-- Iranian Energy Economics------
Summer 2020, 36(9), 149-171
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2022.62826.1862

Original Reserch Received: 14/Aug/2021 Accepted: 3/Oct/2021 ISSN: 2423-5954 eISSN: 2476-6437

Brent Crude Oil Price Forecasting by Combining Grey Theory and Econometrics Techniques

Hossein Yadegari Ph.D. Student in Oil and Gas Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

Teymour Mohammadi Associate Professor of Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

Hamid Amadeh Associate Professor, Department of Energy Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

Abdolrasoul Qasemi Associate Professor, Department of Energy Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

Hamidreza Mostafaei Associate Professor, Department of Statistics, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

The characteristics of crude oil and the factors affecting the price of this energy carrier have made its price forecast always considered by researchers, oil market participants, governments, and policymakers. Because the price of crude oil is affected by many factors, ongoing studies should be done to make more accurate and reliable estimates over time. In this paper, a combination of GM (1,1) and ARIMA models and a hybrid model (GM-ARIMA) for crude oil price forecasting is proposed. The Brent crude oil price data for seasonal (2015Q1-2021Q2), monthly(2020m3-2020m12), and weekly(w12-2020: w16-2021) periods were used to examine this method. The results show that based on the evaluation criteria of mean absolute error percentage (MAPE) and square mean square error (RMSE), the evaluation criteria of MAPE and RMSE in the combined GM-ARIMA model are always lower than the GM and ARIMA models alone. Therefore, the GM-ARIMA hybrid model will be able to predict more accurately than the GM and ARIMA models. Therefore, for more accurate prediction, the GM-ARIMA hybrid model can be used instead of single models.

Keywords: Crude oil price, Crude oil price forecast, GM grey model, ARIMA model, GM-ARIMA hybrid model

JEL Classification: C01, C53, Q47

Corresponding Author: atmahmadi@gmail.com

How to Cite: Yadegari, H, Mohammadi, T, Amadeh, H, Qasemi, A, Mostafaei, H. (2020). Brent crude oil price forecasting by combining grey theory and econometrics techniques. Iranian Energy Economics, 36 (9), 149-171.

-- پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ---------
دوره ۹، شماره ۳۶، پاییز ۱۳۹۹، ۱۴۹-۱۷۱
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2022.62826.1862

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۱
ISSN: ۲۴۲۳-۵۹۵۴
eISSN: ۲۴۷۶-۶۴۳۷

پیش‌بینی قیمت نفت خام برنت با ترکیب تکنیک‌های مبتنی بر تئوری خاکستری و اقتصادسنجی[۱]

حسین یادگاری دانشجوی دکتری اقتصاد نفت و گاز، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران
تیمور محمدی * دانشیار، گروه اقتصاد نظری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران،
حمیدآماده دانشیار، گروه اقتصاد انرژی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران
عبدالرسول قاسمی دانشیار، گروه اقتصاد انرژی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران
حمیدرضا مصطفایی دانشیار، گروه آمار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ایران

چکیده

ویژگی‌های نفت خام و عوامل مؤثر بر قیمت این حامل انرژی باعث شده تا پیش‌بینی قیمت آن همواره مورد توجه محققان، فعالان بازار نفت، دولت‌ها و سیاست‌گذاران قرار گیرد. از آنجایی که قیمت نفت خام تحت تأثیر عوامل زیادی است بنابراین باید در این راه مطالعات مداوم صورت گرفته تا برآوردهای انجام شده با گذشت زمان، نتایج دقیق‌تر و از قابلیت اعتماد بالاتری برخوردار شود. در این مقاله برای پیش‌بینی قیمت نفت خام از ترکیب مدل خاکستری مرتبه اول و آریما استفاده شده و مدل ترکیبی خاکستری - آریما پیشنهاد شده است. برای بررسی این تکنیک از داده‌های قیمت نفت خام برنت در بازه‌های زمانی فصلی، ماهیانه و هفتگی استفاده شده است. در پیش‌بینی فصلی داده‌های سه ماه اول سال ۲۰۱۵ تا سه ماهه دوم سال ۲۰۲۱، در پیش‌بینی ماهیانه داده‌های مارس ۲۰۲۰ تا دسامبر ۲۰۲۰ و در پیش‌بینی هفتگی داده‌های هفته دوازدهم ۲۰۲۰ تا هفته شانزدهم ۲۰۲۱ مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان داد میانگین قدر مطلق درصد خطا و جذر میانگین مربع خطا در مدل ترکیبی، همواره کمتر از مدل‌های منفرد یا تک تئوری خاکستری و آریما است. همچنین، مدل ترکیبی توانایی بالاتری جهت توضیح و پوشش نوسانات قیمت در بازه‌های مختلف زمانی را داشته و قابل اطمینان‌تر از مدل‌های منفرد است. لذا می‌توان از مدل ترکیبی به جای مدل‌های منفرد و تک تئوری برای پیش‌بینی دقیق‌تر استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: قیمت نفت خام، پیش‌بینی قیمت نفت خام، مدل خاکستری، مدل آریما، مدل ترکیبی خاکستری - آریما

