اقتصاد و تجارت نوین، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
فصل‌نامهٔ علمی ـ پژوهشی، سال سیزدهم، شمارهٔ چهارم، زمستان ۱۳۹۷، ۱۳۱-۱۵۸

پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیونی ARIMA هم‌راه با عامل‌های مداخله‌ای و مقایسهٔ آن با مدل گام تصادفی

سمیه شاه‌حسینی *
علی رضایی **

چکیده

باتوجه‌به تغییرات فراوان نرخ ارز در ایران طی ۳۵ سال گذشته و علاوه‌برآن، 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 اولیهٔ موردنیاز کشور، و نیز صادرات غیرنفتی منجر می‌شود. بر این اساس، در مقالهٔ 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 برازش می‌شوند و مقایسه می‌گردند و در مرحلهٔ 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 (نویسندهٔ 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 قابل‌ملاحظه‌ای در وضعیت بازرگانی خارجی کشورها و جریان سرمایه و به‌طور کلی تراز پرداخت‌ها داشته باشد. در کشورهای درحال‌توسعه، 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 حائزاهمیت اقتصاد بین‌الملل است و موردتوجه سیاست‌گذاران و محققان اقتصادی، به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه است.

بازار ارز خارجی به‌علت نقدشوندگی آن، تجانس‌نداشتن فعالان بازار، و اندازهٔ آن بازاری منحصربه‌فرد است. برطبق داده‌های بانک تسویهٔ 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 (Macerinskiene and Balciunas 2013: 9).

نرخ ارز ازجمله 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، درحالی‌که میزان افزایش نرخ ارز در هریک از سه جهش یک‌سان نبوده است. باتوجه‌به این‌که نوسانات نرخ ارز یکی از موانع پیش‌برندهٔ بسیاری از مبادلات و مراودات بین‌المللی است، «آگاهی از تغییرات نرخ ارز می‌تواند مقامات پولی را برای طراحی یک سیاست پولی کارآ به‌منظور تثبیت قیمت‌ها و افزایش سطح اشتغال مهیا کند» (احسانی‌فر و احتشام راثی ۱۳۹۴: ۳۶). ازطرفی، باتوجه‌به وابستگی درآمدهای ارزی کشور به صادرات نفت و درنتیجه، 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 اولیهٔ موردنیاز کشور، و نیز صادرات غیرنفتی منجر می‌شود.

پیش‌بینی نرخ ارز در کانون توجه بسیاری از سیاست‌گذاران، اقتصاددانان، و عاملان اقتصادی است و مطالعات مختلفی درزمینهٔ مدل‌سازی و پیش‌بینی ارز انجام شده است تاجایی‌که یکی از معماهای اقتصاد بین‌الملل پیش‌بینی‌پذیربودن 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 درمورد مفیدبودن آن‌ها در پیش‌بینی تردیدهای جدی وارد شود (شیرازی و نصرالهی ۱۳۹۲: ۶). گودمن مسئلهٔ بی‌فایده‌بودن پیش‌بینی را طرح کرد و بیان کرد که این مسئله موردپذیرش اکثر اقتصاددانان است؛ زیرا بازار ارز خارجی بازاری کارآست (Goodman 1978). بازار کارآ 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 درحال‌حاضر 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 مقالهٔ 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 توسعهٔ مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز هم‌چنان ادامه دارد. به همین علت، نیاز به ابزار و شیوه‌های پیش‌بینی نرخ ارز با کم‌ترین خطا به توسعهٔ مدل‌های گوناگون برای پیش‌بینی آن منجر شده است. باوجود توسعهٔ ابزارها و شیوه‌های متعدد پیش‌بینی هنوز پیش‌بینی‌های دقیق، به‌ویژه در بازار ارز کار چندان 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) به‌ترتیب ازجمله دقیق‌ترین مدل‌های خطی و غیرخطی در پیش‌بینی‌های سری‌های زمانی هستند (احسانی‌فر و احتشام راثی ۱۳۹۴: ۳۶).

همان‌طورکه پیش‌تر اشاره شد، طی سال‌های گذشته محققان و دانشگاهیان در سطح جهان تلاش‌های گوناگونی برای پیش‌بینی نرخ ارز انجام داده‌اند. در ایران نیز پژوهش‌های

زیادی دربارهٔ بررسی رفتار نرخ ارز در کوتاه‌مدت و بلندمدت صورت گرفته است، اما پژوهش در زمینهٔ بررسی وجود اثر مداخله‌ای در تغییرهای نرخ ارز محدود است و بیش‌تر تحقیق‌های انجام‌گرفته بر استفاده از رگرسیون‌های خطی استوار است. ازآن‌جاکه تغییرات نرخ ارز در کشورهای مختلف متفاوت است و متأثر از عوامل مختلفی است و باتوجه‌به اهمیت پیش‌بینی این متغیر از بُعد اقتصاد کلان و بین‌الملل، در این تحقیق تلاش شده است باتوجه‌به 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 درنهایت، پیش‌بینی نرخ ارز برای سال‌های آینده صورت پذیرد. برای برازش دو مدل مقادیر نرخ رسمی ارز از سال ۱۳۵۷ تا ۱۳۹۴ مورداستفاده 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.

مقالهٔ 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 به‌اختصار بیان شده است و درادامه، 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. درنهایت، در بخش ششم جمع‌بندی نتایج تحقیق بیان می‌شود.

