار تبادلات بین‌المللی ارز»، مجله دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، ش ۹.
- خاشعی، مهدی و مهدی بیجاری (۱۳۸۶)، «به‌کارگیری مدل میانگین متحرک خودرگرسیون انباشته فازی به‌منظور پیش‌بینی نرخ ارز»، مجله استقلال، س ۲۶، ش ۲.

- خاشعی، مهدی، فریماه مخاطب رفیعی، و مهدی بیجاری (۱۳۹۱)، «به‌کارگیری مدل‌های ترکیبی میانگین متحرک خودرگرسیون انباشته‌فازی احتمالی به‌منظور پیش‌بینی نرخ ارز»، فصل‌نامه روش‌های عددی در مهندسی، س ۳۱، ش ۱.
- خاشعی، مهدی، مهدی بیجاری، و فریماه مخاطب رفیعی (۱۳۹۲)، «پیش‌بینی نرخ ارز با به‌کارگیری مدل‌های ترکیبی پرسپترون‌های چندلایه (MLPs) و طبقه‌بندی‌کننده‌های عصبی احتمالی (PNNs)»، فصل‌نامه روش‌های عددی در مهندسی، س ۳۲، ش ۱.
- خداویسی، حسن و احمد ملاپهرامی (۱۳۹۱)، «مدل‌سازی و پیش‌بینی نرخ ارز براساس معادلات دیفرانسیل تصادفی»، مجله تحقیقات اقتصادی، ش ۳.
- خزائی، مجتبی (۱۳۸۷)، آشنایی با تحلیل سری‌های زمانی به‌کمک نرم‌افزار S-PLUS، تهران: پژوهشکده آمار.
- درگاهی، حسن و رضا انصاری (۱۳۸۷)، «بهبود مدل‌سازی شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی نرخ ارز با به‌کارگیری شاخص‌های تلاطم»، مجله تحقیقات اقتصادی، ش ۴.
- زرانژاد، منصور، علی فقه مجیدی، و روح‌الله رضایی (۱۳۸۷)، «پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل ARIMA»، فصل‌نامه اقتصاد مقادیری، ش ۴.
- شیرازی، همایون و خدیجه نصرالهی (۱۳۹۲)، «مدل‌های پولی و پیش‌بینی نرخ ارز در ایران: از تئوری تا شواهد تجربی»، فصل‌نامه سیاست‌های مالی و اقتصادی، س ۱، ش ۴.
- عباسی‌نژاد، حسین و احمد محمدی (۱۳۸۶)، «پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از شبکه‌های عصبی و تبدیل موجک»، نامه مفید، ش ۶۰.
- فتاحی، شهرام، آرش احمدی، و علی‌اکرم میرزایی (۱۳۹۲)، «مقایسه دقت روش الگوریتم ژنتیک با روش‌های دیگر پیش‌بینی‌های نرخ ارز»، سیاست‌های اقتصادی، ش ۱.
- مرزبان، حسین، رضا اکبریان، و بهنام جواهری (۱۳۸۴)، «یک مقایسه بین مدل‌های اقتصادسنجی ساختاری، سری زمانی و شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی نرخ ارز»، مجله تحقیقات اقتصادی، ش ۶۹.
- مطهری، محب‌اله، محمدرضا لطف‌علی‌پور، و محمدطاهر احمدی شادمهری (۱۳۹۴)، «ارائه یک الگوی هشدار پیش از وقوع نوسانات ارزی در بازار ارز ایران: روش مارکوف سوئیچینگ گارچ»، فصل‌نامه نظریه‌های کاربردی اقتصادی، س ۲، ش ۴.
- مهرآرا، محسن و اکبر سرخوش (۱۳۸۹)، «آثار غیرخطی متغیرهای کلان اقتصادی بر رشد اقتصادی با تأکید بر نرخ ارز (مورد ایران)»، مجله تحقیقات اقتصادی، ش ۹۳.
- وی، ویلیام (۱۳۹۱)، تحلیل سری‌های زمانی، روش‌های یک‌متغیری و چندمتغیری، ترجمه حسین علی‌نیرومند، مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد.
- یارمحمدی، مسعود و رحیم محمودوند (۱۳۹۵)، «پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از روش تحلیل مجموعه مقادیر تکین»، فصل‌نامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، س ۵، ش ۱۸.

پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون ... ۱۵۷

- Abbate, Angela and Massimiliano Marcellino (2016), "Point, Interval and Density Forecasts of Exchange Rates with Time-Varying Parameter Models", *Discussion Papers*, vol. 19, Deutsche Bundesbank, Research Centre.
- Bacchetta, Philippe and Eric Van Wincoop (2013), "On the Unstable Relationship between Exchange Rates and Macroeconomic Fundamentals", *Journal of International Economics*, Elsevier, vol. 91, no. 1.
- Bilson, John F. O. (1978), "Rational Expectations and the Exchange Rate", in: *The Economics of Exchange Rates*, J. Frenkel and H. Johnson (eds.), Addison Wesley Press, Reading.
- Box, George E. P. and George C. Tiao (1979), "Intervention Analysis with Applications to Environmental and Economic Problems", *Journal of the American Statistical Association*, vol. 70.
- Ca' Zorzi, Michele, Jakub Muck, 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, Marcin Kolasa, and Michal Rubaszek (2016), "Exchange Rate Forecasting with DSGE Models", *European Central Bank*, Working Paper Series, no. 1905.
- Cai, Charlie X. and Qi Zhang (2016), "High-Frequency Exchange Rate Forecasting", *European Financial Management*, vol. 22, no. 1.
- Chang, Ih, George C. Tiao, and Chung Chen (1988), "Estimation of Time Series Parameters in the Presence of Outliers", *Technometrics*, vol. 30.
- Chang, Ih and George C. Tiao (1983), "Estimation of Time Series Parameters in the Presence of Outliers", Technical Report 8, University of Chicago, Statistical Research Center.
- Chinn, M. D. and A. R. Meese (1995), "Banking on Currency Forecasts: Is Change in Money Predictable?", *Journal of International Economics*, vol. 38.
- Chinn, M. D. and A. R. Meese (1995), "Banking on Currency Forecasts: How Predictable Is Change in Money?", *Journal of International Economics*, vol. 38, no. 1-2.
- Cuaresma, C. J., F. Ines, and H. Jaroslava (2005), "Evaluating Euro Exchange Rate Predictions from a Battery of Multivariate", *Macroeconomic Models and Forecasts for Austria*, Vienna.
- Engel, Charles, Nelson C. Mark, and Kenneth D. West (2012), "Factor Model Forecasts of Exchange Rates", *Econometric Reviews, Taylor & Francis Journals*, vol. 34.
- Fox, A. J. (1972), "Outliers in Time Series", *Journal of the Royal Statistical Society*, vol. 34.
- Goodman, Stephen H. (1978), "Foreign Exchange Rate Forecasting Techniques: Implication for Business and Policy", *Journal of Finance*, vol. 34, no. 2.
- Hauer, David, Jaewoo Lee, and Hajime Takizawa (2011), "In Which Exchange Rate Models Do Forecasters Trust", *IMF Working Paper*, vol. 11.
- 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.
- Li, Jiahua, Ilias Tsiakas, and Wang Wei (2015), "Predicting Exchange Rates Out of Sample: Can Economic Fundamentals Beat the Random Walk", *Journal of Financial Econometrics*, vol. 13, no. 2.

- Macerinskiene, Irena and Andrius Balciunas (2013), "Fundamental Exchange Rate Forecasting Models: Advantages and Drawbacks", *KSI Transactions on Knowledge Society*, vol. 6, no. 3.
- Mac Donald, Ronald and Mark P. Taylor (1993), "The Monetary Approach to the Exchange Rate: Rational Expectations, Long-Run Equilibrium, and Forecasting", *IMF Staff Papers*, vol. 40, no. 1.
- Mark, Nelson (1995), "Exchange Rates and Fundamentals: Evidence on Long-Horizon Predictability", *American Economic Review*, vol. 85, no. 1.
- Meese, Richard A. and Kenneth Rogoff (1983), "Empirical Exchange Rate Models of the Seventies; Do They Fit out of Sample?", *Journal of International Economics*, vol. 14.
- Moosa, Imad and Kelly Burns (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.
- Moosa, Imad and Kelly Burns (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.
- Moosa, Imad and Razzaque Bhatti (2010), *The Theory and Empirics of Exchange Rates*, Singapore: World Scientific.
- Rossi, Barbara (2013), "Exchange Rate Predictability", *Journal of Economic Literature*, vol. 51, no. 4.
- Rogoff, Kenneth (2009), "Exchange Rates in the Modern Floating Era: What Do We Really Know?", *Review of World Economics*, vol. 145, no. 1.
- Sichei, Moses, Tewodros Gebreselasie, and Olusegun Ayodele Akanbi (2005 a), "Econometric Model Support Vector Machines Model in Stock Price Forecasting", *The Journal of Omega*, vol. 33.
- Sichei, Moses, Tewodros Gebreselasie, and Olusegun Ayodele Akanbi (2005 b), *Econometric Model of the Rand-US Dollar Nominal Exchange Rate*, University of Pretoria, Department of Economics, Working Papers, no. 200514.
- Tanaka, H. and H. Ishibuchi (1992), "Possibilistic Regression Analysis Based on Linear Programming", in: *Fuzzy Regression Analysis*, J. Kacprzyk and M. Fedrizzi (eds.), Omintech Press, Warsaw and Physica-Verlag, Heidelberg.
- Tsay, Ruey S. and George C. Tiao (1984), "Consistent Estimates of Autoregressive Parameters and Extended Sample Autocorrelation Function for Stationary and Nonstationary ARMA Models", *Journal of the American Statistical Association*, vol. 79.
- West, Kenneth and Charles Engel (2005), "Exchange Rates and Fundamentals", *Journal of Political Economy*, vol. 113, no. 3.