

## پیش‌بینی نرخ ارز: مقایسه الگوهای رشد لجستیک با الگوهای رقیب

حامد منصوری گرگری\*، حسن خداویسی\*\*

تاریخ پذیرش

۱۳۹۸/۱۰/۱۳

تاریخ دریافت

۱۳۹۸/۰۴/۳۰

### چکیده:

هدف اصلی این پژوهش، مقایسه الگوهای رشد لجستیک هاروی، هاروی، شبکه‌عصبی غیرخطی اتورگرسیو و طراحی و یافتن الگوی بهینه پیش‌بینی نرخ ارز بازار آزاد با نوسان زیاد و روند حرکتی غیرخطی است که تاکنون از این نوع الگوها برای پیش‌بینی نرخ ارز در ایران استفاده نشده است. در این پژوهش، با بکارگیری الگوهای رشد "لجستیک‌هاروی"، "هاروی" و با افزودن جزء غیرخطی بر اساس بسط سری تیلور توابع مثلثاتی، بر مبنای داده‌های روزانه مربوط به سال‌های ۱۳۹۸:۰۳-۱۳۹۲:۰۱، نوسان‌های نرخ ارز پیش‌بینی و کارآمدی این الگوها بر اساس معیارهای پیش‌بینی و نتایج آن با شبکه‌عصبی غیرخطی خودرگرسیونی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج آزمون‌های ریشه واحد بیانگر پایایی داده‌ها و رفتار غیرخطی است. در مرحله برآورد، خوبی برازش الگوهای لجستیک هاروی و هاروی تایید نگردید. با افزودن جزء غیرخطی به الگوی هاروی برازش بسیار مناسبی از نرخ ارز با ضریب تعیین حداقل ۹۹/۹۵ درصد و حداقل جذر میانگین مربعات خطا حتی در مقایسه آن با شبکه‌عصبی غیر خطی اتورگرسیو بدست آمد. بنابراین، نتایج نشان می‌دهد که ترکیب الگوی هاروی با جزء غیرخطی یکی از مزیت‌های اساسی به شمار آمده و بهتر از الگوهای دیگر نرخ ارز را پیش‌بینی می‌کند.

کلیدواژه‌ها: لجستیک هاروی، هاروی، شبکه‌عصبی غیرخطی خودرگرسیونی، نرخ ارز.  
طبقه‌بندی JEL: C53، C45، C13.

---

\* دانشجوی دکتری اقتصاد، گروه اقتصاد دانشکده اقتصاد و مدیریت دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران  
hamed.mansoori@gmail.com  
\*\* دانشیار گروه اقتصاد دانشکده اقتصاد و مدیریت دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران (نویسنده مسئول)  
h.khodavaisi@urmia.ac.ir

## ۱. مقدمه

یکی از متغیرهای مهم و کلیدی اقتصادی موثر بر رفتار سایر متغیرها در اقتصاد نرخ ارز است که نوسان‌های آن می‌تواند تأثیرات قابل ملاحظه‌ای بر وضعیت بازرگانی خارجی کشورها و جریان سرمایه و بطور کل 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 (شاه حسینی و رضایی، ۱۳۹۶). همچنین، نوسان‌های نرخ ارز یکی از موانع اساسی پیش برنده بسیاری از مبادلات و مراودات بین‌المللی است، که آگاهی از تغییرات و نوسان‌های آن می‌تواند سیاست‌گذاران پولی را برای طراحی یک سیاست پولی کارا به منظور تثبیت قیمت‌ها و افزایش سطح اشتغال مهیا کند (احسانی فر و احتشام راثی، ۱۳۹۴).

در ایران به دلایل مختلف اقتصادی، سیاسی، مالی، روانی از جمله وابستگی شدید درآمدهای ارزی و بودجه سالیانه کشور به صادرات نفت، نرخ ارز با نوسان‌های زیادی طی سال‌های گذشته همراه بوده است و تمامی بخش‌های اقتصادی کشور را با چالش فزاینده روبرو کرده است. در این بین، عدم برنامه‌ریزی و شناسایی به موقع تغییرات نرخ ارز باعث شده است تا سیاست‌گذاران این بخش نتوانند برنامه‌های مدیریتی خود را به موقع و قبل از ایجاد شوک‌های ارزی اعمال کنند. بدین جهت پیش‌بینی نرخ ارز می‌تواند اطلاعاتی از روند آتی و وضعیت کلی بازار ارز و نبض تبادلات اقتصادی کشور را نشان دهد. همانطور که مشهود است بازار ارز نه تنها از عوامل کلان اقتصادی، بلکه از هزاران عامل دیگر تأثیر می‌پذیرد. تعداد زیاد و ناشناخته بودن عوامل مؤثر بر نرخ ارز، موجب عدم اطمینان در زمینه مبادلات تجاری و سرمایه‌گذاری و به تبع آن تحت تأثیر قراردادان رشد و توسعه اقتصادی کشور شده است و این ویژگی عدم اطمینان، برای مدیران بخش‌های مختلف اقتصادی، بازرگانی و سرمایه‌گذاران نامطلوب است (واپت<sup>۱</sup>، ۱۹۸۸). از طرفی سرمایه‌گذاری

---

1. White

بخش مهمی از اقتصاد را تشکیل می‌دهد، لذا موضوع پیش‌بینی و طراحی الگو و پیش‌بینی با اطمینان بالا در کشورهای در حال توسعه‌ای نظیر کشور ما به منظور مدیریت صحیح نرخ ارز برای رسیدن به توسعه پایدار، اهمیت بسزایی دارد و تصمیم‌گیری در وضعیت نامطمئن را برای تصمیم‌گیران اجرایی کشور هموار می‌سازد (طلوعی و حق دوست، ۱۳۸۶).

در سال‌های اخیر با توجه به روش‌های نوین پیش‌بینی و استفاده از نرم‌افزارها و سیستم‌های هوشمند سبب شده چالش‌های دیگری در زمینه پیش‌بینی ایجاد شود. در مورد پیش‌بینی نرخ ارز تاکنون تلاش‌های زیادی به وسیله محققین انجام شده است. در این روش‌ها محققان تلاش خود را بیش‌تر بر پیش‌بینی نرخ ارز با توجه به متغیرهای برونزا و مقادیر گذشته سری زمانی معطوف نموده‌اند و این منطقی‌ترین روشی است که می‌توان با وجود متغیرهای بسیار زیاد انتخاب نمود. در تکنیک سری زمانی، سعی می‌شود از نحوه تسلسل شماره‌ها، فرآیند ایجاد آن‌ها را حدس زد، چنانچه اعداد سری مربوط از یک توزیع یکسان پیروی کنند یعنی در طول زمان مستقل از یکدیگر بوده و احتمال وقوع بیش‌تری را نسبت به سایر اعداد داشته باشد استراتژی محقق انتخاب عدد مزبور خواهد بود (هندریکسن و ون‌بریدا<sup>۱</sup>، ۱۹۹۲؛ دموری و اشهر، ۱۳۹۰). بنابراین سری زمانی ارقام، اطلاعاتی را پیرامون نتایج آتی فراهم ساخته و تصمیمات بعدی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و استفاده از این روش‌ها موجبات افزایش اطمینان سرمایه‌گذاران و کارایی بازار ارز خواهد شد.

طراحی، گزینش و اصلاح یک الگو از میان انواع الگوهای پیش‌بینی هم به موضوع مورد مطالعه، هم به ماهیت و نوع پیش‌بینی و هم به کمیت و کیفیت داده‌های موجود و قابل دسترس ارتباط دارد. بنابراین، پرسش کلیدی پژوهش این است که آیا می‌توان برای طراحی، برآورد و بدست آوردن الگوی مناسب از الگوهای مبتنی بر رشد همانند الگوی

لجستیکی هاروی، هاروی و انجام تعدیلاتی در آن به نحو مناسب استفاده کرد؟ در جواب باید گفت که الگوی‌های فوق بیش‌تر برای سری‌های زمانی دارای روند زمانی (سالانه) به کار می‌رود. تفاوت داده‌های روزانه و سالیانه وجود میزان بالای نوسان و تغییرات در داده‌های روزانه است که احتیاج به روش متفاوت جهت پیش‌بینی دارد. به همین دلیل ما سعی می‌کنیم الگوی متفاوتی را در این زمینه ارائه دهیم و سعی داریم با افزودن جزء غیرخطی به الگوی‌ها روی، الگوی مناسبی جهت پیش‌بینی داده‌های روزانه نرخ اسمی ارز بازار آزاد (دلار) در دوره زمانی ۱۳۹۲:۰۱ تا ۱۳۹۸:۰۳ طراحی کنیم. و پرسش کلیدی دوم این است که آیا این الگو می‌تواند پیش‌بینی بهتری نسبت به الگوی شبکه‌عصبی غیرخطی اتورگرسیو ارائه کند؟ جواب به این سوال هم مثبت است که به نوعی نوآوری این مقاله محسوب می‌شود

بنابراین در این پژوهش به طور خلاصه، سعی می‌کنیم با افزودن جزء غیرخطی به الگوی‌ها روی، الگوی مناسبی جهت پیش‌بینی داده‌های روزانه طراحی و برای مقایسه نتایج پیش‌بینی این الگو با روش‌های پیش‌بینی غیرخطی از یک الگوی شبکه‌عصبی غیرخطی اتورگرسیو بهره خواهیم برد.

در همین راستا، در بخش دوم، ادبیات نظری و پیشینه پژوهش و در ادامه روش شناسی و در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادات آورده شده است.

## ۲. ادبیات نظری و پیشینه پژوهش

### ۲-۱. ادبیات نظری

با توجه به نظریه‌های گوناگون مطرح در ادبیات پیش‌بینی نرخ ارز، الگوهای پیش‌بینی نرخ ارز را به دو گروه الگوهای متعارف فرضیه بازار کارا، ساختاری، الگوهای تکنیکال و الگوهای جایگزین با رویکرد الگوهای غیر متعارف برای پیش‌بینی تقسیم بندی شده و با بررسی الگوهای متعارف، الگوهای سری زمانی مبتنی بر رشد به تفصیل آورده شده است.

در الگوهای بازار کارا، فرض بر این است که کارایی بازار ارز بسیار قدرتمند بوده و تغییرات نرخ ارز قابل پیش‌بینی نیست و به معنای کاربرد فرضیه گام‌برداری تصادفی است. بر اساس این فرضیه نرخ ارز تنها زمانی تغییر می‌کند که برخی اطلاعات جدید اعلام شوند. اما از آنجا که هیچکس نمی‌داند این اطلاعات چه هستند و چه زمانی اعلام می‌شوند، بنابراین نرخ ارز غیر قابل پیش‌بینی است. براساس این الگو، تغییرات آینده نرخ ارز از نوسان‌های گذشته مستقل هستند و این واقعیت، پیش‌بینی آن‌ها برای آینده را غیر ممکن می‌کند. مقالات پژوهشی متنوعی وجود دارند که شواهدی از چنین الگوهایی را ارائه می‌کنند. در عین حال اقتصاددانانی نظیر گودمن<sup>۱</sup> (۱۹۷۹) مطرح می‌کنند فرضیه بازار کارا اساساً به این معنی نیست که نرخ ارز به مبانی و ساختارهای اقتصادی غیر مرتبط است یا این که نرخ‌های ارز باید حول ارزش گذشته خود بطور تصادفی نوسان کنند.

در الگوهای ساختاری، از متغیرهای مشخصی از اقتصاد کلان که نرخ ارز را متأثر می‌کنند برای پیش‌بینی نرخ ارز استفاده شده است و به الگوهای اقتصاد کلان معروف‌اند. در ادامه پژوهش میس و روگوف (۱۹۸۳)، نشان داد این الگوها برای پیش‌بینی نرخ ارز نامناسب هستند. در پاسخ به عدم موفقیت عملکرد الگوهای ساختاری، موسا و بهاتی<sup>۲</sup> (۲۰۱۰) یک گروه جایگزین از الگوهای ریزساختاری<sup>۳</sup>، مالیه رفتاری<sup>۴</sup>، پست کینزین<sup>۵</sup> و تئوری چاوزو همکاران<sup>۶</sup> ارائه کردند. می‌توان از انواع الگوهای ساختاری به تئوری برابری قدرت خرید، تئوری برابری نرخ بهره، الگوی ماندل فلمینگ، الگوی پولی قیمت انعطاف‌پذیر و قیمت چسبنده، الگوی تراز سبب دارایی اشاره نمود.

- 
1. Goodman
  2. Moosa and Bhatti
  3. Microstructure Model
  4. Behavioral Finance
  5. Post-Keynesian
  6. Chaos et al.