۲. مبانی نظری

در ادبیات نظری موضوع روش‌ها و مدل‌های سری زمانی متعددی به‌منظور پیش‌بینی نرخ ارز ارائه شده است و محققان فراوانی در این زمینه تحقیق کرده‌اند. همان‌طورکه در مقدمه بیان شد، برخی پژوهش‌گران معتقدند که مدل‌سازی رفتاری و پیش‌بینی نرخ ارز امکان‌پذیر نیست و روند حرکتی هر نوع نرخ ارز از فرضیهٔ بازار کارآ پیروی می‌کند. میس و روگوف در مقالهٔ خود نشان دادند که هیچ‌یک از مدل‌های تک‌متغیرهٔ استفاده‌شدهٔ 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 باچتا و ون وینکوپ آن را مطرح کردند (Bacchetta and Van Wincoop 2013). به‌علاوه، وست و انگل

نشان داده‌اند که مدل قیمت‌گذاری دارایی که در آن حداقل یکی از متغیرها وجود دارد، یک ریشهٔ 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 دههٔ 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 مسئلهٔ پیش‌بینی‌پذیرنبودن نرخ ارز در آینده نیز باقی می‌ماند، همان معمایی که میس و روگوف در ۱۹۸۳ طرح کردند (Rogoff 2009). درعین‌حال، برخی از نویسندگان هم‌چنان بحث می‌کنند که تئوری نرخ ارز فقط برمبنای عملکرد پیش‌بینی آن نمی‌تواند کنار گذارده شود و ازطرف‌دیگر، هم‌چنان قابلیت‌هایی از پیش‌بینی نرخ ارز وجود دارد (Ca' Zorzi et al. 2013: 5).

باتوجه‌به 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.

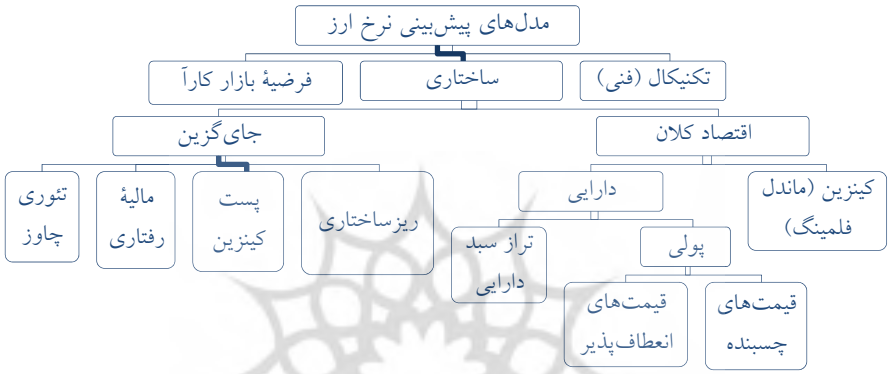
۱.۲ مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز

نظام ارزی موجود از دههٔ ۱۹۷۰ و بعد از فروپاشی نظام برتون وودز به‌وجود آمد. از همان زمان محققان و دانشگاهیان تلاش‌های گوناگونی را برای پیش‌بینی نرخ ارز انجام دادند، اما در ادبیات نظری موجود هیچ توافق جامعی درمورد طبقه‌بندی مدل‌هایی که برای پیش‌بینی نرخ ارز به‌کار 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 فرضیهٔ بازار کارآ (efficiency market hypothesis) را نیز درنظر می‌گیرند. مدل‌های تکنیکال نرخ ارز را براساس نوسانات گذشتهٔ آن پیش‌بینی می‌کنند، درحالی‌که مدل‌های ساختاری نرخ ارز را ازطریق محاسبه برمبنای متغیرهای اقتصاد کلان تعیین می‌کنند. رویکرد مدل‌های جای‌گزین مدل‌های غیرمتعارف برای پیش‌بینی است و مدل‌های فرضیهٔ بازار کارآ نیز فرض پیش‌بینی‌ناپذیربودن نوسانات را در نظر می‌گیرند. بین محققان

درمورد این‌که کدام رویکرد از رویکردهای موجود و این‌که در هر گروه کدام مدل مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی نرخ ارز است هیچ اتفاق‌نظری وجود ندارد.

یک طبقه‌بندی عمومی از مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز وجود دارد که برخی از محققان انجام داده‌اند. نمودار ۱ طبقه‌بندی متعارف را از مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز در ادبیات اقتصادی نشان می‌دهد.



نمودار ۱. طبقه‌بندی مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز
منبع: (Macerinskiene and Balciunas 2013: 10)

۱.۱.۲ مدل‌های فرضیهٔ بازار کار

فرض اصلی این مدل‌ها این است که کارآیی بازار ارز بسیار قدرت‌مند است و تغییرات نرخ ارز پیش‌بینی‌پذیر نیست که به‌معنای کاربرد فرضیهٔ گام‌برداری تصادفی است. ساده‌ترین الگوی مدل گام تصادفی می‌تواند به شکل این معادله بیان شود.

$$S_t = E(S_t+1)$$

که S_t نرخ ارز در دورهٔ t و $E(S_t+1)$ نرخ ارز دورهٔ بعد است. اگر بازار ارز خارجی به‌صورت کامل کارآ باشد، همهٔ اطلاعات در نرخ ارز جاری منعکس شده است. نرخ ارز فقط زمانی تغییر می‌کند که برخی اطلاعات جدید اعلام شوند، اما ازآن‌جاکه هیچ‌کس نمی‌داند این اطلاعات چه هستند و چه زمانی اعلام می‌شوند، بنابراین نرخ ارز پیش‌بینی‌ناپذیر است. براساس این مدل تغییرات آیندهٔ نرخ ارز از نوسانات گذشته مستقل

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

در برخی طبقه‌بندی‌های انجام‌شده فرضیهٔ بازار کارآ 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 فرضیهٔ بازار کارآ و عدم انطباق با مشاهدات تجربی فرضیهٔ گام تصادفی (random walk hypothesis/ RWH) که حمایت‌های تجربی گسترده‌ای از آن صورت گرفته است و نیز در ارتباط با فرضیهٔ بازار کارآ 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 گستردهٔ 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 نیمهٔ 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)، مالیهٔ 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 فرضیهٔ برابری قدرت خرید است که یکی از برجسته‌ترین و جدال‌انگیزترین نظریه‌ها در تاریخ اندیشهٔ اقتصادی است (Ca' Zorzi et al. 2013: 3). اقتصاددانی سوئدی به‌نام 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 سادهٔ تخمین نرخ ارز تعادلی در وضعیت عدم تعادل تراز پرداخت‌هاست. باید قیمت یک کالای معیّن پس از تبدیل پول دو کشور با یک‌دیگر برابر باشد. نظریهٔ PPP برای تفسیر و تعیین نرخ مبادلهٔ ارز بر دورهٔ بلندمدت تغییرات قیمت ارز تأکید می‌کند. در بازنگری منازعه‌ها دربارهٔ نظریهٔ برابری قدرت خرید تیلور و تیلور بحث می‌کنند که چگونه اجماع عمومی درطول زمان به‌شکل موافق و مخالف نظریهٔ 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 بهرهٔ پرداختی کشور داخل باشد، آن‌گاه ارزش پول خارج در مقایسه با ارزش پول داخل باید کاهش یابد تا نرخ بهرهٔ حقیقی در دو کشور با هم برابر باشد. نتیجهٔ مهم تئوری برابری نرخ بهره این است که پول در کشورهایی که نرخ بهرهٔ بالاتری پرداخت می‌کنند باید ارزان‌تر و در کشورهایی با نرخ بهرهٔ پایین‌تر باید گران‌تر باشد.
- **مدل ماندل فلمینگ** (mundell-fleming model/ MFM): این مدل براساس نظریات ماندل (۱۹۶۸) و فلمینگ (۱۹۶۲) در دههٔ ۱۹۶۰ مطرح شد. در این مدل حساب سرمایهٔ 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، عرضهٔ پول، مخارج دولت، نرخ بهرهٔ حقیقی داخلی، و درآمدهای

