

ارزیابی ریسک فروش نفت به روپیه، یوان و یورو مطالعه موردی درآمدهای نفت ایران^۱

سکینه دهقانیان^۲

کاظم یاوری^۳

مهدی حاج‌امینی^۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۹

چکیده

وابستگی اقتصاد ایران به درآمدهای نفتی، شرایط را برای اعمال تحریم شدیدتر فراهم کرده است. یکی از راه‌هایی که برای رفع محدودیت‌های حاصل از تحریم مطرح شده، دریافت درآمدهای نفتی بر حسب پولی غیر از دلار است. در همین راستا، پژوهش حاضر، به ارزیابی ریسک جایگزین کردن پول ملی دریافت‌کنندگان نفت ایران به جای دلار می‌پردازد. یوان و روپیه برای دوره زمانی ۲۰۱۹:۰۵-۲۰۲۰:۰۱ و یورو برای دوره زمانی ۲۰۱۹:۰۵-۲۰۲۱:۰۱ با روش‌های خودتوضیح جمعی میانگین متحرک (ARIMA) و خودتوضیح آستانه‌ای (SETAR) مدل‌سازی شده و سپس، سود و زیان این راهکار برای دوره زمانی ۲۰۱۹:۰۶ تا ۲۰۲۱:۱۲ بر اساس درآمد صادرات نفت ایران به چین، هند و اروپا محاسبه شد. نتایج پیش‌بینی‌ها، حاکی از این است که به دلیل تقویت ارزش دلار در صورت عدم پوشش ریسک، راهکار فروش نفت به چین و هند و دریافت پول ملی آنها موجب زینانی به اندازه ۵ تا ۲۳ درصد ارزش صادراتی نفت ایران به این دو کشور خواهد شد که قابل توجه است. پس اولاً، می‌باید با دیپلماسی مناسب، امکان این فراهم شود که ریسک کاهش ارزش پول ملی واردکنندگان نفت ایران، در قراردادهای فروش نفت، لحاظ شود. ثانیاً، به عنوان نمونه، نشان داده شد که تصمیمات سیاسی، تا چه اندازه می‌تواند آثار اقتصادی به همراه داشته باشد. بنابراین انتظار می‌رود، ملاحظات اقتصادی به طور جدی و شفاف در فرایند تصمیم‌گیری سیاسی، مدنظر قرار گیرد.

واژگان کلیدی: نرخ ارز، درآمدهای نفتی، پیش‌بینی، مدل‌های سری زمانی

طبقه‌بندی JEL: F51, F00, C53

۱. این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول است

dehghaniansakineh@gmail.com

۲. کارشناسی ارشد اقتصاد از دانشگاه یزد

kyavari@yazd.ac.ir

۳. استاد دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد (نویسنده مسؤول)

hajamini.mehdi@yazd.ac.ir

۴. استادیار دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد

۱. مقدمه

اقتصاد کشورها، معمولاً از دو کانال اصلی با هم مرتبط هستند. کانال اول، جریان ورود و خروج کالا و کانال دوم، جریان ورود و خروج سرمایه است. یکی از مهم‌ترین کالاهایی که اقتصاد کشورهای جهان را به هم گره زده، نفت است. نوسانات قیمت نفت، اقتصاد کشورهای صادرکننده و واردکننده این کالا را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در ایران، درآمد حاصل از صدور نفت خام، بخش قابل توجهی از بودجه عمومی دولت را تشکیل می‌دهد و به طور مستقیم و غیرمستقیم، بر دیگر فعالیت‌های اقتصادی تأثیر چشمگیری می‌گذارد. طبق آمار استخراج شده از بانک مرکزی در دوره زمانی ۱۳۹۶-۱۳۵۷ متوسط سهم درآمد نفتی از کل درآمد دولت، ۵۲ درصد، متوسط سهم ارزش افزوده نفت از تولید، ۲۴ درصد و متوسط سهم صادرات نفت و گاز از کل صادرات، ۸۲ درصد بوده است. این آمار، اهمیت و جایگاه نفت در اقتصاد کشور را نشان می‌دهد.

وابستگی اقتصاد کشور به درآمدهای نفتی، از یک سو، و نوسانات غیرمنتظره قیمت نفت، از سوی دیگر، موجب چالش در اجرای برنامه‌های بلندمدت اقتصادی و اجتماعی شده و عدم تعادل‌های اقتصادی را دامن زده، و علاوه بر تأثیراتی که نوسانات درآمدهای نفتی در گذشته بر اقتصاد کشور گذاشته، اقتصاد ایران از دهه ۱۳۹۰ با چالشی بی‌سابقه روبرو شده، که قرار گرفتن در وضعیت دشوار تحریم‌های اقتصادی بوده، و با روی کار آمدن دولت ترامپ و خروج آمریکا از برجام، به تدریج، سخت‌ترین تحریم‌های اقتصادی به اجرا گذاشته شده، و در حال حاضر نیز فروش نفت به پایین‌ترین سطح خود رسیده است.

وضعیت نامطلوب شرایط اقتصاد کشور برای عمده‌ترین مشتریان نفت ایران نظیر چین، هند و اتحادیه اروپا، موقعیت ممتازی نظیر تخفیف‌های قیمتی فروش نفت و بازپرداخت غیرنقدی هزینه آنها را فراهم کرده، و بنابراین تحریم‌ها، فرصت‌های مناسبی را برای شرکای ایرانی از جمله شرکای شرقی ایران پدید آورده که همین امر، موجب همسویی آنها با تحریم‌ها شده است.

از دیرباز تاکنون، مبنای معاملات نفت، دلار آمریکا بوده و فروش نفت ایران نیز به رغم همه تنش‌های سیاسی، از این امر مستثنی نبوده است. اما بر اساس گزارش‌های غیررسمی، تحریم‌های اقتصادی، ایجاد کرده در دوره‌ای از زمان، دولت ایران نتواند دلارهای صادرات نفت خود را به کشور بازگرداند و حتی این پول بر مبنای پول‌های ملی کشورهای واردکننده در بانک‌های این کشورها، سپرده شده است. در نتیجه، تحریم‌های اقتصادی، درآمدهای نفتی کشور را در معرض ریسک تغییر نرخ‌های ارز قرار داده و در عین حال، چالش‌های متعددی از جمله تأمین ارز برای منابع و کالاهای سرمایه‌ای، تأسیسات تولیدی و زیربنایی، به همراه داشته است.

صرف نظر از اینکه فروش نفت، عمدی و یا بالاجبار به سایر ارزها مانند روپیه، یوان و یورو، در عمل میسر بوده و اتفاق افتاده است یا خیر، این سؤال که آیا قرارگرفتن در معرض ریسک برابری این پول‌ها در مقابل دلار آمریکا، برای کشور مفید است یا مضر، مستلزم پژوهش است و نمی‌توان بدون مبانی علمی و کارشناسی و نیز بدون توجه به اثرات اقتصادی تصمیمات سیاسی، در ارتباط با این موضوع، دست به اقدام زد. فروش نفت به هند، چین و اروپا و دریافت روپیه، یوان و یورو به جای دلار، کشور را در معرض ریسک نرخ ارز قرار می‌دهد و ممکن است، درآمدهای کشور را کاهش دهد. بر این اساس، پژوهش حاضر به این مسأله می‌پردازد که دریافت درآمدهای نفتی براساس سایر ارزها غیر از دلار، چه سود یا ضرری برای اقتصاد ایران به همراه دارد.

