دوفصلنامهٔ مطالعات و سیاست‌های اقتصادی
سال هفتم، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۹
شمارهٔ پیاپی ۱۴، صص۵۳-۸۰
مقالهٔ پژوهشی

Economic SP
The Journal of Economic Studies and Policies
Semi-Annual, Vol.7, No.2, Fall 2020 – Winter 2021
Issue 14, pp.53-80
Original Article

مقایسه‌ی عملکرد مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی نرخ ارز در ایران

عبدالرحیم هاشمی دیزج *
هاتف حاضری نیری **
رسول پوروحدانی ***

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۲۰ ـ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۴/۰۹
DOI: 10.22096/esp.2020.43397

چکیده

با توجه به نوسانات زیاد نرخ ارز در ایران پیش‌بینی آن یکی از چالش‌های مهم برای گروه‌های مختلف در کشور می‌باشد. این مطالعه به بررسی عملکرد شش شبکه‌ی عصبی مصنوعی مختلف ایستا و پویا برای پیش‌بینی نرخ ارز با رویکردهای بنیادی، تکنیکال و ترکیبی و با بکارگیری داده‌های فصلی طی دوره زمانی (۱)۱۳۸۳-(۴)۱۳۹۶ برای متغیرهای تاثیرگذار روی نرخ ارز شامل تورم، نقدینگی و تولید ناخالص داخلی برای دو کشور ایران و آمریکا، صورت گرفته است. یافته‌های پژوهش حاکی از این است تعداد نرون‌ها اثر منظمی روی بهتر شدن عملکرد شبکه‌ها نداشته و از طرفی بهترین نتایج در وقفه‌های سه و چهار اتفاق افتاده است. نتایج نشان می‌دهد که بهترین عملکرد مربوط به شبکه‌ی ایستای تکنیکال و با ساختار شانزده نرون و چهار وقفه میسر شده است که پیش‌بینی نسبتاً دقیقی از نرخ ارز علیرغم تعداد کم داده‌های ورودی ارائه می‌دهد. همچنین دومیـن عملکرد مناسب مربوط به شبکه‌ی ایستای ترکیبی با ساختار ده نرون و دو وقفه می‌باشد.

* استادیار دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. (نویسنده مسئول)
Email: a.hashemi@uma.ac.ir
** استادیار دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
Email: Hatef.hazeriniri@uma.ac.ir
*** دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
Email: Pouranpanahzadeh@gmail.com

با این ملاحظات، سیاست‌گذاران می‌توانند با توجه به دسترسی بیشتر و بروزتر به داده‌های موثر بر نرخ ارز و با پایش لحظه‌ای متغیرها و ورود آنها به مدل جامع طراحی شده با استفاده از این روش، میزان انحراف نرخ ارز پیش‌بینی شده توسط مدل و نرخ ارز موجود را مورد بررسی قرار داده و سیاست‌های مقتضی را بر این اساس اتخاذ نمایند، به طوری که زیان‌های وارده بر بخش داخلی و خارجی اقتصاد ناشی از شکاف نرخ پیش‌بینی شده و نرخ ارز موجود در حداقل مقدار باشد.

واژگان کلیدی: سری زمانی، پیش‌بینی نرخ ارز، شبکه‌ی عصبی مصنوعی، هوش مصنوعی.

طبقه‌بندی موضوعی: C22, C45, C53, F31, F37.

۱. مقدمه

هر کشوری در نظام بین‌المللی کنونی از دو کانالِ تجارت کالا و خدمات و جریان ورود و خروج سرمایه (از کانال‌های رسمی و غیررسمی) در تعامل با اقتصادهای دیگر کشورها قرار می‌گیرد. برای مثال و تنها از یک جنبه در تولید یک محصول از مواد اولیه تا محصول نهایی و بعد از آن در زمان فروش و خدمات پس از آن ممکن است ده‌ها کشور نقش‌آفرینی کنند و از طرفی ارتباط‌های بین‌المللی افراد و شرکت‌ها به گونه‌ای شده است که محل فعالیت‌ها و سرمایه‌ها به راحتی می‌تواند جابه‌جا شده و از یک کشور به کشور دیگری منتقل گردد. در پی این تعامل، حلقه‌ی اتصال هر کشور با بقیه کشورها چه در بازار کالا و چه در بازار دارایی‌ها، نرخ ارز است؛ حلقه‌ای که به طور مستقیم و یا غیرمستقیم، در تعیین قیمت‌های داخلی کالاهای قابل تجارت و همچنین در عرضه و تقاضای اکثر کالاها و خدمات، تاثیرگذار می‌باشد و بر عملکرد و موقعیت تعادل اقتصاد ملی موثر است. بنابراین مایه‌ی تعجب نیست که امروزه یکی از مهمترین سیاست پولی و تصمیم‌های دولت‌ها، انتخاب نوع سیستم ارزی و یا به عبارتی، تبیین نحوه رابطه پول ملی آن‌ها با سایر پول‌هاست. از آنجاکه بخش عظیمی از درآمدهای ارزی دولت و کشورمان از طریق فروش نفت‌خام تامین می‌شود، تغییرات نرخ ارز می‌تواند تاثیرات بسیاری بر ساختار اقتصادی کشور و بازارهای داخلی و اخلال در قیمت‌های نسبی داخلی و خارجی داشته باشد. به دنبال آن افزایش فرصت‌های آربیتراژ (با توجه به یارانه‌های پرداختی توسط دولت برای برخی از کالاها، فرصت‌های آربیتراژ بوجود آمده، سود حاصل از قاچاق و معاملات غیر رسمی را به شدت زیاد کرده و سبب هدر رفت سرمایه‌های ملی می‌گردد) و فشارهای تورمی که می‌تواند موجب کاهش رفاه جامعه و پیامدهای سیاسی باشد، اتفاق می‌افتد. در مجموع با توجه به نقش حساس نرخ ارز، بانک‌های مرکزی کشورها برای مدیریت نرخ ارز و جلوگیری از اثرات سوء کاهش و یا افزایش برنامه‌ریزی نشده آن باید پیش‌بینی درستی از روند تغییرات آن داشته باشند و بکوشند تا حد امکان آن را پیش‌بینی پذیر کنند. همچنین گسترش روزافزون مبادلات بین‌المللی و نوسانات نرخ ارز به مثابه یک نوع ریسک در مبادلات بین‌المللی، باعث شده است تا بسیاری از محققان علوم‌اقتصادی و مالی زمینه مطالعات خودشان را پیش‌بینی نرخ ارز قرار دهند[۱].

---

۱. نک: رستم‌زاده، ۱۳۹۰: ۱۰-۴.؛ موسویان، ۱۳۹۱: ۴.

استفاده از روش‌های غیرکلاسیک در شناسایی مدل و پیش‌بینی رفتار سیستم‌های پیچیده، مدت‌هاست در محافل علمی و حتی حرفه‌ای متداول و معمول شده است. در بسیاری از سیستم‌های پیچیده و خصوصاً غیرخطی که مدل‌سازی و به دنبال آن پیش‌بینی و کنترل آنها از طریق روش‌های کلاسیک و تحلیلی امری بسیار دشوار و حتی بعضاً غیرممکن می‌نماید، از روش‌های غیرکلاسیک که از ویژگی‌هایی همچون هوشمندی مبتنی بر معرفت و خبرگی برخوردار هستند، استفاده می‌شود. شبکه‌های عصبی، یکی از این روش‌های بدیع و در حال تحول است که درموضوعات متنوعی از قبیل الگوسازی، شناخت‌الگو، خوشه‌بندی و پیش‌بینی به کار رفته و نتایج مفیدی داشته‌است (اصغری اسکویی، ۱۳۸۱: ۶۹).

با توجه به موارد ذکر شده در مورد اهمیت نرخ ارز و پیش‌بینی دقیق آن، در این مقاله تلاش شده است توانایی مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی نرخ ارز مقایسه شود و بر اساس آن بهترین مدلی که توانایی دقیق‌تری را دارد، معرفی گردد. برای تبیین موضوع، این مقاله بعد از مقدمه، شامل چهار قسمتِ پیشینه‌ی تحقیق، روش تجزیه و تحلیل و ارائه مدل، برآورد و یافته‌های مدل و نتیجه‌گیری است.

۲. پیشینه‌ی پژوهش

در مورد عوامل موثر روی نرخ ارز و پیش‌بینی آن با استفاده از هوش مصنوعی تحقیقات متنوع و متعددی صورت پذیرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ژانگ و وای. هو(Zhang & Y.Hu, 1998) در مقاله خود به بررسی اثر پارامترهای شبکه‌ی عصبی مصنوعی روی عملکرد آن برای پیش‌بینی نرخ ارز پرداختند. در این مقاله اثر نودهای لایه‌ی ورودی و لایه‌های پنهان و همچنین اندازه نمونه‌های آموزش روی عملکرد پیش‌بینی درون نمونه‌ای و برون نمونه‌ای مورد بررسی قرار گرفتند و نرخ ارز پوند نسبت به دلار آمریکا برای این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که تعداد نودهای ورودی اثر بزرگتری از تعداد نودهای پنهان روی عملکرد شبکه دارند و همچنین مشاهدات بیشتر خطای پیش‌بینی را کم می‌کند.

کی.ناگ و میترا (K. Nag & Mitra, 2002) در طراحی شبکه‌ی عصبی و مشخص‌کردن پارامترهای آن از قبیل ترکیب بهینه‌ی ورودی‌ها، وزن‌ها، تعداد لایه‌های پنهان، تعداد نرون‌های

پنهان برای هر لایه، نوع تابع انتقال برای لایه‌های پنهان و خروجی، نرخ یادگیری و ... برای اجتناب از این ریسک که سیستم در تله مینیمم محلی بیفتد از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند و به نتایج بهتری از شبکه‌های عصبی و روش‌های آماری سنتی رسیدند.