مالیاتی است (فتاحی و دیگران ۱۳۹۲: ۱۱۵-۱۱۶). این رویکرد، که بر فروض کینزی استوار است، موردانتقاد 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 به‌سرعت تعدیل می‌شود. این رویکرد درمورد 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 عرضهٔ ارز (پول خارجی) به‌وسیلهٔ بانک مرکزی و به‌طور مستقل مشخص می‌شود. با افزایش نرخ بهره هزینهٔ فرصت نگه‌داری پول افزایش می‌یابد؛ درنتیجه، تمایل افراد برای نگه‌داری پول نقد کاهش می‌یابد و این امر به کاهش تقاضا برای ماندهٔ 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 درقالب 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 می‌شود، درحالی‌که 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 تحت‌تأثیر تقاضا برای دارایی‌های مالی می‌داند. تعیین نرخ مبادلهٔ ارز در نتیجهٔ تعادل دارایی‌های مالی به‌دست 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 به‌کار می‌رود. در این مدل‌ها، همان‌طورکه پیش‌تر اشاره شد، پیش‌بینی

نرخ ارز برپایهٔ عملکرد گذشتهٔ برخی متغیرها پایه‌گذاری شده است که به‌معنی پذیرش این فرض است که گذشته خودش را تکرار می‌کند. علت توسعهٔ مدل‌سازی فنی ناکامی بعضی از مدل‌های بنیادی در توضیح و پیش‌بینی نرخ ارز کوتاه‌مدت بوده است (همان: ۷۵).

تحلیل تکنیکال بر سه اصل استوار است: الف) همهٔ عواملی که در نرخ ارز اثرگذار هستند در رفتار مشاهده‌شدهٔ نرخ ارز، که درقالب نمودارها عرضه می‌شوند، منعکس شده‌اند؛ ب) نرخ ارز براساس روندهای تداومی تغییر می‌کند. تعادل عرضه و تقاضا یک روند متحرک را به‌وجود می‌آورد که تا وقتی که پایان یابد، دست‌نخورده باقی می‌ماند؛ ج) رفتار بازار تکرارشونده است (درگاهی و انصاری ۱۳۸۷: ۶).

۲.۲ سری‌های زمانی

در سال‌های اخیر با ثبت منظم داده‌ها و به‌وجودآمدن بانک‌های اطلاعاتی در سراسر دنیا تمایل به استفاده از سری‌های زمانی افزایش یافته است. سری‌های زمانی دنباله‌ای از مشاهده‌ها هستند که درطول زمان جمع‌آوری شدند و از دیرباز در بیش‌تر رشته‌ها، مانند اقتصاد، مهندسی ارتباطات، زمین‌شناسی، و ... کاربرد فراوانی داشتند. تفاوتی که بین سری‌های زمانی با دیگر روش‌های مدل‌سازی، ازجمله رگرسیون، وجود دارد این است که در سری‌های زمانی با استفاده از اطلاعات قبلی مقادیر آینده را پیش‌بینی می‌کنند، درحالی‌که در روش‌های مدل‌سازی اغلب با استفاده از متغیرهای دیگر سعی می‌شود متغیر موردنظر پیش‌بینی شود. به همین علت، معمولاً قدرت سری‌های زمانی در پیش‌بینی کم‌تر است، اما به‌علت این‌که به اطلاعات جانبی کم‌تری نیاز دارد، تمایل به استفاده از آن زیاد است. داده‌ها در سری زمانی معمولاً مجموعه‌ای از مشاهده‌های متوالی هستند که به‌صورت منظم با فواصل زمانی یک‌سان مرتب شده‌اند. زمان در سری زمانی باتوجه‌به نوع متغیر موردبررسی و هدف می‌تواند روز، هفته، ماه، یا سال باشد.

همان‌طورکه پیش‌تر اشاره شد، به‌کارگیری روش‌های سری زمانی به‌منظور پیش‌بینی متغیرهای پولی و مالی و بهبود تصمیم‌گیری‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها به ضرورتی انکارناپذیر در دنیای امروز تبدیل شده است. پیش‌بینی سری‌های زمانی یکی از مهم‌ترین زمینه‌های پیش‌بینی است که در آن مشاهدات گذشتهٔ یک متغیر جمع‌آوری می‌شود و به‌منظور به‌دست‌آوردن روابط اساسی مشاهدات و تعیین یک مدل توصیفی موردتجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و سپس، مدل حاصل به‌منظور برون‌یابی سری‌های زمانی مورداستفاده قرار می‌گیرد.

این روش مدل‌سازی مخصوصاً زمانی مفید است که درمورد 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 خطی‌بودن. دو دسته مدل در این گروه قرار دارند. مدل‌های پارامتری که در این مدل‌ها پذیره‌هایی مانند نرمال‌بودن یا در حالت بهتر مشخص‌بودن توزیع آماری جزو بخشی از روش است. مدل‌های ARIMA و ویرایش‌های غیرخطی ARCH و GARCH ازجمله مهم‌ترین مدل‌های پارامتری‌ای هستند که برای پیش‌بینی نرخ ارز استفاده می‌شوند. مدل‌های ناپارامتری درصورتی 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 ازجملهٔ این روش‌هاست.

