

عوامل مؤثر بر نرخ ارز و پیش‌بینی آن با ترکیب روش‌های اقتصادسنجی و یادگیری ماشین

علیرضا اورنگیان^{۱*}

بهزاد بلوریان^۲

الهه اورنگیان^۳

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۲/۰۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷

چکیده

هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی عوامل مؤثر بر نرخ ارز و ارائه پیش‌بینی از روند آتی آن با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی و یادگیری ماشین است. میانگین متحرک فصلی نرخ ریال به دلار آمریکا از بهار ۱۳۹۲ تا بهار ۱۴۰۱ به عنوان متغیر وابسته و تراز تجاری، بدهی به تولید ناخالص داخلی، تولید ناخالص داخلی، نرخ تورم، حجم نقدینگی، قیمت نفت اوپک و نرخ بیکاری به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده‌اند. برای تعیین عوامل مؤثر بر نرخ ارز از الگوریتم تحلیل حساسیت سوبل که یکی از روش‌های یادگیری ماشین به شمار می‌رود استفاده شده است و پس از تعیین عوامل مؤثر، از مدل اقتصادسنجی VECM برای تحلیل رگرسیونی و پیش‌بینی بهره‌گیری شده است. تشخیص اینکه واریانس خطای پیش‌بینی نرخ ارز توسط کدام یک از متغیرهای مستقل توضیح داده می‌شود و چه مدت طول می‌کشد تا تأثیر یک واحد شوک در هر کدام از متغیرهای مستقل بر نرخ ارز خنثی شود، توسط ابزارهای تجزیه واریانس خطا و توابع واکنش ضربه‌ای در مدل VAR انجام پذیرفته است. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که به ترتیب، حجم نقدینگی، قیمت نفت، نرخ بیکاری و نرخ تورم، تأثیرگذارترین عوامل مؤثر بر نرخ ارز در ایران هستند و طولانی‌ترین مدت تأثیر بر نرخ ارز را به ترتیب، حجم نقدینگی، نرخ تورم، قیمت نفت و نرخ بیکاری به خود اختصاص دادند که از این حیث، نتایج حاصل از روش‌های اقتصادسنجی و یادگیری ماشین، مشابهت داشته‌اند.

واژگان کلیدی: نرخ ارز؛ تحلیل حساسیت سوبل؛ تصحیح خطای برداری؛ خودرگرسیون برداری

طبقه‌بندی JEL: F31؛ F37؛ C63

^{۱*} کارشناس ارشد مدیریت مالی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: aorangian@ut.ac.ir

^۲ کارشناس ارشد MBA، معاونت مالی شرکت آراین ماهتاب گستر، تهران، ایران، پست الکترونیکی: b.bolourian@mah-taab.com

^۳ کارشناس ارشد اقتصاد نظری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، پست الکترونیکی: e.orangian@mail.sbu.ac.ir

۱. مقدمه

علم اقتصاد، علم مدیریت منابع مالی با توجه به محدودیت‌های موجود است. به‌منظور مدیریت هرچه بهتر و بهینه‌تر این منابع، پیش‌بینی روندهای آتی برای مقاصد بودجه‌بندی، سرمایه‌گذاری و ... امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. لذا یکی از مهم‌ترین کارکردهای علم اقتصاد، پیش‌بینی متغیرهای اقتصادی می‌باشد. نفس پیش‌بینی در طول تاریخ جذابیتی خاص برای نوع بشر داشته و دارد؛ لیکن پیش‌بینی‌های اقتصادی امری فراتر از آن است. ابزارهای موجود در اقتصادسنجی به‌عنوان شاخه‌ای مهم و کاربردی از علم اقتصاد با بهره‌گیری از علوم ریاضیات و آمار، امکان بررسی عوامل تأثیرگذار بر متغیرهای اقتصادی و پیش‌بینی حاصل از تعیین عوامل مذکور را فراهم آورده است. صرف‌نظر از تفاوت‌های موجود در روش‌های مختلف اقتصادسنجی، با حصول میزان و معنی‌داری تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته و فرض برون‌زا بودن متغیرهای مستقل، ارزش‌گذاری و پیش‌بینی از طریق اقتصادسنجی صورت می‌گیرد.

یکی از اساسی‌ترین متغیرهای کلان در اقتصاد هر کشوری، نرخ ارز می‌باشد. امروزه، ضرورت بررسی روند نرخ ارز، عوامل مؤثر بر آن و پیش‌بینی رویه آینده بر کسی پوشیده نیست. استفاده‌کنندگان این پژوهش، سیاست‌گذاران اقتصاد کلان، شرکت‌ها و بنگاه‌های اقتصادی در سطح اقتصاد خرد و خانوارها و سرمایه‌گذارانی هستند که قصد مدیریت بهینه سبد سرمایه‌گذاری خود را دارند. لزوم پیش‌بینی نرخ ارز منجر به تخمین خالص صادرات و واردات (تراز تجاری) به‌نگام تهیه و تنظیم لایحه بودجه کشور، تنها یکی از مصادیق اهمیت پژوهش حاضر می‌باشد. در سطح شرکت‌ها و بنگاه‌های اقتصادی، ارزیابی و امکان‌سنجی اغلب طرح‌های اقتصادی و بودجه‌بندی سالانه بدون داشتن چشم‌اندازی روشن از آینده نرخ ارز ممکن نیست؛ مضاف بر اینکه مدیریت ترکیب بهینه بدهی و سرمایه (ساختار سرمایه) شرکت‌ها متأثر از عوامل متعدد کلان اقتصادی و خاص شرکت است (Orangian et al., 2021a) که توجه به نرخ ارز بالأخص در شرکت‌های دارای روابط بین‌المللی را امری اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. در سطح خانوارها و سرمایه‌گذاران خرد نیز با توجه به نوسانات اغلب افزایشی اخیر بازار ارز و کاهش ارزش پول ملی، سرمایه‌گذاری در ارزهای رایج نظیر دلار آمریکا و یورو به امری طبیعی و از منظر برخی سرمایه‌گذاران لازم تبدیل شده است. با عنایت به عمق کم بازار ایران و عدم وجود کارایی کامل در بازار، انتظار سرمایه‌گذاران می‌تواند تأثیر بسزایی در تعیین نرخ ارز در بازار آزاد داشته باشد. لذا

ترسیم تصویری روشن از آینده نرخ ارز می‌تواند به کنترل هیجانات و مهار انگیزه‌های سفته‌بازانه منجر گردد.

پژوهش‌های متعددی تاکنون در زمینه پیش‌بینی متغیرهای کلان اقتصادی بالأخص نرخ ارز توسط پژوهشگران داخلی و خارجی انجام شده است؛ لیکن شرایط حساس فعلی بازار ارز، پژوهشگران تحقیق حاضر را بر آن داشت تا با استفاده از مدل‌های مختلف اقتصادسنجی بررسی عمیق‌تری بر روی بازار ارز ایران داشته باشند. تحقیق حاضر پای را فراتر از پیش‌بینی گذاشته و با استفاده از مدل‌های VECM و VAR و ابزارهای در دسترس این مدل‌ها، میزان، عمق تأثیر و طول مدت خنثی شدن شوک در متغیرهای مستقل بر نرخ ارز را موشکافانه مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است. ضمناً اعتبارسنجی نیز با استفاده از خروجی‌های مدل اقتصادسنجی صورت گرفته تا بر روی نیکویی پیش‌بینی انجام شده صحه‌گذاری شود.