در الگوهای تکنیکال (فنی)، نوسان‌های گذشته و روند تغییرات نرخ ارز برای پیش‌بینی روند آتی آن بکار می‌رود پیش‌بینی نرخ ارز برپایه عملکرد گذشته برخی متغیرها پایه‌گذاری شده است که به معنی پذیرش این فرض است که گذشته خودش را تکرار می‌کند (مطهری و همکاران، ۱۳۹۴). در سال‌های اخیر با ثبت منظم داده‌ها و به وجود آمدن بآن کهای اطلاعاتی در سراسر دنیا، تمایل به استفاده از سری‌های زمانی افزایش یافته است. سری‌های زمانی مجموعه‌ای از مشاهده‌های متوالی هستند که به صورت منظم با فواصل زمانی یکسان مرتب شده‌اند (شاه حسینی و رضایی، ۱۳۹۶).

در مساله پیش‌بینی نرخ ارز و بر اساس داده‌های سری زمانی محققان الگوهای زیادی را بکار برده‌اند و چه بسا این الگوهای پیش‌بینی با تعدیلاتی نیز همراه بوده است. از جمله این الگوها می‌توان به الگوهای لجستیک که یکی از پر استفاده‌ترین فنون تحلیل سری‌های زمانی هستند اشاره نمود. این الگوها بیش‌ترین موارد استفاده را در رشته‌های گوناگون، به ویژه برای پیش‌بینی در زمینه تکنولوژی، داشته‌اند. الگوهای لجستیک بر اساس تابع لجیستیکی بنا شده‌اند. تابع لجیستیکی در وهله نخست به آهستگی سپس، در مرحله میانی، به سرعت و در مرحله بعد، دوباره، به آهستگی رشد می‌کنند تا به نقطه اشباع برسند (فطرس و منصوری، ۱۳۸۹).

تعدادی از محققان با استفاده از الگوهای لجیستیک ساده و گاه با انجام برخی اصلاحات فنی لازم به انجام برخی پیش‌بینی‌ها در زمینه‌های گوناگون پرداخته‌اند. برای مثال، بیولی و فیبیگ<sup>۱</sup> (۱۹۸۸) از الگوی رشد لجیستیکی برای پیش‌بینی در زمینه‌های ارتباطات راه دور استفاده کردند. همچنین، مار-مولینرو<sup>۲</sup> (۱۹۸۰) از تحلیل لجیستیکی برای پیش‌بینی تعداد تراکتور در اسپانیا استفاده کرده است (فطرس و منصوری، ۱۳۸۹).

---

1. Bewley and Fiebig  
2. Mar-Molinero

در ادامه، جیووانیس و اسکیاداس<sup>۱</sup> (۱۹۹۹) الگویی تصادفی<sup>۲</sup> برای تبیین انتشار نوآوری معرفی می‌کنند که از الگوی رشد لجستیکی اصلی اخذ شده است، با این فرض که فرآیند رشد آتی با اطمینان شناخته نیست بلکه توسط فرآیندی تصادفی قابل تبیین است. الگوی لجستیکی و سایر الگوهای برگرفته از الگو یا تابع لجستیک با روند رو به رشدی که داشته است توانسته نسبت به سایر الگوهای به کار برده شده قبلی پیش‌بینی‌های بهتری را ارائه نماید. با این وجود این الگو با محدودیت‌هایی همچون تعیین سطح اشباع مواجه بوده است. بر این اساس، هاروی<sup>۳</sup> برای پیش‌بینی رفع محدودیت توابع لجستیکی الگویی پیشنهاد کرده است که نیازی به تعیین سطح اشباع قبل از تخمین پارامترهای الگو وجود ندارد. با این وجود، الگوی مذکور نیز طی زمان به یک سطح آستانه‌ای نزدیک می‌شود (هاروی، ۱۹۸۴ و ۱۹۹۳).

مطالعات گوناگون در زمینه پیش‌بینی و استفاده از الگوی لجستیکی هاروی و هاروی برای داده‌هایی که وابستگی زیادی به مقادیر گذشته خود دارند در کل پیش‌بینی خوبی به دست می‌دهند. اما در داده‌هایی با نوسان زیاد و روند حرکتی غیرخطی، پیش‌بینی با خطا همراه خواهد بود. بنابراین، افزودن جزء غیرخطی به الگو، می‌تواند بر هرچه بهتر نمودن پیش‌بینی سری‌های زمانی (همچون نرخ ارز) مؤثر واقع شود.

## ۲-۲. پیشینه پژوهش

### ۲-۲-۱. مطالعات داخلی

برای پیش‌بینی نرخ ارز، روش‌ها و الگوهای سری زمانی متعددی ارائه شده است و محققان زیادی در این زمینه به پژوهش پرداخته‌اند. برای پیش‌بینی نرخ ارز، برخی پژوهشگران

---

1. Giovanis and Skiadas  
2. Stochastic  
3. Harvey

معتقدند که الگوسازی رفتاری و پیش‌بینی نرخ ارز اساساً امکان‌پذیر نبوده و روند حرکتی هر نوع نرخ ارز از فرضیه‌ی بازار کارا پیروی می‌کند.

زراء نژاد و همکاران (۱۳۸۷)، پنج نرخ ارز را با استفاده از دو الگوی شبکه‌های عصبی و ARIMA، نرخ روزانه‌ی ارز را پیش‌بینی نموده‌اند. نتایج پژوهش نشان داد الگوی غیرخطی شبکه‌ی عصبی برای پیش‌بینی نرخ‌های ارز در مقایسه با الگوی خطی ARIMA عملکرد بهتری دارد و الگوی خطی ARIMA فقط در هشت مورد عملکرد مناسب‌تری از الگوی شبکه‌عصبی داشته است.

خداویسی و ملابهرامی (۱۳۹۱)، دو الگو براساس معادلات دیفرانسیل تصادفی حرکت براونی ژئومتری<sup>۱</sup> (GBM) و الگوی انتشار-پرش مرتن<sup>۲</sup> (MJD) را جهت برآزش و پیش‌بینی روند آتی سری زمانی نرخ ارز بازار رسمی ایران ارائه کردند. آن‌ها با استفاده از داده‌های روزانه نرخ ارز بازار رسمی ایران (ریال بر دلار) و مقایسه بین این الگوها و الگوهای اقتصادسنجی ARIMA نشان دادند الگوی MJD بر الگوهای GBM و ARIMA در پیش‌بینی خارج از نمونه‌ی نرخ ارز براساس گشتاورهای RMSE برتری دارد.

یارمحمدی و محمودوند (۱۳۹۵)، در پژوهش خود از روش تحلیل مجموعه مقادیر تکین<sup>۳</sup> (SSA) و برای الگوسازی و پیش‌بینی نرخ روزانه دلار به ریال از الگوی ARIMA و برای ارزیابی کیفیت الگو ارائه شده از یک الگوی رقیب استفاده کرده‌اند. آن‌ها برای مقایسه، خطای برآزش (درون نمونه‌ای) و خطای پیش‌بینی (برون نمونه‌ای) برای گام‌های پیش‌بینی کوتاه مدت، متوسط و بلندمدت استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که SSA می‌تواند بعنوان یک روش توانمند برای این منظور بکار گرفته شود.

شاه‌حسینی و رضایی (۱۳۹۶)، در پژوهش خود پس از بررسی شرایط پایایی برای تخمین از الگوی خودرگرسیون ARIMA همراه با سه عامل مداخله‌ای تغییرگذارا در

---

1. Geometric Brownian Motion  
2. Merton- Jump- Diffusion  
3. Singular Spectrum Analysis



سطح و مقایسه‌ی آن با الگوی گام تصادفی برای نرخ ارز رسمی نتیجه گرفتند الگوی ARIMA همراه با عامل‌های مداخله‌ای عملکرد بهتری در مقایسه با الگوی گام تصادفی در پیش‌بینی نرخ ارز دارد.

در مطالعات داخلی به منظور الگوسازی و پیش‌بینی نرخ ارز بازار آزاد با وابستگی زیاد به مقادیر گذشته و رفتار عاملان اقتصادی بازار و روند حرکتی متوازن، بر اساس الگوهای رشد لجستیکی تا بحال مطالعه‌ای انجام نشده است.

## ۲-۲-۲. مطالعات خارجی

میس و روگوف<sup>۱</sup> (۱۹۸۳) در مقاله خود نشان دادند، هیچ یک از الگوهای تک متغیره استفاده شده توسط آن‌ها قابلیت غلبه بر الگوی گام تصادفی را در پیش‌بینی نرخ ارز ندارد. یک توضیح محتمل برای این شکست وجود ارتباط بین نرخ‌های ارز و متغیرهای اقتصاد کلان، ناپایدار و بی‌ثبات است که توسط باچتا و ون وینکوپ<sup>۲</sup> (۲۰۰۹) مطرح شده است. به علاوه انگل و وست<sup>۳</sup> (۲۰۰۵) نشان داده‌اند الگوی 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.

اواسط دهه ۱۹۹۰، مطالعاتی نظیر مارک<sup>۴</sup> (۱۹۹۵) و چین و میس<sup>۵</sup> (۱۹۹۵) ادعا کردند الگوی گام برداری تصادفی<sup>۶</sup> می‌تواند در افق زمانی بلندمدت موفق باشد. این دیدگاه خوش‌بینانه عمر زیادی نداشت و به طور قابل ملاحظه‌ای مورد نزاع و جدال بود. بعدتر روگوف (۲۰۰۹) بیان می‌کند که احتمالاً مسأله پیش‌بینی‌پذیر نبودن نرخ ارز در آینده نیز

- 
1. Messe and Rogoff
  2. Bacchetta and Van Wincoop
  3. West and Engel
  4. Mark
  5. Chinn and Meese
  6. Random Walk

باقی می‌ماند، همان معمایی که میس و روگوف در سال ۱۹۸۳ طرح کردند. در عین حال برخی از نویسندگان همچنان بحث می‌کنند که تئوری نرخ ارز تنها بر مبنای عملکرد پیش‌بینی آن نمی‌تواند کنار گذارده شود و از طرف دیگر همچنان قابلیت‌هایی از پیش‌بینی نرخ ارز وجود دارد (کازورزی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳).

اینس و ترافالیس<sup>۲</sup> (۲۰۰۶)، برای پیش‌بینی نرخ ارز ابتدا با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی سعی در شناخت خواص آماری و انتخاب داده‌های مناسب برای پیش‌بینی کرده‌اند. سپس با استفاده از شبکه‌های عصبی به پیش‌بینی نرخ ارز مبادرت ورزیده‌اند. نتایج نشان داد شبکه‌ی عصبی<sup>۳</sup> SVR در ترکیب با هر نوع از روش‌های انتخاب داده، جواب‌های بهتری نسبت به شبکه‌ی MLP<sup>۴</sup> از خود نشان می‌دهد.

موسا و برنز<sup>۵</sup> (۲۰۱۳)، در مطالعه خود نشان داده‌اند الگوی پولی نرخ‌های ارز از الگوی گام تصادفی در پیش‌بینی خارج از نمونه موفق‌تر است. آن‌ها برای مقایسه دو پیش‌بینی از معیارهایی نظیر بزرگی خطای پیش‌بینی و قدرت الگو در پیش‌بینی جهت تغییرات استفاده کردند. نتایج مطالعه نشان داد الگوی پولی عملکرد بهتری در مقایسه با گام تصادفی در پیش‌بینی خارج از نمونه برای ۴ ارز شامل دلار آمریکا، ین ژاپن، پوند انگلیس و دلار کانادا دارد.

آباته و مارسلینو<sup>۶</sup> (۲۰۱۶)، در مطالعه خود برای الگوسازی و پیش‌بینی نرخ ارز، نشان دادند پیش‌بینی فاصله و چگالی سه ارز مهم در مقابل دلار آمریکا می‌تواند با فرض کردن ناپایداری زمانی در ضرایب فرآیند تولید داده، بهبود می‌یابد و ارتباط بین نرخ‌های ارز و

- 
1. Ca' Zorzi et al.
  2. Ince and Trafalis
  3. Support Vector Regressive
  4. Multi Layer Perceptron
  5. Moosa and Burns
  6. Abbate and Marcellino

یک مجموعه ساختارهای اقتصادی و مالی می‌تواند از طریق الگوسازی پارامتر ناپایداری زمانی حل شود.

دگیاناکیس<sup>۱</sup> (۲۰۱۸)، در مطالعه خود با پیش‌بینی نوسانات نرخ ارز و بورس اوراق بهادار اتحادیه اروپا با به‌کار بردن الگوهای ترکیبی اتورگرسیو تحت توزیع‌های متقارن و نامتقارن، نشان دادند اکثر الگوهای پیش‌بینی کیفی مشابهی را برای پیش‌بینی نوسان‌های روز معاملات بعدی ارائه می‌دهند. با این حال با توجه به افق پیش‌بینی یک هفته‌ای الگوی اتورگرسیو نامتقارن (ترکیبی) از نظر آماری پیش‌بینی بهتری نسبت به الگوی یک واحد در بلندمدت دارد.