یکی از پرکاربردترین مدل‌های سری‌های زمانی مدل‌های خودرگرسیونی میانگین متحرک انباشته است. از زمان پیش‌نهاد این‌گونه مدل‌ها توسط باکس ـــ جنکینز (Box and Jenkins) تا به امروز از این مدل‌ها در مقالات متعددی به‌منظور بهبود دقت روش‌های موجود یا ارائهٔ روش‌های ترکیبی جدید به‌منظور پیش‌بینی نرخ ارز استفاده شده است، اما باوجود تمامی مزایای منحصربه‌فردی که برای این‌گونه از مدل‌ها در نظر گرفته شده است مدل‌های خودرگرسیونی میانگین متحرک انباشته معایبی نیز دارند که ازجملهٔ آن‌ها می‌توان به محدودیت خطی‌بودن 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 ماهانهٔ مارک آلمان درقبال دلار آمریکا طی دورهٔ زمانی ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ برآورد کردند و بحث می‌کنند که تست‌های قبلی اشتباه به‌کار گرفته می‌شد. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌های ایجادشدهٔ یک مدل تصحیح خطای پویا بر مدل گام تصادفی برتری دارد (MacDonald and Taylor 1993).

موسا و برنز در مطالعهٔ خود نشان دادند که مدل پولی نرخ‌های ارز از مدل گام تصادفی در پیش‌بینی خارج از نمونه موفق‌تر است. آن‌ها برای مقایسهٔ دو پیش‌بینی از معیارهایی نظیر بزرگی خطای پیش‌بینی و قدرت مدل در پیش‌بینی برای تغییرات استفاده کردند. نتایج مطالعهٔ 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 دورهٔ زمانی ماه اول سال ۱۹۹۰ تا ماه هفتم سال ۲۰۱۰ است. برای دست‌یابی به پیش‌بینی خارج از نمونه دورهٔ نمونه در دسامبر ۲۰۰۵ به دو دورهٔ تخمین و یک دورهٔ پیش‌بینی تقسیم شد و پیش‌بینی‌ها طی ژانویهٔ ۲۰۰۶ تا ژوئیهٔ ۲۰۱۰ انجام شد.

کازرزی و همکاران با استفاده از داده‌های ماهانهٔ نُه ارز شامل ارز کشورهای استرالیا، کانادا، اتحادیهٔ اروپا، ژاپن، مکزیک، نیوزیلند، سوئیس، انگلیس، و ایالت متحدهٔ آمریکا برای دورهٔ 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 نیمهٔ 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 به‌سمت میانگین نمونه در مقادیر کالیبره‌شده بهتر از مدل برآوردی است.

لی، تسیاکاس، و وانگ در مطالعهٔ خود نشان دادند که مدل بنیادی برمبنای رگرسیون سینک آشپزخانه (استفاده از همهٔ متغیرهای پیش‌بینی‌کنندهٔ نرخ ارز در رگرسیون) می‌توانند پیش‌بینی‌های قابل‌اعتمادتری را برای نرخ‌های ارز ارائه کند (Li et al. 2015). نکتهٔ اساسی در توانایی پیش‌بینی برآوردی رگرسیون سینک آشپزخانه این است که اثر پیش‌بینی‌کننده‌هایی را که کم‌تر حاوی اطلاعات مفید هستند کاهش می‌دهد و بدین‌ترتیب، 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 نروژ، دلار نیوزیلند، و کرون سوئد به‌صورت ماهانه از ژانویهٔ ۱۹۷۶ تا ژوئن ۲۰۱۲ به‌کار بردند.

آباته و مارسلینو در مطالعهٔ خود با تمرکز بر ادبیات نظری مدل‌سازی و پیش‌بینی نرخ ارز نشان می‌دهند که پیش‌بینی فاصله و چگالی سه ارز مهم درمقابل دلار آمریکا می‌تواند با فرض‌کردن ناپایداری زمانی در ضرایب فرایند تولید داده بهبود یابد (Abbate and Marcellino 2016). آن‌ها نشان می‌دهند که ارتباط نرخ‌های ارز و یک

مجموعهٔ ساختارهای اقتصادی و مالی می‌تواند ازطریق 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 کدام‌یک 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 دورهٔ 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 ـــ ساموئلسون عوامل متداول در شکل‌گیری انتظارات پیش‌بینی‌کننده‌های بازار هستند.

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

۲.۳ مطالعات انجام‌شده در داخل

مرزبان و همکاران در مقالهٔ 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 ارز رسمی ایران (ریال به دلار آمریکا) از عملکرد بهتری برخوردار است. آن‌ها با مقایسهٔ مستقیم عملکرد مدل‌های اقتصادسنجی ساختاری و سری زمانی با شبکه‌های عصبی (غیرخطی) و با داده‌های ماهانهٔ مهر ۱۳۵۹ تا دی ۱۳۸۱ نشان دادند که مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌وضوح از قدرت بیش‌تری در زمینهٔ پیش‌بینی نرخ ارز برخوردارند.

ابونوری و همکاران با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی (ANN) نرخ روزانهٔ دلار آمریکا را در ایران طی دورهٔ 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 پیش‌بینی‌شدهٔ مدل ARIMA براساس معیارهای

اندازه‌گیری دقت پیش‌بینی مقایسه کردند و این نتیجه را ارائه کردند که شبکهٔ عصبی مورداستفاده 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 مطالعهٔ آن‌ها نشان می‌دهد که در بازهٔ زمانی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ برای نرخ ارز ریال ــ 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 مقایسهٔ نتایج آن‌ها با الگوی گام تصادفی پیش‌بینی کردند (شیرازی و نصرالهی ۱۳۹۲). آمارهای مربوط به مدل‌های پولی برای دورهٔ 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 مرحلهٔ بعد نرخ ارز با استفاده از مدل گام‌برداری تصادفی برای دورهٔ ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ محاسبه شد. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که مدل گام‌برداری تصادفی عملکرد بهتری در مقایسه با مدل‌های پولی دارد و در مدل‌های پولی، مدل فرانکل‌ـدورنبوش پیش‌بینی بهتری را در مقایسه با دیگر مدل‌ها ارائه می‌کند.