بنا بر آنچه ذکر شد، هدف اصلی این پژوهش، پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از اقتصادسنجی به‌عنوان یکی از ابزارهای تحلیل بنیادی و به نوعی محاسبه ارزش ذاتی قیمت ارز در ایران، مستقل از هیجانات بازار است و بدیهی است که قیمت‌ها بدون در نظر گرفتن نوسانات در کوتاه‌مدت، در بلندمدت لاجرم به ارزش ذاتی خود میل خواهند کرد. پژوهش حاضر از نوع کاربردی، توصیفی و با استفاده از تحلیل همبستگی است و داده‌ها به صورت کتابخانه‌ای گردآوری شده‌اند. منابع جمع‌آوری داده‌ها، سایت‌های بانک مرکزی^۱، مرکز آمار ایران^۲، وزارت اقتصاد^۳، اقتصاد تجارت^۴ و شبکه اطلاع‌رسانی طلا و ارز^۵ بوده است. به‌منظور تحلیل داده‌ها نیز از نرم‌افزار EViews 10 بهره‌گیری شده است. متغیر وابسته پژوهش نرخ ارز (دلار آمریکا به ریال ایران) و متغیرهای مستقل تأثیرگذار با استفاده از پژوهش‌های داخلی (فتحی نیا و بدیع زاده، ۱۴۰۱؛ شاه حسینی و رضایی، ۱۳۹۷؛ بشخور، ۱۴۰۱) و خارجی (Dick et al., 2015; Engel et al., 2015; Ferraro et al., 2015) انجام شده، تراز تجاری، بدهی به تولید ناخالص داخلی، تولید ناخالص داخلی، نرخ تورم، حجم نقدینگی، قیمت نفت اوپک و نرخ بیکاری (به‌عنوان شاخصی از رکود) در نظر گرفته شده‌اند. برای بررسی اینکه کدام یک از متغیرهای منتخب بر نرخ ارز تأثیرگذار است از روش

¹ cbi.ir

² amar.org.ir

³ mefa.ir

⁴ tradingeconomics.com

⁵ tgju.org

تحلیل حساسیت سوبل^۱ که از روش‌های یادگیری ماشین است، استفاده شده است. داده‌ها از بهار ۱۳۹۲ تا بهار ۱۴۰۱ جمع‌آوری شده‌اند و تواتر داده‌های مورد بررسی نیز فصلی می‌باشد؛ چراکه انتخاب هر تواتر دیگری موجب از بین رفتن بخشی از داده‌های کلان اقتصادی یا ایجاد نیاز به درون‌یابی می‌شد که باعث اختلال در نیکویی برازش و نهایتاً کاهش اعتبار پیش‌بینی می‌گردد (Ghysels & Marcellino, 2016). از طرفی دیگر، شمول سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱ موجب می‌شود تا اولاً پژوهش درگیر سال‌های دور که ممکن است متغیرهای زیادی دستخوش تغییر شده باشند، نگردد و ثانیاً تصدی‌گری چهار دولت، سه رئیس‌جمهور و همچنین عوامل غیراقتصادی از جمله، تحریم، تصویب و لغو برجام در دایره شمول بررسی قرار گیرد. جامعه آماری کشور ایران است. مدل تصحیح خطای برداری (VECM) برای پیش‌بینی نرخ ارز، رفع مشکل مانایی داده‌ها و اثبات رابطه بلندمدت میان متغیر وابسته با متغیرهای مستقل، بکار گرفته شده و برای اینکه میزان تأثیر هر کدام از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته و اینکه شوک در متغیرهای مستقل از لحاظ زمانی چقدر طول می‌کشد تا تأثیرش بر متغیر وابسته خنثی شود، مشخص گردد از ابزارهای در دسترس مدل خودرگرسیون برداری (VAR) یعنی تجزیه واریانس و توابع واکنش ضربه‌ای بهره‌گیری شده است.

در ادامه تحقیق در بخش مروری بر ادبیات و پیشینه تحقیق، ادبیات موضوعی پیش‌بینی نرخ ارز و پژوهش‌های پیشین داخلی و خارجی در این زمینه بررسی شده است. در بخش روش‌شناسی، مروری بر روش‌های اقتصادسنجی مورد استفاده در تحقیق حاضر انجام گرفته است. در بخش نتایج، خروجی‌های حاصل از پژوهش معرفی و مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته‌اند. در نهایت در بخش بحث و نتیجه‌گیری، نتایج تحقیق مورد بحث قرار گرفته و به محدودیت‌ها و پیشنهاداتی اشاره شده است.

۲. مروری بر ادبیات و پیشینه تحقیق

۲-۱. عوامل مؤثر بر نرخ ارز

تراز تجاری

¹ Sobol' Sensitivity Analysis

تراز تجاری، خالص جریان ورودی‌ها و خروجی‌های ارز خارجی به اقتصاد است. این ورودی‌ها و خروجی‌ها ناشی از تجارت کالا و خدمات با خارج از کشور می‌باشد؛ به عبارت بهتر، تراز تجاری اختلاف میان صادرات و واردات است که صادرات خالص نیز گفته می‌شود. اگر صادرات کشوری بیشتر از واردات آن باشد، تراز تجاری مثبت و اگر کمتر باشد، تراز تجاری منفی خواهد داشت. با عنایت به اینکه تراز تجاری مستقیماً با ارز خارجی در ارتباط است، می‌تواند یکی از عوامل تأثیرگذار بر نرخ ارز داخلی باشد.

بدهی دولت

کسری بودجه پایدار در کشورها موجب رشد مداوم بدهی دولت‌ها می‌شود. بدهی دولت را اکثراً بدهی به بانک مرکزی، بدهی به بخش بانکی و سایر مؤسسات مانند سازمان تأمین اجتماعی و بدهی‌های خارجی تشکیل می‌دهد. معمولاً در تحقیقات مالی از شاخص بدهی تعدیل‌شده با GDP برای بیان بدهی‌های دولت استفاده می‌کنند. اقدامات دولت با استفاده از ابزارهای پولی و مالی برای ادای این دیون، می‌تواند منجر به کاهش ارزش پول ملی و افزایش نرخ ارز گردد.

تولید ناخالص داخلی

تولید ناخالص داخلی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کلان اقتصادی است که نشانگر میزان قدرت اقتصادی یک کشور می‌باشد. در واقع، تولید ناخالص داخلی برابر با کل ارزش محصولات و خدمات نهایی افراد مقیم یک کشور است و بسیاری از عوامل اقتصاد کلان از جمله نرخ ارز را می‌تواند تحت الشعاع قرار دهد.

نرخ تورم

افزایش سطح عمومی قیمت کالاها و خدمات در یک اقتصاد تورم است که با شاخص قیمت مصرف‌کننده اندازه‌گیری می‌شود؛ به عبارت دیگر تورم، افزایش سطح قیمت‌هاست که می‌تواند منجر به کاهش ارزش پول ملی شود. وقتی نرخ تورم کشور بالاست پول ملی ارزش خود را از دست خواهد داد و بالعکس. تورم و نرخ ارز همبستگی مثبت دارند. کشوری با تورم پایین‌تر دارای ارزش پول بیشتر است و بالعکس. افزایش نرخ ارز نشان‌دهنده کاهش ارزش پول ملیست.

حجم نقدینگی

جمع پول و شبه پول در اقتصاد، نقدینگی را تشکیل می‌دهد. هر چه بانک‌ها بیش از میزان سپرده‌ای که دارند اقدام به خلق پول کنند، نقدینگی کشور افزایش می‌یابد. اگر هم‌زمان با افزایش نقدینگی سرعت گردش پول نیز به همان نسبت افزایش یابد، مسئله‌ای نیست؛ لیکن در کشوری که عرضه و تولید دچار مشکل باشد، چاپ بی‌ضابطه پول و افزایش نقدینگی آثار مخربی بر اقتصاد خواهد داشت. یکی از این آثار مخرب، کاهش ارزش پول ملی و افزایش نرخ ارز می‌باشد.

قیمت نفت

اگرچه قیمت نفت معمولاً از طریق تراز تجاری بر نرخ ارز تأثیرگذار است، به دلیل وابسته بودن اقتصاد ایران به فروش نفت، این متغیر نقشی اساسی در بسیاری از متغیرهای کلان اقتصادی دیگر دارد و می‌تواند به‌عنوان متغیری برون‌زا و مستقل در نظر گرفته شود. نرخ ارز در ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست.

نرخ بیکاری

کشورهایی با رشد اقتصادی نسبتاً کم و نرخ بیکاری بالا در طولانی‌مدت، وارد دوران رکود می‌شوند. اگر در زمان رکود کشور با نرخ تورم بالا در درازمدت دست و پنجه نرم کند، اصطلاحاً وارد رکود تورمی شده است که می‌تواند آثار مخربی بر کلیت اقتصاد آن کشور داشته باشد. لذا رکود را می‌توان با رشد تولید ناخالص داخلی و نرخ بیکاری کشور شاخص‌سازی نمود. نتایج برخی از پژوهش‌های پیشین بیانگر ارتباط میان نرخ ارز و نرخ بیکاری می‌باشد (Ramasami & Karimi, 2015).