### ۳. روش شناسی پژوهش

#### ۳-۱. الگوی لجستیک و لجستیک هاروی

الگوهای سری زمانی یک متغیره از روند کلی تبعیت نمی‌کنند و دارای روند موضعی<sup>۲</sup> هستند<sup>۳</sup> (هاروی، ۱۹۸۴). در پیش‌بینی سری زمانی‌هایی با روند موضعی به داده‌ها و مشاهدات جدید نسبت به مشاهدات قبلی وزن بیشتری داده می‌شود. اما، در الگوهای با روند کلی، مسیر زمانی داده‌ها از تابعی قطعی شامل جزء اخلاص تبعیت می‌کنند.

نرخ ارز (دلار بر ریال)  $f(t)$  را با توجه به یک تابع لجستیکی می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$f(t) = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{\gamma t}} \quad 1 \leq t \leq T \quad (1)$$

$\alpha$ : سطح اشباع،  $\beta, \gamma$ : پارامترهای تخمین و  $t$ : زمان.

با محاسبه لگاریتم مشتق زمانی فرمول (۱)، الگوی زیر بدست می‌آید (باس، ۱۹۶۹):

$$\text{Ln} \frac{df(t)}{dt} = 2 \text{Ln} f(t) + \delta + \gamma t \quad , \quad \delta = \text{Ln} \left( \frac{-\beta \gamma}{\alpha} \right) \quad (2)$$

---

1. Degiannakis  
2. Local Trend  
3. Global Trend

با توجه به فرمول (۱)، الگوی پیشنهادی لجیستیک هاروی به صورت زیر خواهد بود (هاروی، ۱۹۸۴):

$$\text{Ln}\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}}\right) = \delta + \gamma + \varepsilon_t \quad (3)$$

$$y_t = Y_t - Y_{t-1}$$

$$t = 2, 3, \dots, T$$

$Y_t$ : نرخ ارز در زمان  $t$ ,  $\varepsilon_t$ : جمله خطا با میانگین صفر و واریانس ثابت  $\delta, \gamma, \sigma$ : پارامترهای تخمین.

### ۲-۳. الگوی هاروی

تابع نمایی زیر را در نظر بگیرید:

$$f(t) = \alpha(1 + \beta e^{\gamma t})^k \quad (4)$$

در این الگو با در نظر گرفتن مقادیر مختلفی برای  $k$ ، می توان به تابع نمایی و تابع لجیستیکی رسید. یعنی، اگر  $k$  مقدار ۱- را اختیار کند تابع فوق به تابع لجیستیک و اگر برابر با ۱ باشد به تابع نمایی مرتبه اول تبدیل می شود (هاروی، ۱۹۸۴).

با مشتق گیری، نسبت به زمان و خطی سازی آن، الگوی هاروی بدست خواهد آمد:

$$\text{Ln} y_t = \rho \text{Ln} Y_{t-1} + \delta + \gamma + \varepsilon_t \quad (5)$$

$$\delta = \text{Ln}(k\beta\alpha^{1/k}\gamma) \quad , \quad \rho = \frac{(k-1)}{k}$$

پارامترهای تخمین:  $\rho, \beta, \gamma$ .

### ۳-۳. الگوی هاروی تعدیل شده

همانطور که قبلا اشاره شد، الگوی هاروی بیش تر برای سری های زمانی دارای روند زمانی (سالانه) به کار می رود در حالیکه در این پژوهش سعی گردیده است الگوی مناسبی برای پیش بینی داده های روزانه طراحی گردد. همچنین به دلیل وجود جمله لگاریتم

تفاضل داده‌ها در الگوهای رشد لجستیکی متغیر وابسته بصورت نوسانی است و این نوسان می‌تواند ناشی از جزء غیرخطی از جمله تابع مثلثاتی (سینوسی و کسینوسی) باشد. بدین منظور بسط تیلور حول نقطه صفر توابع سینوس و کسینوس را با تغییرات شکلی به الگوی هاروی وارد کرده و به شکل فرمول زیر نوشته می‌شود تا بتواند روندهای غیرخطی و نوسانی را نیز پیش‌بینی کند بنابراین الگوی (۵)، را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$Lny_t = \rho Lny_{t-1} + \gamma + \theta_2 (Lny_t)^2 + \theta_3 (Lny_t)^3 + \dots + \theta_n (Lny_t)^n + \varepsilon_t \quad (6)$$

این فرمول متشکل از یک روند خطی و زمانی همانند الگوی هاروی و یک روند غیرخطی از لگاریتم تفاضل متغیر مورد مطالعه است و در آن  $\theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$ : ضرایب جملات غیرخطی،  $n$ : تعداد جملات غیرخطی است و بر اساس آماره  $F$ ،  $t$  و حداقل ریشه میانگین مربعات خطاهای رگرسیون (RMSE) و دقت مورد نظر محقق ( $R^2$ ) انتخاب می‌شود.

#### ۴-۳. الگوی شبکه عصبی غیرخطی اتورگرسیو (NARX<sup>1</sup>)

ساختار الگوی NARX، الگوی غیرخطی ARX<sup>2</sup> است. از این ساختار می‌توان برای پیش‌بینی نوسان‌های غیرخطی استفاده کرد. اهمیت این نوع از الگوهای شبکه عصبی در توانایی الگوسازی سیستم‌های دینامیکی غیرخطی است. تابع غیرخطی زیر ارتباط ورودی و خروجی را در ساختار NARX نشان می‌دهد (اعظم بالغی و پوربدخشان، ۱۳۹۲).

$$y_t = f(y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-n_y}, u_{1,t-1}, u_{1,t-2}, \dots, u_{1,t-n_{u1}}, u_{2,t-1}, u_{2,t-2}, \dots, u_{2,t-n_{u2}})$$

(۷)

که در آن  $f$ : یک تابع غیرخطی از ورودی و خروجی‌های سیستم،  $y_t$ : خروجی،  $u_1, u_2$ :

ورودی‌ها،  $n_y$ : تعداد خروجی‌های ماقبل و  $n_u$ : تعداد ورودی‌های ماقبل است.

- 
1. Nonlinear Autoregressive With Exogenous Input
  2. Autoregressive With Exogenous Input

اولین گام در این الگوسازی، انتخاب تعداد ورودی و خروجی‌های ماقبل یعنی تعیین  $n_x$  و  $n_y$  است و معمولاً بصورت تجربی و با استفاده از آزمون و خطا انجام می‌گیرد. دومین گام، تعیین نرون‌های موجود در لایه پنهان و سپس آموزش شبکه‌عصبی با تعدادی از داده‌ها و به دست آوردن تابع  $f$  است (بالغی و پوربدخشان، ۱۳۹۲).

#### ۴. یافته‌های پژوهش

##### ۴-۱. آزمون پایایی داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه از نوع داده‌های روزانه و در بازه زمانی ۱۳۹۲:۰۱ و ۱۳۹۸:۰۲ است. مطالعات مبتنی بر اینگونه داده‌ها بر این فرض استوار است که متغیرهای مورد استفاده پایا هستند. از طرف دیگر، باور غالب این است که بسیاری از متغیرهای سری‌زمانی، به علت وجود یک روند تصادفی پایا نیستند. بدین منظور در این نوشتار از آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته جهت آزمون پایایی متغیرها استفاده شده است. نتایج آزمون دیکی فولر تعمیم یافته با توجه به وجود عرض از مبدا و بدون روند<sup>۱</sup> در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱). نتایج آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته بر روی متغیرهای پژوهش

با عرض مبدأ			متغیر
نتیجه	Prob.	آماره t مقدار بحرانی مکینتون سطح معناداری ۵٪	
ایستا	۰/۰۰۰۱	-۴۳/۷۵۳۳۱	$LndEx_t$
ایستا	۰/۰۰۰۰	-۳۳/۳۵۸۰۹	$(LndEx_t)^2$
ایستا	۰/۰۰۰۰	-۲۶/۷۵۰۸۴	$Ln(dEx_t/Ex_{t-1}^2)$

منبع: یافته‌های پژوهش

بر اساس، نتایج ارائه شده در جدول (۱)، فرض صفر مبنی بر وجود ریشه واحد، در سطح داده‌های پژوهش<sup>۱</sup>، رد می‌شود. بنابراین، متغیرهای بکار برده شده در الگوهای لجستیک‌هاروی، هاروی و هاروی تعدیل‌شده در سطح داده‌ها مانا خواهند بود و تخمین روی سطح داده‌ها مشکلی از نظر برآورد بر اساس روش حداقل مربعات معمولی ایجاد نخواهد کرد.

#### ۲-۴. آزمون تعیین ماهیت سری زمانی

تعیین ماهیت سری‌های زمانی بر اساس الگوهای غیرخطی پویا در الگوسازی و پیش‌بینی، برای پاسخ به این که الگوهای پژوهش، تمامی اطلاعات موجود در روند سری زمانی، رفتار آن سری زمانی را شامل می‌شود؟ و یا بکارگیری آن‌ها شرط آشوبی بودن سری زمانی را برآورده می‌کند؟ از اهمیت زیادی برخوردار است. بدین منظور، از آزمون BDS بر روی سطح داده‌ها (نرخ ارز) و در ادامه بر روی پسماندهای الگوی غیرخطی هاروی تعدیل‌شده و شبکه‌عصبی غیرخطی اتورگرسیو استفاده شده است. در جدول (۲) نتایج آزمون BDS بر روی سطح متغیر نرخ ارز آورده شده است.

جدول (۲). نتایج آزمون BDS بر روی سطح داده‌های نرخ ارز (نوع a تا d)

متغیر	بعد محاط	۲	۳	۴	۵	۶
$Ex_a$	BDS Statistic	۰/۲۰۴۳	۰/۳۴۸۲	۰/۴۴۹۴	۰/۵۲۰۴	۰/۵۷۰۴
	Prob.	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
$Ex_b$	BDS Statistic	۰/۲۰۴۰	۰/۳۴۷۹	۰/۴۴۹۰	۰/۵۲۰۱	۰/۵۷۰۲
	Prob.	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
$Ex_c$	BDS Statistic	۰/۲۰۴۱	۰/۳۴۷۶	۰/۴۴۸۴	۰/۵۱۹۲	۰/۵۶۹۰
	Prob.	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
$Ex_d$	BDS Statistic	۰/۲۰۳۶	۰/۳۴۶۹	۰/۴۴۷۵	۰/۵۱۸۱	۰/۵۶۷۷
	Prob.	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش

۱. سطح داده‌ها در آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته، متغیر وابسته الگوهای تحقیق و ترکیبی از لگاریتم تفاضل نرخ ارز دلار در بازار آزاد است.

نتایج، حاکی از رد فرض صفر مبنی بر خطی بودن داده‌های متغیر نرخ ارز است. بنابراین، داده‌های متغیر نرخ ارز از یک فرآیند غیرخطی تبعیت خواهد کرد و بکارگیری الگوهای غیرخطی می‌تواند به پیش‌بینی بهینه‌تری نسبت به الگوهای خطی منجر شود (اسلاملوئیان و محزون، ۱۳۹۷).

### ۵. برآورد الگوهای پژوهش

در این قسمت برای بکارگیری الگوهای پژوهش، ابتدا داده‌ها، جهت پیش‌بینی و مقایسه آن‌ها برای تعیین الگوی بهینه به چهار قسمت تقسیم شده، بطوریکه از آخر آن‌ها به ترتیب ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ داده حذف و در پیش‌بینی استفاده شده است که به ترتیب داده‌های نوع a تا d نامگذاری می‌شود. بنابراین، برای هر الگو چهار فرمول برآورد و نتایج پیش‌بینی برای آن‌ها آورده خواهد شد. همچنین در الگوهای پژوهش برآوردی به دلیل وجود اعداد منفی در تفاضل آن‌ها و عدم امکان لگاریتم‌گیری از آن، عرض از مبدأ تمامی داده‌ها به اندازه مینیمم بعلاوه یک (Min+1) مقدار داده‌ها بالاتر برده و در الگوهای برآوردی اعمال شده است. همچنین، جهت مقایسه و رویت‌پذیری نتایج پیش‌بینی الگوهای پژوهش، نوسان‌های نرخ ارز مورد توجه قرار داده شده است. بنابراین در تمامی الگوهای برازش شده مقادیر پیش‌بینی تفاضل نرخ ارز محاسبه و نمودار آن به همراه مقادیر واقعی آن رسم شده است.

#### ۵-۱. نتایج برآورد الگوی لجستیک‌هاروی

همانطور که در مباحث بالا اشاره شد الگوی رگرسیونی که به عنوان الگوی لجستیک جهت پیش‌بینی مورد توجه قرار می‌گیرد براساس این فرمول  $Ln\left(\frac{Y_t}{Y_{t-1}}\right) = \delta + \eta$  است. نتایج برآورد برای نرخ ارز به ترتیب مطابق فرمول (۳)، به صورت زیر بدست آمده است.