خداویسی و ملابهرامی دو مدل براساس معادلات دیفرانسیل تصادفی حرکت براونی ژئومتری (geometric brownian motion/ GBM) و مدل انتشار ــ پرش مرتن (merton-jump- diffusion/MJD) را به‌منظور برازش و پیش‌بینی روند آتی سری زمانی نرخ ارز بازار رسمی ایران ارائه کردند (خداویسی و ملابهرامی ۱۳۹۱). آن‌ها با استفاده از داده‌های روزانهٔ نرخ ارز بازار رسمی ایران (ریال درمقابل دلار) در بازهٔ زمانی ۲۳ فروردین ۱۳۸۰ تا اول مرداد ۱۳۹۰ و مقایسهٔ این مدل‌ها و مدل‌های اقتصادسنجی ARIMA نشان می‌دهند مدل MJD بر مدل‌های GBM و ARIMA در پیش‌بینی خارج از نمونهٔ 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 درمقابل ریال ایران ارائه کردند (خاشعی و دیگران ۱۳۹۲). روش پیش‌نهادی آن‌ها با به‌کارگیری قابلیت‌های منحصربه‌فرد شبکه‌های عصبی احتمالی در تشخیص نقاط شکستْ عملکرد و دقت مدل را در پیش‌بینی سری‌های زمانی افزایش داده است. نتایج حاصل از به‌کارگیری روش ترکیبی پیش‌نهادی

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

زرانژاد و همکاران دو مدل خودتوضیح‌جمعی میانگین متحرک (ARIMA) و شبکه های عصبی مصنوعی (ANN) را برای پیش بینی نرخ روزانهٔ ارز (دلار کانادا، یورو، پوند، ین ژاپن، و دلار آمریکا) از دورهٔ زمانی مارس ۲۰۰۶ تا فوریهٔ ۲۰۰۹ مورداستفاده قرار دادند (زرانژاد و دیگران ۱۳۸۷). نتیجهٔ مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد شبکه‌های عصبی تخمین‌های بهتری در مقایسه با روش ARIMA ارائه می‌کنند.

در مقالهٔ بافنده ایمان‌دوست و همکاران کارآیی مدل‌های غیرخطی با مدل‌های خطی سری زمانی در پیش‌بینی برابری نرخ ارز ریال/ دلار و ریال/ یورو برای دو، چهار، و هشت روز با استفاده از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی کارآیی مدل‌ها و داده‌های روزانه مربوط به دورهٔ 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 کارآیی بیش‌تری در پیش‌بینی نرخ ارزهای موردبررسی برخوردارند.

در تحقیق احسانی‌فر و احتشام راثی توانایی پیش‌بینی مدل‌های خودتوضیح‌جمعی، میانگین متحرک، و شبکه‌های عصبی مصنوعی موردمقایسه قرار می‌گیرد. از این دو روش برای پیش‌بینی نرخ روزانهٔ ارز در دوره‌های ۱۹۹۰/۱/۱ تا ۲۰۱۲/۱/۱ استفاده شده است (احسانی‌فر و احتشام راثی 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 مجموعهٔ مقادیر تکین (singular spectrum analysis/ SSA)، که یک روش ناپارامتری برای تحلیل سری‌های زمانی است، برای مدل‌سازی و پیش‌بینی نرخ روزانهٔ دلار به ریال در بازهٔ زمانی تیر ۱۳۹۲ تا شهریور ۱۳۹۴ استفاده کردند (یارمحمدی و محمودوند ۱۳۹۵). برای ارزیابی کیفیت مدل ارائه‌شده از مدل ARIMA به‌منزلهٔ یک مدل رقیب استفاده شده است. برای مقایسهٔ 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 به‌منزلهٔ یک روش توان‌مند برای این منظور به‌کار گرفته شود.

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

همان‌طورکه 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 به‌دست آمده است. باتوجه‌به مطالعات گذشته تاکنون در هیچ مطالعه‌ای از روش مدل خودتوضیح‌جمعی 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 ازجمله تنوع رفتار توابع میانگین و اتوکوواریانس 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 دامنهٔ نوسان از مشخصه‌های نمودارهای سری‌های زمانی ناماناست. معمولاً در تحلیل چنین سری‌هایی درابتدا، 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 ثبیت‌کنندهٔ میانگین و واریانس تفاضلی‌کردن است، برای این منظور عمل‌گر تفاضلی مرتبهٔ اول یا ∇ 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 درگیرنشدن با خطای حاصل از برآورد پارامترها اشاره کرد. در حالت کلی، سری‌های زمانی نامانایی که بعد از تفاضلی‌کردن مرتبهٔ d تبدیل به سری زمانی مانایی از نوع ARMA (p,q) می‌شوند معروف‌اند به سری‌های زمانی میانگین متحرک جمع‌بستهٔ 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:

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

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

سری‌های زمانی اغلب با پیش‌آمدهای خارجی ازقبیل 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 مقالهٔ 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 مشاهدهٔ T ام تأثیرگذار است و عامل IO در تمامی مشاهده‌های بعد از زمان T نیز اثرگذار است، عامل LS دنباله‌ای از عوامل AO با اندازهٔ یک‌سان است که از زمان T آغاز می‌شود و تا انتهای سری زمانی باقی می‌ماند، یعنی از زمان T سطح سری به‌اندازهٔ WLS (T) انتقال پیدا کرده است و درآخر، 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 درنهایت، به مقدار اولیهٔ خود بازمی‌گردد (Tiao 1988: 4). فرم کلی این‌گونه مدل‌ها به این صورت نمایش داده می‌شوند:

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

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

$(\delta = 0.7)$

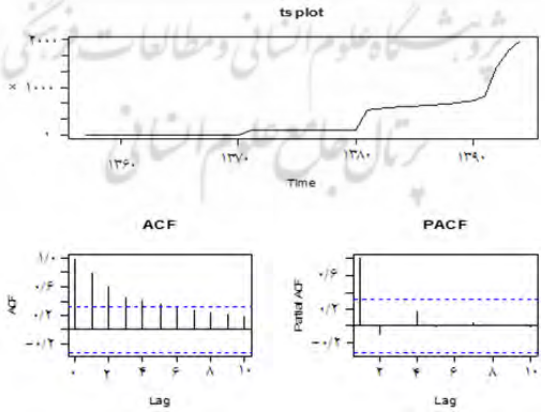
۵. تحلیل نتایج تجربی

در این بخش الگوهای تعیین و پیش‌بینی نرخ ارز ارائه می‌شود و الگـوی مناسـب انتخـاب می‌گردد و سپس، با استفاده از هر دو الگو مقادیر نرخ ارز برای سـال‌هـای ۱۳۹۵ تـا ۱۴۰۴ پیش‌بینی می‌شود و مقادیر مقایسه می‌شوند و نتایجْ تحلیل خواهند شد.