چهارچوب مقاله بدین شرح است. در بخش بعدی، به ادبیات موضوع پرداخته می‌شود. بخش سوم، روش پژوهش را دربر می‌گیرد. در بخش چهارم، یافته‌های پژوهش، گزارش و تحلیل می‌شوند. سرانجام نیز در بخش پنجم، نتیجه‌گیری مقاله و پیشنهاد‌های سیاستی ارائه می‌گردد.

۲. ادبیات موضوع

تاکنون مبنای معاملات نفت در دنیا، دلار آمریکا بوده و فروش نفت ایران نیز با وجود همه تنش‌های سیاسی، از این امر مستثنی نبوده است. احتمالاً به همین دلیل، پژوهشی در رابطه با فروش غیردلاری نفت انجام نگرفته که این خلأ، از محدودیت‌های پژوهش در این حوزه است. به هر حال در این بخش، ادبیات غنی نظری و تجربی در رابطه با پیش‌بینی نرخ ارز مطرح شده تا در بخش‌های بعد، با استفاده از آنها، ریسک ناشی از تغییرات نرخ‌های ارز در فروش غیردلاری نفت، مورد بررسی قرار گیرد. رویکردهای پیش‌بینی نرخ ارز به دو دسته تکنیکال و بنیادی تقسیم می‌شوند. در رویکرد تکنیکال، فرض شده که نرخ ارز، دارای الگوی تکرارشونده و قابل تشخیص است. این رویکرد، از مدل‌های سری زمانی تک متغیره استفاده کرده و صرفاً از رفتار گذشته نرخ ارز، برای پیش‌بینی روند آتی استفاده می‌کند.

در مقابل، رویکرد بنیادی، دنبال‌کننده روابط علی بین نرخ ارز و متغیرهای کلان اقتصادی است و در نتیجه، به پیش‌بینی نرخ ارز با توجه به متغیرهای تأثیرگذار کلان اقتصادی می‌پردازد. به گفته کازززی و همکاران (Ca'zorzi et al., 2013)، مرجع نظری برای پیش‌بینی نرخ ارز، فرضیه برابری قدرت خرید^۱ است که البته از برجسته‌ترین و جدال‌برانگیزترین نظریه‌ها در تاریخ اندیشه اقتصادی نیز به شمار می‌رود.

1. Purchasing Power Parity

نظریه برابری قدرت خرید ابتدا در یک کتاب و یک مقاله از گوستاو کاسل^۱ اقتصاددان سوئدی، به ترتیب، در سال‌های ۱۹۱۹ و ۱۹۲۲ مطرح شد. وی نظریه برابری قدرت خرید را به منظور برآورد نرخ‌های تعادلی ارز در کشورهایی که پس از بحران‌های تجاری و تغییرات وسیع در قیمت‌های نسبی کالاها پس از جنگ جهانی اول، می‌توانستند به نظام استاندارد پایه طلا رجوع کنند، طراحی و معرفی کرد (Salvatore, 1390: 100). نظریه برابری قدرت خرید، به عنوان نظریه تعیین نرخ ارز به سه نظریه مجزا تحت عناوین: برابری قدرت خرید مطلق، برابری قدرت خرید نسبی و برابری قدرت خرید تعمیم‌یافته، تقسیم می‌شود.

طبق نظریه برابری قدرت خرید مطلق، گفته می‌شود که نرخ برابری پول دو کشور، با نسبت سطح قیمت‌ها در این دو کشور برابر است. نظریه برابری قدرت خرید نسبی، بر این تأکید دارد که تغییر در نرخ برابری (مبادله) ارز، تابعی از تغییر نسبت سطح عمومی قیمت‌های دو کشور است. البته عوامل پولی نیز لحاظ می‌شود؛ زیرا بر این پایه استوار است که تغییرات نرخ ارز، صرفاً ریشه پولی دارد. بنابراین، اگر قرار باشد نرخ ارز تغییر کند، حتماً باید تغییراتی در بازار پول اتفاق بیفتد. در ادامه، نظریه برابری قدرت خرید تعمیم‌یافته از ریشه‌های پولی تغییرات ارز، فراتر رفته و مبنای آن، این است که نرخ ارز واقعی یک کشور نیز اهمیت دارد. در نتیجه، عوامل واقعی، از طریق تغییر نرخ ارز واقعی بر نرخ اسمی اثر می‌گذارند (Krugman *et al.*, 2018: 384, 401-410).

در ادامه برخی از پژوهش‌های اخیر که با رویکرد تکنیکال، به پیش‌بینی نرخ ارز پرداختند، مرور می‌شوند.

احمد و همکاران (Ahmed *et al.*, 2016)، به این سؤال پرداختند که آیا مدل‌های خطی، عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های گام‌تصادفی دارند؟ پژوهش آنها نشان داد که پیش‌بینی بر اساس مدل‌های خطی، بهتر از مدل گام‌تصادفی نیست.

بوی و همکاران (Bui *et al.*, 2018)، رویکرد یادگیری گروهی تکامل‌یافته‌ای را برای پیش‌بینی نرخ ارز ارائه کردند. آنها چهار نرخ ارز را برای دوره زمانی ۱ مه ۲۰۱۵ تا ۲۰ دسامبر ۲۰۱۶ با روش شبکه عصبی پیش‌بینی کرده و نتیجه گرفتند که رویکرد گروهی، عملکرد بهتری نسبت به پیش‌بینی جداگانه هر نرخ ارز دارد.

سارپونگ (Sarpong, 2019)، به دلیل نوسانات زیاد نرخ دلار آمریکا و «سدی» غنا، به دنبال برآورد توزیع احتمال این دو ارز جهت به حداقل رساندن ریسک ناشی از معاملات ارزی بود. وی از داده‌های نرخ مبادله ماهیانه سدی غنا و دلار آمریکا از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ استفاده کرد. نتایج این مطالعه، نشان داد که توزیع نرمال لگاریتم، تطبیق بسیار خوبی با این دو ارز دارد.

1. Gustav Cassel

یاسر و همکاران (Yasir et al., 2019)، مدلی مبتنی بر یادگیری عمیق برای پیش‌بینی نرخ ارز سه کشور هنگ‌کنگ، پاکستان و انگلیس ارائه کردند که در آن، عوامل مهمی مانند قیمت نفت خام و شاخص قیمت طلا لحاظ شدند. آنها همچنین اثر رویدادهای مهم محلی و جهانی برای هر کشور را در تجزیه و تحلیل‌ها گنجانده‌اند. نتایج پژوهش، نشان داد که روش‌های مبتنی بر یادگیری عمیق، عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارند و با وارد کردن انتظارات، عملکرد مدل بهبود می‌یابد.