کامروزامن و زارکر (Kamrwzaman & Sarker, 2003) در یک مطالعه به بررسی سه مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی نرخ ارز دلار استرالیا نسبت به شش نوع ارز شامل دلار آمریکا، پوند انگلیس، ین ژاپن، فرانک سوئیس، دلار نیوزلند و دلار سنگاپور پرداختند. در مدل‌های مورد استفاده از الگوریتم پس‌انتشار استاندارد (SBP)[1] و گرادیان مزدوج مقیاس‌پذیر (SCG)[2] و پس‌انتشار منظم‌سازی بیزین (BPR)[3] استفاده شد و نتایج از طریق پنج معیار ارزیابی NMSE[4]، MAE[5]، DS[6]، CU[7]، CD[8] با مدل سنتی ARIMA[9] مقایسه شد و در نهایت هر سه مدل عملکرد بهتری را نسبت به مدل ARIMA ارائه کردند.

پاندا و نراسیمهان (Panda & Narasimhan, 2006) به پیش‌بینی هفتگی و یک قدم به جلو نرخ ارز روپیه هند نسبت به دلار آمریکا پرداختند و از شش معیار RMSE، MAE، MAPE، CORR[10]، DA[11]، SIGN[12] برای مقایسه‌ی عملکرد شبکه عصبی مصنوعی با مدل‌های گام تصادفی و اتورگرسیو خطی بهره بردند که شبکه‌ی عصبی در پیش‌بینی‌های خارج از نمونه از هر دوی آنها بهتر عمل کرد. این یافته شاهدی است در مقابل فرضیه بازار کارا و پیشنهاد می‌کند که همیشه احتمال استخراج اطلاعات مخفی و پنهان نرخ ارز و پیش‌بینی آن وجود دارد.

پاسلی و همکاران (Pacelli et al, 2010) در یک تحقیق با عنوان «یک مدل شبکه‌ی عصبی برای پیش‌بینی نرخ ارز»، توپولوژی شبکه‌ی عصبی MLP بهینه با بکارگیری الگوریتم ژنتیکی

1. Standard Backpropagation
2. Scaled Conjugate Gradient
3. Backpropagation with Baysian Regularization
4. Normalized Mean Square Error
5. Mean Absolute Error
6. Directional Symmetry
7. Correct Up trend
8. Correct Down trend
9. Auto Regressive Integrated Moving Average
10. Pearson Correlation Coefficient
11. Direction Accuracy
12. Sign Prediction

خاص چند منظوره پارتو (Pareto) را طراحی وآزمایش نمودند. هدف پیش‌بینی نرخ ارز یورو نسبت به دلار در سه روز آینده با استفاده از داده‌های روزانه گذشته‌ی در دسترس بود که تا حد زیادی این مدل درست عمل نمود.

آدول و همکاران (Adewole et al, 2011) در مقاله‌ی خود بیان نمودند که مدل‌های آماری حاضر برای پیش‌بینی نرخ ارز نمی‌توانند طبیعت عدم قطعیت (Uncertainty) و ناپایدار (Instability) داده‌های نرخ ارز را پوشش دهند. آنها به طراحی یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی نرخ ارز نیجریه (نایرا: Naira) نسبت به نرخ ارز چهار پول رایج (دلار آمریکا، یورو اروپا، پوند انگلیس و ین ژاپن) برای رفع این نقایص پرداختند. طراحی به دو فاز تقسیم شد: آموزش و پیش‌بینی. در آموزش از الگوریتم پس‌انتشار خطا و تابع فعال‌سازی سیگموید استفاده شد و شبکه‌ی پرسپترون چند لایه (یک لایه‌ی ورودی، سه لایه‌ی پنهان و یک لایه‌ی خروجی) برای هدف مورد نظر به‌کار گرفته شد. این سیستم با استفاده از میانگین خطای مربع و انحراف استاندارد با نرخ یادگیری ۰,۱۰ آزمون شد. نتایج حاکی از عملکرد بهتر این شبکه نسبت به مدل مارکوف پنهان (Hidden Markov) بود.

گورزن و همکاران (Guresen et al, 2011) در مورد به کارگیری مدل شبکه‌ی عصبی در پیش‌بینی شاخص بازار سهام تحقیق نمودند و کارایی مدل پرسپترون چند لایه‌ی (MLP)، شبکه‌ی عصبی مصنوعی دینامیک (DAN2)[1] و مدل شبکه‌ی عصبی ترکیبی با به کارگیری واریانس شرطی خودرگرسیون تعمیم یافته (GARCH) برای استخراج متغیرهای ورودی جدید را از طریق معیار میانگین مربعات خطا (MSE)[2] و میانگین قدر مطلق انحرافات (MAD)[3] مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل‌های کلاسیک شبکه‌های عصبی مصنوعی (شبکه‌ی عصبی چند لایه پرسپترون) کارایی بهتری نسبت به دو روش دیگر دارد.

سرمپینیس و همکاران (Sermpinis et al, 2013) به پیش‌بینی نرخ ارز با شبکه‌های عصبی تطبیقی با بکارگیری توابع رادیال بیس (Radial Basis Functions) و روش بهینه‌سازی ازدحام جمعیت (Particle Swarm Optimization) پرداختند و نتایج تحقیق با سه نسبت نرخ

1. Dynamic Artificial Neural Network
2. Mean Square Error
3. Mean Absolute Deviate

دلار آمریکا / یورو، پوند انگلیس / یورو، ین ژاپن / یورو نشان داد که این مدل نسبت به مدل های دیگر پیش‌بینی بهتری ارائه می‌دهد.

گالشچاک (Galeshchuk, 2016) در مقالـه‌ی خـود تحت عنـوان «عملکرد شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی نرخ ارز» با بکارگیری شبکه‌ی عصبی مصنوعی و داده‌های تابلویی (Panel Data) سری زمانی نرخ‌های ارز یورو، پوند و ین ژاپن نسبت به دلار به پیش‌بینی آنها پرداختند و به نتایج با دقتی مناسب که قابل استفاده در سیستم‌های عملی باشد، رسیدند.

وو و گااو (Wu & Gao, 2018) در مقاله‌ی خود تحت عنوان «کاربرد روش شبکه‌ی عصبی بردار پشتیبان[1] با روش تجزیه حالت‌متغیر[2]برای پیش بینی نرخ ارز» طرحی را پیشنهاد کردند که بر مبنای آن به ترکیب این دو روش پرداختند و پیشنهاد کردند که رهیافت یادگیری گروهی «شبکه‌ی عصبی بردار پشتیبان– تجزیه حالت متغیر» یک روش امیدوارکننده برای پیش‌بینی نرخ ارز در نوسانات بالا و نامنظم است.

طیبی و همکاران (۱۳۸۷) از شبکه‌ی عصبی و روش‌های اقتصاد سنجی برای پیش بینی بهره بردند و نتیجه‌گرفتند که روند پیش‌بینی شده به وسیله شبکه‌ی عصبی مصنوعی همواره از کارایی بیشتری در کمینه‌سازی خطای پیش‌بینی برخوردار است.

غفاری و یوسفی (۱۳۹۰) با استفاده از شبکه‌ی عصبی چند لایه پیشخور، اندیکاتوری جهت پیش بینی نرخ ارز با زبان MQL4 در نرم افزار متاتریدر تهیه کردند و نتایج نشان داد که مدل‌سازی پیش‌بینی قیمت ارز با استفاده از زبان مذکور مبتنی بر شبکه‌های عصبی تایید می‌گردد و شبکه‌های عصبی دارای ویژگی های منحصر به فرد همگرایی سریع، دقت بالا و توانایی تقریب تابع قوی هستند و برای پیش بینی نرخ ارز مناسب هستند.

جلایی اسفندآبادی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی جهش پولی نرخ ارز و پیش‌بینی آن با شبکه‌های عصبی‌مصنوعی در ایران پرداختند و نتیجه گرفتند با یک افزایش در حجم نقدینگی در اقتصاد ایران نسبت به اقتصاد آمریکا، نرخ ارز به نرخی فراتر از نرخ ارز تعادلی جهش می‌کند.

---

1. Support Vector Neural Network
2. Variational Mode Decomposition

ابراهیمی و پدرام (۱۳۹۲) با استفاده از یک شبکه‌ی عصبی بنیادی روند تغییرات نرخ ارز را بر اساس متغیر های موثر بر آن مانند شاخص قیمت مصرف کننده در ایران و آمریکا، ارزش صادرات و واردات، قیمت نفت و طلا مدل سازی نموده و با تحلیل حساسیت، میزان تاثیرگذاری هریک از متغیرها را ارزیابی کرده اند.

بهرام‌پور و جوادیان (۱۳۹۳) از شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی روزانه نرخ ارز پوند/دلار در بازار فارکس استفاده نموده و با مقایسه آن با روش ARIMA، نتایج به دست آمده نشان داد که مدل شبکه‌ی عصبی از قدرت بیشتری برای پیش‌بینی برخوردار است.

احسانی فر و احتشام رائی (۱۳۹۴) با استفاده از دو روش ARIMA و شبکه‌ی عصبی مصنوعی و داده‌های اقتصادی کشورهای استرالیا، کانادا، ژاپن و انگلستان به پیش‌بینی نرخ ارز آنها نسبت به دلار آمریکا پرداختند که شبکه‌ی عصبی مصنوعی نتایج بهتری را در بر داشت.

شریف مقدم و هاشمی (۱۳۹۷) با طراحی یک شبکه‌ی عصبی تکنیکال به پیش بینی ترخ ارز یورو/دلار پرداختند و نتایج نشان داد عملکرد روش پیشنهادی آنها بسیار بهتر از سایر روش‌ها بوده و می‌تواند توسط معامله‌گران مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به تحقیقات متنوع و مختلفی که در زمینه‌ی برتری شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی نرخ ارز نسبت به سایر روش‌های کلاسیک وجود دارد، در این پژوهش سعی بر آن است تا با مبنا قراردادن برتری این روش نسبت به سایر روش‌ها، به مقایسه میان شبکه‌های عصبی مختلف برای ارائه بهترین مدل برای پیش‌بینی نرخ ارز پرداخته شود. لذا با بکارگیری شبکه‌ی عصبی مصنوعی به عنوان ابزار، از راهبردهای بنیادی، تکنیکال و ترکیبی برای پیش-بینی استفاده شد.