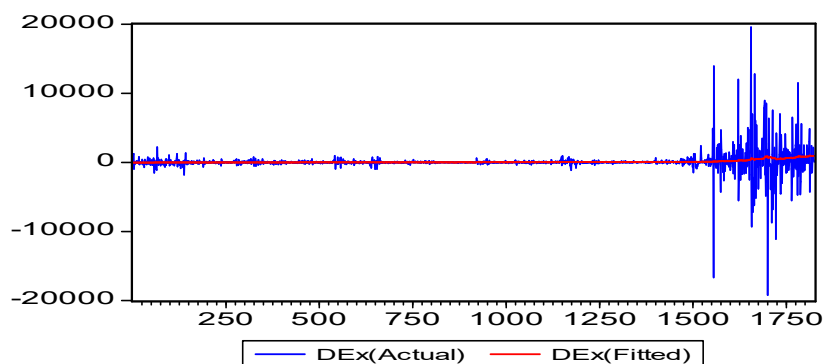
$$\ln\left(\frac{dEX_t^a}{(EX_{t-1}^a)^2} + 1920\right) = \delta^a + \gamma^a t = 9.862718 + 1.91e-15 * t \quad (8)$$

$$\ln\left(\frac{dEX_t^b}{(EX_{t-1}^b)^2} + 1920\right) = \delta^b + \gamma^b t = 9.862718 + 1.99e-15 * t \quad (9)$$

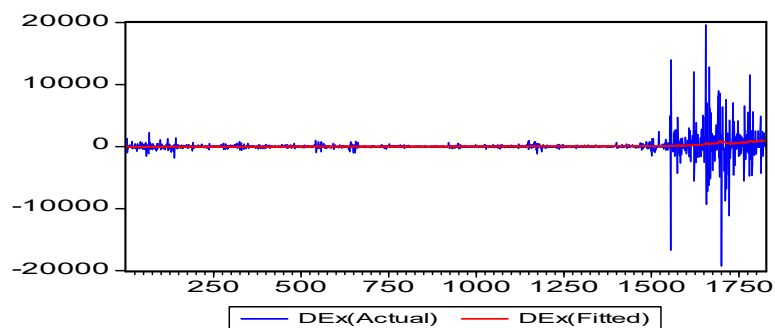
$$\ln\left(\frac{dEX_t^c}{(EX_{t-1}^c)^2} + 1920\right) = \delta^c + \gamma^c t = 9.862718 + 2.02e-15 * t \quad (10)$$

$$\ln\left(\frac{dEX_t^d}{(EX_{t-1}^d)^2} + 1920\right) = \delta^d + \gamma^d t = 9.862718 + 2.13e-15 * t \quad (11)$$

نمودار تفاضل نرخ ارز به همراه خط رگرسیونی بدست آمده از الگوی لجستیک‌هاروی در نمودارهای (۱) تا (۴)، نشان داده شده است.

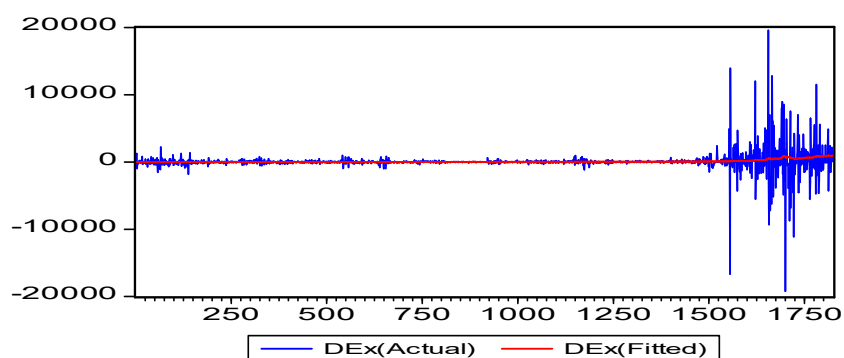


نمودار (۱). تفاضل نرخ ارز و مقدار پیش‌بینی شده الگوی لجستیک‌هاروی برای داده‌های نوع a  
منبع: یافته‌های پژوهش



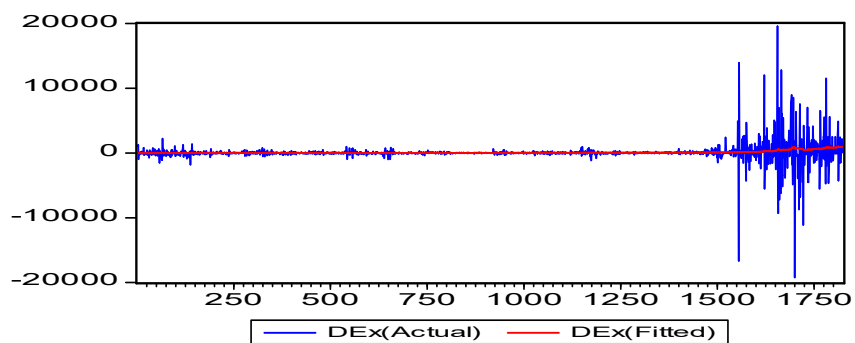
نمودار (۲). تفاضل نرخ ارز و مقدار پیش‌بینی شده الگوی لجستیک‌هاروی برای داده‌های نوع b

منبع: یافته‌های پژوهش



نمودار (۳). تفاضل نرخ ارز و مقدار پیش‌بینی شده الگوی لجستیک‌هاروی برای داده‌های نوع c

منبع: یافته‌های پژوهش



نمودار (۴). تفاضل نرخ ارز و مقدار پیش‌بینی شده الگوی لجستیک‌هاروی برای داده‌های نوع d

منبع: یافته‌های پژوهش

با توجه به خطاهای بدست آمده از تخمین الگوی لجستیک‌هاروی برای متغیر تفاضل نرخ ارز با ضریب تعیین ( $R^2$ ) پایین، در هر چهار الگو برآوردی نمی‌توان خوبی برازش الگوی لجستیک‌هاروی را تایید نمود. نمودارهای (۱) تا (۴)، نمودار تفاضل مشاهدات واقعی و برآورد شده توسط الگوی لجستیک‌هاروی را نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود این الگو نتوانسته داده‌های به کار رفته در برازش الگو را به خوبی برآورد کند.

## ۲-۵. نتایج برآورد الگوی‌هاروی

الگوی‌هاروی جهت پیش‌بینی متغیرهای پژوهش بر اساس الگوی اصلاح شده لجستیک‌هاروی مورد توجه قرار می‌گیرد که به صورت الگوی  $Ln dY_t = \rho Ln Y_{t-1} + \delta + \gamma t + \varepsilon_t$  است. نتایج برآورد برای متغیر نرخ ارز مطابق الگوی (۵)، به صورت زیر بدست آمده است.

$$\begin{cases} Ln dEx_t = \rho Ln Ex_{t-1} + \delta + \gamma t \\ dEx_t \rightarrow dEx_{t-1} + 19201 \Rightarrow Ex_{t-1} \rightarrow -dEx_t - 19201 + Ex_t \end{cases}$$

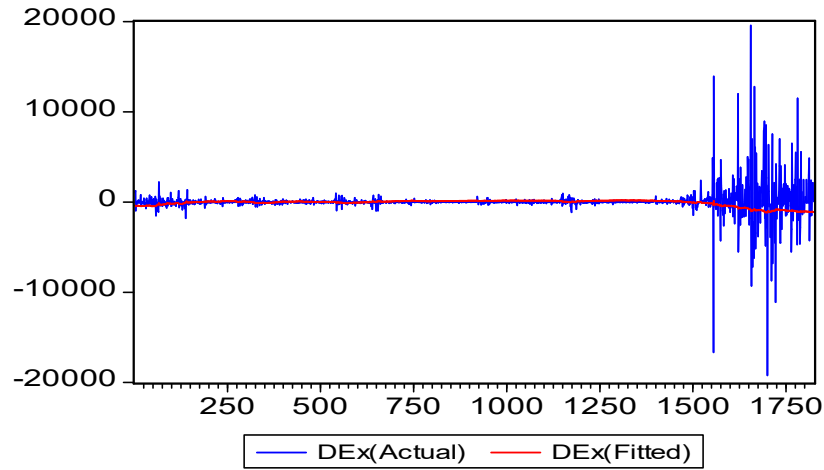
$$\begin{aligned} Ln(dEx_t^a + 19201) &= \rho^a Ln(-dEx_t^a - 19201 + Ex_t^a) + \delta^a + \gamma^a t \\ Ln(dEx_t^a + 19201) &= -0.0444 * Ln(-dEx_t^a - 19201 + Ex_t^a) + 10.270 + 2.89e-05 * t \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} Ln(dEx_t^b + 19201) &= \rho^b Ln(-dEx_t^b - 19201 + Ex_t^b) + \delta^b + \gamma^b t \\ Ln(dEx_t^b + 19201) &= -0.053 * Ln(-dEx_t^b - 19201 + Ex_t^b) + 10.351 + 3.28e-05 * t \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} Ln(dEx_t^c + 19201) &= \rho^c Ln(-dEx_t^c - 3591 + Ex_t^c) + \delta^c + \gamma^c t \\ Ln(dEx_t^c + 19201) &= -0.0647 * Ln(-dEx_t^c - 19201 + Ex_t^c) + 10.460 + 3.78e-05 * t \end{aligned} \quad (14)$$

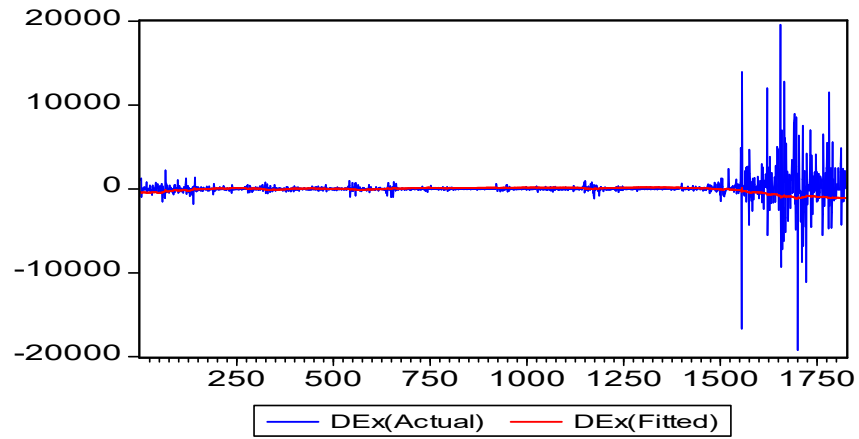
$$\begin{aligned} Ln(dEx_t^d + 19201) &= \rho^d Ln(-dEx_t^d - 19201 + Ex_t^d) + \delta^d + \gamma^d t \\ Ln(dEx_t^d + 19201) &= -0.0777 * Ln(-dEx_t^d - 19201 + Ex_t^d) + 10.580 + 4.31e-05 * t \end{aligned} \quad (15)$$

نمودار تفاضل نرخ ارز به همراه خط رگرسیونی بدست آمده از الگوی‌هاروی در نمودارهای (۵) تا (۸)، نشان داده شده است.



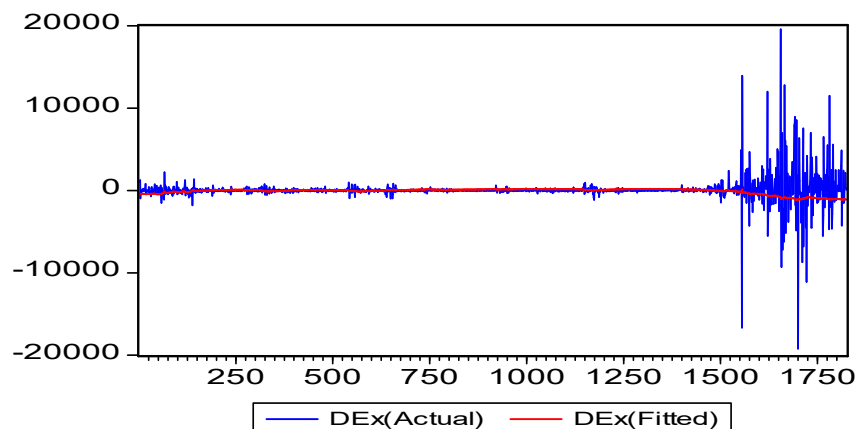
نمودار (۵). تفاضل نرخ ارز و مقدار پیش‌بینی شده الگوی هاروی برای داده‌های نوع a

منبع: یافته‌های پژوهش



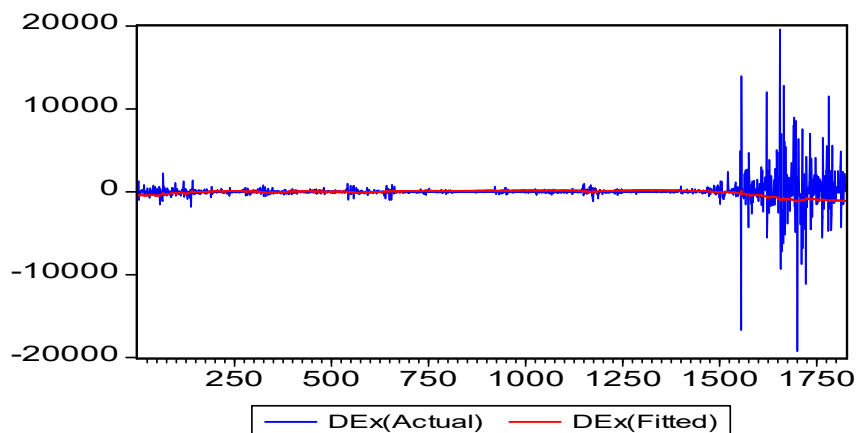
نمودار (۶). تفاضل نرخ ارز و مقدار پیش‌بینی شده الگوی هاروی برای داده‌های نوع b

منبع: یافته‌های پژوهش



نمودار (۷). تفاضل نرخ ارز و مقدار پیش‌بینی شده الگوی هاروی برای داده‌های نوع c

منبع: یافته‌های پژوهش



نمودار (۸). تفاضل نرخ ارز و مقدار پیش‌بینی شده الگوی هاروی برای داده‌های نوع d

منبع: یافته‌های پژوهش

همانند الگوی لجستیک‌هاروی، با توجه به نتایج به دست آمده از برآورد الگوی هاروی برای تفاضل نرخ ارز و ضریب تعیین ( $R^2$ ) پایین در هر چهار الگوی برآوردی، نمی‌توان خوبی برازش الگو را تایید کرد.