۲-۲. پیشینه تحقیق

شریف‌آزاده و حقیقت (۱۳۸۴) در تلاشی برای یافتن عوامل مؤثر بر نرخ ارز در ایران، داده‌های سال‌های ۱۳۴۰ تا ۱۳۷۹ را بررسی نموده‌اند که نتایج حاصل از آن، حاکی از تأثیر قیمت نفت، سرمایه‌گذاری بخش خصوصی، درآمد ناخالص داخلی (GDP)، قیمت طلا و نرخ رشد جمعیت بر نرخ ارز می‌باشد.

صباغ کرمانی و شقاقی شهری (۱۳۸۴) با استفاده از رهیافت خودرگرسیون برداری و با بررسی ارتباط کوتاه‌مدت و بلندمدت عوامل احتمالی بین سال‌های ۱۳۳۸ تا ۱۳۸۰، نشان دادند که افزایش کسری بودجه دولت، رابطه مبادله و حجم پول سبب افزایش نرخ ارز و افزایش در متغیرهای مالیات بر واردات، خالص دارایی‌های خارجی و قیمت‌های نفتی کاهنده نرخ ارز می‌باشند. دامن کشیده و محمد زاده اصل (۱۳۹۰) همراه با معرفی بازار فارکس و با استفاده از روش ARDL، هزینه‌های دولت، درآمد نفت، جریان سرمایه و درجه باز بودن اقتصاد را عوامل تأثیرگذار بر نرخ ارز دانسته‌اند.

اصغر پور و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از رگرسیون فازی در دوره ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۹، مخارج دولت، نرخ رشد بهره‌وری، قیمت نفت، اسکناس و مسکوکات در دست مردم و سیاست‌های تجاری را عوامل تعیین‌کننده نرخ ارز معرفی کرده‌اند.

شاه حسینی و رضایی (۱۳۹۷) با استفاده از داده‌های سال‌های ۱۳۵۷ تا ۱۳۹۴ و مدل خودرگرسیونی ARIMA و برای سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۴ پیش‌بینی انجام داده‌اند.

فخاری و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از مدل تصحیح خطای برداری و بررسی داده‌های سال‌های ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۶، فشار تورم پولی، کاهش رشد تولید و افزایش ریسک سیستماتیک کشور را موجب افزایش مستمر نرخ ارز دانسته‌اند.

بشخور (۱۴۰۱) با بررسی روند نرخ ارز در سال ۱۴۰۰، پیش‌بینی کرد که مرز سیصد هزار ریال شکسته خواهد شد و پیشنهادهای از قبیل افزایش صادرات غیرنفتی و عرضه ارز، تبدیل صندوق توسعه ملی به صندوق ثروت ملی، بهبود اعتبار بانک مرکزی، ایجاد ثبات در دیگر بازارهای سرمایه، ایجاد بازار آتی ارز، کاهش وابستگی تولیدات داخلی به واردات مواد اولیه، واسطه‌ای و سرمایه‌ای با ایجاد ساختارهای مالی حمایت‌کننده از نوآوری‌ها برای کنترل این روند ارائه نموده است.

فتحی نیا و بدیع زاده (۱۴۰۱) با استفاده از روش آینده‌پژوهی نرخ ارز را پیش‌بینی نموده و تأثیر آن را بر عملکرد شرکت دخانیات ایران مورد بررسی قرار داده‌اند.

در راستای مروری بر پژوهش‌های پیشین خارجی روش‌های مختلفی در ادبیات تحقیق برای پیش‌بینی نرخ ارز از جمله یادگیری عمیق (Yasar & Kilimci, 2020)، شبکه عصبی مصنوعی

(Pradhan & Kumar, 2010) و روش‌های متفاوت اقتصادسنجی (Engel et al., 2015; Morales-Arias & Moura, 2013) استفاده شده است.

چاودهاری (۲۰۱۲) تحقیقی در زمینه عوامل بلندمدت تأثیرگذار بر نرخ ارز انجام داده که نتایج حاصل از آن گویای تأثیر تراز تجاری، مخارج دولت، بدهی‌های خارجی، نرخ بهره، آزاد بودن تجارت و بهره‌وری عوامل اشتغال بر نرخ ارز در کشور استرالیا می‌باشد. در زمینه پیش‌بینی نرخ ارز و عوامل مؤثر بر آن، فرارو و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که در کشورهایی که کالای عمده صادراتی آن‌ها نفت است، با استفاده از قیمت نفت می‌توان نرخ ارز را پیش‌بینی نمود.

راماسامی و کریمی ابر (۲۰۱۵) روش‌های مختلفی از اقتصادسنجی را برای این کار سنجیده‌اند و نتایج آن‌ها را باهم مقایسه نموده‌اند. متغیرهای کلان اقتصادی از جمله نرخ بهره، نرخ تورم، GDP، نرخ مالیات بدهی‌های دولت، کسری یا مازاد بودجه، نرخ بیکاری و شاخص خرابکاری در مدل دخیل شده‌اند که هرکدام از روش‌ها، تعدادی از متغیرها را به‌عنوان متغیرهای تعیین‌کننده نرخ ارز انتخاب نموده است.

همچنین آلساندریا و چوی (۲۰۲۱) عوامل پویای مؤثر بر نرخ ارز و تراز تجاری در ایالات متحده را طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ بررسی کرده‌اند و بر ارتباط معنادار شوک‌های وارده بر این دو متغیر تأکید کرده‌اند.

با عنایت به پژوهش‌های پیشین داخلی و خارجی در زمینه ارزشیابی و پیش‌بینی روند نرخ ارز، اولاً اکثر مطالعات قبلی متغیرهای مورد پژوهش را سالانه در نظر گرفته‌اند که پژوهش حاضر با کوتاه‌تر نمودن تواتر به فصلی، اطلاعات باکیفیت‌تری به دست می‌دهد. ثانیاً استفاده از روش‌های اقتصادسنجی و یادگیری ماشین به طور همزمان در پژوهش و استفاده از الگوریتم سوبل برای نخستین بار در تعیین متغیرهای تأثیرگذار بر نرخ ارز، از اهم جنبه‌های نوآورانه تحقیق می‌باشد.

۳. روش تحقیق

هدف اصلی این تحقیق تعیین ارزش ذاتی نرخ ارز (دلار آمریکا به ریال ایران) با استفاده از روش‌های موجود در علم اقتصادسنجی و ارائه مدل پیش‌بینی از روند آتی نرخ ارز در ایران می‌باشد. روش اقتصادسنجی یکی از روش‌های تجزیه و تحلیل بنیادی می‌باشد و در تحلیل بنیادی

ارزش ذاتی محاسبه شده و فرض بر این است که در درازمدت قیمت‌ها به ارزش ذاتی میل خواهند کرد. لذا از نوسانات کوتاه‌مدت نرخ‌ها صرف‌نظر می‌شود. پژوهش حاضر از نوع کاربردی، توصیفی و با استفاده از تحلیل همبستگی است و داده‌ها به صورت کتابخانه‌ای گردآوری شده‌اند. منابع جمع‌آوری داده‌ها، سایت‌های بانک مرکزی، مرکز آمار ایران، وزارت اقتصاد، اقتصاد تجارت و شبکه اطلاع‌رسانی سکه و ارز بوده است. به منظور تحلیل داده‌ها نیز از نرم‌افزار EViews 10 بهره‌گیری شده است. متغیر مستقل پژوهش میانگین متحرک فصلی نرخ ارز می‌باشد تا نوسانات کوتاه‌مدت از مدل خارج گردد. با عنایت به مطالبی که در بخش مروری بر ادبیات و پیشینه تحقیق در مورد پژوهش‌های پیشین ذکر شد، هفت متغیر تراز تجاری، بدهی به تولید ناخالص داخلی، تولید ناخالص داخلی، نرخ تورم، حجم نقدینگی، قیمت نفت اوپک و نرخ بیکاری (به‌عنوان شاخصی از رکود) به عنوان متغیرهای مستقل مدل در نظر گرفته شده‌اند. برای بررسی اینکه کدام یک از متغیرهای منتخب بر نرخ ارز تأثیرگذار است از روش تحلیل حساسیت سوبل که از روش‌های یادگیری ماشین است، استفاده شده است. داده‌های مورد مطالعه، سری زمانی فصلی متغیرها از بهار ۱۳۹۲ تا بهار ۱۴۰۱ می‌باشد. کوتاه‌ترین تواتری که می‌توان با توجه به محدودیت دسترسی به داده‌های کلان اقتصادی در نظر گرفته شود، تواتر فصلی است. تقریباً تمام پژوهش‌های پیشین داخلی و خارجی تواتر سالانه را در نظر گرفته‌اند که موجب از دست رفتن بخشی از اطلاعات مهم می‌شود. تواترهای کوتاه‌تر از جمله تواتر ماهانه نیز نیاز به درون‌یابی داده‌ها دارد که موجب آسیب به نیکویی برازش و کاهش اعتبار مدل می‌شود (Ghysels & Marcellino, 2016). از طرفی دیگر، شمول سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱ موجب می‌شود تا اولاً خیلی در دام سال‌های دور که ممکن است متغیرهای زیادی دستخوش تغییر شده باشند، قرار نگیریم و ثانیاً تصدی‌گری چهار دولت، سه رئیس‌جمهور و همچنین عوامل غیراقتصادی از جمله، تحریم، تصویب و لغو برجام در دایره شمول بررسی قرار گیرد. جامعه آماری کل اقتصاد کشور ایران است. مدل تصحیح خطای برداری (VECM) برای پیش‌بینی نرخ ارز، رفع مشکل مانایی داده‌ها و اثبات رابطه بلندمدت میان متغیر وابسته با متغیرهای مستقل، بکار گرفته شده و برای اینکه میزان تأثیر هرکدام از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته و اینکه شوک در متغیرهای مستقل از لحاظ زمانی چقدر طول می‌کشد تا تأثیرش بر متغیر وابسته خنثی شود، مشخص گردد از ابزارهای در دسترس