۳. ادبیات موضوع

۳-۱ روش‌های تعیین نرخ ارز

در این قسمت کوشش شده است تا نظریه‌های مختلف تعیین نرخ ارز و متغیرهایی که این نظریه‌ها بر اساس آن محاسبات مربوطه را انجام می‌دهند، مورد بررسی قرار گیرند و از این طریق متغیرهای مربوط به مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی که در پی مقایسه‌ی آن‌ها با

هم هستیم، معین شود. اولین نظریه که بررسی می شود، نظریه‌ی برابری قدرت خرید بوده و پس از آن رهیافت پولی و سپس الگوی تراز سبد دارایی‌ها بیان می‌شود. تکامل این رهیافت‌ها از ابتدا تاکنون در هر مرحله متغیرهایی را به ما معرفی می‌کنندکه در تعیین نرخ ارز تاثیرگذارند و می‌توانند در شبکه‌ها در صورت دسترسی به آمار سری‌زمانی آنها مورد استفاده قرارگیرند.

۳-۱-۱ رهیافت نظریه‌ی برابری قدرت خرید

نظریه‌ی برابری قدرت خرید خود به دو نظریه برابری قدرت خرید مطلق و برابری قدرت خرید نسبی طبقه بندی می‌شود. نظریه‌ی برابری قدرت خرید مطلق بر مبنای دو متغیر سطح عمومی قیمت‌ها در داخل p و خارج کشور *p و با تقسیم آن‌ها به صورت $\frac{p}{p*}$ به تعیین نرخ ارز می‌پردازد. مطابق با قانون یک قیمتی وقتی که قیمت یک جنس براساس یک نوع ارز سنجیده می‌شود، باید این جنس در دو کشور یک قیمت داشته باشد تا قدرت خرید دو نوع ارز یکسان شود. اما در نظریه‌ی برابری قدرت خرید نسبی که به نسبت نظریه‌ی برابری قدرت خرید مطلق نتایج بهتری ارائه می‌دهد، نسبت‌ها و تغییرات مورد توجه قرار می‌گیرند و نسبت نرخ ارز از یک دوره‌ی زمانی به دوره‌ی زمانی دیگر مساوی با نسبت سطح عمومی قیمت‌های یک کشور به نسبت سطح عمومی قیمت‌ها در همان دوره در کشور دوم و یا به عبارتی $\frac{\frac{P_2}{P_1}}{\frac{P_2^*}{P_1^*}} = \frac{R_2}{R_1}$ بوده و یا به بیان دیگر رشد نرخ ارز معادل تغییرات تورم کشور داخل منهای کشور خارجی می‌باشد[۱].

۳-۱-۲ رهیافت پولی

در نظریه‌ی برابری قدرت خرید مطلق نرخ ارز هدف، از متعادل نمودن تجارت کالا و خدمات به وجود می‌آید ولی در رهیافت پولی تقاضا و عرضه پول در کشورها نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. فرمول تقاضای پول به صورت زیر می‌باشد:

$$M_d = kPY \qquad (۱)$$

M_d = تقاضا برای مانده‌های اصلی پول

P = سطح عمومی قیمت‌های داخلی

Y = تولید حقیقی

۱. نک: سالواتوره، ۱۳۹۶: ۱۰۸-۱۰۰.

فرض بر این است که یا در اشتغال کامل هستیم و یا در بلند مدت به سمت اشتغال کامل حرکت می‌کنیم. فرمول عرضه‌ی پول نیز به صورت زیر است:

$$M_s = m(D + F) \qquad (۲)$$

M_s = عرضه‌ی کل پول کشور

m = ضریب فزاینده پولی

D = جزء داخلی پایه پولی کشور

F = جزء خارجی یا بین‌المللی پایه پولی کشور

براساس قانون تک قیمتی در نظریه‌ی برابری قدرت خرید:

$$R = \frac{P}{P^*} \qquad (۳)$$

هم‌اکنون قادر خواهیم بود تا نحوه‌ی تعیین نرخ ارز را مطابق با رهیافت پولی به شرح زیر انجام دهیم:

$$M_d = kPY \; , \; M_d^* = k^*P^*Y^* \qquad (۴)$$

در سطح تعادل $M_d = M_s$ و $M_d^* = M_s^*$ است لذا $\frac{M_s^*}{M_d^*} = \frac{k^*P^*Y^*}{kPY}$ و در نتیجه $\frac{M_s k^*Y^*}{M_s^* kY} = \frac{P}{P^*}$ لذا:

$$R = \frac{M_s k^*Y^*}{M_s^* kY} \qquad (۵)$$

نکاتی در مورد این معادله قابل توجه است که به شرح زیر ارائه می گردد:

۱- این معادله به نظریه برابری قدرت خرید و قانون تک قیمتی وابسته است.

۲- تقاضای پول با نرخ بهره ارتباط دارد که در این معادله لحاظ نشده است.

۳- تعادل در نرخ ارز در این معادله برابر با تسویه‌ی بازارهای پول در هر دو کشور بدون انتقال یا تغییر ذخایر می‌باشد.

از جمله موارد دیگری که در رهیافت پولی باید مورد توجه قرار گیرند این است که نرخ‌های ارز از انتظارات تورمی و تغییرات مورد انتظار نرخ ارز نیز تاثیر می‌پذیرد[۱].

۳-۱-۳ رهیافت تراز سبد دارایی و تعمیم آن

در رهیافت تراز سبد دارایی اوراق قرضه‌ی داخلی و خارجی جانشین کامل هم نیستند و نرخ ارز با تعادل ذخایر و تقاضا و عرضه دارایی‌های مالی (پول و اوراق قرضه و ...) در کشورها مشخص می‌شود. افراد و بنگاه‌ها سعی دارند تا ثروت خود را به‌گونه‌ای در سبدهای مختلف سرمایه‌گذاری کنند که بیشترین منفعت نصیب آنها شود. نرخ بهره اوراق قرضه‌ی داخلی و خارجی میزان درآمد حاصل از آنها را تعیین کرده و تغییر ارزش بازاری آنها یکی از ریسک‌هایی است که خریدار متحمل می‌شود. البته اوراق قرضه‌ی خارجی با توجه به اینکه توسط پول خارجی ارزش‌گذاری می‌شود، با ریسک کاهش ارزش آن از طریق کاهش ارزش پول خارجی نیز مواجه است. از طرفی نگهداری پول داخلی هیچ منفعت و ریسکی را متوجه دارنده‌ی آن نمی‌کند، ولی هزینه‌ی فرصت نگهداری آن معادل با درآمد از دست رفته ناشی از عدم خرید اوراق قرضه می‌باشد، هرچند ریسک خرید اوراق قرضه‌ی خارجی از اوراق قرضه‌ی داخلی با توجه به موارد گفته شده بیشتر است، ولی افراد با خرید این اوراق می‌توانند ریسک خود را پخش کنند، چون لزوماً کاهش بازده اوراق یک کشور با کاهش بازده اوراق سایر کشورها همراه نخواهد بود؛ لذا سرمایه‌گذار با در نظر گرفتن همه این منافع و ریسک‌ها و با فرض ثابت بودن سلیقه‌ها و ترجیحات، ثروت، سطح نرخ‌های بهره داخلی و خارجی، انتظارات نسبت به ارزش آینده‌ی پول خارجی، نرخ‌های تورم داخلی و خارجی و ... سبد دارایی مطلوب خود را انتخاب می‌کند. تغییر در موارد ذکر شده منجر به تغییر سبد دارایی سرمایه‌گذاری نیز می‌گردد و تعادل در این بازارهای مالی زمانی پدید می‌آید که عرضه و تقاضای این دارایی‌ها (پول، اوراق قرضه‌ی داخلی، اوراق قرضه‌ی خارجی) برابر شود[۲].

با توجه به رهیافت‌های مختلف توضیح داده شده و با در نظر گرفتن آمارهای در دسترس سه متغیر نقدینگی، تولید ناخالص داخلی حقیقی و نرخ تورم در ایران و آمریکا جهت پیش‌بینی ارزش ریال نسبت به دلار آمریکا در این پژوهش استفاده می شود.

---

۱. نک: سالواتوره، ۱۳۹۶: ۱۱۹-۱۰۸.

۲. نک: سالواتوره، ۱۳۹۶: ۱۲۷-۱۲۱.

۴. روش تجزیه تحلیل و ارائه‌ی مدل

چندین روش متفاوت به منظور مدل‌سازی سری‌های زمانی وجود دارد. مدل‌های آماری شامل میانگین متحرک (Moving Average)، هموارسازی نمایی و ARIMA، خطی می‌باشند که در پیش‌بینی مقادیر آینده به این موضوع محدود شده است که مقادیر آینده توابع خطی از مشاهدات گذشته باشند. این‌گونه روش‌ها به دلیل سادگی نسبی در فهم و به‌کارگیری، در تحقیقات چند دهه اخیر بسیار مورد توجه بوده‌اند. برای غلبه بر محدودیت خطی بودن مدل و به حساب آوردن الگوهای غیرخطی مشخص در مسائل واقعی، چندین نوع مختلف از مدل‌های غیرخطی در ادبیات موضوع پیشنهاد شده است که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به اتورگرسیوشرطی (ARCH)[1] ، دوخطی (Bilinear) و اتورگرسیون آستانه‌ای (TAR)[2] اشاره نمود (خاشعی، ۱۳۸۴ به نقل از خاشعی و بیجاری، ۱۳۸۷: ۸۷). هرچند مدل‌های غیرخطی مذکور بهبودهایی در مسائل پیش‌بینی ایجاد نموده‌اند، اما به‌کارگیری آن‌ها در حالت کلی محدود است، چرا که این‌گونه مدل‌ها تنها برای الگوهای غیرخطی خاصی طراحی شده‌اند (Zhang, 2004، به نقل از خاشعی و بیجاری، ۱۳۸۷: ۸۷) و قادر به مدل‌سازی انواع دیگر سری‌های زمانی غیرخطی نیستند. اخیراً شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان یک جایگزین مناسب جهت مدل‌سازی سری‌های زمانی پیشنهاد شده‌اند. نقطه قوت اصلی شبکه‌های عصبی مصنوعی قابلیت مدل‌سازی غیرخطی انعطاف‌پذیر آن‌هاست (خاشعی و بیجاری، ۱۳۸۷: ۸۷).