طبقه‌بندی JEL: Q47 , C53 , C01

۱. این مقاله مستخرج از رساله دکتری دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی است

نویسنده مسئول: atmahmadi@gmail.com

۱. مقدمه

قیمت نفت بر متغیرهای کلان اقتصادی تأثیرگذار است. لذا در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی و برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های دولت‌ها نقش اساسی و بسیار مهمی دارد. ویژگی‌های نفت خام و عوامل مؤثر بر قیمت آن باعث شده پیش‌بینی قیمت آن همواره مورد توجه فعالان بازار نفت، دولت‌ها و سیاست‌گذاران باشد. همچنین ویژگی‌های خاص فعالیت‌های بخش بالادستی صنعت نفت یعنی نیاز به حجم عظیم سرمایه در مقایسه با سایر صنایع و زمان‌بر بودن اجرای پروژه (زمان شروع پروژه‌های اکتشاف و توسعه تا رسیدن به مرحله تولید)، نیاز به امکان پیش‌بینی قیمت‌ها برای برنامه‌ریزی توسعه صنعت نفت را بسیار بااهمیت‌تر از سایر صنایع نمایان می‌سازد. بنابراین با توجه به اهمیت نفت در اقتصاد، یکی از چالش‌های مهم کارشناسان در سطح جهان ارائه مدل پیش‌بینی و شناخت دقیق بازار بوده است. قیمت نفت در بازار حاصل برآیند عوامل بنیادین و غیر بنیادین است (شاکری و همکاران، ۱۳۹۸). بنایراین این عوامل به نحوی مستتر در قیمت هستند. پس پیش‌بینی قیمت در بازه‌های مختلف زمانی امر مهمی برای کشورهای صادرکننده خواهد بود چراکه بر متغیرهای کلان اقتصادی تأثیرگذار خواهد بود. هرچند پیش‌بینی قیمت نفت خام بسیار دشوار و با تغییر شرایط سیاسی و عوامل غیر منتظره تغییر می‌کنند (رحمانی و فریدزاد، ۱۳۹۸)، اما تلاش برای پیش‌بینی قیمت با دقت بالاتر مسئله مهمی است و می‌تواند در جهت منافع ملی باشد. چراکه همواره در تحلیل‌ها و تصمیم‌گیری‌ها، اطلاع از محدوده قیمت نفت خام با درجه اطمینان بالا ضروری است. بنابراین باید در این راه مطالعات مداوم صورت بگیرد تا برآوردهای انجام شده با گذشت زمان، نتایج دقیق‌تری ارائه دهند. به عبارت دیگر، باید پیش‌بینی‌ای را مورد توجه قرار داد که نسبت به نتایج واقعی مشاهده‌شده خطای کمتری داشته باشد. ازاین‌رو اهمیت این مسئله توجه بسیاری از پژوهشگران و محققان را به سمت پیش‌بینی قیمت نفت و نوسانات آن و تلاش برای ارائهٔ الگوهای جدید به خود جلب کرده است. تاکنون مطالعات زیادی در داخل و خارج از کشور در ارتباط با پیش‌بینی قیمت نفت خام با استفاده از روش‌های مبتنی بر مدل‌های اقتصادسنجی و آماری انجام شده است. استفاده از سیستم‌های خاکستری[1] آخرین تلاش‌های صورت‌گرفته در این زمینه است. لذا با توجه به اهمیت موضوع پیش‌بینی و تأثیر آن در برنامه‌ریزی کشورها، شرکت‌ها و نهادها، استفاده از روش‌های کارآمد و پیشرفته و بروز دنیا در این زمینه از اهمیت ویژه‌ای