مدل خودرگرسیون برداری (VAR) یعنی تجزیه واریانس و توابع واکنش ضربه‌ای بهره‌گیری شده است.

تحلیل حساسیت سوبل که یکی از روش‌های یادگیری ماشین بر مبنای تحلیل واریانس است، یک مدل ابتدایی ریاضیاتی که ورودی آن بردار متغیرهای مستقل و خروجی آن بردار متغیر وابسته است، دریافت می‌کند (Sobol, 1993). این مدل ریاضیاتی می‌تواند خروجی تخمین اقتصادسنجی باشد. مدل ریاضی اولیه ورودی نیازی به دقت خیلی بالا و رعایت کردن فروض کلاسیک ندارد و یک مدل OLS معمولی می‌تواند به‌عنوان ورودی تحلیل حساسیت سوبل در نظر گرفته شود (Sudret, 2008; Homma and Saltelli, 1996). خروجی مدل سوبل هم حساسیت متغیر وابسته به متغیرهای مستقل و رتبه‌بندی آن‌ها از لحاظ میزان تأثیر می‌باشد. پارامترهای ورودی هرکدام از متغیرهای مستقل دارای توزیع یکنواخت {ماکزیمم، مینیمم} ده هزار بار تولید شده و این داده‌های ایجاد شده نرمال سازی (بین صفر و یک) گردیده‌اند. روش تحلیل حساسیت سوبل از روش‌های جعبه سیاه (Black Box) است و پیش‌تر از این اغلب در زمینه‌های مهندسی و پردازش تصویر استفاده می‌شده و اورنگیان و همکاران (2021b) پیش‌قراولان ورود این روش به ادبیات مالی و اقتصادی هستند.

یکی از فروض کلاسیکی که می‌بایستی در تخمین مدل‌های ساده اقتصادسنجی همچون حداقل مربعات مانده‌ها (OLS) رعایت نمود، فرض مانایی داده‌هاست. برای برطرف کردن مشکل نا مانایی داده‌ها روش مرسوم، تفاضل‌گیری و تخمین با روش‌های کلاسیک است؛ درحالی‌که با تفاضل‌گیری بخشی از داده‌های مهم از دست می‌رود و موجب آسیب به نیکویی برازش می‌شود. لیکن در صورت عدم مانایی و وجود هم‌انباشتگی میان متغیرهای مدل، می‌توان از مدل تصحیح خطای برداری استفاده نمود (نوفرستی، ۱۳۷۸). درواقع، هم‌انباشتگی وجود رابطه تعادلی بلندمدت میان متغیرها را تصریح می‌کند. در این صورت، مدل VECM، خطای معادله ارتباط بین متغیر وابسته با متغیرهای مستقل را به عنوان خطای تعادل در نظر می‌گیرد و رفتار کوتاه‌مدت متغیر را به مقدار تعادلی بلندمدت پیوند می‌دهد. مدل VECM به صورت معادله ۱ قابل‌نمایش است:

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta X_t + \beta_2 u_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

در راستای کاری فراتر از پیش‌بینی و برای تعیین میزان اهمیت تأثیر هرکدام از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته و اینکه تأثیر شوک در هرکدام از این متغیرها چه مدت طول می‌کشد تا تأثیرش بر

متغیر وابسته خنثی شود از مدل VAR استفاده می‌شود که پیش‌نیاز آن مانایی داده‌ها می‌باشد. ابزارهایی که مدل VAR برای حصول نتایج مذکور به دست می‌دهند، تجزیه واریانس خطا و توابع واکنش ضربه‌ای می‌باشند.

تجزیه و تحلیل تجزیه واریانس یک روش پرکاربرد در مدیریت استراتژیک، تجارت بین‌الملل و اقتصاد است. این روش شامل تقسیم واریانس کل در یک متغیر هدف، به مؤلفه‌ها یا گروه‌هایی از عوامل مختلف است. این روش مستلزم محاسبه اهمیت نسبی گروه‌های مختلف عوامل و درک اینکه کدامیک از آن‌ها متغیر هدف را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهند، می‌باشد. در واقع، تجزیه واریانس خطا نشان می‌دهد که یک واحد شوک در واریانس متغیرهای مستقل مدل، چه مقدار از واریانس پیش‌بینی شده آتی متغیر وابسته را توضیح می‌دهد. توابع واکنش ضربه‌ای یا IRF برای مطالعه اثرات شوک‌ها یا تکانه‌ها در یک سیستم VAR یا VECM استفاده می‌شود. این توابع یک واحد یا یک شوک انحراف استاندارد را به یک متغیر درون‌زا و اثرات آن بر همه متغیرهای درون‌زا در VAR یا VECM ردیابی می‌کند، و همه متغیرها و شوک‌های دیگر را ثابت نگه می‌دارد. توابع واکنش ضربه‌ای بیانگر تعداد دوره‌هایی است که طول می‌کشد تا تأثیر یک واحد شوک متغیر مستقل بر متغیر وابسته خنثی شود.

در روش VECM به دلیل مانا نبودن داده‌ها تأثیر شوک‌ها بر متغیر مستقل میرا نمی‌شود و نمی‌توان بدین منظور از روش VECM استفاده نمود (Brockwell & Davis, 2016). بنا بر آنچه گفته شد، معادله ۲ نشانگر مدل VAR می‌باشد:

$$Y_t = \beta_1 X_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

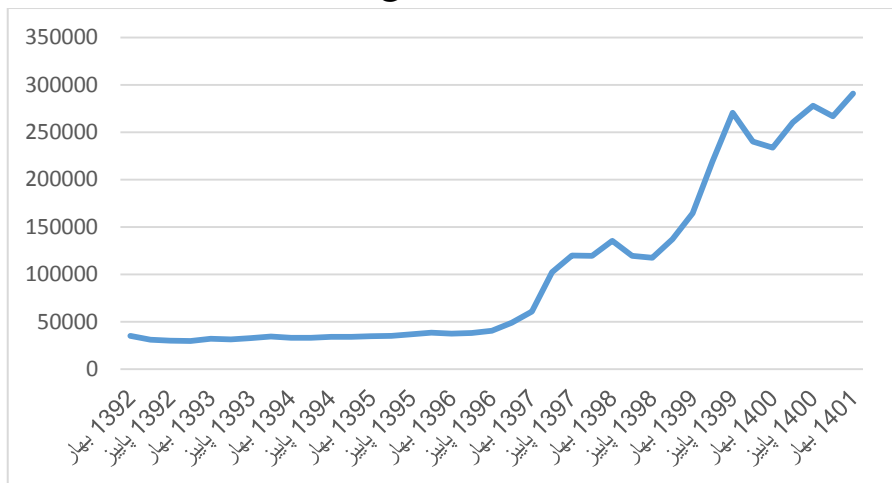
۴. یافته‌های پژوهش

در ابتدا روند متغیرهای مستقل و وابسته طی دوره مطالعه قابل مشاهده است و بجای جدول از نمودار استفاده شده که جاذبه بصری بیشتری ایجاد می‌کند و درک بهتری از روند متغیرها به دست می‌دهد.