شبکه‌های عصبی مصنوعی یک حوزه‌ی تحقیقاتی است که می‌کوشد تا یک سیستم محاسباتی ماشینی طراحی کند که جنبه‌های کلیدی سیستم شناختی انسان را شبیه‌سازی کند. اگرچه سرعت پردازش مغز انسان بسیار پایین‌تر از ریز پردازنده‌های جدید است ولی برتری آن در سازماندهی آرایه‌ی متغیرهای ورودی با ابعاد بالا می‌باشد. ارتباط‌گرایی، تطبیق‌پذیری و خودسازماندهی از ویژگی‌های اصلی مکانیزم سیگنال‌های پردازشی مغز می‌باشد، شبکه‌های عصبی مصنوعی از لحاظ فنی یک تکنولوژی پردازش اطلاعات می‌باشد که تلاش دارد تا این سه ویژگی مغز و سیستم عصبی را تقلید یا شبیه‌سازی نماید. از جنبه آماری، شبکه‌های عصبی

1. Auto Regressive Conditional Heteroscedastic
2. Threshold Auto Regressive

مصنوعی ممکن است به عنوان یک روش استنباط غیرخطی، غیرپارامتری، چند متغیره وکاملاً داده محور توصیف شود (K.Nag and Mitra, 2002: 503).

آنها می‌توانند از مثال‌ها و تجربه‌ها درس بگیرند و روشی داده محورند که در آن فرض‌های اولیه کمی در زمان طراحی مدل برای مسئله‌ی مورد مطالعه به کار می‌رود و این ویژگی آنها را برای بسیاری از مسائل پیش‌بینی ارزشمند می‌کند. شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند روابط و همبستگی بین داده‌ها را بدست آورند حتی اگر قانون حاکم بر آنها ناشناخته و بسیار پیچیده باشند (Zhang and Y.Hu, 1998: 497).

یکی از مزیت‌های بارز این‌گونه مدل‌ها نسبت به مدل‌های دیگر غیرخطی این است که شبکه‌های عصبی مصنوعی، یک تقریب زننده جهانی (Universal Approximators) هستند که می‌توانند هر نوع تابعی را با دقت دلخواه تخمین بزنند. این‌گونه از شبکه‌ها نیاز به هیچ‌گونه پیش‌فرضی در مورد شکل مدل در فرآیند مدل‌سازی نداشته و به‌طورکلی یک مدل مبتنی بر داده می‌باشند (Zhang, 2005 به نقل از خاشعی و بیجاری، ۱۳۸۷: ۸۹).

در سال‌های اخیر روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی به عنوان رقیبی برای روش‌های سنتی آماری ظهور کرده است. این شبکه‌ها مبتنی بر شبیه‌سازی‌های کامپیوتری از نرون‌های عصبی هستند و با استفاده از یک پایه‌ی ریاضیاتی عملیات خود را انجام می‌دهند. شبکه‌های عصبی مصنوعی به طورگسترده‌ای در زمینه‌های مختلف تجاری و صنعتی به کارگرفته می‌شوند و دارای قابلیت‌های زیادی هستند (زراءنژاد و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۲۷).

از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی سری‌های زمانی علی‌الخصوص جایی که شرایطی از قبیل ایستایی یا شرایط دیگری که راه را برای به‌کارگیری تکنیک‌های کلاسیک فراهم می‌سازد، برقرار نیست و سری‌های زمانی پیچیده می‌باشند، بسیار استفاده شده است (منهاج، ۱۳۹۷: ۳۷).

شبکه‌های عصبی فاقد مشکلات رایج مدل‌سازی کلاسیک از قبیل بررسی پایایی و ناپایایی سری‌های زمانی هستند و از این نظر نیازمند آماده‌سازی سری‌های زمانی متغیرهای اقتصادی همانند مدل‌سازی کلاسیک برای رفع مشکلات خودهمبستگی، هم‌خطی و واریانس ناهمسانی نیستند (طیبی و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۰۳).

یک شبکه‌ی عصبی شامل لایه‌های ورودی (Input Layer)، میانی (Hidden Layer) و خروجی (Output Layer) می‌باشد که لایه‌های میانی و خروجی شامل نرون‌ها یا واحدهای پردازش اطلاعات هستند. در هر نرون به هر ورودی یک وزن (Weight) تعلق می‌گیرد و پس از تجمیع آنها و یک جمله بایاس (Bias) اطلاعات وارد تابع فعال سازی (Activation Function) شده و سپس از نرون خارج می‌گردد. مجموعه‌ی داده‌های ورودی به شبکه به سه مجموعه‌ی داده‌های آموزش (Train Set)، ارزیابی (Validation Set) و آزمایش (Test Set) تقسیم می‌شوند. تخمین ضرایب در شبکه‌های عصبی مصنوعی، آموزش نامیده می‌شود که به شکل با نظارت (supervised) یا بدون نظارت (unsupervised) صورت می‌گیرد و برای اینکه در راستای این هدف شبکه در تله نقاط بهینه محلی نیفتد روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد که شامل روش‌های تحلیلی و عددی می‌شود. روش‌های عددی به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند: روش گرادیان نزولی و روش جستجوی جامع. روش پس‌انتشار خطا (Back Propagation)، روش نیوتن، روش شبه نیوتن، روش لونبرگ‌مارکوارت (Levenberg-Marquardt)، از روش‌های گرادیان نزولی و الگوریتم‌ژنتیک (Genetic Algorithm)، یک کاربرد از روش جستجوی جامع است[۱].

در یک طبقه‌بندی، شبکه‌های عصبی به دو دسته‌ی شبکه‌ی عصبی ایستا (استاتیک/ Static) و پویا (دینامیک/ Dynamic) تقسیم‌بندی می‌شوند. ایستا به این معنی است که در آن پسخورد و تأخیر وجود نداشته و خروجی به طور مستقیم به وسیله اتصلات پیشخور و یا رو به جلوی شبکه به دست می‌آید و در شبکه‌ی پویا خروجی علاوه بر ورودی در یک زمان به ورودی و خروجی در زمان‌های گذشته نیز وابسته می‌باشد (کیا، ۱۳۹۷: ۲۴۳). یعنی دارای تاخیر می‌باشند و ورودی‌ها دارای یک ترتیب زمانی خاص می‌باشند (کیا، ۱۳۹۷: ۱۲۵). در شبکه‌های ایستا ما توجهی به ترتیب زمانی بردارهای ورودی نداریم و ورودی‌ها حتماً هم‌زمان خواهند بود (کیا، ۱۳۹۷: ۱۲۴). عموماً شبکه‌های پویا قوی‌تر از شبکه‌های ایستا هستند و آموزش آنها نیز دشوارتر است. این شبکه‌ها دارای حافظه بوده و توالی یا الگوی زمانی متغیر می‌تواند به آن آموزش داده شود (احمدی عمله، ۱۳۹۲: ۳۱). یکی از انواع شبکه‌های ایستا، شبکه‌های عصبی

---

۱. نک: حنفی‌زاده و جعفری، ۱۳۸۹: ۱۷۸.؛ راعی و محمودی آذر، ۱۳۹۳: ۸.؛ زراءنژاد و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۱۴.؛ موسویان، ۱۳۹۱: ۷۲-۵۹.

پیشخور چند لایه پس انتشار (Multi-Layer Feed-forward Back propagation Network) می‌باشد که کاربردهای وسیعی در بسیاری از زمینه‌ها از جمله پیش‌بینی می‌باشد و برای حل مسائلـی که در آن هدف بدست آوردن ارتباط بیـن ورودی و خروجی می‌باشد، مناسب هستند (آذر و افسر، ۱۳۸۵ به نقل از احمدی عمله، ۱۳۹۲: ۲۸). یک شبکه‌ی پیشخور پس‌انتشار با دارا بودن بایاس، یک لایه‌ی سیگموید (Sigmoid) و یک لایه‌ی خروجی خطی توانایی تخمین زدن هر تابعی با تعداد نقاط ناپیوستگی محدود را داراست (کیا، ۱۳۹۷: ۱۶۹). شبکه‌های پویا خود شامل دو نوع می‌باشند: شبکه‌هایی که فقط دارای ارتباطات رو به جلو بوده و شبکه‌هایی که دارای ارتباطات پسخوردی می‌باشند که به شبکه‌های بازگشتی (Recurrent) معروفند (کیا، ۱۳۹۷: ۲۴۳).

رویکرد تکنیکال (Technical) و بنیادی (Fundamental) دو راهبرد اساسی برای بررسی نحوه‌ی تغییر نرخ ارز می باشد که در راهبرد اول صرفاً مقادیر گذشته نرخ ارز مد نظر قرار می‌گیرد و در راهبرد دوم از متغیرهایی که نرخ ارز بدان وابسته است، بهره‌برداری می‌شود. استفاده‌ی ترکیبی از متغیرهای در دسترس و مقادیر گذشته نرخ ارز به عنوان جایگزین متغیرهای غایب با توجه به اینکه مقادیر گذشته‌ی نرخ ارز در واقع تاثیر همه متغیرهای تاثیر گذار روی نرخ ارز را در بردارد، می‌تواند جهت دستیابی به یک مدل کاراتر مورد بررسی قرار گیرد[۱].