1. Grey Systems

برخودار است. در سال ۱۹۸۲، اولین مقاله «مشکلات کنترل سیستم‌های خاکستری» در مورد سیستم خاکستری توسط دنگ[1] (۱۹۸۲) در نشریه کنترل و سیستم توسط شرکت انتشاراتی هلند شمالی منتشر شد. در همان سال، اولین مقاله سیستم خاکستری توسط وی به نام «سیستم کنترل خاکستری» به زبان چینی در نشریه دانشگاه علوم و تکنولوژی هاوژونگ منتشر شد. انتشار این دو مقاله نشان داد که یک نظریه جدید به نام تئوری سیستم خاکستری به طور رسمی در جهان ظهور کرده و مورد توجه بسیاری از محققان در سراسر جهان قرار گرفته است. نظریه سیستم‌های خاکستری، که توسط دنگ در سال ۱۹۸۲ منتشر شد، روش جدیدی است که بر مطالعه مشکلات مربوط به نمونه‌های کوچک و اطلاعات ضعیف متمرکز است (لی یو و لین، [2] ۲۰۱۰). این سیستم از طریق تولید و کاوش در آنچه موجود است، اطلاعات قابل استفاده و مفید را استخراج می‌کند. بنابراین، رفتارهای عملیاتی سیستم‌ها و قوانین تکاملی آنها را می‌توان به درستی توصیف کرد و به طور مؤثر کنترل کرد، (لی یو و همکاران[3]، ۲۰۱۴). در دنیای طبیعی، سیستم‌های نامشخص با نمونه‌های کوچک و اطلاعات ضعیف معمولاً وجود دارند. این واقعیت طیف گسترده‌ای از کاربرد نظریه سیستم‌های خاکستری را تعیین می‌کند (اندرو[4]، (۲۰۱۱) و هاکن[5]، (۲۰۱۱) و هیپل[6]، (۲۰۱۱) و وال لی[7] (۲۰۰۸)). نظریه سیستم خاکستری طی چهل سال اخیر توسعه یافته است، در بسیاری از کشورهای جهان کاربردها و دستاوردهای موفقی داشته است اما هنوز برای پیشرفت بیشتر به یک راه طولانی نیاز دارد. در یک سخنرانی در کنفرانس بین‌المللی تئوری سیستم‌های خاکستری در سال ۲۰۱۱، در شهر نانجینگ چین، اندرو (۲۰۱۱) نتیجه گرفت که کل جهان خاکستری است. وی معتقد است که مدل‌های جهانی نشان‌دهنده سیستم‌های اقتصادی به عنوان مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل است در حالی که انسان‌ها به گونه‌ای رفتار می‌کنند که این امر را نامناسب جلوه می‌دهند، مجموعه‌ای از عوامل مانند: قابلیت نوآوری، رفتار تصادفی، واکنش‌های متفاوت به محرک‌های بیرونی، منحصر به فرد بودن به عنوان افراد یا به عنوان سیستم‌ها. به همین دلیل، نظریه سیستم‌های خاکستری پل ارتباطی بین نظریه‌های سنتی و جدید اقتصادی است که مجموعه جدیدی از روش‌ها و تکنیک‌ها را برای غلبه بر تغییرات

1. Deng
2. Liu and Lin
3. Liu et al.
4. Andrew
5. Haken
6. Hipel
7. Vallee

محیط ایجاد می‌کند، (کاملیا [1]، ۲۰۱۵). ویژگی روش پیش‌بینی خاکستری استفاده از تعداد اطلاعات کم، محاسبات ساده و دقت در پیش‌بینی است(لین[2]، ۲۰۰۹). هدف این مطالعه پیش‌بینی دقیق‌تر قیمت نفت خام و رسیدن به درک بهتر از بازار جهانی نفت خام است.

چارچوب بخش‌بندی این مقاله بدین شرح است: در بخش دوم مبانی نظری و مرور ادبیات به طور مختصر توضیح داده شده است. در بخش سوم، روش‌شناسی پژوهش شامل مدل سیستم خاکستری مرتبه اول[3]، مدل سری زمانی آریما[4]، مدل ترکیبی خاکستری - آریما[5] و معیارهای میانگین قدر مطلق درصد خطا[6] و جذر میانگین مربع خطا[7]، جهت ارزیابی علمی صحت مدل‌ها معرفی و توضیح داده شده است. در بخش چهارم یافته‌های پژوهش با به کار بردن مدل‌ها بر روی داده‌های قیمت نفت خام برنت در بازه‌های فصلی، ماهیانه و هفتگی ارائه شده و در نهایت در بخش پنجم نتایج و پیشنهاد مطالعه آورده شده است.