۳-۵. نتایج برآورد الگوی هاروی تعدیل شده

الگوی هاروی تعدیل شده، با توجه به الگوی خطی هاروی و جزء غیرخطی به صورت زیر است:

$$LndEx_t = \rho LndEx_{t-1} + \gamma + \theta_2(LndEx_t)^2 + \theta_3(LndEx_t)^3 + \dots + \theta_n(LndEx_t)^n + \varepsilon_t \quad (16)$$

در آن  $n$  با توجه به حداقل ریشه میانگین مربعات خطا، آماره  $t$  و  $F$  تخمین و میزان دقت مورد نظر انتخاب شده است.

### ۱-۳-۵. تعیین تعداد جملات غیرخطی ( $n^*$ )

برای تعیین مقدار بهینه جملات غیرخطی ابتدا با وارد کردن جمله غیرخطی با توان دوم به الگوی هاروی الگو را تخمین زده و ریشه میانگین مربعات خطای الگو، آماره  $t$  و  $F$  تخمین را بدست آورده و سپس با وارد کردن متغیر بعدی مقادیر فوق الذکر محاسبه و در صورت معنادار بودن آماره  $t$ ،  $F$  و کمتر شدن ریشه میانگین مربعات خطا متغیر دوم در الگو حفظ خواهد شد و به همین ترتیب تا انتخاب بهینه جملات غیرخطی با تغییر جهت کاهش ریشه میانگین مربعات خطا و یا رسیدن به درصد قابل قبول برای پیش بینی ادامه خواهد یافت. در جدول (۴)، مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا، آماره  $t$  و  $F$  تخمین آورده شده است. همانطور که دیده می شود برای متغیر نرخ ارز مقدار بهینه در هر چهار نوع داده  $a$  تا  $d$  برابر ۳ شده است. بنابراین، در الگوی انتخابی برای متغیر نرخ ارز به تعداد ۲ جمله غیرخطی خواهیم داشت.

### جدول (۳). مقادیر آماره $t$ ، $F$ و RMSE جهت تعیین مقدار بهینه جملات غیرخطی

#### الگوی هاروی تعدیل شده ( $n^*$ )

ردیف	متغیر	نوع الگو	$n$	آماره $t$	آماره $F$	RMSE	$R^2$	نتیجه
۱	نرخ ارز در بازار آزاد(دلار)	a	۲	۱۶۱/۳۲۶	۸۷۲۵/۹۱۹	۷/۰۹۰۲	۰/۹۳۵۰۲۸	$n^* = 3$
			۳	-۳۵۰/۷۸	۴۸۰۰۸/۱	۰/۱۰۳۲	۰/۹۹۹۰۵۴	
۱	برحسب ریال)	b	۲	۱۶۱/۰۵۷	۸۷۱۰/۵۱۴	۶/۹۷۷۱	۰/۹۳۵۹۲۵	$n^* = 3$

	۰/۹۹۹۰۵۹	۰/۱۰۲۴	۴۷۴۷۹۳/۵	-۳۴۶/۴۳	۳		۲
$n^* = 3$	۰/۹۳۹۱۳۲	۶/۵۸۰۸	۹۰۴۶/۵۹۷	۱۶۳/۹۵۴	۲	c	۱
	۰/۹۹۹۰۸۶	۰/۰۹۸۸	۴۸۰۵۹۱/۳	-۳۳۹/۶۵	۳		۲
$n^* = 3$	۰/۹۴۰۶۷۵	۶/۳۹۱۹	۹۱۳۸/۵۸۹	۱۶۴/۵۹۴	۲	d	۱
	۰/۹۹۹۰۹۳	۰/۰۹۷۸	۴۷۵۶۰۱/۶	-۳۳۳/۵۲	۳		۲

منبع: یافته‌های پژوهش

### ۲-۳-۵. نتایج برآورد الگوی بهینه هاروی تعدیل‌شده

نتایج برآورد الگوی هاروی تعدیل‌شده برای متغیر نرخ ارز مطابق الگوی (۶)، به صورت زیر بدست آمده است.

$$\begin{cases} n = 3 \Rightarrow LndEx_t^a = \rho^a LndEx_{t-1}^a + \gamma^a t + \theta^a_2 (LndEx_t^a)^2 + \theta^a_3 (LndEx_t^a)^3 \\ dEx_t^a \rightarrow dEx_t^a + 19201 \Rightarrow Ex_{t-1}^a \rightarrow dEx_t^a - 19201 + Ex_t^a \end{cases}$$

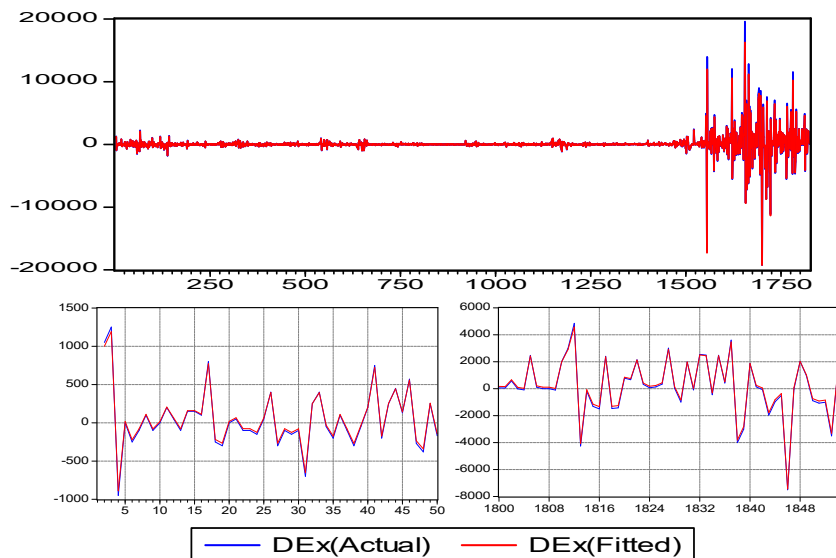
$$\begin{aligned} \text{Ln}(dEx_t^a + 19201) = 0.002082 * \text{Ln}(Ex_t^a - dEx_t^a - 19201) + 0.009718 - 2.28e-07 * t \\ + 0.206251 * \text{Ln}(dEx_t^a + 19201)^2 - 0.010663 * \text{Ln}(dEx_t^a + 19201)^3 \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \text{Ln}(dEx_t^b + 19201) = 0.002447 * \text{Ln}(Ex_t^b - dEx_t^b - 19201) + 0.005476 - 3.899e-07 * t \\ + 0.206387 * \text{Ln}(dEx_t^b + 19201)^2 - 0.010675 * \text{Ln}(dEx_t^b + 19201)^3 \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{Ln}(dEx_t^c + 19201) = 0.002638 * \text{Ln}(Ex_t^c - dEx_t^c - 19201) + 0.002188 - 4.59e-07 * t \\ + 0.207014 * \text{Ln}(dEx_t^c + 19201)^2 - 0.010737 * \text{Ln}(dEx_t^c + 19201)^3 \end{aligned} \quad (19)$$

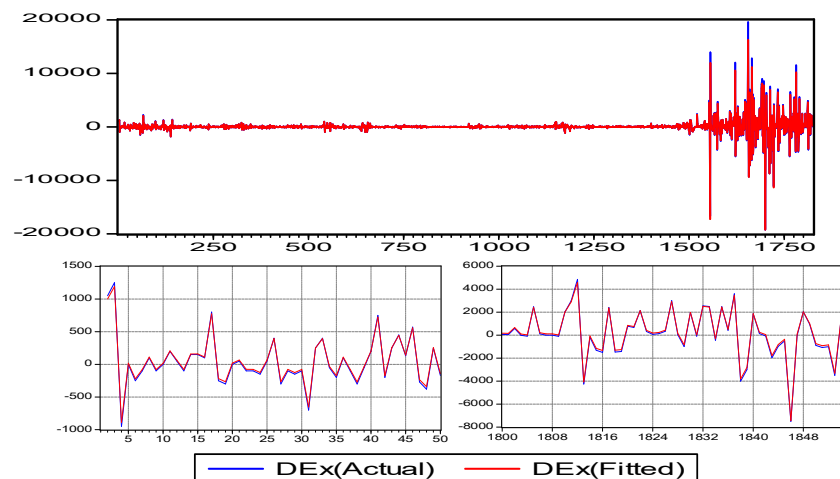
$$\begin{aligned} \text{Ln}(dEx_t^d + 19201) = 0.003139 * \text{Ln}(Ex_t^d - dEx_t^d - 19201) - 0.003647 - 6.63e-07 * t \\ + 0.207223 * \text{Ln}(dEx_t^d + 19201)^2 - 0.010757 * \text{Ln}(dEx_t^d + 19201)^3 \end{aligned} \quad (20)$$

نمودار تفاضل نرخ ارز به همراه خط رگرسیونی بدست آمده از برآورد الگوی هاروی تعدیل‌شده در نمودارهای (۹) تا (۱۲)، نشان داده شده است.



نمودار (۹). تفاضل نرخ ارز و مقدار پیش‌بینی شده الگوی هاروی تعدیل‌شده برای داده‌های نوع a

منبع: یافته‌های پژوهش

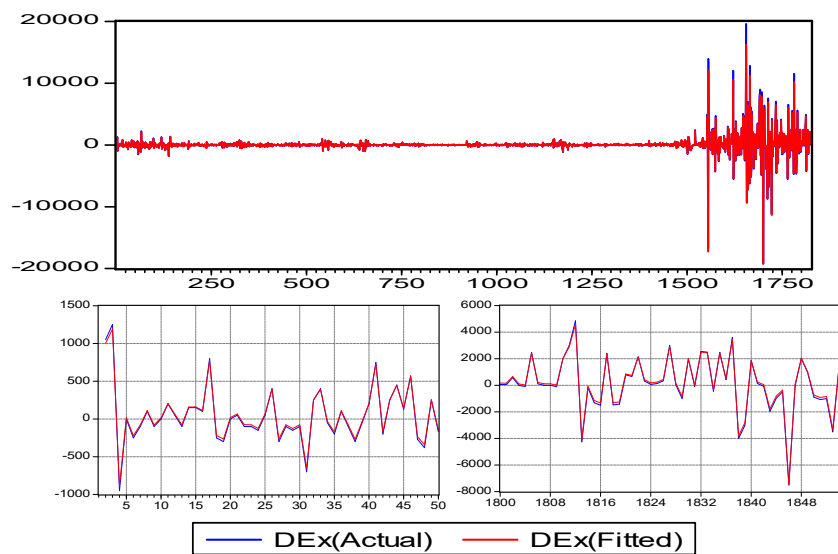


نمودار (۱۰). تفاضل نرخ ارز و مقدار پیش‌بینی شده الگوی هاروی تعدیل‌شده برای داده‌های نوع b