در این پژوهش از هر دو نوع شبکه‌ی عصبی مصنوعی ایستا و پویا به عنوان یک ابزار برای پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از روش‌های بنیادی و تکنیکال و ترکیبی استفاده می‌شود. داده‌های مورد نظر از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۶ و از بانک‌های مرکزی ایران و آمریکا (سنت لوئیز) استخراج شده است. یکی از محدودیت‌ها در پژوهش عدم وجود داده‌ها در بازه زمانی ماهیانه و یا حتی عدم وجود داده در مورد بعضی از متغیرها بود لذا به داده‌های فصلی موجود اکتفا شد. مشخصات عمومی شبکه‌ها به صورت جدول (۱) می‌باشد.

جدول (۱): مشخصات عمومی شبکه‌ها

تابع آموزش	داده های آموزش	داده های ارزیابی	داده های تست	تعداد لایه پنهان	توابع انتقال	معیار عملکرد	Max Epochs	Max Validation Checks	Goal Performance
Trainlm لونبرگ مارکوارت	٪۷۰	٪۱۵	٪۱۵	۱	Tansig - purelin	RMSE	۱۰۰	۶	۱۰^(-۸)

منبع: تنظیمات نرم‌افزار Matlab 2015b

۱. نک: پدرام و ابراهیمی، ۲۰۱۴ به نقل از ابراهیمی ۱۳۹۳: ۱۵۱-۱۵۰.؛ ابراهیمی، ۱۳۹۲: ۱۱۲.

در شبکه‌های ایستا از یک شبکه‌ی پیشخور پس‌انتشار با یک لایه‌ی پنهان استفاده شده است و با توجه به نوع تحلیل، ورودی‌های مربوطه برای شروع فرآیند در نظر گرفته می‌شود. در تحلیل بنیادی ایستا از شش متغیر تورم، نقدینگی و تولید ناخالص داخلی در دو کشور آمریکا و ایران استفاده شده است، سپس در لایه‌ی پنهان نرون‌ها از یک تا بیست تغییر داده شدند و در هر ساختار، شبکه بیست بار آموزش داده شد و بهترین نتیجه مربوط به هر ساختار از بین چهارصد مدل تولید شده، تفکیک شد.

$$y(t) = f(x(t)) \qquad (۶)$$

در تحلیل تکنیکال ایستا، وقفه‌های گذشته نرخ ارز از یک تا چهار به عنوان ورودی در نظر گرفته شد و تعداد نرون‌ها از یک تا بیست تغییر داده شد. در هر ساختار ابتدا فقط یک وقفه به عنوان وروی استفاده شده و شبکه ده بار آموزش دید و بهترین نتیجه بدست آمد و سپس در همان ساختار به تعداد وقفه‌ها تا چهار اضافه شد و در هر مورد نیز شبکه مجدداً ده بار آموزش داده شد و بهترین نتیجه مربوط به هر ساختار از هشتصد مدل تولید شده، تفکیک شد.

$$y(t) = f(y(t-1), \ldots, y(t-d)) \qquad (۷)$$

d = تعداد وقفه

در تحلیل ترکیبی ایستا شش متغیر موصوف در تحلیل بنیادی و وقفه‌های گذشته نرخ ارز از یک تا چهار به عنوان ورودی در نظر گرفته شد و تعداد نرون ها از یک تا بیست تغییر داده شد. در این تحلیل نیز در هر ساختار ابتدا فقط یک وقفه و شش متغیر به عنوان ورودی استفاده شده و شبکه ده بار آموزش دید و بهترین نتیجه بدست آمد و سپس در همان ساختار به تعداد وقفه‌ها تا چهار اضافه شد و در هر مورد نیز شبکه مجدداً ده بار آموزش داده شد و بهترین نتیجه مربوط به هر ساختار از هشتصد مدل تولید شده، تفکیک شد.

$$y(t) = f(y(t-1), \ldots, y(t-d), x(t)) \qquad (۸)$$

در تحلیل بنیادی شبکه‌ی پویا از وقفه های گذشته متغیرهای ورودی برای پیش‌بینی یک گام به جلو نرخ ارز استفاده می‌شود.

$$y(t) = f(x(t-1), ..., x(t-d)) \quad (۹)$$

d = تعداد وقفه

در این مورد نیز تعداد نرون‌ها از یک تا بیست تغییر داده شد و در هر ساختار به ترتیب وقفه‌های یک تا چهار شش متغیر تورم، نقدینگی و تولید ناخالص داخلی در دو کشور آمریکا و ایران به عنوان ورودی در نظر گرفته شده و در هر وقفه ده بار به شبکه آموزش داده شد و در مجموع از بین هشتصد مدل تولید شده بهترین نتایج تفکیک شد.

در تحلیل تکنیکال پویا از یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی که در واقع سازنده یک مدل اتورگرسیو غیر خطی (Nonlinear Autoregressive (NAR)) است، استفاده شد. در این تحلیل نیز همانند مدل تکنیکال ایستا وقفه‌های گذشته نرخ ارز از یک تا چهار به عنوان ورودی در نظر گرفته شد و تعداد نرون ها از یک تا بیست تغییر داده شد. در هر ساختار ابتدا فقط یک وقفه و شش متغیر به عنوان ورودی استفاده شده و شبکه ده بار آموزش دید و بهترین نتیجه بدست آمد و سپس در همان ساختار به تعداد وقفه‌ها تا چهار اضافه شد و در هر مورد نیز شبکه ده بار آموزش داده شد و بهترین نتیجه مربوط به هر ساختار از هشتصد مدل تولید شده، تفکیک شد.

در تحلیل ترکیبی پویا از یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی سازنده‌ی یک مدل اتورگرسیو غیرخطی (نارکس) با ورودی خارجی (Nonlinear Autoregressive with External (Exogenous) Input (NARX))، استفاده شد.

$$y(t) = f(y(t-1), ..., y(t-d), x(t-1), ..., (t-d)) \quad (۱۰)$$

در تحلیل ترکیبی پویا وقفه‌های گذشته‌ی شش متغیر موصوف در تحلیل بنیادی و وقفه‌های گذشته نرخ ارز از یک تا چهار به عنوان ورودی در نظر گرفته شد و تعداد نرون‌ها از یک تا بیست تغییر داده شد. در این تحلیل در هر ساختار ابتدا فقط از یک وقفه برای شش متغیر و نرخ ارز به عنوان ورودی استفاده شده و شبکه ده بار آموزش دید و بهترین نتیجه بدست آمد و سپس در همان ساختار به تعداد وقفه‌ها تا چهار اضافه شد و در هر مورد نیز شبکه مجدداً ده بار آموزش داده شد و بهترین نتیجه مربوط به هر ساختار از هشتصد مدل تولید شده، تفکیک شد.

در مجموع با توجه به تعداد مدل‌ها، ساختارها، وقفه‌ها و آموزش‌ها، ۴۴۰۰ شبکه‌ی عصبی مصنوعی باRMSEهای مختلف ساخته شد.

۵. برآورد و یافته‌های مدل‌ها

۵-۱ ویژگی‌های بهترین مدل

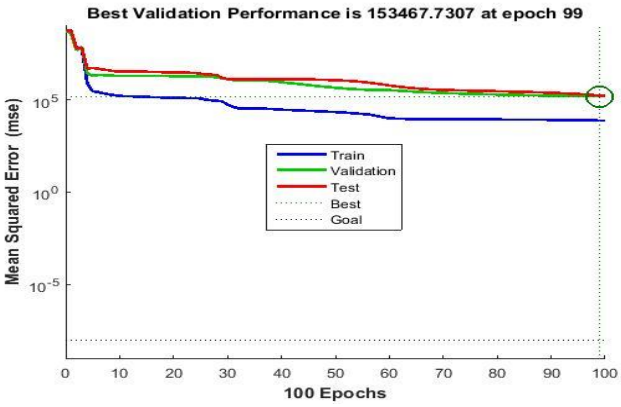
بهترین نتیجه برای شبکه‌ی ایستای بنیادی در ساختار با نه نرون و RMSE برابر با ۶۵۴٫۸۳۵۹ برای شبکه‌ی ایستای تکنیکال در ساختار با شانزده نرون و چهار وقفه و RMSE برابر با ۲۳۴٫۱۹۰۶، برای شبکه‌ی ایستای ترکیبی در ساختار با ده نرون و دو وقفه و RMSE برابر با ۵۱۷٫۷۵۴۶، برای شبکه‌ی پویای بنیادی در ساختار با پنج نرون و سه وقفه و RMSE برابر با ۶۸۲٫۷۸۴۹ برای شبکه‌ی پویای تکنیکال در ساختار با پانزده نرون و چهار وقفه و RMSE برابر با ۵۴۳٫۵۱۴ و برای شبکه‌ی پویای ترکیبی در ساختار با نه نرون و دو وقفه و RMSE برابر با ۵۹۵٫۵۷۶۷ بدست آمده است و در نتیجه بهترین RMSE مربوط به شبکه‌ی ایستای تکنیکال با تعداد نرون شانزده و وقفه چهار بوده است.