خداویسی و ملبهرامی (۱۳۹۱)، به مدل‌سازی و پیش‌بینی نرخ ارز رسمی ایران طی دوره زمانی فروردین ۱۳۸۰ تا مرداد ۱۳۹۰ پرداختند. پژوهش آنها، مشخص کرد که مدل معادلات دیفرانسیل تصادفی، عملکرد بهتری نسبت به مدل سری‌زمانی ARIMA داشته است.

ابونوری و همکاران (۱۳۹۳)، عملکرد شبکه عصبی مصنوعی و ARIMA را در مدل‌سازی و پیش‌بینی کوتاه‌مدت نرخ ارز ایران، طی دوره زمانی فروردین ۱۳۸۱ تا اسفند ۱۳۸۴، مقایسه کردند. برای بررسی حساسیت نتایج مدل، برآورد و پیش‌بینی برای یورو و پوند نیز انجام گرفت. یافته‌های پژوهش، نشان داد که شبکه عصبی نسبت به مدل ARIMA، قدرت پیش‌بینی بهتری داشته است. همچنین مشخص شد که نرخ‌های ارز پوند و یورو، تابعی از قیمت‌های روز گذشته خود و نرخ دلار، تابعی از قیمت شش روز قبل خود بوده است.

شیرازی و نصراللهی (۱۳۹۲)، پیش‌بینی نرخ ارز را بر اساس الگوهای پولی مختلف و الگوی گام‌تصادفی، مقایسه کردند. آنها مدل‌های پولی را با استفاده از روش VECM طی دوره زمانی ۲۰۰۸-۱۹۷۳ برآورد و سپس نرخ ارز را برای دوره زمانی ۲۰۰۹-۲۰۱۱ پیش‌بینی کردند. نتایج، مشخص کرد که مدل گام‌تصادفی، عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های پولی دارد.

بهرام‌پور و جوادیان (۱۳۹۳)، نرخ برابری دلار به پوند را در بازار فارکس طی دوره زمانی تیر ۱۳۸۹ تا بهمن ۱۳۸۹ با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی و ARIMA پیش‌بینی کردند و نتایج، نشان داد که مدل شبکه عصبی، از قدرت پیش‌بینی بهتری برخوردار بوده است.

احسانی‌فر و احتشام‌رایی (۱۳۹۴)، با داده‌های دوره زمانی ۱۹۹۰/۱/۱ تا ۲۰۱۲/۱/۱ به مقایسه مدل‌های ARIMA و شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی نرخ روزانه ارز پرداختند. برای این منظور، از داده‌های اقتصادی کشورهای استرالیا، کانادا، ژاپن و انگلستان و نرخ ارز آن کشورها نسبت به دلار آمریکا استفاده کردند و نتیجه گرفتند که رویکرد شبکه عصبی، برآورد بهتری داشته است.

یارمحمدی و محمودوند (۱۳۹۵)، به مدل‌سازی و پیش‌بینی نرخ روزانه دلار به ریال، طی دوره زمانی تیر ۱۳۹۲ تا شهریور ۱۳۹۴ پرداختند. نتایج این پژوهش، مشخص کرد که روش ناپارامتری مجموعه مقادیر تکین، نسبت به روش ARIMA توانمندتر است.

شاه‌حسینی و رضایی (۱۳۹۷)، نرخ رسمی ارز در ایران، طی دوره زمانی ۱۳۹۴-۱۳۵۷ را با استفاده از مدل ARIMA همراه با عامل‌های مداخله‌ای و مدل گام‌تصادفی، پیش‌بینی و مقایسه کردند. آنها نتیجه گرفتند که مدل ARIMA، عملکرد بهتری در مقایسه با مدل گام‌تصادفی دارد.

انصاری‌نسب و محمدی (۱۳۹۸)، با استفاده از مدل تغییر رژیم مارکوف، رفتار نرخ ارز را مدل‌سازی کردند. آنها با به کارگیری داده‌های نرخ ارز برای دوره ۱۳۹۶-۱۳۳۸، نشان دادند که رفتار نرخ ارز، غیرخطی و نامتقارن بوده و تحت سه رژیم مختلف، قابل توضیح است.

توضیحات این بخش، نشان داد که به کارگیری رویکرد تکنیکال برای پیش‌بینی نرخ ارز، رایج بوده و بویژه در پژوهش حاضر که بر داده‌های ماهانه متمرکز است و به داده‌های ماهانه سایر متغیرها دسترسی نیست، این رویکرد مفید خواهد بود. همچنین با مرور مطالعه‌های تجربی تکنیکال، مشخص شد که هر دو رفتار متقارن و نامتقارن نرخ ارز، محتمل است و در نتیجه، به کارگیری مدل‌های رقیب خطی و غیرخطی، با اطمینان بیشتر از پیش‌بینی‌ها کمک خواهد کرد.

۳. روش پژوهش

پیش‌بینی، یکی از ابزارهای مدیریت موفق و عامل کلیدی در برنامه‌ریزی و مدیریت اقتصادی به شمار می‌آید. نرخ ارز به عنوان یک متغیر کلان اقتصادی، نقش بسزایی در سطح عملکرد بخش‌های مختلف اقتصاد یک کشور دارد. در نتیجه، مدل‌سازی و پیش‌بینی روند آتی نرخ ارز برای ارائه و تعیین سیاست‌ها و خط‌مشی‌های اقتصادی، امری ضروری است. در این پژوهش نیز به پیروی از پژوهش‌های پیشین که برای پیش‌بینی نرخ ارز، از روش‌های مختلف استفاده می‌کردند، از روش خطی و غیرخطی استفاده شده تا عمومیت نتایج، بیشتر باشد. روش خطی، حالت متقارن و روش غیرخطی، حالت نامتقارن را پوشش می‌دهد.

نرخ‌های برابری روپیه، یوان و یورو در مقابل دلار، با مدل‌های خودتوضیح جمعی میانگین متحرک (ARIMA) و خودتوضیح آستانه‌ای (SETAR) پیش‌بینی شده و سپس بر اساس آن، اثر ریسک فروش نفت و فرآورده‌های نفتی ایران به چین، هند و اتحادیه اروپا و دریافت پول ملی کشورهای مذکور، محاسبه شده است.

در این پژوهش، با توجه به دسترسی به داده‌های ماهانه، نرخ برابری یوان و روپیه در مقابل دلار برای دوره زمانی ۱۹۹۰:۰۱ تا ۲۰۱۹:۰۵، نرخ برابری یورو در مقابل دلار، برای دوره زمانی ۱۹۹۹:۰۱ تا ۲۰۱۹:۰۵ و داده‌های درآمد صادرات نفت و فرآورده‌های نفتی به اتحادیه اروپا، چین و هند، برای دوره ۲۰۱۷:۰۱ تا ۲۰۱۹:۰۹، مبنای قرار گرفتند.