منبع: یافته‌های پژوهش

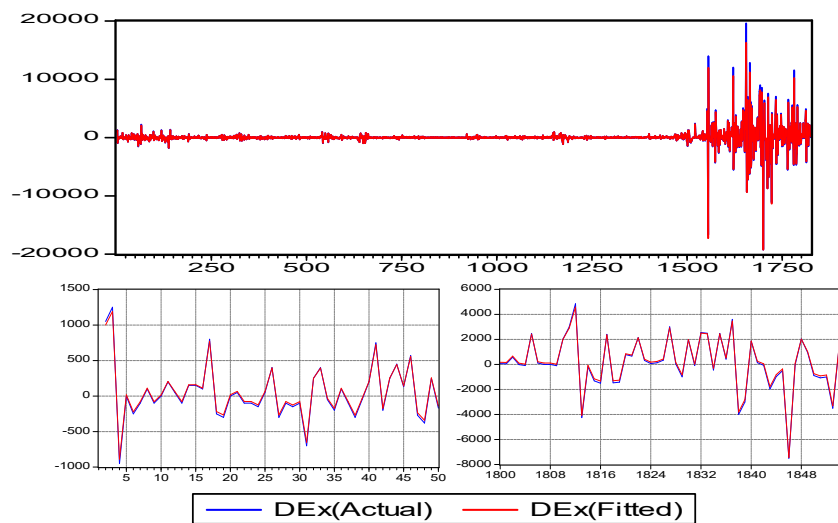


پیش‌بینی نرخ ارز: مقایسه الگوهای رشد لجستیک با الگوهای رقیب ۱۶۳



نمودار (۱۱). تفاضل نرخ ارز و مقدار پیش‌بینی شده الگوی هاروی تعدیل‌شده برای داده‌های نوع C

منبع: یافته‌های پژوهش



نمودار (۱۲). تفاضل نرخ ارز و مقدار پیش‌بینی شده الگوی هاروی تعدیل‌شده برای داده‌های نوع d

منبع: یافته‌های پژوهش

همانطور که در نمودارهای بالا دیده می‌شود الگوی‌های تعدیل‌شده توانسته برآزش خوبی از داده‌های واقعی تفاضل نرخ ارز داشته و کمترین مقدار خطا را نسبت به سایر الگوهای پژوهش ارائه دهد. برای ارزیابی بیش‌تر الگو به معیارهای دیگری همچون آزمون خودهمبستگی (بروش‌گادفری<sup>۱</sup>)، ناهمسانی واریانس(وایت) و خطی یا غیرخطی بودن (BDS<sup>۲</sup>)، باقیمانده‌های خطا می‌پردازیم.

۳-۳-۵. نتایج آزمون خودهمبستگی روی پسماندهای الگوی‌های تعدیل‌شده جدول (۴)، نتایج آزمون خودهمبستگی بر روی پسماندهای حاصل از برآزش الگوی‌های تعدیل‌شده را نشان می‌دهد. مقدار آماره F و خی دو حاصل از خودهمبستگی بروش-گادفری حاکی از عدم وجود خودهمبستگی بین پسماندهای الگوی‌های تعدیل‌شده است.

جدول (۴). نتایج آزمون خودهمبستگی روی پسماندهای الگوی‌های تعدیل‌شده

داده‌های	آماره		Prob
نوع a	F-statistic	۱/۶۰۹۲۱۶	۰/۲۰۰۳
	Chi-Square(2)	۳/۲۲۱۵۸۱	۰/۱۹۹۷
نوع b	F-statistic	۱/۶۸۹۷۶۰	۰/۱۸۴۹
	Chi-Square(2)	۳/۳۸۲۵۷۸	۰/۱۸۴۳
نوع c	F-statistic	۱/۷۲۷۸۲۱	۰/۱۷۸۰
	Chi-Square(2)	۳/۴۵۸۶۷۳	۰/۱۷۷۴
نوع d	F-statistic	۱/۷۸۱۹۱۳	۰/۱۶۸۶
	Chi-Square(2)	۳/۵۶۶۷۸۲	۰/۱۶۸۱

منبع: یافته‌های پژوهش

۴-۳-۵. نتایج آزمون وایت روی پسماندهای الگوی‌های تعدیل‌شده

نتایج آزمون ناهمسانی واریانس(وایت) روی پسماندهای الگوی‌های تعدیل‌شده در جدول (۵)، آورده شده است. نتایج این آزمون عدم رد فرض صفر آزمون مبنی بر همسان بودن

1. Breusch Godfrey
2. Brock, Dechert and Scheinkman

واریانس در پسماندهای الگو را برای هر چهار نوع داده‌های نوع a تا d تایید می‌کند. به عبارت دیگر ناهمسانی واریانس در باقیمانده‌های الگوی برازش شده هاروی تعدیل‌شده وجود ندارد.

جدول (۵). نتایج آزمون وایت روی پسماندهای الگوی هاروی تعدیل‌شده

داده‌های	آماره		Prob
نوع a	F-statistic	۱/۴۵۶۷۸۸	۰/۲۳۴۵۱۵
	Chi-Square(2)	۲/۹۱۴۳۵۲	۰/۲۳۲۸۹۳
نوع b	F-statistic	۱/۱۸۱۶۳۳	۰/۳۰۸۲۴۰
	Chi-Square(2)	۲/۳۶۸۳۷۷	۰/۳۰۵۹۹۴
نوع c	F-statistic	۰/۹۷۳۰۱۴	۰/۳۷۹۳۰۴
	Chi-Square(2)	۱/۹۵۳۷۹۸	۰/۳۷۶۴۷۷
نوع d	F-statistic	۰/۷۴۸۵۳۱	۰/۴۷۴۲۰۰
	Chi-Square(2)	۱/۵۰۶۶۹۹	۰/۴۷۰۷۸۷

منبع: یافته‌های پژوهش

### ۵-۳-۵. نتایج آزمون BDS روی پسماندهای الگوی هاروی تعدیل‌شده

در جدول (۶)، نتایج آزمون BDS بر روی پسماندهای تخمین الگوی هاروی تعدیل‌شده آورده شده است. با توجه به رد فرض صفر آزمون BDS بر روی پسماندهای الگوی برآوردی در هر چهار نوع داده a تا d دلالت بر برازش مناسب این الگو برای داده‌های متغیر نرخ ارز دارد.

جدول (۶). نتایج آزمون BDS بر روی پسماندهای الگوی هاروی تعدیل‌شده

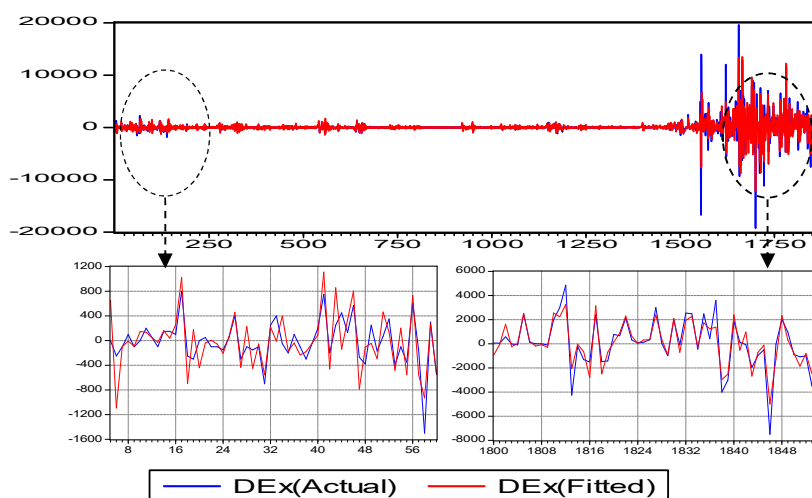
داده‌های	بعد محاط	۲	۳	۴	۵	۶
نوع a	BDS Statistic	-۶/۰۱E -۷	-۱/۸۰E -۶	-۳/۶۱E -۶	-۶/۰۱E -۶	-۹/۰۳E -۶
	Prob.	۰/۹۸۱۳	۰/۹۷۴۹	۰/۹۶۹۹	۰/۹۶۵۷	۰/۹۶۲۰
نوع b	BDS Statistic	-۱/۲۴E -۶	-۳/۱۱E -۶	-۵/۵۹E -۶	-۸/۷۰E -۶	-۱/۲۴E -۵
	Prob.	۰/۹۶۲۲	۰/۹۵۷۷	۰/۹۵۴۵	۰/۹۵۱۶	۰/۹۴۸۸
نوع c	BDS Statistic	-۱/۲۹E -۶	-۳/۲۱E -۶	-۵/۷۹E -۶	-۹/۰۰E -۶	-۱/۲۹E -۵
	Prob.	۰/۹۶۱۹	۰/۹۵۷۳	۰/۹۵۴۱	۰/۹۵۱۱	۰/۹۴۸۴
نوع d	BDS Statistic	-۱/۳۳E -۶	-۳/۳۳E -۶	-۵/۹۹E -۶	-۹/۳۲E -۶	-۱/۳۳E -۵
	Prob.	۰/۹۶۱۵	۰/۹۵۷۰	۰/۹۵۳۷	۰/۹۵۰۷	۰/۹۴۷۹

منبع: یافته‌های پژوهش

#### ۵-۴. الگوی شبکه‌عصبی غیرخطی اتورگرسیو

##### ۵-۴-۱. نتایج برآورد الگو

برای برآورد و پیش‌بینی متغیر نرخ ارز با استفاده از الگوی شبکه‌عصبی غیرخطی اتورگرسیو از یک شبکه‌عصبی با دو ورودی وقفه‌های متغیر وابسته، با ۱۰ نرون در لایه پنهان و یک خروجی استفاده شده است. در نمودارهای (۱۳) تا (۱۶)، نتایج برآورد شبکه‌عصبی غیرخطی اتورگرسیو برای داده‌های نوع a تا d آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود شبکه‌عصبی نیز همانند الگوی هاروی تعدیل‌شده توانسته برآزش خوبی از نرخ ارز ارائه کرده است.

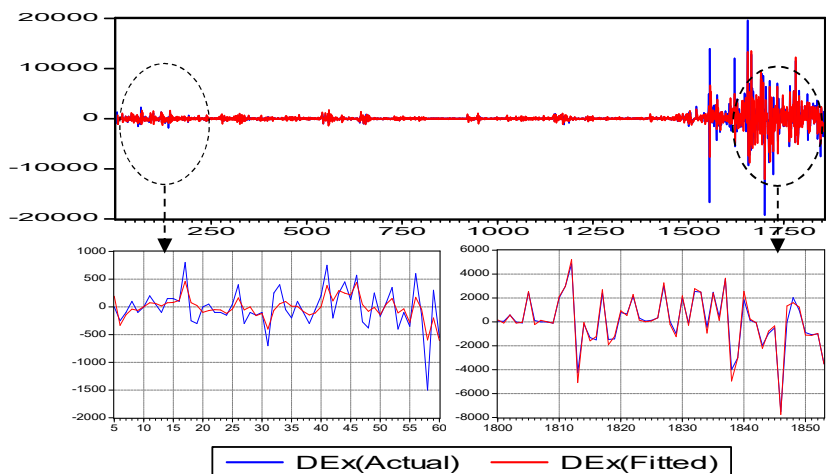


نمودار (۱۳). تفاضل نرخ ارز و مقدار پیش‌بینی شده الگوی شبکه‌عصبی NARX برای داده‌های نوع

a

منبع: یافته‌های پژوهش

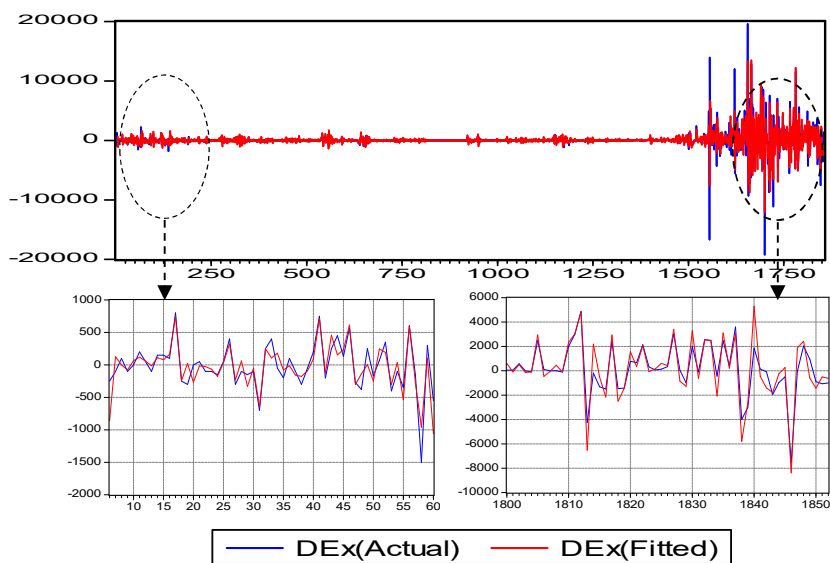
پیش‌بینی نرخ ارز: مقایسه الگوهای رشد لجستیک با الگوهای رقیب ۱۶۷



نمودار (۱۴). تفاضل نرخ ارز و مقدار پیش‌بینی شده الگوی شبکه عصبی NARX برای داده‌های