همان‌طور که نمودارهای ۱ تا ۷ نمایش می‌دهند، در دوره مورد مطالعه، متغیر وابسته (نرخ ارز) تقریباً صعودی اکید بوده و در دو مقطع پاییز ۱۳۹۶ و پاییز ۱۳۹۸ جهش نرخ اتفاق افتاده است. تولید ناخالص داخلی و حجم نقدینگی نیز از متغیرهای مستقل اکیداً صعودی می‌باشند که شیب

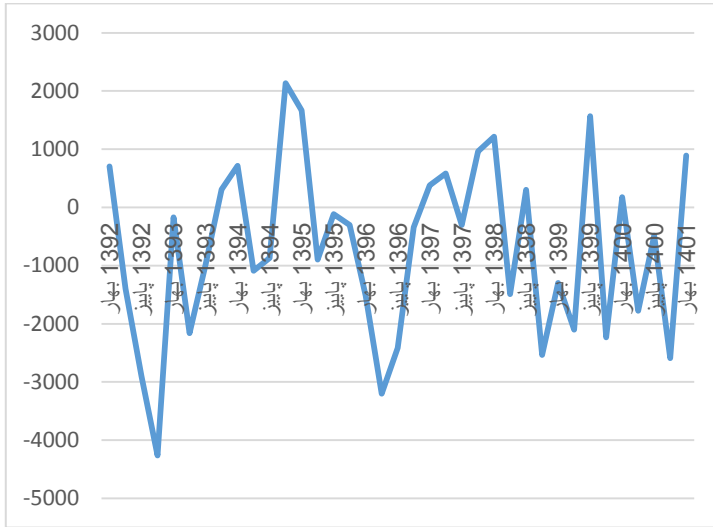
نمودارهای مربوطه نشانگر تشدید صعود است. بدهی به تولید ناخالص داخلی طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ دستخوش جهش شده و پس از کاهش در سال ۱۳۹۶ روند صعودی خود را با شیب ملایم‌تری حفظ نموده است. نرخ تورم فصلی از بهار ۱۳۹۲ تا زمستان ۱۳۹۶ که مصادف است با دولت یازدهم کاهش یافته و با پایان دولت یازدهم در دو مقطع بهار ۱۳۹۷ و زمستان ۱۳۹۸ جهش داشته اما این جهش در پایان دولت دوازدهم تا حدی کنترل شده است. از زمستان ۱۴۰۰ اما جهشی بی‌سابقه در ماه‌های ابتدایی دولت سیزدهم رخ داده و نرخ تورم فصلی را به ماکزیمم مطلق رسانده است. تراز تجاری کاملاً سینوسی بوده و شواهد نشانگر سقوط در تابستان و زمستان هر سال و صعود در بهار و پاییز می‌باشد. نرخ بیکاری نیز در دولت‌های یازدهم و دوازدهم با تعمیق رکود برای مهار تورم تا حدود کمی صعودی بوده و اواخر دولت دوازدهم کاهش محسوسی در آن ایجاد شده که تا پایان دوره مطالعه تحقیق (اوایل دولت سیزدهم) حفظ گردیده است. نهایتاً قیمت نفت اوپک با آغاز دولت یازدهم تا اواخر دولت دوازدهم کاهش شدید تا ۷۵ درصدی را نیز تجربه نموده و از بهار ۱۳۹۹ تا پایان دوره مطالعه با جهش افزایشی قابل توجهی روبرو بوده است.

نمودار (۱): روند نرخ ارز



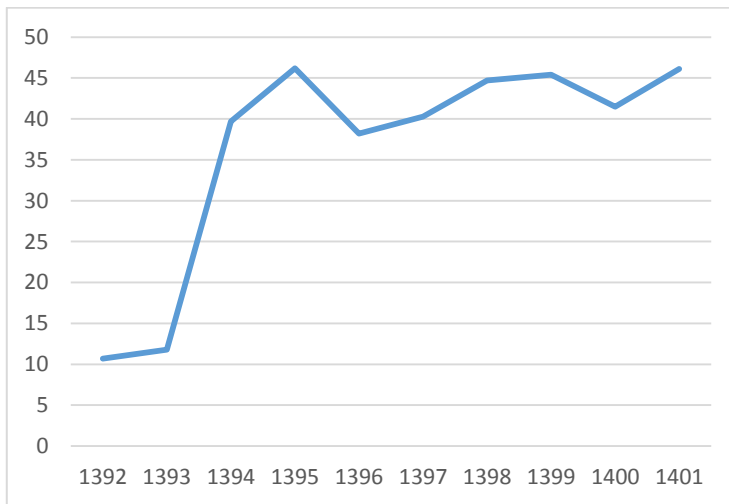
منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار (۲): تراز تجاری (میلیون دلار)



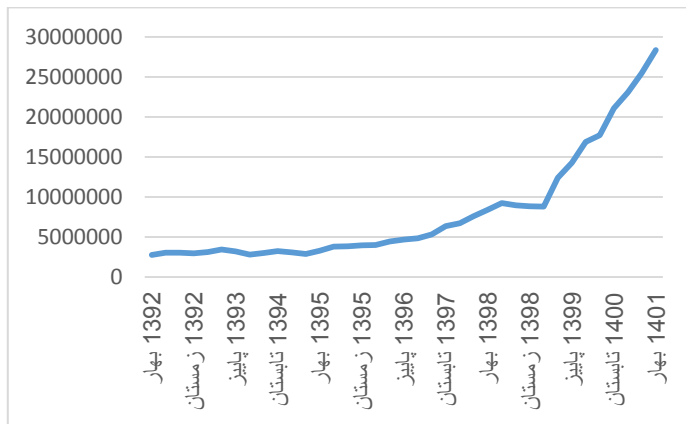
منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار (۳): نسبت بدهی به تولید ناخالص داخلی



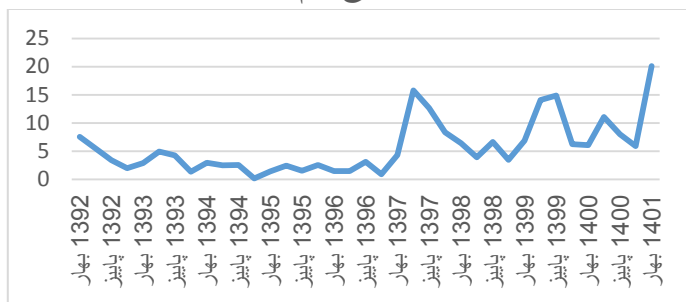
منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار (۴): تولید ناخالص داخلی (میلیارد ریال)



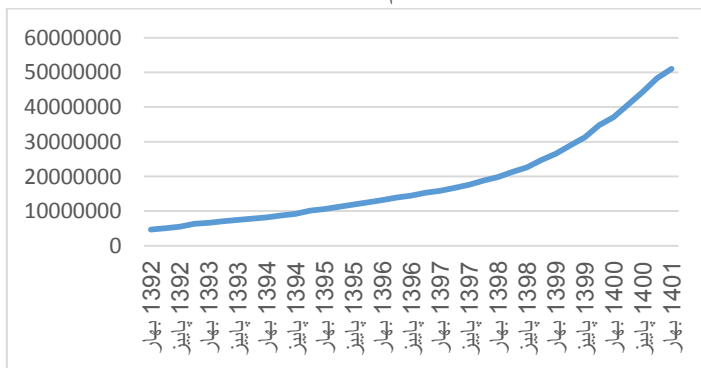
منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار (۵): نرخ تورم (درصد)



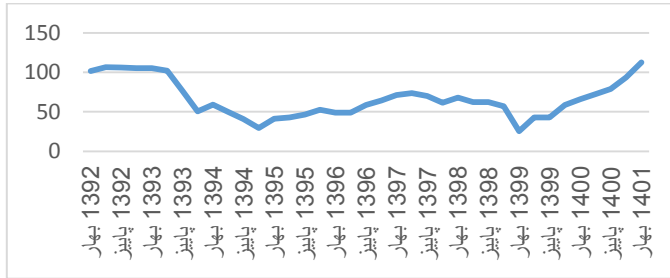
منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار (۶): حجم نقدینگی (میلیارد ریال)



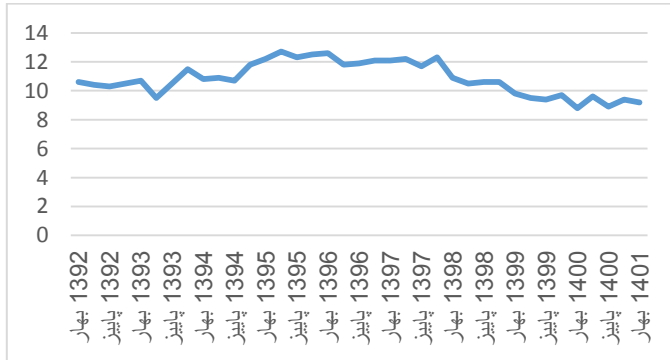
منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار(۷): قیمت نفت اوپک (دلار در هر بشکه)



منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار(۸): نرخ بیکاری (درصد)



منبع: یافته‌های تحقیق

سپس با استفاده از الگوریتم سوبل متغیرهای تأثیرگذار بر متغیر وابسته و ترتیب میزان تأثیر آن‌ها مشخص گردیده و نتایج آن در جدول ۱ آمده است.