داده‌های نرخ برابری ارز، به دو قسمت، یکی، جهت برآورد و دیگری، جهت پیش‌بینی درون نمونه‌ای و مقایسه با مقادیر واقعی تقسیم شدند. برای روپیه و یوان، دوره زمانی ۱۹۹۰:۰۱ تا ۲۰۱۵:۱۲ و برای یورو، دوره زمانی ۱۹۹۹:۰۱ تا ۲۰۱۵:۱۲ برای برآورد استفاده شد. سپس پیش‌بینی درون نمونه‌ای برای دوره زمانی ۲۰۱۶:۰۱ تا ۲۰۱۹:۰۵ انجام گرفت و مدل بهینه، براساس آن تعیین شد. نهایتاً نیز نرخ‌های برابری ارز پیش‌بینی و متعاقباً، سود و ضرر ایران برای دوره ۲۰۱۹:۰۶ تا ۲۰۲۱:۱۲ به دست آمد.

۴. یافته‌های پژوهش

۴-۱. الگوهای بهینه و پیش‌بینی‌های درون نمونه‌ای

در اولین گام، پایایی داده‌های نرخ‌های برابری ارز با آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته، بررسی شد. نتایج، حاکی از این بود که هر سه سری زمانی نرخ ارز، ریشه واحد دارند، اما با یک بار تفاضل‌گیری، پایا می‌شوند. داده‌ها ماهیانه است، و به همین دلیل، برای هر نرخ ارز، حداکثر وقفه ۱۲ در نظر گرفته شد و ۱۶۹ الگو مختلف شامل وقفه‌های خودمتغیر (AR) و وقفه‌های خطا (MA) برآورد شد. ضریب نابرابری تایل برای دوره پیش‌بینی درون نمونه‌ای این الگوها، ثبت و الگویی که دارای کمترین مقدار ضریب تایل بود، به عنوان الگوی بهینه انتخاب شد. در مرحله بعد، با آزمون وجود ناهمسانی شرطی (اثر ARCH) برای مدل‌های بهینه ARIMA، مورد آزمون قرار گرفت که نتایج، در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱. آزمون ARCH مدل‌های ARIMA

| وقفه | یوان | | روپیه | | یورو | |
|------|-------|--------|-------|--------|---------|--------|
| | آماره | احتمال | آماره | احتمال | آماره | احتمال |
| ۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۹۷ | ۲/۳۷ | ۰/۱۲ | ۲/۶۰ | ۰/۱۰ |
| ۲ | ۰/۰۰۲ | ۰/۹۹ | ۲/۸۲* | ۰/۰۶ | ۳/۵۸** | ۰/۰۲ |
| ۱۲ | ۰/۰۰۵ | ۰/۹۹ | ۱/۰۴ | ۰/۴۰ | ۲/۲۳*** | ۰/۰۱ |

توضیح: **، *** و * به ترتیب، نشان‌دهنده معنی‌داری آماری در سطح ۱، ۵ و ۱۰ درصد هستند.

منبع: یافته‌های پژوهش

نتایج آزمون روی مدل بهینه یوان، حاکی از نبود ناهمسانی شرطی است. بنابراین، فرایند تصادفی یوان، فاقد مدل GARCH است؛ اما ناهمسانی شرطی در مدل‌های بهینه ARIMA یورو و روپیه،

تأیید می‌شود. بنابراین، براساس ضریب تعیین تعدیل‌شده بزرگتر، معیار آکاییک کمتر و معناداری بیشتر پارامترها، مدل بهینه GARCH برای این دو نرخ ارز مشخص شد. همچنین به اینکه مدل GARCH بهینه، ناهمسانی شرطی نداشته باشد، توجه شد. در مجموع، برای یوان $ARIMA(9,1,9)$ ، برای یورو $ARIMA(10,1,9)$ به همراه $GARCH(2,0)$ و برای روپیه $ARIMA(4,1,5)$ به همراه $GARCH(3,1)$ ، به عنوان مدل‌های بهینه، جهت پیش‌بینی انتخاب شدند.

همان‌طور که در بخش قبل بیان شد، همانند پژوهش‌های پیشین، از دو روش خطی و غیرخطی استفاده شده تا عمومیت نتایج بیشتر باشد. روش خطی، حالت متقارن و روش غیرخطی حالت نامتقارن را پوشش می‌دهد. بدین منظور، برای استفاده از مدل غیرخطی SETAR در مرحله اول، آزمون F انجام گرفت. جدول ۲، نتایج آزمون را به تصویر کشیده است. نتایج، نشان می‌دهد که فرضیه صفر مبنی بر اینکه هیچ شکست و آستانه‌ای وجود ندارد، رد می‌شود و بنابراین، رفتار نرخ ارز نامتقارن و غیرخطی است.

جدول ۲. آزمون F وجود حد آستانه

| نرخ ارز | آماره F | مقدار بحرانی ۱ درصد | مقدار بحرانی ۵ درصد |
|---------|---------|---------------------|---------------------|
| یوان | ۲۰/۰۶ | ۸/۴۲ | ۵/۶۳ |
| روپیه | ۳۵/۲۲ | ۱۱/۶۵ | ۷/۹۱ |
| یورو | ۶/۰۱ | ۵/۰۷ | ۴/۰۶ |

توضیح: مقادیر بحرانی با روش بوت‌استرپ و تکرار ۱۰۰۰۰ به دست آمده‌اند.

منبع: یافته‌های پژوهش

برای تعیین مدل بهینه SETAR، حداکثر وقفه ۱۲ و همچنین وقفه‌های اول و دوم، به عنوان متغیرهای احتمالی آستانه در نظر گرفته شدند. بر این اساس، برای هر یک از سه نرخ ارز یوان، روپیه و یورو، ۲۴ الگو برآورد و همانند مدل ARIMA با توجه به ضریب تعیین تعدیل‌شده، مقدار آکاییک، میزان معنی‌داری پارامترها و نهایتاً، ضریب نابرابری تایل مدل بهینه تعیین شد.

مدل بهینه برای یوان شامل ۱۲ وقفه است و تغییرات نرخ یوان در دوره قبل به عنوان متغیر تعیین وضعیت شناخته شد که آستانه آن، ۰/۰۰۸ است. مدل بهینه برای روپیه، ۱۱ وقفه دارد و تغییرات نرخ روپیه دو دوره قبل، به عنوان متغیر تعیین وضعیت شناخته شده، که دو مقدار آستانه ۰/۳۰- و ۰/۴۵ دارد. سرانجام، مدل بهینه یورو، ۱۰ وقفه دارد و وقفه دوم، تغییرات نرخ یورو، متغیر تعیین وضعیت، با آستانه ۰/۰۲ است. بر اساس این مدل‌های بهینه، وجود ناهمسانی شرطی آزمون شد که نتایج، در جدول ۳ قابل مشاهده است.

جدول ۳. آزمون ARCH مدل‌های SETAR

| وقفه | یونان | | روپیه | | یورو | |
|------|-------|--------|-------|--------|---------|--------|
| | آماره | احتمال | آماره | احتمال | آماره | احتمال |
| ۱ | ۰/۰۰۴ | ۰/۹۴ | ۰/۰۳ | ۰/۸۵ | ۰/۲۵ | ۰/۶۱ |
| ۲ | ۰/۰۰۴ | ۰/۹۹ | ۰/۶۵ | ۰/۵۲ | ۴/۳۸*** | ۰/۰۱ |
| ۱۲ | ۰/۰۰۳ | ۰/۹۹ | ۱/۰۵ | ۰/۳۹ | ۱/۱۵ | ۰/۳۱ |

توضیح: *** نشان‌دهنده معنی‌داری آماری در سطح یک درصد است.