نوع b

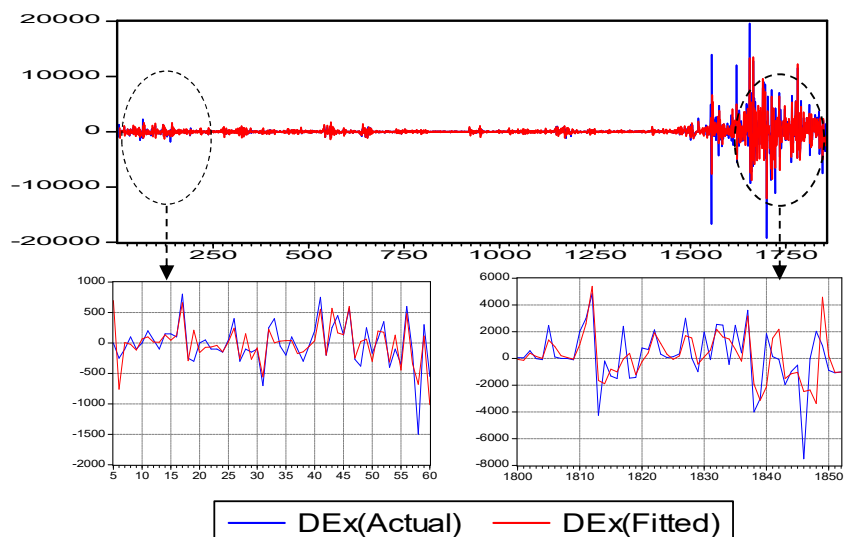
منبع: یافته‌های پژوهش



نمودار (۱۵). تفاضل نرخ ارز و مقدار پیش‌بینی شده الگوی شبکه عصبی NARX برای داده‌های

نوع c

منبع: یافته‌های پژوهش



نمودار (۱۶). تفاضل نرخ ارز و مقدار پیش‌بینی شده الگوی شبکه عصبی NARX برای داده‌های نوع d

منبع: یافته‌های پژوهش

در ادامه همانند الگوی هاروی تعدیل‌شده، نتایج آزمون‌های خودهمبستگی (بروش گادفری)، ناهمسانی واریانس (وایت) و خطی یا غیرخطی بودن (BDS) روی باقیمانده‌های خطا بدست آمده از برازش الگوی شبکه‌های عصبی غیر خطی اتورگرسیو خواهیم آورد تا ارزیابی بیش‌تری از نتایج آن داشته باشیم.

۲-۴-۵. نتایج آزمون خودهمبستگی روی پسماندهای الگوی شبکه‌های عصبی غیر خطی اتورگرسیو جدول (۷)، نتایج آزمون خودهمبستگی بر روی پسماندهای حاصل از برازش الگوی شبکه عصبی غیرخطی اتورگرسیو را نشان می‌دهد. مقدار آماره F و  $\chi^2$  دو حاصل از آزمون خودهمبستگی (بروش-گادفری) دلالت بر عدم وجود خودهمبستگی بین پسماندهای الگوی برازش شده در مراتب بالاتر دارد.

جدول (۷). نتایج آزمون خودهمبستگی روی پسماندهای الگوی شبکه عصبی

داده‌های	آماره		.Prob
نوع a	F-statistic	۰/۵۴۸۱۵۱	۰/۵۷۹۷
	Chi-Square(2)	۱/۱۲۷۴۸۲	۰/۵۶۹۱
نوع b	F-statistic	۰/۳۵۲۸۵۸	۰/۷۷۷۰
	Chi-Square(2)	۰/۵۱۹۱۵۴	۰/۷۷۱۴
نوع c	F-statistic	۰/۳۵۶۷۸۸	۰/۷۰۰۵
	Chi-Square(2)	۰/۷۲۸۰۷۸	۰/۶۹۴۹
نوع d	F-statistic	۰/۱۴۴۹۶۲	۰/۸۶۵۱
	Chi-Square(2)	۰/۳۹۵۵۴۸	۰/۸۶۲۶

منبع: یافته‌های پژوهش

۳-۴-۵. نتایج آزمون وایت روی پسماندهای الگوی شبکه‌عصبی غیرخطی اتورگرسیو جدول (۸)، نتایج آزمون ناهمسانی واریانس روی باقیمانده‌های حاصل از برازش الگوی شبکه‌عصبی غیرخطی اتورگرسیو را نشان می‌دهد. نتایج این آزمون دلالت بر عدم رد فرض صفر آزمون در پسماندهای الگو برای هر چهار نوع داده a تا d دارد. به عبارت دیگر ناهمسانی واریانس در باقیمانده‌های الگوی برازش شده وجود ندارد.

جدول (۸). نتایج آزمون وایت روی پسماندهای الگوی شبکه‌عصبی

داده‌های	آماره		.Prob
نوع a	F-statistic	۱/۴۷۲۰۳۹	۰/۲۳۰۶
	Chi-Square(2)	۱/۴۸۶۸۵۱	۰/۲۲۲۷
نوع b	F-statistic	۱/۷۸۰۵۲۶	۰/۱۸۸۰
	Chi-Square(2)	۱/۷۸۷۹۳۰	۰/۱۸۱۲
نوع c	F-statistic	۰/۳۸۰۸۴۹	۰/۵۳۹۹
	Chi-Square(2)	۰/۳۹۲۸۵۱	۰/۵۳۰۸
نوع d	F-statistic	۰/۱۶۸۲۵۳	۰/۶۸۳۴
	Chi-Square(2)	۰/۱۷۴۲۷۷	۰/۶۷۶۳

منبع: یافته‌های پژوهش

۴-۴-۵. نتایج آزمون BDS روی پسماندهای الگوی شبکه‌عصبی

در جدول (۹)، نتایج آزمون BDS بر روی پسماندهای تخمین الگوی شبکه‌عصبی غیرخطی اتورگرسیو آورده شده است. با توجه به رد فرض صفر آزمون BDS بر روی پسماندهای الگوی برآوردی در هر چهار نوع داده a تا d دلالت بر برازش مناسب این الگو برای داده‌های نرخ ارز دارد.

جدول (۹). نتایج آزمون BDS بر روی پسماندهای الگوی شبکه‌عصبی

داده‌های	بعد محاط	۲	۳	۴	۵	۶
a نوع	BDS Statistic	-۲/۵۵E-۸	-۷/۷۳E-۸	-۱/۵۶E-۷	-۲/۶۳E-۷	-۳/۹۸E-۷
	Prob.	۰/۸۵۰۵	۰/۷۹۸۶	۰/۷۵۸۴	۰/۷۲۳۸	۰/۶۹۲۹
b نوع	BDS Statistic	-۸/۶۲E-۷	-۲/۶۱E-۶	-۵/۲۹E-۶	-۸/۹۱E-۶	-۱/۳۵E-۵
	Prob.	۰/۸۵۱۴	۰/۷۹۹۵	۰/۷۵۹۰	۰/۷۲۴۱	۰/۶۹۲۷
c نوع	BDS Statistic	-۵/۷۶E-۸	-۱/۷۵E-۷	-۳/۵۴E-۷	-۵/۹۶E-۷	-۹/۰۴E-۷
	Prob.	۰/۸۷۴۴	۰/۸۳۰۴	۰/۷۹۵۹	۰/۷۶۶۱	۰/۷۳۹۲
d نوع	BDS Statistic	-۴/۳۳E-۸	-۱/۳۱E-۷	-۲/۶۶E-۷	-۴/۴۸E-۷	-۶/۷۹E-۷
	Prob.	۰/۸۳۹۷	۰/۷۸۴۰	۰/۷۴۰۷	۰/۷۰۳۵	۰/۶۷۰۲

منبع: یافته‌های پژوهش

در ادامه پژوهش به بررسی و مقایسه رفتار پیش‌بینی الگوهای لجستیک‌هاروی، هاروی، هاروی تعدیل‌شده و شبکه‌عصبی غیرخطی اتورگرسیو برای ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز آینده پرداخته شده و مقدار نرخ ارز دلار با استفاده از الگوهای فوق پیش‌بینی و جدول درصد ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup> و ضریب تعیین جهت مقایسه الگوهای پژوهش آورده شده است.

## ۶. مقایسه الگوهای پژوهش

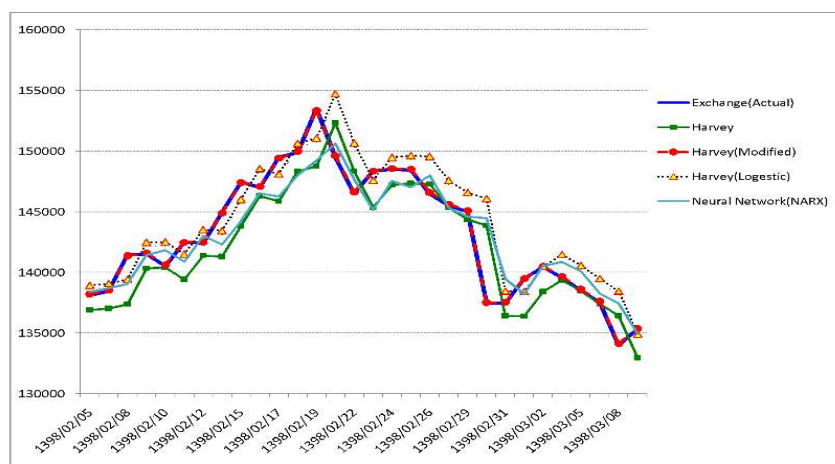
### ۶-۱. میزان انطباق و تعیین دقت پیش‌بینی

برای بدست آورد مقادیر پیش‌بینی نرخ ارز، معادله تفاضلی مرتبه اول با معلوم بودن مقدار اولیه برای تک تک مقادیر حل شده است. نتایج حاصل از حل معادله تفاضلی فوق و

1. Percentage Root Mean Square Error

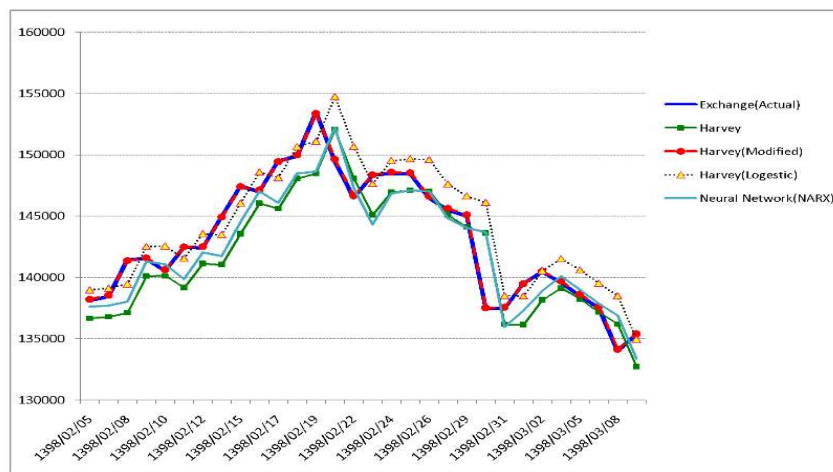


پیش‌بینی‌های بدست آمده از الگوی لجیستیک هاروی، هاروی، هاروی تعدیل‌شده و شبکه‌عصبی غیرخطی اتو رگرسیو نرخ ارز برای ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز آینده (داده‌های نوع a تا d) در نمودارهای (۱۷) تا (۲۰)، به شرح زیر نشان داده شده‌اند. برای مقایسه بهتر و مشاهده نموداری تفاوت پیش‌بینی الگوهای پژوهش، نتایج پیش‌بینی ۳۰ داده آخر در تمامی نمودارها رسم شده است. همانطور که دیده می‌شود مقادیر پیش‌بینی در الگوی هاروی تعدیل‌شده نسبت به سایر الگوهای برآوردی به مشاهدات واقعی بسیار نزدیک است.