با توجه به ضریب تأثیر نمایش داده شده در جدول ۱، چهار متغیر حجم نقدینگی، قیمت نفت، نرخ بیکاری و نرخ تورم به ترتیب متغیرهایی هستند که توسط الگوریتم سوبل به‌عنوان متغیرهای تأثیرگذار بر نرخ ارز انتخاب شده‌اند. لذا برای اقتصادسنجی از چهار متغیر مذکور به‌عنوان متغیرهای مستقل استفاده شده است.

استفاده از روش‌های سنتی اقتصادسنجی نیازمند مانا بودن داده‌هاست. در واقع، مانایی داده‌ها یکی از فروض کلاسیکی است که امکان استفاده از روش‌های سنتی اقتصادسنجی مانند OLS را فراهم می‌کند. به همین دلیل، لزوم آزمون مانایی یا عدم مانایی داده‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است. نتایج آزمون ریشه واحد دیکی فولر برای هرکدام از متغیرهای مورد پژوهش در جدول ۲ آمده است.

جدول (۱): تحلیل حساسیت سوبل

رتبه	ضریب تأثیر	متغیر
۶	۰/۰۱۳۹	تراز تجاری
۷	۰/۰۰۵۲	بدهی به تولید ناخالص داخلی
۵	۰/۰۷۰۱	تولید ناخالص دارایی
۴	۰/۱۷۶۶	نرخ تورم
۱	۰/۰۳۱۷۳	حجم نقدینگی
۲	۰/۲۱۱۷	قیمت نفت اوپک
۳	۰/۲۰۵۲	نرخ بیکاری

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول (۲): آزمون ریشه واحد دیکی فولر

نتیجه	احتمال	آماره t	متغیر
عدم وجود مانایی	۰/۸۳۶۲	-۱/۴۲۵۰	نرخ ارز
عدم وجود مانایی	۰/۹۸۲۵	-۰/۴۱۱۴	حجم نقدینگی
عدم وجود مانایی	۰/۹۷۷۲	-۰/۵۳۱۹	قیمت نفت
عدم وجود مانایی	۰/۷۴۳۸	-۰/۶۷۰۲	نرخ بیکاری
عدم وجود مانایی	۰/۱۵۸۲	-۲/۹۵۹۶	نرخ تورم

منبع: یافته‌های تحقیق

با توجه به نتایج به دست آمده از آزمون ریشه واحد دیکی فولر و تأیید عدم مانایی داده‌های مربوط به متغیرهای پژوهش، بهره‌گیری از روش‌های کلاسیک اقتصادسنجی موجب ایجاد رگرسیون کاذب می‌شود. در حالتی که داده‌های مورد بررسی نا مانا باشند اما هم انباشتگی میان آن‌ها وجود داشته باشد؛ یعنی متغیرها از ارتباط بلندمدت با هم برخوردار باشند، می‌توان با روش تصحیح خطای برداری که در آن نیازی به مانا کردن داده‌ها نیست، مدل را بدون واهمه از رگرسیون کاذب تخمین زد (نوفرستی، ۱۳۷۸). لذا برای تأیید وجود یا عدم وجود رابطه بلندمدت میان

متغیرها از آزمون هم انباشتگی انگل گرنجر استفاده شده است. نتایج آزمون هم انباشتگی انگل گرنجر در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول (۳): آزمون هم انباشتگی انگل گرنجر

نتیجه	احتمال	آماره z	متغیر وابسته
تائید هم انباشتگی	۰/۰۰۰۳	-۴۱/۴۴۶۳	نرخ ارز

منبع: یافته‌های تحقیق

نتیجه حاصل از آزمون هم انباشتگی انگل گرنجر، بیانگر تائید رابطه بلندمدت میان متغیرهای مستقل و وابسته و در نتیجه مجاز بودن استفاده از روش VECM می‌باشد. نهایتاً نتایج مربوط به پیش‌بینی ارزش ذاتی نرخ ارز با استفاده از روش VECM برای تابستان، پاییز و زمستان ۱۴۰۱ و بهار، تابستان، پاییز و زمستان ۱۴۰۲ در جدول ۴ آورده شده است.

جدول (۴): پیش‌بینی نرخ ذاتی ارز با استفاده از روش VECM

فصل	خوش‌بینانه	واقع‌بینانه	بدبینانه
تابستان ۱۴۰۱	۳۴۱۳۵۴	۳۴۷۹۱۳	۳۵۴۴۷۲
پاییز ۱۴۰۱	۳۶۱۱۴۵	۳۶۶۳۲۰	۳۸۱۴۹۵
زمستان ۱۴۰۱	۳۸۱۰۰۵	۳۸۴۷۲۶	۴۲۷۲۹۳
بهار ۱۴۰۲	۴۰۱۲۱۶	۴۰۳۱۳۳	۴۴۵۵۵۴
تابستان ۱۴۰۲	۴۲۱۲۶۷	۴۲۱۵۳۹	۴۶۳۹۹۲
پاییز ۱۴۰۲	۴۳۷۱۱۳	۴۳۹۹۴۵	۴۸۷۰۵۶
زمستان ۱۴۰۲	۴۵۲۶۱۱	۴۵۸۳۵۲	۵۱۰۵۰۲

منبع: یافته‌های تحقیق

مقادیر جدول ۴ به ریال است و تفاوت سناریوهای خوش‌بینانه، واقع‌بینانه و بدبینانه، میزان ۵ درصد تلورانس کران بالا و پایین مقادیر تخمین زده شده متغیرهای مستقل است که تأثیر آن از طریق مدل VECM در متغیر وابسته قابل مشاهده می‌باشد. لازم به ذکر است که پژوهش حاضر در مورد اینکه نرخ ارز به اعداد جدول ۴ می‌رسد یا خیر صحبت نمی‌کند. در واقع، اعداد جدول ۴،

میانگین متحرک فصلی نرخ ارز می‌باشد. به عنوان مثال پیش‌بینی می‌شود که میانگین فصلی ارزش ذاتی نرخ ارز در پاییز ۱۴۰۱، ۳۸۴۷۲۶ ریال باشد.

به منظور اعتبارسنجی پیش‌بینی نرخ ارز انجام شده، به‌عنوان نمونه، مدل مشابهی از بهار ۱۳۹۲ تا زمستان ۱۳۹۹ تخمین زده شده و سه فصل بعد از آن توسط مدل پیش‌بینی شده، با مقادیر واقعی نرخ ارز بازار مقایسه شده و درصد خطای مدل در حالات خوش‌بینانه، واقع‌بینانه و بدبینانه محاسبه شده است که نتایج آن در جدول ۵ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول (۵): اعتبارسنجی پیش‌بینی

فصل	خوش‌بینانه	واقع‌بینانه	بدبینانه
بهار ۱۴۰۰	۲۱۹۲۹۳	۲۴۶۵۰۲	۲۷۳۷۱۲
درصد خطا	-۶	۵	۱۷
تابستان ۱۴۰۰	۲۳۸۱۱۸	۲۶۵۹۸۱	۲۹۳۸۴۵
درصد خطا	-۹	۲	۱۳
پاییز ۱۴۰۰	۲۵۷۱۸۴	۲۸۵۴۶۱	۳۱۳۷۳۷
درصد خطا	-۷	۳	۱۳

منبع: یافته‌های تحقیق

در راستای اقدامی فراتر از پیش‌بینی، پژوهش حاضر از ابزارهای در دسترس مدل VAR یعنی تجزیه واریانس خطا و توابع واکنش ضربه‌ای برای اینکه میزان تأثیر هرکدام از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته و اینکه شوک در متغیرهای مستقل از لحاظ زمانی چقدر طول می‌کشد تا تأثیرش بر متغیر وابسته خنثی شود، مشخص گردد، بهره‌جسته است. البته این ابزارها در مدل VECM نیز در دسترس است اما با توجه به نا مانا بودن داده‌ها در این مدل، شوک‌های مربوطه میرا نمی‌شوند و تفسیر آن ممکن نیست (Brockwell & Davis, 2016). بنابراین، داده‌های مربوط به متغیرهای مورد پژوهش در سطح یک مانا شدند، تخمین VAR بر روی آن‌ها انجام شد و نهایتاً تجزیه واریانس خطای پیش‌بینی و توابع واکنش ضربه‌ای به دست آمد. اشکال ۹ و ۱۰ به ترتیب خروجی نرم‌افزار EVIEWS از تجزیه واریانس خطای پیش‌بینی و توابع واکنش ضربه‌ای می‌باشند.