منبع: یافته‌های پژوهش

با توجه به جدول بالا، یونان و روپیه، فاقد مدل GARCH هستند، اما ناهمسانی شرطی برای مدل SETAR بهینه نرخ یورو، تأیید می‌شود. بنابراین با توجه به ضریب تعیین تعدیل‌شده، معیار آکائیک و میزان معناداری پارامترها، مدل GARCH بهینه انتخاب شد. به علاوه، بررسی شد تا مدل GARCH بهینه، دیگر اثر ARCH نداشته باشد. بر اساس آنچه در این زیربخش بیان شد، مدل‌های نهایی به دست آمدند که مقایسه مقادیر واقعی و برازش‌شده نرخ‌های ارز یونان، روپیه و یورو، نشان‌دهنده قدرت آنها در پیش‌بینی است.

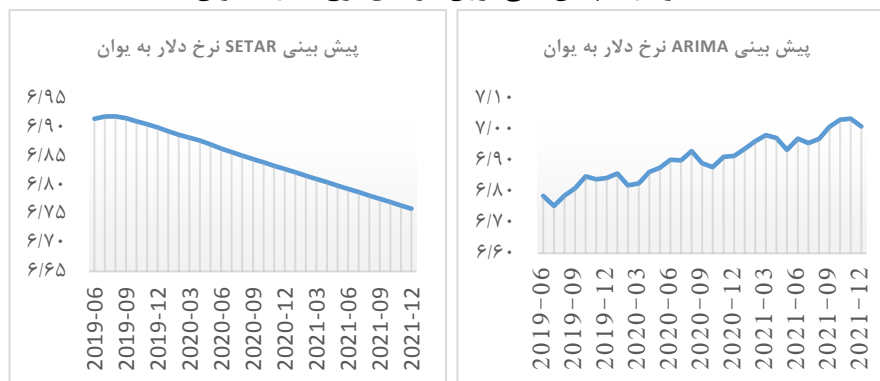
۲-۴. پیش‌بینی‌های برون‌نمونه‌ای و ریسک‌های ارزی

با مشخص شدن مدل‌های بهینه، پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای برای دوره زمانی ۲۰۱۹:۰۶ تا ۲۰۲۱:۱۲ انجام گرفت. نتایج حاصل از مدل‌های ARIMA و SETAR برای نرخ برابری یونان، روپیه و یورو، به دلار، به صورت زیر است.

طبق پیش‌بینی مدل ARIMA، قیمت یک دلار به یونان، روند افزایشی دارد (نمودار ۱). این روند، نمایانگر این خواهد بود که طبق پیش‌بینی‌های انجام شده، دلار در حال تقویت و یونان در حال تضعیف است؛ چون معمولاً با فروش نفت به چین بعد از دو ماه، وجه مربوطه (به یونان) دریافت می‌شود؛ طی این دو ماه، یونان تضعیف و دلار تقویت شده و در نتیجه، با فروش نفت به کشور چین و دریافت یونان به جای دلار، دولت متضرر خواهد شد.

اما براساس مدل SETAR، نرخ برابری دلار به یونان، دارای روند کاهشی خواهد بود. بنابراین، تقویت یونان و تضعیف دلار تجربه می‌شود. بر این اساس انتظار می‌رود، فروش نفت و فرآورده‌های نفتی به چین و دریافت یونان، موجب ضرر نشود. به هر حال قبل از شرایط تحریم، درآمدهای نفتی به صورت دلاری دریافت می‌شد و بنابراین، با ریسک نرخ ارز مواجه نبوده و درآمد نفتی، تحت تأثیر ریسک نوسانات نرخ ارز قرار نمی‌گرفت.

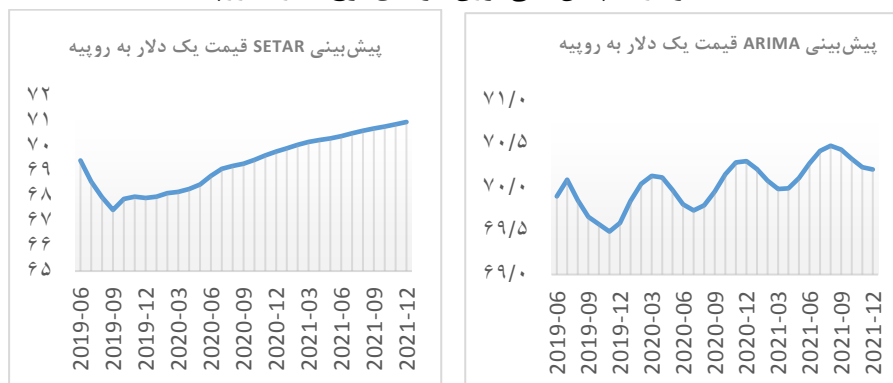
نمودار ۱. پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای نرخ دلار به یوان



منبع: یافته‌های پژوهش

نتایج پیش‌بینی نرخ ارز با هر دو مدل ARIMA و SETAR، گویای آن است که نرخ برابری روپیه به دلار، حداقل تا ماه پایانی ۲۰۲۱، روند افزایشی دارد (نمودار ۲). پس تا آن زمان، انتظار می‌رود که روپیه، تضعیف و دلار تقویت شود و متعاقباً، ایران از فروش نفت و فرآورده‌های نفتی به هند و دریافت روپیه زیان ببیند. البته روند تغییرات واریانس روپیه نیز محاسبه شده که نشان می‌دهد، اولاً، نوسانات شرطی و درپی آن، ریسک این ارز روپیه در دوره‌های اخیر، شدت یافته است؛ ثانیاً پیش‌بینی می‌شود که از انتهای سال ۲۰۱۹ تا پایان سال ۲۰۲۱، بیشترین میزان تغییرات در واریانس اتفاق افتد و بنابراین، نااطمینانی بیشتری نسبت به نرخ روپیه وجود دارد و مخاطره و ریسک ناشی از تغییرات این نرخ ارز، بیشتر خواهد شد.