۱.۵ یافتن الگوی مناسب برای نرخ ارز

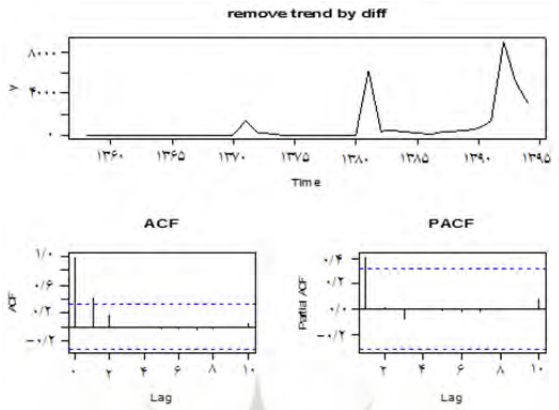
در این مقاله برای برازش مدل پیش‌بینی نرخ ارز از داده‌هـای نـرخ ارز رسـمی ایـران طـی سال‌های ۱۳۵۷ تا ۱۳۹۴ استفاده شده است. داده‌ها از سایت بانک مرکزی اسـتخراج شـد و ارزش هر دلار آمریکا را برحسب ریال ایران نشان می‌دهد. باتوجه‌بـه نمودارهـای مختلـف سری زمانی ازجمله نمودار داده‌ها برحسب زمان و توابع خودهم‌بسـتگی (autocorrelation function/ ACF) و خودهم‌بستگی جزئـی (partial autocorrelation function/ PACF) رفتـار داده‌ها بررسی و مدل مناسب مشخص می‌شود.

در نمودارهای ۲ روند حرکت نرخ ارز رسمی ایران برحسب زمـان و خـودهم‌بسـتگی و خودهم‌بستگی جزئی داده‌ها نمایش داده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، ناهم‌سـانی در واریانس در سری زمانی مشاهده نمی‌شود، ولی روند محسوسی در میانگین قابـل‌مشـاهده است. هم‌چنین، باتوجه‌به نمودار ACF که بسیار کند نزول می‌کند و نمودار PACF کـه بعـد از تأخیر یک قطع می‌شود، لزوم تفاضلی‌کردن به‌وضـوح مشـاهده مـی‌شـود (وی ۱۳۹۱: ۱۳۱). به‌علاوه، باتوجه‌به جهش‌های ناگهانی که در سری زمانی سبب انتقال داده‌ها به سـطوح بـالاتر شده است، نقش عامل‌های مداخله‌ای نیز در این سری زمانی انکارناپذیر است.



نمودار ۲. روند حرکت نرخ ارز رسمی ایران درطول زمان و نمودارهای خودهم‌بستگی و خودهم‌بستگی جزئی آن؛ منبع: محاسبات محقق

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



نمودار ۳. نمودارهای سری زمانی تفاضلی‌شدهٔ نرخ ارز رسمی ایران
منبع: محاسبات محقق

نمودار سری زمانی تفاضلی‌شده نشان می‌دهد که روند از سری حذف شده است، بنابراین مدل با یک مرتبهٔ تفاضلی پذیرفته شده است، ولی هم‌چنان عامل‌های مداخله‌ای وجود دارند. درادامه، برای بررسی یکی دیگر از شرایط مانایی سری زمانی تفاضلی‌شده، یعنی نبود ریشهٔ واحد این آزمون انجام می‌شود:

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

به‌نحوی‌که فرض صفر بیان‌کنندهٔ ریشهٔ واحد و درنتیجه نامانایی سری موردنظر است و فرض مقابل نبود ریشهٔ واحد و بنابراین مانایی سری زمانی است. برای انجام‌دادن این آزمون روش‌های مختلفی ازجمله آزمون‌های دیکی ـ فولر (AD)، دیکی ــ فولر تعمیم‌یافته (ADF)، فیلیپس ــ پرون (PP)، زیوت ــ اندریو (ZA)، و آزمون‌های دیگر وجود دارد که هرکدام باتوجه‌به وضعیت موجود برای آزمون انتخاب می‌شوند. چون در این سری زمانی عامل مداخله‌ای وجود دارد از آزمون زیوت ــ اندریو استفاده می‌شود که دربرابر این عامل‌ها غیرحساس است. نتیجهٔ آزمون مانایی باتوجه‌به ارزش احتمال (P-value= 0.012) که کوچک‌تر از سطح معنی‌داری $\alpha= 0.05$ است و به‌علاوه، بزرگ‌تربودن آمارهٔ آزمون از سطح بحرانی نشان می‌دهد که فرضیهٔ صفر، یعنی وجود ریشهٔ واحد رد شده است. به‌عبارت‌دیگر، سری داده‌ها با یک مرتبه تفاضل‌گیری ماناست.

جدول ۱. نتیجهٔ آزمون ریشهٔ واحد متغیر نرخ ارز رسمی ایران

آمارهٔ آزمون	مقدار بحرانی (α=۰/۰۵)	ارزش احتمال (P-value)
-۳/۴۶	-۵/۰۸	۰/۰۱۸

منبع: یافته‌های تحقیق

درادامه، آزمون وجود رانش برای سری داده‌های تفاضلی‌شده انجام می‌شود کـه معـادل 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 $p - value$=۰/۰۱۸ است که فرض صفر، یعنی نبود رانـش در سـطح α=۰/۰۵ رد می‌شود؛ بنابراین رانش در سری زمانی گام تصادفی وجود دارد. باتوجه‌به این‌که ACF روند نزولی میرا به‌سمت صفر دارد و PACF بعد از تأخیر یک صفر می‌شود می‌تـوان دریافت که مدل ARIMA (1,1,0) هم‌راه با عامل‌های مداخله‌ای مدلی مناسب برای این سری زمانی است.