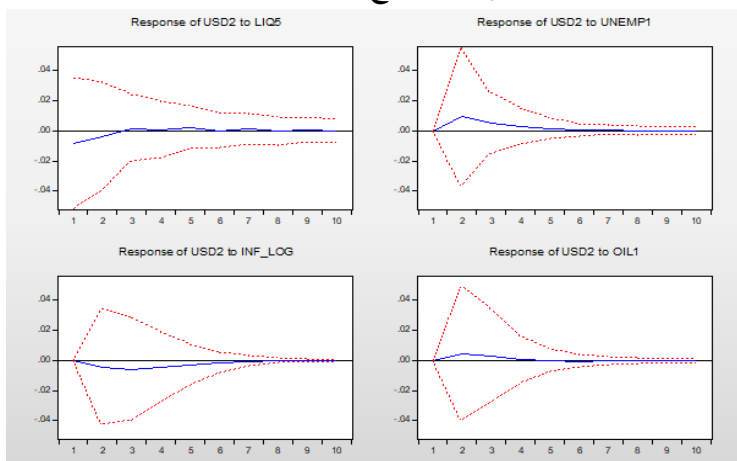
شکل (۹): تجزیه واریانس خطای پیش‌بینی

Period	S.E.	USD_RATE	INFLATION	LIQUIDITY	OIL_PRICE	UNEMPLO...
1	14589.66	100.0000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	25722.03	95.06174	2.078907	1.656751	1.078023	0.124576
3	32943.95	85.24269	1.581007	4.556522	5.593922	3.025857
4	37680.80	78.67629	2.758027	7.138545	6.748990	4.678149
5	40571.41	78.49055	2.447270	7.620172	6.473647	4.968361
6	42758.66	78.00028	2.209707	8.801746	6.112960	4.875309
7	45610.69	77.31956	2.858136	9.511223	5.671017	4.640062

Cholesky Ordering: USD_RATE INFLATION LIQUIDITY OIL_PRICE UNEMPLOYMENT_RATE

منبع: یافته‌های تحقیق

شکل (۱۰): توابع واکنش ضربه‌ای



منبع: یافته‌های تحقیق

۵. بحث و نتیجه‌گیری

در تلاش برای تعیین عوامل مؤثر بر نرخ ارز و ارائه پیش‌بینی از ارزش ذاتی آن، پژوهش حاضر از ترکیبی از روش‌های یادگیری ماشین و اقتصادسنجی بهره‌جسته است. با توجه به پژوهش‌های پیشین ارائه شده در بخش پیشینه پژوهش، هفت متغیر تراز تجاری، بدهی به تولید ناخالص داخلی، تولید ناخالص داخلی، نرخ تورم، حجم نقدینگی، قیمت نفت اوپک و نرخ بیکاری (به‌عنوان شاخصی از رکود) به‌عنوان متغیرهای مستقل مدل در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده از الگوریتم سوپل نمایش داده شده در جدول ۱، چهار متغیر حجم نقدینگی، قیمت

نفت، نرخ بیکاری و نرخ تورم به ترتیب متغیرهایی هستند که به‌عنوان متغیرهای تأثیرگذار بر نرخ ارز انتخاب شدند. سپس با استفاده از آزمون دیکی فولر (جدول ۲)، فرض مانایی متغیرهای مستقل و وابسته رد شد و طبق نتایج جدول ۳، آزمون هم‌انباشتگی انگل گرنجر رابط بلندمدت میان متغیرهای مستقل و وابسته را تأیید کرد. با تأیید عدم وجود مانایی و وجود هم‌انباشتگی، لزوم استفاده از روش VECM مشخص گردید.

همان‌طور که در بخش یافته‌های پژوهش ذکر گردید، اعداد مندرج در جدول ۴، پیش‌بینی میانگین متحرک نرخ ارز فصلی می‌باشد که از طریق اقتصادسنجی که یکی از روش‌های تعیین ارزش ذاتی است، ارائه گردیده است و لاجرم در درازمدت، صرف‌نظر از نوسانات کوتاه‌مدت، قیمت‌ها به ارزش ذاتی خود میل خواهند کرد. از نکات برجسته نتایج جدول ۴، نزدیکی اعداد سناریوهای خوش‌بینانه و واقع‌بینانه با توجه به ورود طیف داده‌های مختلف برای متغیرهای مستقل در این سناریوهاست. نکته برجسته دیگر اینکه با افزایش پنج درصدی در مقادیر پیش‌بینی شده با توجه به روند متغیرهای مستقل در سناریوی بدبینانه، مقادیر حاصله از مدل اقتصادسنجی برای متغیر وابسته، افزایش معناداری نسبت به سناریوهای خوش‌بینانه و واقع‌بینانه پیدا می‌کنند. صعودی بودن نرخ ارز در هر سه سناریو برای فصول مختلف مورد پیش‌بینی نیز به روشنی به چشم می‌خورد. نتایج مندرج در جدول ۵ نیز نشان می‌دهد که با درصد خطای قابل قبولی، در سه فصل بهار، تابستان و پاییز ۱۴۰۰، نرخ ارز حول ارزش ذاتی محاسبه شده در پژوهش در سناریوی واقع‌بینانه معامله شده است.

در راستای کاری فراتر از پیش‌بینی، با استفاده از ابزارهای تجزیه واریانس خطای پیش‌بینی و توابع واکنش ضربه‌ای در مدل VAR پس از مانا شدن داده‌ها که نتایج آن در اشکال ۹ و ۱۰ قابل مشاهده است، میزان تأثیر واریانس خطای پیش‌بینی هرکدام از متغیرهای مستقل در واریانس متغیر وابسته و اینکه یک واحد شوک آتی در هرکدام از متغیرهای مستقل چند فصل طول می‌کشد تا تأثیرش بر متغیر وابسته خنثی شود نمایش داده شده است. با توجه به شکل ۹، در طول هفت فصل مورد پیش‌بینی، یعنی تا زمستان ۱۴۰۲، مؤثرترین متغیرها در واریانس خطای مقادیر پیش‌بینی شده برای نرخ ارز به ترتیب، حجم نقدینگی، قیمت نفت، نرخ بیکاری و نرخ تورم می‌باشند. نکته جالب توجه اینکه نتایج حاصله، دقیقاً منطبق بر نتایج حاصل از الگوریتم سوبل برای تعیین متغیرهای تأثیرگذار بر نرخ ارز است و همگرایی روش‌های یادگیری ماشین و اقتصادسنجی در این مورد

به وضوح به چشم می‌خورد. نتایج حاصل از بررسی توابع واکنش ضربه‌ای مندرج در شکل ۱۰ نشان می‌دهد که یک واحد شوک آتی در حجم نقدینگی، قیمت نفت، نرخ بیکاری و نرخ تورم، به ترتیب ۱۰، ۷، ۵ و ۸ فصل طول می‌کشد تا تأثیرش در نرخ ارز خنثی شود (تاسه رقم اعشار). علی‌رغم اینکه این پژوهش تواتر کوتاه‌تر فصلی را نسبت به پژوهش‌های پیشین که اغلب تواتر سالانه را بررسی کرده‌اند، انتخاب کرده است، در صورت وجود داده‌های با تواتر کوتاه‌تر (مثلاً ماهانه) برای داده‌های کلان اقتصادی مورد پژوهش بدون استفاده از درون‌یابی که موجب افزایش خطای برآورد می‌شود، پژوهش حاضر می‌توانست برآورد دقیق‌تری از نرخ ارز داشته باشد و این مسئله مهم‌ترین محدودیت این پژوهش است.