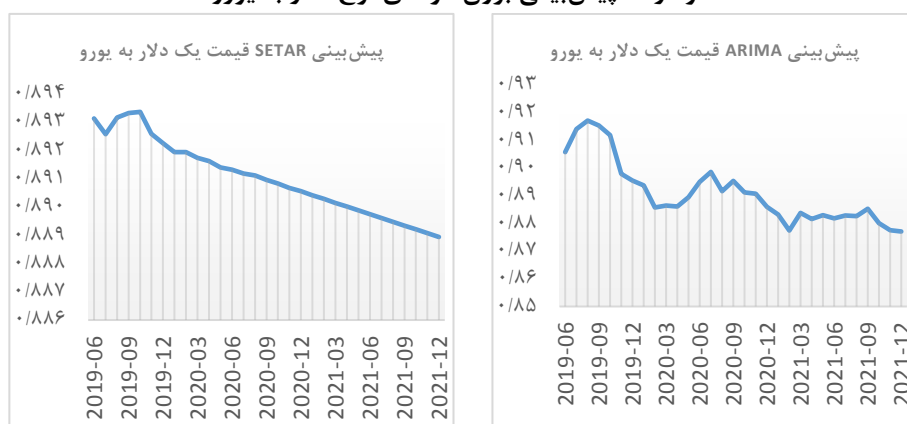
نمودار ۲. پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای نرخ دلار به روپیه



منبع: یافته‌های پژوهش

نرخ برابری یورو به دلار بر اساس هر دو مدل ARIMA و SETAR، دارای روند کاهشی بوده و بنابراین، تقویت یورو و تضعیف دلار، محتمل است و انتظار می‌رود که فروش نفت و فرآورده‌های نفتی به اتحادیه اروپا و دریافت یورو، موجب زیان نشود (نمودار ۳). روند تغییرات واریانس شرطی یورو بر اساس مدل ARIMA، نشان می‌دهد که این ارز، نوسانات مکرری را تجربه می‌کند. این ارز در دوره‌های اخیر، نوسانات شدیدتری داشته که نشان‌دهنده وجود ریسک بالاتر در این دوره است. روند تغییرات واریانس یورو در مدل SETAR نیز گویای آن است که تقریباً از سال ۲۰۱۴ به بعد، این نوسانات شدیدتر شده و ریسک و مخاطره بالاتر نرخ برابری یورو به دلار، مجدداً تأیید می‌شود.

نمودار ۳. پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای نرخ دلار به یورو



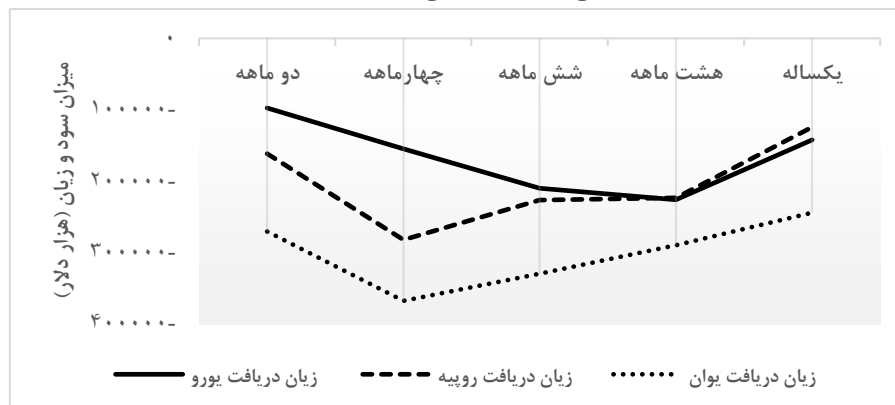
منبع: یافته‌های پژوهش

اکنون، با استفاده از نتایج پیش‌بینی نرخ برابری ارز، به محاسبه سود و زیان حاصل از فروش نفت در دوره ۲۰۱۹:۰۹-۲۰۱۷:۰۱ و دریافت پول ملی این کشورها به جای دلار، در دوره‌های زمانی دو، چهار، شش، هشت و دوازده ماه پس از فروش، پرداخته می‌شود. بر اساس داده‌های واقعی، درآمدهای نفتی و نرخ‌های برابری یوان، روپیه و یورو به دلار در دوره زمانی ۲۰۱۸:۰۴ (که تقریباً مصادف با خروج آمریکا از برجام و تشدید تحریم‌ها است) تا ۲۰۱۹:۰۵، فروش نفت و فرآورده نفتی به هر سه کشور ذکر شده و دریافت پول ملی به جای دلار، موجب زیان می‌شده است (نمودار ۴).

میزان زیان درآمد نفتی از فروش نفت به چین و دریافت وجه مربوطه در دوره دو، چهار، شش، هشت و دوازده ماه پس از فروش، به ترتیب، برابر با ۱۷/۶۵، ۲۳/۹۹، ۲۱/۵۲، ۱۸/۹۱ و ۱۵/۹۳- درصد میانگین درآمد صادرات نفت به چین (در دوره ۲۰۱۹:۰۹-۲۰۱۷:۰۱) است. این زیان برای

روپیه، به ترتیب، برابر با ۱۷/۹۲، ۳۱/۳۲، ۲۵/۱۵، ۲۴/۸۲ و ۱۳/۸۰ درصد میانگین درآمد صادرات نفت به هند است. برای یورو نیز زیان، به ترتیب، برابر با ۱۶/۱۰، ۲۵/۵۹، ۳۴/۶۵، ۳۷/۳۳ و ۲۳/۵۰ درصد میانگین درآمد نفتی حاصله از اتحادیه اروپا است.

نمودار ۴. تغییر درآمد نفتی در دوره زمانی ۲۰۱۹:۰۵-۲۰۱۸:۰۴ با ارز غیردلاری

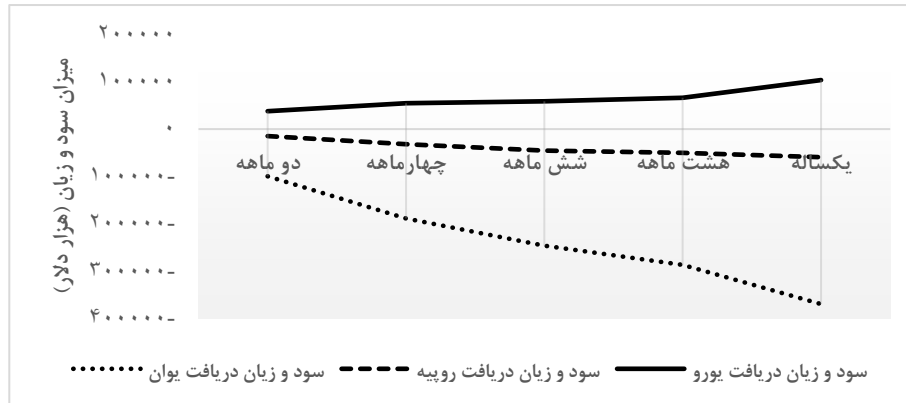


منبع: یافته‌های پژوهش

حال با استفاده از نرخ‌های پیش‌بینی شده مدل ARIMA، تغییر درآمدهای نفتی در دوره زمانی ۲۰۲۱-۱۲:۲۰۱۹-۰۶: محاسبه می‌شود. داده‌های واقعی درآمد نفتی به دلار در دوره زمانی ۲۰۱۹:۰۶-۲۰۱۹:۰۹ در دسترس است، اما برای دوره باقیمانده ۲۰۲۱:۱۲-۲۰۱۹:۱۰ از میانگین دوره زمانی ۲۰۱۹:۰۹-۲۰۱۷:۰۱، به صورت تکراری استفاده می‌شود.