جدول (۲): بهترین نتایج برای هر مدل

	ساختار، وقفه و بهترین RMSE در هر مدل								
	بنیادی			تکنیکال			ترکیبی		
نوع شبکه	تعداد نرون	تعداد وقفه	RMSE	تعداد نرون	تعداد وقفه	RMSE	تعداد نرون	تعداد وقفه	RMSE
ایستا	۹	–	۶۵۴٫۸۳۵۹	۱۶	۴	۲۳۴٫۱۹۰۶	۱۰	۲	۵۱۷٫۷۵۴۶
پویا	۵	۳	۶۸۲٫۷۸۴۹	۱۵	۴	۵۴۳٫۵۱۴	۹	۲	۵۹۵٫۵۷۶۷

منبع: یافته‌های پژوهش

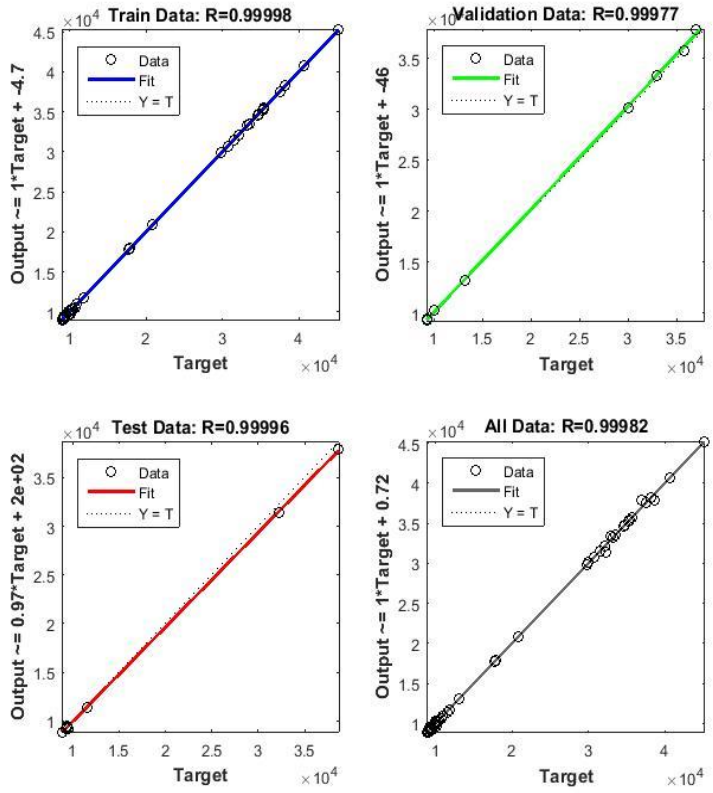
شکل (۱): نمودار کارایی شبکه‌ی ایستای تکنیکال با شانزده نرون و چهار وقفه



منبع: یافته‌های پژوهش

برای آموزش شبکه‌ها از روش لونبرگ‌مارکوآرت استفاده شده و از شکل (۱) مشخص است که در بهترین شبکه، پس از ۹۹ تکرار به نقطه بهینه برای تعیین وزن‌ها رسیده است. نمودارها برای سه دسته از داده‌ها که شامل داده‌های آموزش، تست و ارزیابی می باشد و نمایانگر این مسئله هستند که شبکه از قدرت خوبی برای تعمیم پیش‌بینی به داده‌های خارج از نمونه برخوردار است.

شکل (۲): نمودار رگرسیون شبکه‌ی استاتیک تکنیکال با شانزده نرون و چهار وقفه

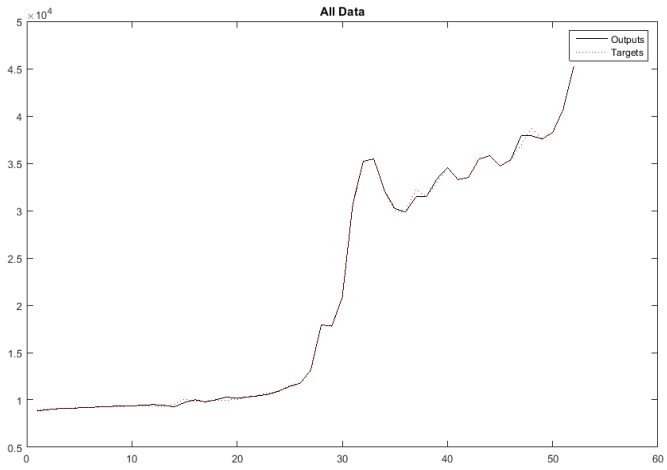


منبع: یافته‌های پژوهش

در شکل (۲) نمودار خروجی بدست آمده از شبکه در ستون عمودی و خروجی واقعی (هدف) در ستـون افقی قرار داده شده است. انطباق تقریبی نمودار با خط y=x نشانگر قدرت شبکه است.

همچنین شکل (۳) انطباق داده‌های هدف و داده‌های خروجی از مدل را نشان می‌دهد.

شکل (۳): نمودار انطباق داده‌های هدف بر خروجی بهترین مدل



منبع: یافته‌های پژوهش

۵-۲ تأثیر تعداد نرون‌ها برکارایی شبکه

در نمودارهای پیوست تأثیر تعداد نرون‌ها بر بهترین عملکرد بدست آمده از آموزش‌ها در هر ساختار رسم شده است. محور افقی تعداد نرون و محور عمودی بهترین RMSE بدست آمده در ساختاری با آن تعداد نرون می‌باشد.

بهترین نتیجه برای شبکه‌ی ایستای بنیادی در ساختار با نه نرون، برای شبکه‌ی ایستای تکنیکال در ساختار با شانزده نرون، برای شبکه‌ی ایستای ترکیبی در ساختار با ده نرون، برای شبکه‌ی پویای بنیادی در ساختار با پنج نرون، برای شبکه‌ی پویای تکنیکال در ساختار با پانزده نرون و برای شبکه‌ی پویای ترکیبی در ساختار با نه نرون بدست آمده است و در نتیجه بهترینRMSE مربوط به شبکه‌ی ایستای تکنیکال با تعداد نرون شانزده و وقفه چهار بوده است. اما همانگونه که از نمودارها مشخص است افزایش تعداد نرون‌ها تأثیر یکنواختی بر بهتر و یا بدتر شدن RMSE ها در هیچ‌کدام از مدل‌ها نداشته است لذا از افزایش تعداد نرون‌ها و ارائه ساختارهای جدید صرف نظر شد و از طرفی می‌توان در ساختارهایی که نتایج بهتری به دست داده است تغییر سایر مشخصات شبکه برای به دست آوردن نتایج دقیق‌تر را بررسی کرد.

۵-۳ تأثیر تعداد وقفه‌ها برکارایی شبکه

همانطور که در جدول (۳) مشخص شده است در شبکه‌ی ایستای تکنیکال بهترین نتایج بیشتر در وقفه‌ی سوم روی داده است. در شبکه‌ی ایستای بنیادی بهترین نتایج بیشتر در وقفه چهارم، در شبکه‌ی پویای بنیادی بهترین نتایج بیشتر در وقفه‌ی دوم، در شبکه‌ی پویای تکنیکال بهترین نتایج بیشتر در وقفه‌ی چهارم و در شبکه‌ی پویای ترکیبی بهترین نتایج بیشتر در وقفه‌ی دوم میسر شده است و در مجموع مطابق جدول (۴) در ده مورد بهترین نتیجه در وقفه‌ی یک، در نوزده مورد در وقفه‌ی دو، در سی و سه مورد در وقفه‌ی سه و در سی و هشت مورد در وقفه‌ی چهار روی داده است لذا بهترین نتایج در وقفه چهار و ضعیف‌ترین نتایج در وقفه یک میسر شده است.

جدول (۳): تعداد بهترین RMSE ها در هر وقفه به تفکیک نوع شبکه

	تعداد بهترین RMSE ها در هر وقفه به تفکیک نوع شبکه					
	ایستا			پویا		
وقفه	بنیادی	تکنیکال	ترکیبی	بنیادی	تکنیکال	ترکیبی
۱	فاقد وقفه	۰	۴	۳	۰	۳
۲		۰	۴	۷	۰	۸
۳		۱۳	۴	۶	۶	۴
۴		۷	۸	۴	۱۴	۵

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول (۴): تعداد بهترین نتایج در هر وقفه

وقفه	تعداد بهترین نتایج	توضیح :
۱	۱۰	در ۱۰ مورد بهترین نتیجه در وقفه ۱ روی داده است.
۲	۱۹	در ۱۹ مورد بهترین نتیجه در وقفه ۲ روی داده است.
۳	۳۳	در ۳۳ مورد بهترین نتیجه در وقفه ۳ روی داده است.
۴	۳۸	در ۳۸ مورد بهترین نتیجه در وقفه ۴ روی داده است.
جمع	۱۰۰	

منبع: یافته‌های پژوهش

لذا می‌توان نتیجه گرفت که وقفه‌های سه و چهار از اهمیت خاصی در طراحی مدل و استخراج بهترین نتایج برخوردار است.

۶. نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش مقایسه شش ساختار مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی نرخ ارز بود و در این راستا براساس نظریه‌های تعیین نرخ ارز و با توجه به آمارهای موجود متغیرهای تاثیرگذار برای پیش‌بینی نرخ ارز تورم، تولید ناخالص داخلی و نقدینگی در دو کشور ایران و آمریکا تعیین گردیدند. داده‌های سری‌زمانی فصلی این متغیرها جمع‌آوری شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار Matlab2015b این داده‌ها به عنوان ورودی در دو نوع شبکه‌ی ایستا و پویا و با دو رویکرد تکنیکال و بنیادی و ترکیبی مورد استفاده قرار گرفت. پس از ساخت چهار هزار و چهارصد مدل، بهترین مدل در شبکه‌ی عصبی پیشخور پس‌انتشار ایستا تکنیکال با یک لایه‌ی پنهان روی داد. پس از آن به ترتیب شبکه‌های ایستای ترکیبی، پویای تکنیکال، پویای ترکیبی، ایستای بنیادی و پویای بنیادی قرار دارند. یکی از محدودیت‌های تأثیرگذاری که در این مدل‌ها وجود دارد، تعداد کم داده‌هاست. مطمئناً در صورت وجود داده‌های ماهانه امکان طراحی مدل‌های بسیار دقیق‌تری وجود دارد. در این تحقیق از داده‌های بدست آمده اینگونه استنباط شد که بهترین نتایج در وقفه‌های سوم و چهارم نرخ ارز روی داده‌اند لذا اطلاعات نه ماهه و یک‌ساله‌ی گذشته، تاثیر مهمی در طراحی مدل‌های حاضر و مدل‌های توسعه‌یافته بعدی خواهند داشت. از طرفی با افزایش تعداد نرون‌ها روند یکنواختی در بهتر شدن نتایج روی نداده است که البته این مسئله و به طور کلی معماری شبکه می‌تواند به عنوان یک پژوهش مورد بررسی قرار گیرد که خارج از اهداف این تحقیق است. با این ملاحظات، سیاست گذاران می‌توانند با تئجه به دسترسی بیشتر و بروزتر به داده‌های مؤثر بر نرخ ارز و با پایش لحظه‌ای متغیرها و ورود آن‌ها به مدل جامع طراحی شده با استفاده از این روش ، میزان انحراف نرخ ارز پیش‌بینی شده توسط مدل و نرخ ارز موجود را مورد بررسی قرار داده و سیاست‌های مقتضی را بر این اساس اتخاذ کنند، به‌طوری که زیان‌های وارده بر بخش داخلی و خارجی اقتصاد ناشی از شکاف نرخ پیش‌بینی شده و نرخ ارز موجود حداقل مقدار باشد.