به‌منظور یافتن زمان و نوع عامل‌های مداخله‌ای در داده‌ها از الگوریتم ارائه‌شدهٔ 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

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

منبع: یافته‌های تحقیق

از عوامل مداخله‌ای متعدد فقط سه عامل مداخله‌ای یادشده ازمیان آن‌ها معنادار هسـتند. بنابراین سه عامل تغییر گذرا در سطح در زمان‌هـای ۱۳۷۱، ۱۳۸۱، و ۱۳۹۲ بایـد بـه مـدل اضافه شوند. این برآوردها، که مربوط به مدل نوفهٔ سفید است، در مـدل مـوردنظر بـرآورد شده‌اند که نتایج برآورد پارامترها و اثر عامل‌های مداخله‌ای هم‌راه با خطای برآورد بـه ایـن شرح است:

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

	AR	TC14	TC24	TC35
برآورد	۰/۶۹۱	-۶۹۲/۹۲۹	-۳۰۹۵/۵۲۹	۳۶۰۸/۶۳۶
خطای معیار	۰/۱۱۶	۱۰۳۵/۹۷۹	۱۰۳۷/۹۰۲	۱۰۳۶/۶۱۷

منبع: یافته‌های تحقیق

درادامه، 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. بدین‌ترتیب، مدل آن به این صورت نوشته می‌شود:

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

در این مرحله از میان دو مدل برآوردشده مناسب‌ترین مدل باتوجه‌به 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

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

منبع: یافته‌های تحقیق

هرچه ارزش این سه معیار کم‌تر باشد نشان‌دهندهٔ مناسب‌بودن مدل است. باتوجه‌به نتایج جدول ۴ برحسب هر سه معیار مدل ARIMA (1,1,0) همراه با عامل‌های مداخله‌ای در مقایسه با مدل گام تصادفی برازش مناسب‌تری به داده‌ها دارد.

برای بررسی ناهم‌بستگی مانده‌ها از آزمون لیونگ ــ باکس استفاده می‌کنیم. آمارهٔ این آزمون ($Q_{LB} = 4.09$) ۴/۰۹ و ارزش احتمال ($p - value = 0.3927$) آن ۰/۳۹ است؛ بنابراین، دلیلی بر ردکردن 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.

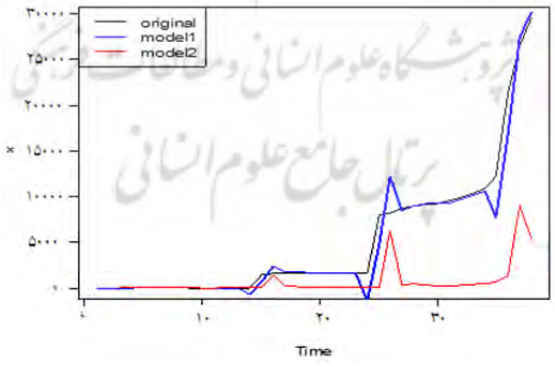
باتوجه‌به نتایج یادشده مناسب‌ترین مدل برای برازش نرخ ارز ایران مدل ARIMA (1,1,0) همراه با سه عامل تغییر گذرا در سطح (TC) است که به این صورت نمایش داده می‌شود:

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

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

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 دارد و پیش‌بینی‌های بهتر و نزدیک‌تری ارائه می‌کند.

در نمودار ۴ سری زمانی مشاهده‌ها همراه با مقادیر برازش‌شده در دو مدل گام تصادفی و مدل خودرگرسیون ARIMA همراه با عامل مداخله‌ای مشاهده می‌شود. همان‌طورکه از نمودار مشخص است، مقادیر برازش‌شدهٔ مدل پیش‌نهادی انطباق بیش‌تری با مشاهدات دنیای واقعی دارد، درحالی‌که مقادیر برازش‌شدهٔ مدل گام‌برداری تصادفی قادر به توصیف داده‌ها برمبنای مشاهدات واقعی نیست و با فاصلهٔ 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 به‌منزلهٔ مدل جای‌گزین برای مدل‌های متداول سری زمانی تعیین نرخ ارز به‌کار برد.



نمودار ۴. سری زمانی مشاهده‌ها همراه با مقادیر برازش‌شده در دو مدل گام‌برداری تصادفی و مدل خودرگرسیون ARIMA همراه با عامل مداخله‌ای

منبع: یافته‌های تحقیق

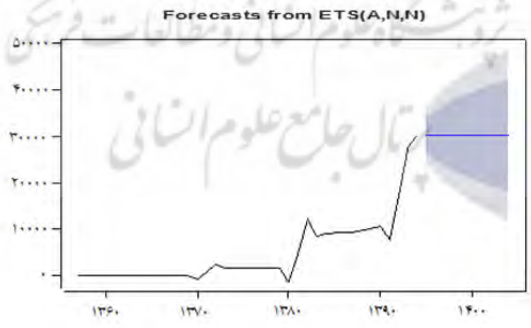
۲.۵ پیش‌بینی

با استفاده از نتایج بخش قبل و انتخاب مدل ARIMA (1,1,0) همراه با عامل‌های مداخله‌ای به‌منزلهٔ مدل مناسب برای پیش‌بینی نرخ ارز رسمی ایران در جدول ۵ مقادیر پیش‌بینی‌شدهٔ 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 پیش‌بینی‌شدهٔ 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 مقایسهٔ داده‌های نرخ ارز رسمی در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ و مقایسهٔ 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. باتوجه‌به 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 حوزهٔ 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 حوزهٔ اقتصاد بین‌الملل به آن توجه دارند. تغییرات این متغیر در کشورهای درحال‌توسعه ازجمله اقتصاد ایران به‌علت وابستگی این کشورها به واردات مواد اولیهٔ واسطه‌ای و سرمایه‌ای بسیار حائزاهمیت 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 حاکم‌شدن نظام ارزی کنونی بر جهان پیش‌بینی نرخ ارز در ادبیات اقتصاد بین‌الملل بسیار گسترش یافت و بسیاری از تحقیقات به پیش‌بینی این متغیر و مقایسهٔ 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.