۲. مبانی نظری و مرور ادبیات

در چند دهه گذشته الگوها و نظریه‌های مختلفی در مورد نوسانات قیمت نفت خام مطرح شده از جمله نظریه حق مالکیت، نظریه عرضه باقیمانده، نظریه هتلینگ، نظریه بازی‌ها، نظریه رقابتی، نظریه هدف درآمدی و قانون والراس و مارشال[8] (امامی میبدی، ۱۳۹۲). در این تحقیق عوامل مؤثر بر قیمت نفت خام و نوسانات آن بر اساس نظریه هتلینگ (نظریه اقتصادی نحوه بهره‌برداری از منابع طبیعی پایان‌پذیر) قابل توضیح خواهد بود. هارولد هتلینگ[9]، در سال ۱۹۳۱ در مقاله‌ای به نام «اقتصاد منابع پایان‌پذیر» در مورد استخراج و یا عدم استخراج نفت خام بحث نموده است. وی در سال ۱۹۳۱ نظریه اقتصادی نحوه بهره‌برداری از منابع طبیعی پایان‌پذیر را ارائه کرد و این نظریه به تدریج توسعه یافت. چارچوب نظریه هتلینگ بازار آزاد و بدون دخالت دولت است. صاحب منبع طبیعی (میدان نفتی) دو سناریو در پیش رو دارد، می‌تواند نفت را استخراج کرده و بفروشد و یا این کار را در آینده انجام دهد. اگر این کار را اکنون انجام دهد می‌تواند درآمد حاصل از فروش

1. Camelia
2. Lin
3. GM (1,1)
4. ARIMA
5. GM-ARIMA
6. MAPE
7. RMSE
8. Walras& Marshall
9. Harold Hotelling

نفت را در بانک قرار داده و از بانک سود دریافت کند. همچنین می‌تواند نفت را در آینده استخراج نماید. در آن صورت او فقط درآمدی معادل فروش نفت به قیمت بازار را خواهد داشت که مقدار آن با فرض قیمت ثابت نفت در بازار به اندازه نرخ بازگشت سالیانه سرمایه از مقدار قبلی کمتر است. تنها عاملی که باعث می‌شود صاحب مخزن نفت را در آینده استخراج کند، آن است که حداقل قیمت نفت با نرخ تنزیل و یا نرخ بازگشت سرمایه افزایش یابد. در دهه‌های گذشته، تکنیک‌های اقتصادسنجی و مدل‌های آماری سنتی، مانند رگرسیون خطی و مدل‌های خودرگرسیونی میانگین متحرک، مدل‌های خودرگرسیون برداری و مدل‌های تصحیح خطا به طور گسترده برای پیش‌بینی قیمت نفت خام مورد استفاده قرار گرفته‌اند. زمانی (۱۳۸۴)، نشان داد که مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی نسبت به مدل‌های تصحیح خطا، قیمت نفت خام وست تگزاس اینترمدیت[1] را با دقت بیشتری پیش‌بینی می‌کند. بهرادمهر (۱۳۸۷)، در مطالعه‌ای با استفاده از هموارسازی موجک و شبکهٔ عصبی مصنوعی به پیش‌بینی روزانه قیمت نفت خام پرداخته است. در این مطالعه با استفاده از تبدیل موجک و شبکه عصبی مدلی ارائه‌شده که پیش‌بینی دقیق‌تر و با خطای کمتری از قیمت نفت خام داشته باشد. در این مدل ترکیبی، از خاصیت هموارسازی تبدیل موجک برای کاهش سطح نویز داده‌ها استفاده شده و سپس به وسیله شبکه عصبی مصنوعی و با داده‌های هموارسازی شده، قیمت نفت پیش‌بینی شده است. نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌های رقیب با مدل ترکیبی مورد اشاره، دلالت بر آن دارد که کاهش نویز و هموارسازی داده‌ها، عملکرد پیش‌بینی قیمت نفت را بهبود می‌دهد. پورکاظمی و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و نیز روش اقتصادسنجی آریما می‌پردازد. لازم به ذکر است که این پیش‌بینی‌ها به صورت پویا انجام شده‌اند. از یک سو نتایج پیش‌بینی‌های یک گام به جلو تا ده گام به جلو با استفاده از روش شبکه‌های عصبی در مقایسه با روش آریما، حاکی از خطای کمتر روش شبکه‌های عصبی است و از سوی دیگر نتایج پیش‌بینی‌های شبکه‌های عصبی نشان می‌دهد که با اضافه کردن ذخیره‌سازی‌های کشورهای سازمان همکاری اقتصاد و توسعه[2] به عنوان یک ورودی دیگر در مدل و انجام یک پیش‌بینی دو متغیره (برای اولین‌بار در ایران)، خطای پیش‌بینی‌های قیمت نفت کاهش می‌یابد. جوانمرد و فقیدیان (۱۳۹۳) پیش‌بینی قیمت نفت خام اوپک را با به‌کارگیری مدل پیش‌بینی خاکستری