کتابنامه

الف- کتب و مقالات

۱. فارسی

- ابراهیمی، مریم (۱۳۹۲)، *پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از شبکه‌ی عصبی با دو رویکرد تکنیکال و بنیادی*، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته‌ی توسعه‌ی‌اقتصادی، تهران: دانشگاه الزهرا(س).
- ابراهیمی، مریم و مهدی پدرام (۱۳۹۳)، «بررسی اهمیت و میزان تاثیرگذاری متغیرهای اقتصادی بر نرخ ارز در ایران»، *فصلنامه سیاست‌گذاری پیشرفت اقتصادی دانشگاه الزهرا (س)*، سال دوم، شماره ۳، صص ۱۴۱-۱۶۸.
- احسانی‌فر، محمد و رضا احتشام‌رائی (۱۳۹۴)، «پیش‌بینی نرخ ارز در بازار سرمایه با استفاده از مدل‌های میانگین متحرک خودرگرسیون انباشته و شبکه‌ی عصبی (مطالعه موردی: دلار استرالیا، دلار کانادا، ین ژاپن و پوند انگلستان)»، *فصلنامه دانش مالی اوراق بهادار*، سال هشتم، شماره ۲۷، صص ۳۵-۵۱.
- احمدی عمله، الهام (۱۳۹۲)، *استفاده از هوش مصنوعی برای تحلیل فنی بازار سهام بر اساس الگوهای نمودارهای شمعی ژاپنی*، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی صنایع، یزد: دانشگاه یزد.
- اصغری اسکوئی، محمدرضا (۱۳۸۱)، «کاربرد شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی سری‌های زمانی»، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، سال چهارم، شماره ۱۲، صص ۶۹-۹۶.
- بهرام پور، پیمان و نیکبخش جوادیان (۱۳۹۳)، «پیش بینی روزانه نرخ جفت ارز پوند/دلار در بازار فارکس با استفاده از شبکه‌ی عصبی»، *نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید*، جلد بیست و پنجم، شماره ۴، صص ۳۷۷-۳۸۸.
- جلایی اسفندآبادی، سید عبدالمجید؛ حسینی، سید جعفر و حسین نظام آبادی‌پور (۱۳۹۱)، «بررسی جهش پولی نرخ ارز و پیش‌بینی آن با شبکه‌های عصبی در ایران»، *پژوهش‌نامه اقتصاد کلان*، سال هفتم، شماره ۱۴، صص ۳۵-۶۰.
- حنفی‌زاده، پیام و ابوالفضل جعفری (۱۳۸۹)، «مدل ترکیبی شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌خور و خودسازمان‌ده کوهونن برای پیش‌بینی قیمت سهام»، *فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی*، سال هشتم، شماره ۱۹، صص ۱۶۵-۱۸۷.
- خاشعی، مهدی و مهدی بیجاری (۱۳۸۷)، «بهبود عملکرد پیش‌بینی های مالی با ترکیب خطی و غیرخطی خودرگرسیون میانگین متحرک انباشته و شبکه‌های عصبی مصنوعی»، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی*، سال هشتم، شماره ۲، صص ۸۳-۱۰۰.

- راعی، رضا و میثم محمودی‌آذر (۱۳۹۳)، «پیش‌بینی بازده آتی بازار سهام با استفاده از مدل‌های آریما، شبکه‌ی عصبی و نویز زدایی موجک»، *فصلنامه مدیریت دارایی و تامین مالی*، سال دوم، شماره ۲ (پیاپی ۵)، صص ۱-۱۶.

- رستم‌زاده، مهدی (۱۳۹۰)، *ارزیابی مدل‌های تعیین نرخ‌ارز با استفاده از الگوریتم‌ژنتیک (مطالعه موردی ایران و اتحادیه اروپا)* ، رساله دکترای علوم اقتصادی، مازندران: دانشگاه مازندران.

- زراءنژاد، منصور؛ فقه‌مجیدی، علی و روح الله رضایی (۱۳۸۷)، «پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل ARIMA»، *فصلنامه اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق)*، سال پنجم، شماره ۴، صص ۱۰۷-۱۳۰.

- سالواتوره، دومینیک (۱۳۹۶)، *مالیه بین‌الملل*، ترجمه حمیدرضا ارباب، جلد۲، چاپ ششم، تهران: نشر نی.

- شریف مقدم، شفق و سید ذبیح الله هاشمی (۱۳۹۷)، «پیش بینی نرخ ارز یورو به دلار با تکنیک شبکه‌ی عصبی مصنوعی»، مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، سال نهم، شماره ۳۷، صص ۳۹۹-۴۱۳.

- طیبی، سیدکمیل؛ موحدنیا، ناصر و معصومه کاظمینی (۱۳۸۷)، «به کارگیری شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی متغیرهای اقتصادی و مقایسه آن با روش‌های اقتصادسنجی: پیش‌بینی روند نرخ ارز در ایران»، *مجله علمی‌پژوهشی شریف*، سال بیست و چهارم، شماره ۴۳، صص ۹۹-۱۰۴.

- غفاری، مهدی و راحله یوسفی (۱۳۹۰)، «مدل‌سازی پیش‌بینی قیمت ارز با استفاده از شبکه‌های عصبی»، *مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار*، سال دوم، شماره ۸، صص ۹۹-۱۱۹.

- کیا، سید مصطفی (۱۳۹۷)، *شبکه‌های عصبی در متلب*، چاپ ششم، تهران: انتشارات دانشگاهی کیان.

- منهاج، محمدباقر (۱۳۹۷)، *مبانی شبکه‌های عصبی*، جلد۱، چاپ دوازدهم، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر(پلی‌تکنیک تهران).

- موسویان، سید مهدی (۱۳۹۱)، *ترکیب مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی با الگوریتم‌ژنتیک به منظور پیش‌بینی نرخ ارز و مقایسه آن با مدل‌های سری‌زمانی ARIMA و GARCH*، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته‌ی علوم‌اقتصادی، تهران: دانشگاه علامه‌طباطبایی.

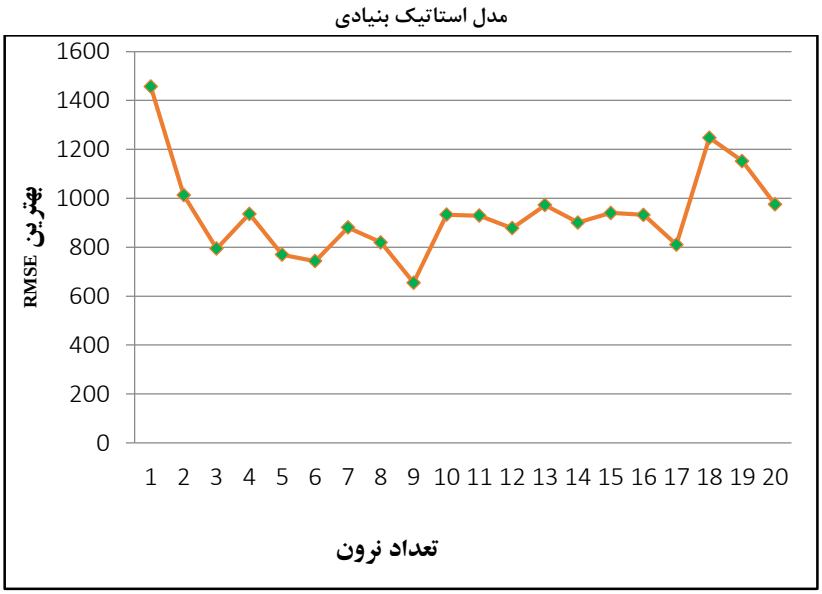
۲. لاتین

– Adewole, Adetunji Philip; Adio Taofiki, Akinwale & Akintomide Ayo Bidemi (2011). "Artificial neural network model for forecasting foreign exchange rate", *WCSIT*, Vol.1, No.3, pp. 110-118.

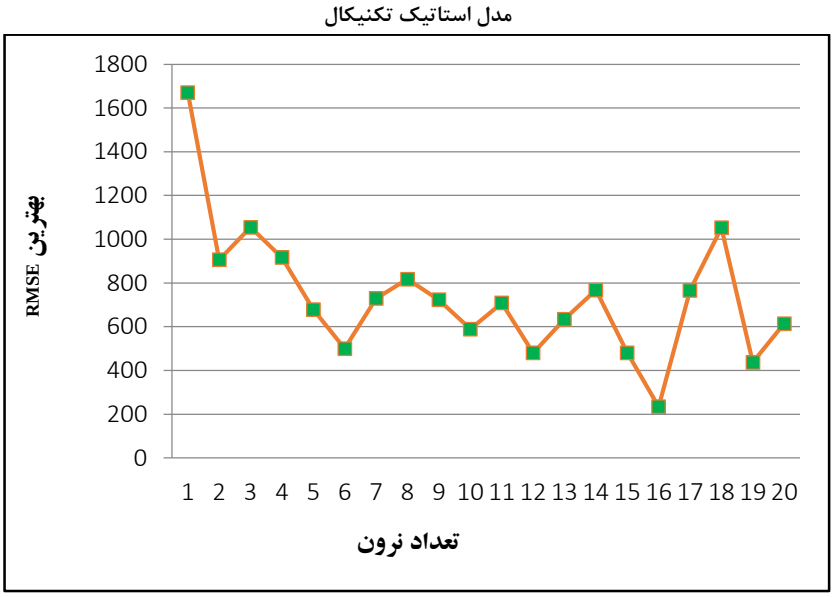
– Galeshchuk, Svitlana (2016). "Neural networks performance in exchange rate prediction", *Neurocomputing*, Vol. 172, pp. 446-452.