طبق نمودار ۵، ایران با فروش نفت و فرآورده‌های نفتی به چین و هند و دریافت پول ملی آنها، ضرر خواهد کرد. میزان زیان درآمد نفتی با فروش نفت به چین و دریافت وجه مربوطه در دوره دو، چهار، شش، هشت و دوازده ماه پس از فروش، به ترتیب، برابر با ۶/۵۰، ۱۲/۳۲، ۱۶/۰۵، ۱۸/۶۹ و ۲۴/۱۱ درصد میانگین درآمد نفتی حاصله از چین است. به همین ترتیب، زیان درآمد نفتی با فروش نفت به هند، به ترتیب، برابر با ۱/۶۴، ۳/۵۲، ۵/۰۴، ۵/۵۷ و ۶/۵۸ میانگین درآمد نفتی حاصل از صادرات به هند است. سود درآمد نفتی با فروش نفت به اتحادیه اروپا و دریافت وجه مربوطه نیز به ترتیب، برابر با ۶/۲۴، ۸/۹۸، ۹/۷۴، ۱۰/۹۴ و ۱۷/۱۰ درصد میانگین درآمد نفتی صادرات به اتحادیه اروپا است.

نمودار ۵. تغییر درآمد نفتی طی ۲۰۲۱:۱۲-۲۰۱۹:۰۶ با پیش‌بینی مدل ARIMA

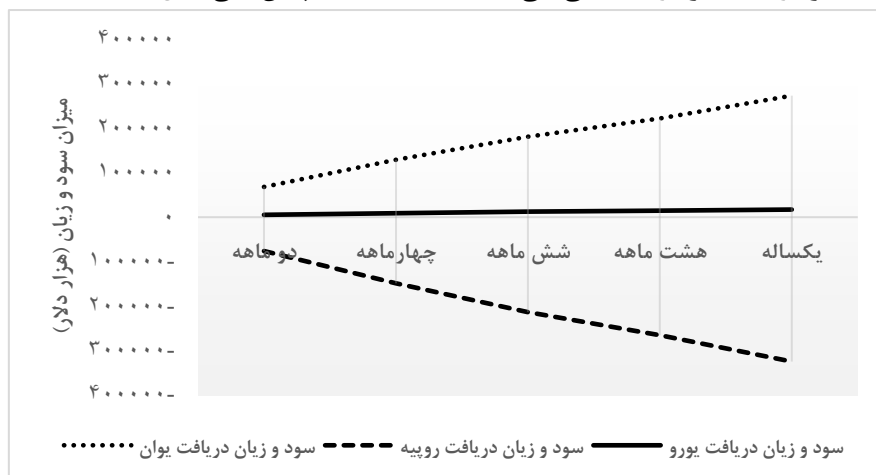


منبع: یافته‌های پژوهش

سرانجام با استفاده از نتایج پیش‌بینی مدل بهینه SETAR برای نرخ‌های یوان، روپیه و یورو، تغییرات درآمدهای نفتی محاسبه می‌شود. همانند قبل، برای دوره زمانی ۲۰۱۹:۰۶-۲۰۱۹:۰۶، از داده‌های واقعی درآمدهای نفتی و برای ادامه آن تا ۲۰۲۱:۱۲، مبنای محاسبه میانگین دوره زمانی ۲۰۱۹:۰۶-۲۰۱۷:۰۱ است. همان‌گونه که در نمودار ۶ مشاهده می‌شود، ایران با فروش نفت و فرآورده‌های نفتی به هند و دریافت روپیه به جای دلار، زیان خواهد کرد. میزان زیان درآمد با فروش نفت به هند و دریافت وجه مربوطه در دوره دو، چهار، شش، هشت و دوازده ماه پس از فروش، به ترتیب، برابر با ۸/۴۴، -۱۶/۵۳، -۲۳/۶۸، -۲۹/۵۰ و -۳۶/۰۶ میانگین درآمد نفتی کسب شده از هند است.

نتایج در مورد یوان در مدل SETAR بر خلاف مدل ARIMA است و بنابراین، نااطمینانی زیادی وجود دارد. میزان سود درآمد نفتی به چین و دریافت وجه مربوطه در دوره دو، چهار، شش، هشت و دوازده ماه پس از فروش، به ترتیب، برابر با ۴/۴۵، ۸/۴۵، ۱۱/۸۱، ۱۴/۵۱ و ۱۷/۸۴ درصد میانگین درآمد نفتی حاصله از چین است. به نظر می‌رسد که نتایج هر دو مدل در مورد یورو، دلالت بر این دارد که با فروش نفت به اتحادیه اروپا و دریافت یورو به جای دلار، عدم ضرر و کسب سود محتمل است. بر اساس مدل SETAR، میزان سود فروش یورویی درآمد صادرات نفت به اتحادیه اروپا، به ترتیب، برابر با ۰/۸۹، ۱/۵۳، ۲/۰۴، ۲/۴۲ و ۲/۸۴ درصد میانگین درآمد نفتی از اتحادیه اروپا بوده، و لازم به تأکید می‌باشد که بر اساس هدف پژوهش، زیان و سود محاسبه شده برای هر سه نرخ ارز یوان، روپیه و یورو صرفاً ناشی از تغییرات نرخ ارز است.

نمودار ۶. تغییر درآمد نفتی طی ۲۰۱۹:۰۶-۲۰۲۱:۱۲ با پیش‌بینی مدل SETAR



منبع: یافته‌های پژوهش

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

وابستگی اقتصادی ایران به درآمدهای نفتی، یک نقطه ضعف کشور محسوب می‌شود که شرایط را برای اعمال تحریم فراهم کرده است. در این شرایط که آمریکا، اقتصاد ایران را تحت فشار قرار داده، استفاده از ابزارها و راه‌های چاره‌ساز نظیر دریافت درآمد فروش نفت با سایر ارزها، مطرح شده است. صرف نظر از اینکه فروش نفت به سایر ارزها در عمل، میسر بوده و اتفاق افتاده است یا خیر، این سؤال که آیا قرارگرفتن در معرض ریسک برابری این پول‌ها در مقابل دلار آمریکا، برای کشور مفید است یا مضر، مستلزم پژوهش است.

بر این اساس، در پژوهش حاضر تلاش شد تا سود یا زیان حاصل از دریافت درآمدهای نفتی بر اساس سایر ارزها غیر از دلار، محاسبه گردد.

بدین منظور، نرخ‌های ارز یوان و روپیه برای دوره زمانی ۲۰۱۹:۰۵-۲۰۱۹:۰۱ و نرخ یورو برای دوره زمانی ۲۰۱۹:۰۵-۲۰۱۹:۰۱ با روش‌های خودتوضیح جمعی میانگین متحرک (ARIMA)، خودتوضیح آستانه‌ای (SETAR) و ناهمسانی شرطی خودتوضیح تعمیم‌یافته (GARCH)، مدل‌سازی شدند. سپس با توجه به درآمد صادرات نفت به چین، هند و اروپا، سود و زیان ایران در دوره ۲۰۱۹:۰۶ تا ۲۰۲۱:۱۲ محاسبه شد.