1. WTI (West Texas Itermediate)
2. OECD

انجام داده‌اند. در این مطالعه اشاره شده که بازارهای مالی به ویژه بازار نفت بسیار منطبق با محیط‌های خاکستری هستند. لذا محققان این پژوهش مدل پیش‌بینی خاکستری، کـه هسته نظریه سیستم‌های خاکستری می‌باشد را مدلی مناسب برای پش‌بینی قیمت نفت خام معرفی نموده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با استفاده از مدل پیش‌بینی خاکستری می‌توان عملکرد پیش‌بینی قیمـت نفت را به صورت چشم‌گیری بهبود بخشید و نتایجی با خطای کم‌تر و دقت بیشتر به دست آورد. شاه نظری و همکاران (۱۳۹۸)، با استفاده از روش خاکستری، خاکستری توسعه یافته و تلفیقی فرکتالی[1] خاکستری، قیمت گاز طبیعی را پیش‌بینی کرده‌اند. نتایج حاصل حاکی از کارایی و دقت این روش‌ها بوده است. همچنین بررسی مدل‌ها نشان می‌دهد که مدل ترکیبی ارائه شده، (خاکستری – فرکتال)، خطای کمتری داشته است.

هانتینگتون[2] (۱۹۹۴) از مدل‌های پیچیده اقتصادسنجی برای پیش‌بینی قیمت نفت خام استفاده کرد. وی از تولید ناخالص ملی، عرضه و تقاضا به عنوان متغیرهای برونزا در مدل استفاده کرد. مدل‌های اقتصادسنجی سنتی، سری قیمت نفت خام را خطی یا تقریباً خطی می‌دانند. در حقیقت، سری قیمت واقعی نفت خام یک سیستم پیچیده‌ای است که تحت تأثیر عوامل زیادی ازجمله عرضه نفت، خط مشی نفتی اوپک، رشد اقتصادی و حتی انتظارات معامله‌گران قرار دارد. بنابراین سری قیمت واقعی غیرخطی و بی‌قاعده است. لانزا و همکاران[3] (۲۰۰۵) قیمت‌های نفت خام و فرآورده‌های نفتی را با استفاده از مدل‌های تصحیح خطا[4] و مدل‌های سوئیچینگ بررسی کردند. مورات و توکات[5] (۲۰۰۹)، هی و همکاران[6] (۲۰۱۰)، پانوپولو و پانتلیدیس[7] (۲۰۱۵) از گام تصادفی به عنوان معیار استفاده کردند. هو و سواردی[8] (۲۰۱۲) برای پیش‌بینی نوسانات بازگشت قیمت نفت، یک مدل غیر پارامتری[9] را اجرا کردند. همچنین هی و همکاران (۲۰۱۲)، لی و همکاران[10] (۲۰۱۳)، یو و همکاران (۲۰۱۶) از آریما به عنوان معیار استفاده کردند. ژوب و همکاران[11] (۲۰۱۶) با

1. Fractal
2. Huntington
3. Lanza et al.
4. ECM
5. Murat & Tokat
6. He et al.
7. Panopoulou & Pantelidis
8. Hou & Suardi
9. GARCH
10. Li et al.
11. Zhou et al.