- Güresen, Erkam; Kayakutlu, Gulgun & Tugrul U.Daim (2011). "Using artificial neural network models in stock market index prediction", *Expert Sys. Appl*, Vol. 38, pp. 10389-10397.
- K.Nag, Ashok & Amit Mitra (2002) ."Forecasting daily foreign exchange rates using genetically optimized neural networks", *J. Forecast*, Vol. 21, pp. 501–511.
- Kamruzzaman, Joarder & Ruhul A Sarker (2003). "Forecasting of currency exchange rates using ANN: a case study", *International Conference on Neural Networks and Signal Processing, 2003, Proceedings of the 2003*, Nanjing, China.
- Pacelli, Vincenzo; Bevilacqua, Vitoantonio & Michele Azzollini (2011). "An artificial neural network model to forecast exchange rates", *JILSA*, Vol. 3, pp. 57-69.
- Panda, Chakradhara & V. Narasimhan (2007). "Forecasting exchange rate better with artificial neural network", *Journal of Policy Modeling*, Vol. 29, pp. 227–236.
- Sermpinis, Georgios; Konstantinos, Theofilatos; Andreas, Karathanasopoulos; Efstratios, F.Georgopoulos & Christian Dunis (2013). "Forecasting foreign exchange rates with adaptive neural networks using radial-basis functions and particle swarm optimization", *European Journal of Operational Research*, Vol. 225, pp. 528–540.
- Wu, Yangao & Jlanwel Gao (2019) "Application of support vector neural network with variational mode decomposition for exchange rate forecasting", *Soft Computing*, Vol. 23, No. 16, pp. 6995-7004.
- Zhang, G.Peter & Min Qi (2005). "Neural Nnetwork Forecasting for Seasonal and Trend Time Series; European", *Journal of Operational Research,* Vol. 160, pp. 501–514.
- Zhang, Gioqinang & Michael Y. Hu (1998). "Neural network forecasting of the British pound/US dollar exchange rate", *Omega, Int. J. MgmtSci*, Vol. 26, No. 4, pp. 495-506.

پیوست: نمودارهای بهترین RMSE ها در هر ساختارهای مختلف شبکه

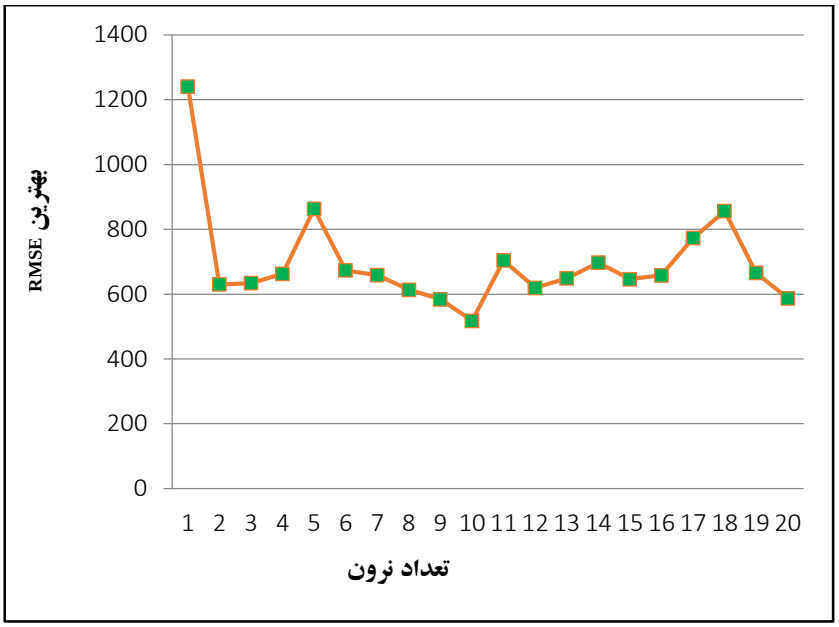


منبع: یافته‌های پژوهش



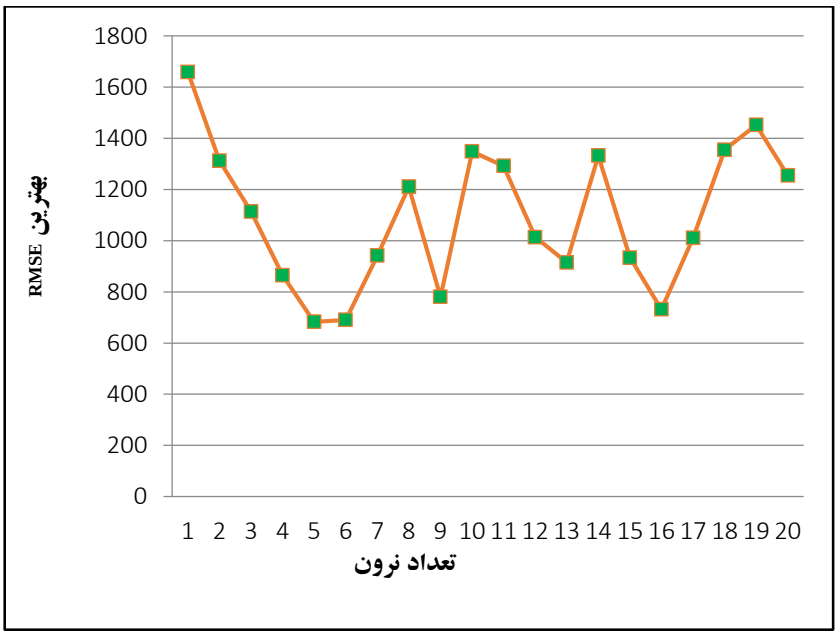
منبع: یافته‌های پژوهش

مدل استاتیک ترکیبی



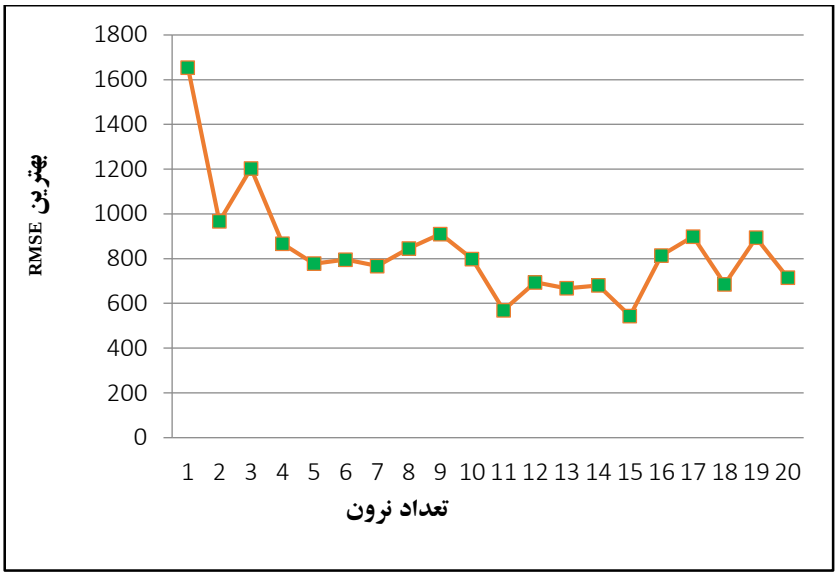
منبع: یافته‌های پژوهش

مدل دینامیک بنیادی



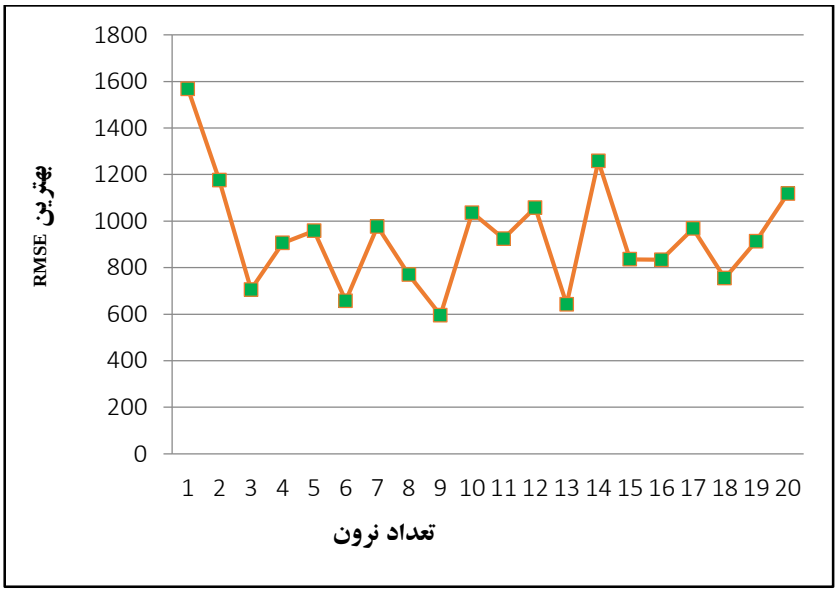
منبع: یافته‌های پژوهش

مدل دینامیک تکنیکال



منبع: یافته‌های پژوهش

مدل دینامیک ترکیبی



منبع: یافته‌های پژوهش