نتایج پژوهش، حاکی از این است که فروش نفت به چین و هند و دریافت پول ملی آنها، موجب زیان در درآمد نفتی کشور شود. بر اساس مدل ARIMA، زیان فروش نفت بر حسب یوان تقریباً ۱۵

درصد درآمد صادرات نفت به چین است. همچنین این زیان بر حسب روپیه، تقریباً ۵ درصد ارزش صادرات نفت به هند است. در مقابل براساس پیش‌بینی‌های همین مدل، دریافت یورو تقریباً ۱۱ درصد سود نصیب کشور خواهد کرد. بر اساس مدل SETAR، در صورت فروش نفت بر حسب روپیه، زبانی تقریباً برابر ۲۳ درصد درآمد نفتی از هند متوجه کشور خواهد شد. فروش یوانی نفت به چین، سود تقریباً ۱۱ درصدی از ارزش صادرات نفت به چین و فروش یورویی نفت، تقریباً سود ۲ درصد از درآمد فروش نفت به اتحادیه اروپا، نتیجه می‌دهد.

بنابراین فروش نفت بر حسب روپیه و یوان، ریسک بالایی داشته و زیان قابل توجهی به درآمدهای نفتی کشور وارد می‌کند. حتی در مورد فروش نفت به اتحادیه اروپا و دریافت یورو، اگرچه به دلیل تقویت یورو، احتمالاً به نفع درآمدهای نفتی خواهد بود، اما توجه و ارزیابی تغییرات واریانس یورو، نشان‌دهنده افزایش نااطمینانی نرخ برابری یورو به دلار در آینده است. در نتیجه، با فروش نفت و فرآورده‌های نفتی به چین، هند و اتحادیه اروپا، درآمد نفتی کشور با ریسک و زیان بالایی در آینده مواجه می‌شود.

پس در صورتی که در آینده، این راهکار مد نظر سیاست‌مداران باشد، برای کاهش زیان و ریسک به وجود آمده، می‌باید دیپلماسی مناسب با کشورهای متقاضی نفت ایران انجام گیرد تا در قراردادهای فروش نفت، طرف مقابل نیز بخشی از ریسک‌های مربوطه را قبول کند (با توجه به منافع این کشورها در استفاده از پول ملی‌شان برای پرداخت نفت، چانه‌زنی برای این مسأله شدنی است، اگرچه الزامات و توان سیاسی خاص خود را می‌طلبد). لازم است پژوهش‌های آتی راه‌های مستقیم (قراردادها) و غیرمستقیم (مثلاً بازار فارکس) پوشش ریسک را مورد بررسی قرار دهند.

به علاوه، در یک سطح کلی، این مقاله به عنوان یک نمونه، نشان داد که تصمیمات سیاسی تا چه اندازه می‌توانند آثار اقتصادی به همراه داشته و منافع اقتصادی یک کشور را به خطر اندازند. بنابراین انتظار می‌رود، برای اتخاذ تصمیمات سیاسی، ملاحظات اقتصادی به طور جدی و شفاف در نظر گرفته شوند. در همین راستا، پیشنهاد می‌شود که پژوهشگران به محاسبه ابعاد اقتصادی این قبیل تصمیمات سیاسی بپردازند تا مسیر برای گنجاندن منافع اقتصادی در تصمیمات سیاسی و تعریف دقیق‌تر از منافع ملی، هموارتر شود.

منابع و مأخذ

- ابونوری، عباسعلی؛ فرخی، فرداد و شجاعیان، سیده فاطمه (۱۳۹۳). مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و مدل خودتوضیح جمعی میانگین متحرک (ARIMA) در مدل‌سازی و پیش‌بینی کوتاه‌مدت روند نرخ ارز در ایران. *دانش سرمایه‌گذاری*، ۳(۱۰): ۸۵-۱۰۰.
- احسانی‌فر، محمد و احتشام‌رایی، رضا (۱۳۹۴). پیش‌بینی نرخ ارز در بازار سرمایه با استفاده از مدل‌های خودتوضیح جمعی میانگین متحرک و شبکه عصبی (مطالعه موردی به دلار استرالیا، دلار کانادا، ین ژاپن و پوند انگلستان). *دانش مالی تحلیل اوراق بهادار*، ۸(۲۷): ۳۵-۵۱.
- انصاری‌نصب، مسلم و محمدی، زهرا (۱۳۹۸). بررسی رفتار غیرخطی نرخ ارز در ایران: شواهدی از الگوی مارکوف سوئیچینگ. *بررسی مسائل اقتصادی در ایران*، ۶(۱): ۲۹-۴۹.
- بهرام‌پور، پیمان و جوادیان، نیکبخش (۱۳۹۳). پیش‌بینی روزانه نرخ جفت ارز پوند/دلار در بازار فارکس با استفاده از شبکه عصبی. *نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید*، ۴(۲۵): ۳۷۸-۳۸۸.
- خداویسی، حسن و ملابهرامی، احمد (۱۳۹۱). مدل‌سازی و پیش‌بینی نرخ ارز بر اساس معادلات دیفرانسیل تصادفی. *تحقیقات اقتصادی*، ۴۷(۳): ۱۴۴-۱۲۹.
- سالواتوره، دومینیک (۱۳۹۰). *مالیه بین‌الملل*. ترجمه حمیدرضا ارباب. تهران: نشر نی.
- شاه‌حسینی، سمیه و رضایی، علی (۱۳۹۶). پیش‌بینی نرخ رسمی در ایران با استفاده از مدل خودتوضیحی ARIMA همراه با عامل‌های مداخله‌ای و مقایسه آن با مدل گام تصادفی. *اقتصاد و تجارت نوین*، ۱۲(۱): ۵۱-۸۰.
- شیرازی، همایون و نصراللهی، خدیجه (۱۳۹۲). مدل‌های پولی و پیش‌بینی نرخ ارز در ایران: از تئوری تا شواهد. *سیاست‌های مالی و اقتصادی*، ۱(۴): ۵-۲۴.
- یارمحمدی، مسعود و محمودوند، رحیم (۱۳۹۵). پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از روش تحلیل مجموعه‌ی مقادیر تکین. *مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۵(۱۸): ۱۴۶-۱۳۳.
- Ahmed, S.; Liu, X., & Valente, G. (2016). Can currency-based risk factors help forecast exchange rates? *International Journal of Forecasting*, 32(1): 75-97.
- Bui, L.T.; Vu, V.T., & Dinh, T.T.H. (2018). A novel evolutionary multi-objective ensemble learning approach for forecasting currency exchange rates. *Data & Knowledge Engineering*, 114: 40-66.
- Ca'Zorzi, M.; Muck, J., & Rubaszek, M. (2013). Real exchange rate forecasting: A calibrated half-life PPP model can beat the random walk. *European Central Bank, Working Paper Series*, 1576.
- Krugman P.; Obstfeld, M., & Melitz, M. (2018). *International Economics: Theory and Policy*. 11th. Global Edition.

- Sarpong, S. (2019). Estimating the probability distribution of the exchange rate between Ghana cedi and American dollar. *Journal of King Saud University-Science*, 31(2): 177-183.
- Yasir, M.; Durrani, M.Y.; Afzal, S.; Maqsood, M.; Aadil, F.; Mehmood, I., & Rho, S. (2019). An intelligent event-sentiment-based daily foreign exchange rate forecasting system. *Applied Sciences*, 9(15): 2980-2995.