استفاده از روش پیش‌بینی گرافیکی موج خاکستری، قیمت نفت خام را به صورت چند مرحله‌ای پیش‌بینی کرده‌اند. نتایج تجربی نشان می‌دهد که بر اساس داده‌های روزانه قیمت نفت خام، روش پیش‌بینی موج خاکستری عملکرد خوبی در مقایسه با مدل آریما دارد. فاطمه دهدار و همکاران (۲۰۱۶)، از روش پیش‌بینی خاکستری برای ترسیم وضعیت تولید و مصرف جهانی نفت و گاز تا سال ۲۰۲۵ استفاده کرده‌اند. ملاحظه می‌شود در مطالعات ذکر شده، روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی قیمت نفت خام ارائه شده است. با این حال، تکنیک‌های سنتی اقتصادسنجی، نمی‌توانند تمام عوامل مؤثر پنهان در قیمت نفت خام را در نظر بگیرند. اما مطالعات براساس مدل‌های خاکستری و ترکیب آن با مدل‌های اقتصادسنجی تقریباً مبحث جدیدی است. تاکنون در مطالعات انجام شده از مدل‌های پیش‌بینی ترکیبی کمتر استفاده شده است. در این مقاله، مدل‌های پیش‌بینی را برای تدوین یک روش پیش‌بینی جدید ترکیب می‌کنیم. ترکیب مدل خاکستری مرتبه اول با مدل خطی تصحیح خطای پسماند آریما می‌تواند مزایای دو مدل را گرفته و کل اثرات الگوریتم را بهبود بخشد، که در مقایسه با مدل‌های منفرد خاکستری مرتبه اول و یا آریما نتایج بهتری به دست خواهد آمد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳-۱. مدل خاکستری

در نظریه سیستم‌های خاکستری، مدل GM(n,m) به عنوان مدل پیش‌بینی خاکستری مشخص می‌شود که در آن n بیانگر درجه معادله دیفرانسیل استفاده شده در مدل است و m بیانگر تعداد متغیرهای موجود در مدل است. مدل خاکستری مرتبه اول اساس مدل کلاسیک پیش‌بینی خاکستری است . مهم‌ترین دلایل استفاده از مدل خاکستری برای پیش‌بینی قیمت نفت خام را می‌توان در سادگی مدل‌سازی، اجرای مدل و همچنین در استفاده از تعداد داده‌های زمانی کمتر دانست.

پیش‌بینی خاکستری براساس مدل خاکستری دارای سه عملیات اصلی می‌باشد. عملگر مولد تجمعی[1] (AGO) که معمولاً به منظور کاهش از میزان تصادفی بودن داده‌های اصلی به کار گرفته می‌شود و داده‌های جدید تولید شده تقریباً رفتارنمایی خواهند داشت. وارون عملگر مولد تجمعی[2] (IAGO) و مدل‌سازی خاکستری. از آنجا که حل معادلات دیفرانسیل

1. Accumulated Generation Operation. (AGO)
2. Invers Accumulated Generation Operation. (IAGO)

مرتبه اول نیز به صورت نمایی است، لذا معادلات دیفرانسیل خاکستری مرتبه اول برای مدل‌سازی سری داده‌ها، از عملگر مولد تجمعی و پیش‌بینی رفتار آینده سیستم ساخته می‌شوند. اساس پیش‌بینی این مدل‌ها بر پایه جدیدترین مجموعه داده‌ها شکل می‌گیرد. وظیفه اصلی نظریه سیستم‌های خاکستری، استخراج قانون حاکم بر سیستم، با استفاده از دنباله سری داده‌های موجود است. این فرآیند به عنوان تولید دنباله خاکستری شناخته شده است.

فرض کنیم سری زمانی اصلی داده‌ها به شکل $x^{(0)} = \{x^{(0)}(1).x^{(0)}(2).000.x^{(0)}(n)\}$ است. برای به دست آوردن سری زمانی مانا از ابزار مولد تجمعی استفاده می‌کنیم، یعنی: $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^{k} x^{(0)}(i)$ در مرحله بعد سری 1-AGO محاسبه می‌شود که برابر است با $x^{(1)} = \{x^{(1)}(1).x^{(1)}(2).000.x^{(1)}(n)\}$ بر این اساس زمانی که معادله دیفرانسیل مرتبه اول حل شود مقادیر پیش‌بینی آینده مشخص خواهد شد. معادله دیفرانسیل تجمعی مرتبه اول مطابق با معادله شماره (۱)