به‌عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آتی، استفاده از روش‌های ترکیبی یادگیری ماشین و اقتصادسنجی دیگر و مقایسه نتایج، بررسی نرخ ارز کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه و مقایسه عوامل مؤثر بر آن در هر کدام از کشورها و بررسی نرخ ارز در کشورهایی که اقتصاد آن‌ها وابستگی به کالاهای خاص مانند نفت ندارند، توصیه می‌گردد.

منابع

- اصغر پور، حسین، مهدیلو، علی، & اسماعیلی، سید میثم. (۱۳۹۳). بررسی عوامل تعیین‌کننده نرخ ارز مؤثر واقعی در ایران با استفاده از رگرسیون فازی. فصلنامه علمی نظریه‌های کاربردی اقتصاد، ۳۱(۳)، ۲۵-۵۶.
- بشخور، مرجانه. (۱۴۰۱). تحلیلی بر روند نرخ ارز در سال ۱۴۰۰. ماهنامه علمی امنیت اقتصادی، ۱۰(۵)، ۷۹-۸۸.
- دامن کشیده، مرجان، & محمدزاده اصل، نازی. (۱۳۹۱). معرفی بازار بین‌المللی ارز (FOREX) و شناسایی عوامل مؤثر بر پیش‌بینی نرخ ارز واقعی در ایران. اقتصاد مالی، ۱۴(۵)، ۱۴۱-۱۶۴.
- شاه‌حسینی، سمیه، & رضایی، علی. (۱۳۹۷). پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیونی ARIMA همراه با عامل‌های مداخله‌ای و مقایسه آن با مدل گام تصادفی. اقتصاد و تجارت نوین، ۱۳(شماره ۴ (شماره پیاپی: ۴۱))، ۱۳۱-۱۵۸.
- شریف‌آزاده، محمدرضا، & حقیقت، علی. (۱۳۸۴). عوامل مؤثر بر نرخ ارز در ایران. آینده‌پژوهی مدیریت، ۱۷(شماره ۳ (پیاپی ۶۶))، ۳۱-۴۳.
- صباغ کرمانی، مجید، & شقاقی شریف، وحید. (۱۳۸۴). عوامل مؤثر بر نرخ ارز واقعی در ایران (رهیافت خودرگرسیون برداری). پژوهشنامه اقتصادی، ۱۶(۵)، ۳۷-۷۶.

- فتحی نیا، علیرضا، & بدیع زاده، علی. (۱۴۰۱). پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از روش‌های آینده‌پژوهی و بررسی تأثیر نوسانات ارزی بر عملکرد شرکت‌ها: مطالعه موردی شرکت دخانیات ایران. فصلنامه مدیریت توسعه و تحول، ۱۴۰۱(۴۹)، ۱۱۵-۱۲۷.
- فخاری مهدی، منصف عبدالعلی، ابوالحسنی اصغر، & صمدی، سعید. بررسی عوامل مؤثر بر نرخ ارز حقیقی ایران با توجه به شاخص‌های منتخب برنامه ششم توسعه با استفاده از مدل تصحیح خطای برداری (VECM). فصلنامه سیاست‌های مالی و اقتصادی، ۹(۳۶)، ۸۵-۴۹.
- نوفرستی، محمد. (۱۳۷۸). ریشه واحد و هم‌جمعی در اقتصادسنجی. تهران: موسسه خدمات فرهنگی رسا.
- Alessandria, G., & Choi, H. (2021). The dynamics of the U.S. trade balance and real exchange rate: The J curve and trade costs? *Journal of International Economics*, 132(2021), 103511.
- Brockwell P. J., & Richard, D. A. (2016). *Introduction to time series and forecasting*. Springer, Berlin.
- Chowdhury, K. (2012). Modelling the dynamics, structural breaks and the determinants of the real exchange rate of Australia. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 22(2), 343-358.
- Dick, C. D., MacDonald, R., & Menkhoff, L. (2015). Exchange rate forecasts and expected fundamentals. *Journal of International Money and Finance*, 53, 235-256.
- Engel, C., Mark, N. C., & West, K. D. (2015). Factor Model Forecasts of Exchange Rates, *Econometric Reviews*, 34:1-2, 32-55.
- Ferraro, D., Rogoff, K., & Rossi, B. (2015). Can oil prices forecast exchange rates? An empirical analysis of the relationship between commodity prices and exchange rates. *Journal of International Money and Finance*, 54, 116-141.
- Ghysels, E., & Marcellino, M. (2016). The Econometric Analysis of Mixed Frequency Data Sampling. *Journal of Econometrics*, 193(2), 291-293.
- Homma, T. & Saltelli, A. (1996). Importance measures in global sensitivity analysis of nonlinear models. *Reliability Engineering & System Safety*, 52(1), 1-17.

- Morales-Arias, L., & Moura, G. V. (2013). Adaptive forecasting of exchange rates with panel data. *International Journal of Forecasting*, 29(3), 493-509.
- Orangian, A., Varahrami, V., & Orangian, E. (2021a). A Comparative Study of the Impact of Sanctions on the Oil and Cement Companies Listed in Tehran Stock Exchange: Forecasting and Future Trends. *Journal of Research in Emerging Markets*, 3(2), 1–12.
- Orangian, A., Nadiri, M., & Ansari, M. (2021b). Government Borrowing, Capital Structure and Liquidity Policies: Evidence from Iran. *Journal of Management & Technology*, 21(4), 33-48.
- Pradhan, R., & Kumar, R. (2010). Forecasting Exchange Rate in India: An Application of Artificial Neural Network Model. *Journal of Mathematics Research*, 2(4), 111-117.
- Ramasami, R., & Karimi Abar, S. (2015). Influence of Macroeconomic Variables on Exchange Rates. *Journal of Economics, Business and Management*, 3(2), 276-281.
- Rossi, Barbara. 2013. "Exchange Rate Predictability." *Journal of Economic Literature*, 51 (4): 1063-1119.
- Sobol, I. M. (1993). Sensitivity estimates for nonlinear mathematical models. *Mathematical modelling and computational experiments*, 1(4), 407-414.
- Sudret, B. (2008). Global sensitivity analysis using polynomial chaos expansions. *Reliability engineering & system safety*, 93(7), 964-979.
- Yasar, H., Kilimci, Z. H. US Dollar/Turkish Lira Exchange Rate Forecasting Model Based on Deep Learning Methodologies and Time Series Analysis. *Symmetry* 2020, 12(9), 1553.

Investigating the Determinants of Exchange Rate and Forecasting the Future Trend Using Econometrics and Machine Learning

Alireza Orangian^{1*}

*Behzad Bolourian*²

*Elaheh Orangian*³

Abstract

The main purpose of this paper is to investigate the factors affecting exchange rate and to forecast the future trend using econometrics and machine learning methods. The seasonal moving average of IR Rial to US Dollar rate from spring 1392 to spring 1401 is the proxy of exchange rate as the dependent variable and balance of trade, debt to GDP, GDP, inflation rate, liquidity volume, OPEC oil price and unemployment rate are considered as the independent variables. For determining the factors influencing the exchange rate, Sobol' Sensitivity Analysis, a machine learning method, is used and VECM is harnessed for regressing and forecasting. Variance decomposition and impulse response function are also utilized as instruments of VAR for measuring the future shocks effects of independent variables on exchange rate and the periods in which these shocks will be neutralized. The results show that liquidity volume, oil price, unemployment rate and inflation rate are the most significant determinants, respectively and the future shocks of liquidity volume, inflation rate, oil price and unemployment rate have the longest period of impacts on the exchange rates, respectively. The study outcomes also show an affinity between econometric and machine learning results in this case. The predicted amounts of exchange rate until winter 1402 are also included in the results.

Keywords

Exchange Rate; Sobol' Sensitivity Analysis; VECM; VAR

JEL Classification: F31; F37; C63

^{1*} Master in Finance, Faculty of Management and Accounting, University of Tehran, Tehran, Iran, Corresponding Author, Email: aorangian@ut.ac.ir

² MBA, Finance Vice President, Arian Mahtaab Gostar Co, Tehran, Iran, Email: b.bolourian@mah-taab.com

³ Master in Economics, Faculty of Economics and Political Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, Email: e.orangian@mail.sbu.ac.ir