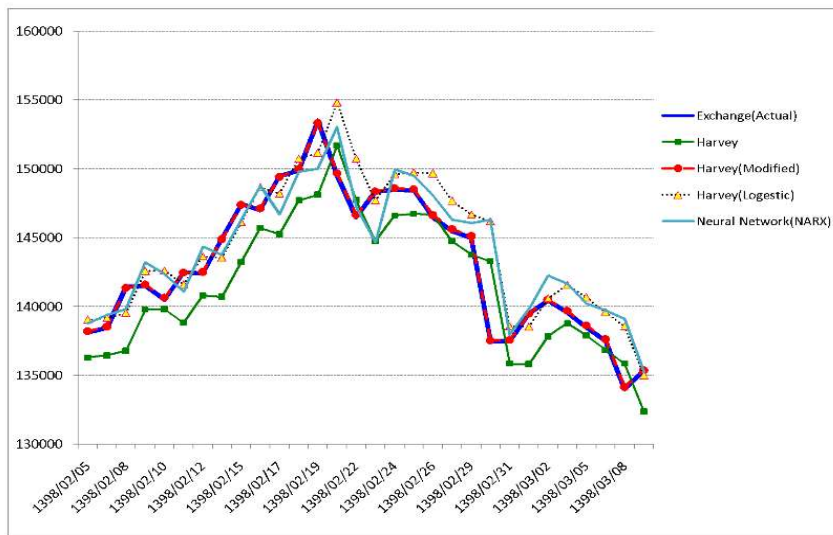
نمودار (۱۷). نتایج پیش‌بینی نرخ ارز برای داده‌های نوع a

منبع: یافته‌های پژوهش



نمودار (۱۸). نتایج پیش‌بینی نرخ ارز برای داده‌های نوع b

منبع: یافته‌های پژوهش



نمودار (۱۹). نتایج پیش‌بینی نرخ ارز برای داده‌های نوع c

منبع: یافته‌های پژوهش



نمودار (۲۰). نتایج پیش‌بینی نرخ ارز برای داده‌های نوع d

منبع: یافته‌های پژوهش

## ۲-۶. دقت و صحت پیش‌بینی

با توجه به این که شناسایی نرخ ارز در روند برنامه‌ریزی دولت، فعالیت‌های تولیدی، کسب و کار، اشتغال، درآمد و سود سهامداران، تأثیر بسزایی دارد، دانستن اینکه کدام یک از این الگوها می‌تواند برآورد دقیقی را درباره موضوع پیش‌بینی مورد نظر ارائه دهد حائز اهمیت فراوانی است. بنابراین، جهت تعیین مناسب‌ترین الگو از بین الگوهای پژوهش، آماره درصد ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تعیین مقادیر پیش‌بینی برای داده‌های نوع a تا d محاسبه و در جدول (۱۰)، آورده شده است.

نتایج بدست آمده از پیش‌بینی داده‌های نوع a تا d در جدول (۱۱)، نشان می‌دهد که الگوی هاروی تعدیل شده با ضریب تعیین حداقل ۹۹/۹۵ درصد و حداقل‌ترین درصد ریشه میانگین مربعات خطا در هر چهار نوع داده a تا d، برای نرخ ارز، از دقت و صحت بیش‌تری نسبت به الگوی لجستیک‌هاروی، هاروی و شبکه‌عصبی غیرخطی اتورگرسیو برخوردار است. بنابراین، الگوی هاروی تعدیل شده با داشتن جزء غیرخطی حتی با وجود حذف داده‌های بیش‌تر،

برآورد بسیار بهتری را نسبت به الگوی لجستیک‌هاروی، هاروی و شبکه‌عصبی ارائه و توانسته پیش‌بینی دقیق و قابلیت اطمینان بخشی بالاتری را در بلند مدت و کوتاه مدت شامل شود.

جدول (۱۰). مقادیر درصد ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تعیین برای الگوهای

لجستیک‌هاروی، هاروی، هاروی تعدیل‌شده و شبکه‌عصبی NARX

الگو	درصد ریشه میانگین مربعات خطا (PRMSE)				ضریب تعیین $R^2$			
	a	b	c	d	a	b	c	d
لجستیک هاروی	۱/۸۲۲	۱/۶۰۹	۲/۰۲۳	۱/۹۹۷	۷۹/۳۶۱	۹۰/۷۸۳	۹۲/۱۵۰	۹۶/۲۹۱
هاروی	۱/۷۵۱	۱/۷۷۱	۲/۳۵۶	۲/۵۱۴	۷۹/۳۷۳	۹۰/۷۸۵	۹۲/۱۴۹	۹۶/۲۹۳
هاروی تعدیل‌شده	۰/۰۶۳	۰/۰۷۳	۰/۱۴۵	۰/۱۳۹	۹۹/۹۷۷	۹۹/۹۸۴	۹۹/۹۵۳	۹۹/۹۸۰
شبکه عصبی	۱/۵۶۸	۱/۴۸۰	۲/۰۳۴	۱/۹۶۶	۸۰/۷۲۲	۹۰/۷۳۳	۹۱/۵۰۷	۹۵/۹۴۶

منبع: یافته‌های پژوهش

## ۷. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به منظور پیش‌بینی نرخ ارز از الگوهای پیش‌بینی بر پایه منحنی‌های رشد لجستیکی مانند لجستیک‌هاروی، "هاروی" و با افزودن جزء غیرخطی به الگوی هاروی و اصلاح آن و نامگذاری آن به نام "الگوی هاروی تعدیل‌شده" سعی گردید مناسب‌ترین الگو از بین الگوهای پژوهش برای پیش‌بینی داده‌های روزانه نرخ ارز به دست آید. همچنین جهت مقایسه با الگوهای غیرخطی الگوی شبکه‌عصبی غیرخطی اتورگرسیو نیز برآورد شد. برای پیش‌بینی و انتخاب الگوی بهینه ابتدا از آخر داده‌ها به میزان ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ عدد حذف و به چهار نوع a تا d نامگذاری شد. سپس، با استفاده از آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته ایستایی متغیرها بررسی شد و نتایج نشان داد که تمامی متغیرها در سطح داده‌ها ایستا بوده و نیازی به بررسی فرمول بلند مدت با استفاده

از آزمون‌های هم‌جمعی و امکان وجود رگرسیون کاذب وجود ندارد. بنابراین، الگوهای لجستیک‌هاروی، هاروی، هاروی تعدیل‌شده و شبکه‌عصبی در سطح داده‌ها برآورد شد. نتایج پیش‌بینی الگوی لجستیک‌هاروی، هاروی و شبکه‌عصبی برای متغیر نرخ ارز حاکی از پایین بودن ضریب تعیین ( $R^2$ ) برای هر چهار نوع داده‌های نوع a تا d نسبت به الگوی هاروی تعدیل‌شده است و این الگوها در مقایسه با الگوی هاروی تعدیل‌شده پیش‌بینی خوبی از متغیر پژوهش ارائه نمی‌دهند. نتایج الگوی هاروی تعدیل‌شده با در نظر گرفتن دو جمله غیرخطی برای نرخ ارز (با توجه به ریشه میانگین مربعات خطا و آماره‌های F و t الگو)، نشان داد که الگوی هاروی تعدیل‌شده حداقل ۹۹/۹۵ درصد از تغییرات داده‌ها را به درستی پیش‌بینی کرده است و نسبت به الگوهای لجستیک‌هاروی، هاروی و شبکه‌عصبی الگوی بهتری است. بنابراین، با در نظر گرفتن نتایج الگوی هاروی تعدیل‌شده، قابلیت پیش‌بینی‌پذیری نرخ ارز (کازورزی و همکاران، ۲۰۱۳) مورد تایید قرار می‌گیرد و سیاست‌گذاران و عاملان اقتصادی می‌توانند از این الگوها برای پیش‌بینی و جهت رسیدن به اهداف اقتصادی خود بهره ببرند.

#### منابع:

- Abbate, A. & Marcellino, M. (2016). Point, Interval And Density Forecasts Of Exchange Rates With Time-Varying Parameter Models. Discussion Papers 19/2016, Deutsche Bundesbank, Research Centre.
- Azambaleghy, N. & Pourbadakhshan, K. (2013). Estimating The Temperature Of The Exhaust Water Temperature Of The Heat Exchanger In The Cooling System Of The Water Units Of The Power Plant Using The Dynamic Neural Network. The 28<sup>th</sup> International Power System Conference, Tehran, Iran, (In Persian).
- Bacchetta, P., Mertens, E. & Van, W.E. (2009). Predictability In Financial Markets: What Do Survey Expectations Tell Us? *Journal of International Money and Finance*, 28(3), 406-426.
- Bass, F.M. (1969). A New Product Growth For Model Consumer Durables. *Management science*, 15(5), 215-227.
- Bewley, R. & Fiebig, D. G. (1988). A Flexible Logistic Growth Model With Applications In Telecommunications. *International Journal of forecasting*, 4(2), 177-192.

- 
- Ca' Zorzi, M., Muck, J. & Michal, R. (2013). Real Exchange Rate Forecasting; a Calibrated Half-Life PPP Model Can Beat the Random Walk. European Central Bank, Working Paper Series. No. 1576.
  - Chinn, M. D. & Meese, R.A. (1995). Banking On Currency Forecasts: How Predictable Is Change In Money?. *Journal of International Economics*, 38(1-2), 161-178.
  - Degiannakis, S. (2018). Multiple Days Ahead Realized Volatility Forecasting: Single, Combined And Average Forecasts. *Global Finance Journal*, 36(1), 41-61.
  - Demoei, D., Farid D. & Ashar, M. (2011). Estimation of Tehran Stock Exchange Index using Bird Flight Algorithm and Comparison with Traditional Patterns. *Journal of Accounting Knowledge*, 5, 7-30(In Persian).
  - Ehsanifar, M. & Ehteshamraei, R. (2016). The Forecasting Of The Exchange Rate In The Capital Market Using Its Moving Average Regression Models And The Neural Network. *Financial Knowledge of Securities Analysis*, 8, 35-51 (In Persian).
  - Engel, C. & West, K.D. (2005). Exchange Rates And Fundamentals. *Journal of political Economy*, 113(3), 485-517.
  - Eslamloueyan, K. & Mahzoon, Z. (2019). Production State-Dependent Non-Linear Behavior Of Exchange Rate Pass-Through In Iran. *Journal of Economics and Modeling*, 36(1), 1-32 (In Persian).
  - Fotros, M. H. & Mansouri, G.H. (2010). A Comparison Of Logistic Model And Harvey Models In Forecasting Electricity Consumption Of Iran. *Quarterly Energy Economics Review*, 24, 65-91 (In Persian).
  - Giovanis, A.N. & Skiadas, C.H. (1999). A Stochastic Logistic Innovation Diffusion Model Studying The Electricity Consumption In Greece And The United States. *Technological Forecasting and Social Change*, 61(3), 235-246.
  - Goodman, L.A. (1979). Simple Models For The Analysis Of Association In Cross-Classifications Having Ordered Categories. *Journal of the American Statistical Association*, 74(367), 537-552.
  - Harvey, A.C. (1984). Time Series Forecasting Based On The Logistic Curve. *Journal of the Operational Research Society*, 35(7), 641-646.
  - Harvey, A.C. (1993), *Time Series Models*, The Mit Press, Cambridge Ma.
  - Hendriksen, E.S. & VanBreda, M.F. (1992). *Accounting Theory*. Homewood, IL: Richard D. Irwin.
  - Ince, H. & Trafalis, T.B. (2006). A Hybrid Model For Exchange Rate Prediction. *Decision Support System*, 42, 1054-1062.
  - Khodavasi, H. & Molabahrani, A. (2013). Modeling And Prediction Iranian Exchange Rate Based On Stochastic Differential Equations. *Journal of Economic Research*, 3(1), 129-144 (In Persian).
  - Mark, N.C. (1995). Exchange Rates And Fundamentals: Evidence On Long-Horizon Predictability. *The American Economic Review*, 85(1), 201-218.

- Mar-Molinero, C. (1980). Tractors In Spain: A Logistic Analysis. *Journal Of The Operational Research Society*, 31(2), 141-152.
- Meese, R.A. & Rogoff, K. (1983). Empirical Exchange Rate Models Of The Seventies: Do They Fit Out Of Sample?. *Journal of international economics*, 14(1-2), 3-24.
- Moosa, I. & Burns, K. (2014). The Unbeatable Random Walk In Exchange Rate Forecasting: Reality Or Myth?. *Journal of Macroeconomics*, 40, 69-81.
- Moosa, I. & Burns, K. (2013). The Monetary Model Of Exchange Rates Is Better Than The Random Walk In Out-Of-Sample Forecasting. *Applied Economics Letters*, 20(14), 1293-1297.
- Motahari, M., Lotfalipour, M.R. & Ahmadi, S.M.T. (2016). Introducing An Early Warning System Of Exchange Rate Volatility In Iranian Exchange Market: Markov Switching Garch Method. *Quarterly Journal of Applied Theories of Economics*, 4(1), 71-92 (In Persian).
- Shahhosseini, S. & Rezaei, A. (2017). Forecasting The Official Rate Of Exchange in Iran Using Arima Auto Impact Model With Intervention Factors And Comparing It With A Randomized Step Model. *Quarterly Journal of New Economy and Trade*, 12(1), 51-80 (In Persian).
- Toloie, E.A. & Haghdoost, S. (2007). Stock Price Prediction Modeling Based On Neural Network And Its Comparison With Mathematical Prediction Methods. *Quarterly Economic Research Review*, 2(1), 237-252(In Persian).
- White, H. (1988). Economic Prediction Using Neural Networks: The Case Of Ibm Daily Stock Returns. IEEE 1988 International Conference On Neural Networks.
- Zarranezhad, M. & Majidi, A.F. (2009). Forecasting Exchange Rate with Artificial Neural Network (ANN) and Autoregressive Integrated Moving Average Process, ARIMA. *Quarterly Journal of Quantitative Economics*, 4(5), 130-170 (In Persian).