باتوجه‌به نبود اجماع و اتفاق‌نظر در کارآیی مدل‌های مختلف در پیش‌بینی نرخ ارز و هم‌چنین، رفتار سری داده‌ها در بازهٔ زمانی ۱۳۵۷ تا ۱۳۹۴ در این تحقیق ضمن بررسی مبسوط مبانی نظری پیش‌بینی نرخ ارز و مروری بر مطالعات انجام‌شده با هدف ارائهٔ 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.

برای این منظور، درابتدا، 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 سطحْ مناسب تشخیص داده شد. درادامه، هر دو مدل پیش‌نهادی و مدل گام تصادفی برازش داده شد و پارامترهای مجهول آن‌ها برآورد شدند. درنهایت، نیز پس از مقایسهٔ دو مدل براساس معیارهای برازش مدل و انتخاب مدل مناسب، نرخ ارز رسمی برای دورهٔ 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 به‌منزلهٔ مدل جای‌گزین برای مدل‌های متداول سری زمانی تعیین نرخ ارز به‌کار برد.

کتاب‌نامه

ابونوری، عباس‌علی، فرداد فرخی، و سیده‌فاطمه شجاعیان (۱۳۹۳)، «مقایسهٔ عمل‌کرد شبکه‌های مصنوعی (ANN) و مدل میانگین متحرک انباشتهٔ اتورگرسیو (ARIMA) در مدل‌سازی و پیش‌بینی کوتاه‌مدت روند نرخ ارز در ایران»، فصل‌نامهٔ علمی ــ 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 شبکهٔ عصبی (مطالعهٔ موردی: دلار استرالیا، دلار کانادا، ین ژاپن، و پوند انگلستان)»، فصل‌نامهٔ *دانش مالی تحلیل اوراق بهادار*، س ۸، ش ۲۷.

بافنده ایمان‌دوست، صادق، سیدمحمد فهیمی‌فرد، و سمیه شیرزادی (۱۳۸۸)، «پیش‌بینی نرخ ارز با مدل‌های عصبی ــ فازی ANFIS، شبکهٔ عصبی ـــ خودرگرسیونی NNARX، و خودرگرسیونی ARIMA در اقتصاد ایران (۱۳۸۱– ۱۳۸۷)»، مجلهٔ *دانش و توسعه*، س ۱۶، ش ۲۸.

بهرام‌پور، پیمان و نیک‌بخش جوادیان (۱۳۹۳)، «پیش‌بینی روزانهٔ نرخ جفت ارز پوند/ دلار در بازار فارکس با استفاده از شبکهٔ عصبی»، نشریهٔ 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»، مجلهٔ *دانش مالی تحلیل اوراق بهادار*، ش ۹.

خاشعی، مهدی و مهدی بیجاری (۱۳۸۶)، «به‌کارگیری مدل میانگین متحرک خودرگرسیون انباشتهٔ فازی به‌منظور پیش‌بینی نرخ ارز»، مجلهٔ *استقلال*، س ۲۶، ش ۲.

خاشعی، مهدی، فریماه مخاطب رفیعی، و مهدی بیجاری (۱۳۹۱)، «به‌کارگیری مدل‌های ترکیبی میانگین متحرک خودرگرسیون انباشتهٔ فازی احتمالی به‌منظور پیش‌بینی نرخ ارز»، فصل‌نامهٔ *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)»، فصل‌نامهٔ *روش‌های عددی در مهندسی*، س ۳۲، ش ۱.

خداویسی، حسن و احمد ملابهرامی (۱۳۹۱)، «مدل‌سازی و پیش‌بینی نرخ ارز براساس معادلات دیفرانسیل تصادفی»، مجلهٔ *تحقیقات اقتصادی*، ش ۳.

خزائی، مجتبی (۱۳۸۷)، *آشنایی با تحلیل سری‌های زمانی به‌کمک نرم‌افزار S-PLUS*، تهران: پژوهشکدهٔ آمار.

درگاهی، حسن و رضا انصاری (۱۳۸۷)، «بهبود مدل‌سازی شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی نرخ ارز با به‌کارگیری شاخص‌های تلاطم»، مجلهٔ *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»، فصل‌نامهٔ *اقتصاد مقداری*، ش ۴.

شیرازی، همایون و خدیجه نصرالهی (۱۳۹۲)، «مدل‌های پولی و پیش‌بینی نرخ ارز در ایران: از تئوری تا شواهد تجربی»، فصل‌نامهٔ *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»، *نامهٔ مفید*، ش ۶۰.

فتاحی، شهرام، آرش احمدی، و علی‌اکرم میرزایی (۱۳۹۲)، «مقایسهٔ 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 شبکهٔ عصبی برای پیش‌بینی نرخ ارز»، مجلهٔ *تحقیقات اقتصادی*، ش ۶۹.

مطهری، محب‌اله، محمدرضا لطف‌علی‌پور، و محمدطاهر احمدی شادمهری (۱۳۹۴)، «ارائهٔ یک الگوی هشدار پیش از وقوع نوسانات ارزی در بازار ارز ایران: روش مارکوف سوئیچینگ گارچ»، فصل‌نامهٔ *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)»، مجلهٔ *تحقیقات اقتصادی*، ش ۹۳.

وی، ویلیام (۱۳۹۱)، *تحلیل سری‌های زمانی، روش‌های یک‌متغیری و چندمتغیری*، ترجمهٔ حسین‌علی نیرومند، مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد.

یارمحمدی، مسعود و رحیم محمودوند (۱۳۹۵)، «پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از روش تحلیل مجموعهٔ مقادیر تکین»، فصل‌نامهٔ *مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، س ۵، ش ۱۸.

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.

Hauner, 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, Jiahan, 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. Kacpryzk 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.