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \qquad (۱)$$

خواهد بود. معادله شماره یک فرمول رگرسیون خطی را نشان می‌دهد که سری‌های زمانی $x^{(1)}$ را برآورده می‌کند. سپس با استفاده از فرمول مشتق رمزی، معادله شماره (۱) با فرمول معادله شماره (۲) محاسبه خواهد شد.

$$\hat{x}^{(1)}(k) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}\right] e^{-a(k-1)} + \frac{b}{a} \qquad k = 1.2.000.n \qquad (۲)$$

در معادله شماره (۲) با جایگذاری مقادیر a و b سری $\hat{x}^{(1)}(k)$ به دست می‌آید. ضرایب a و b با استفاده از معادله شماره (۳) مشخص می‌شوند.

$$[a.b]^T = (B^T B)^{-1} B^T y \qquad (۳)$$

$$Y_N = \left[x^{(0)}(2).x^{(0)}(3).000.x^{(0)}(n)\right]^T \qquad (۴)$$

$$B \quad \begin{matrix} (0/5x^{(1)}(2) & 0.5x^{(1)}(1)) & 1 \\ (0/5x^{(1)}(3) & 0.5x^{(1)}(2)) & 1 \\ \vdots & & | \\ (0/5x^{(1)}(n) & 0.5x^{(1)}(n \quad 1)) & 1 \end{matrix} \qquad (۵)$$

با جای‌گذاری ماتریس‌های B و Y از معادلات (۴) و (۵) در معادله شماره (۳) ضرایب a و b به دست می‌آیند. در مرحله آخر با قرار دادن مقادیر a و b در معادله (۲) سری پیش‌بینی $\hat{x}^{(0)}(k)$ حاصل می‌شود که در معادله شماره (۶) نشان داده شده است.

$$\hat{x}^{(0)}(k) = \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}\right](1-e)e^{-a(k-1)}.\ k = 2.3.000.n \quad (۶)$$

۲-۳. مدل آریما یا مدل خود رگرسیون میانگین متحرک

مدل آریما از دو بخش تشکیل شده است. مدل یا خودرگرسیون که برای پیش‌بینی اطلاعات آینده بر اساس اطلاعات سری زمانی گذشته طراحی‌شده و مدل میانگین متحرک که روند آتی داده‌ها را براساس تصحیح خطا ارائه می‌کند. لذا از این مدل می‌توان برای پیش‌بینی سری زمانی استفاده کرد. که p مرتبه فرآیند خود رگرسیون، d مرتبه تفاضل و q مرتبه فرآیند میانگین متحرک است. پارامترهای p و q با استفاده از توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی تعیین می‌شوند. با این فرض که سری اصلی مانا باشد.

بنابراین مدل آریما به صورت ARIMA (p , q , d) تعریف می‌شود. فرض می‌کنیم که سری زمانی اطلاعات اصلی بشکل رابطه $Y_t = \{y_1^0.y_2^0.000.y_n^0\}$ بوده که y_k^0 ماتریس اطلاعات خام باشد.

همچنین $Y_t^* = \{y_1^1.y_2^1.000.y_m^1\}$ سری زمانی داده‌های پیش‌بینی باشد و y_k^1 ماتریس پشی بینی اطلاعات باشد. با توجه به تعاریف ذکر شده معادله شماره (۷) مدل خودرگرسیون و معادله شماره (۸) مدل میانگین متحرک معادله شماره (۹) مدل آریما هستند.

$$Y_t^* = c + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \cdots + \alpha_P Y_{t-p} + u_t \quad (۷)$$

$$Y_t^* = u_t + \beta_1 u_{t-1} + \beta_2 u_{t-2} + \cdots + \beta_q u_{t-q} \quad (۸)$$

$$Y_t^* = c + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \cdots + \alpha_P Y_{t-k} + \mu_t + \beta_1 \mu_{t-1} + \beta_2 \mu_{t-2} + \cdots + \beta_q \mu_{t-q} \quad (۹)$$

Y_t^* می‌تواند به صورت ماتریسی و بشکل $Y_t^* = (1-B)^d Y_t$ نوشته شود. در این معادله ماتریس B به صورت رابطه زیر بیان خواهد شد.

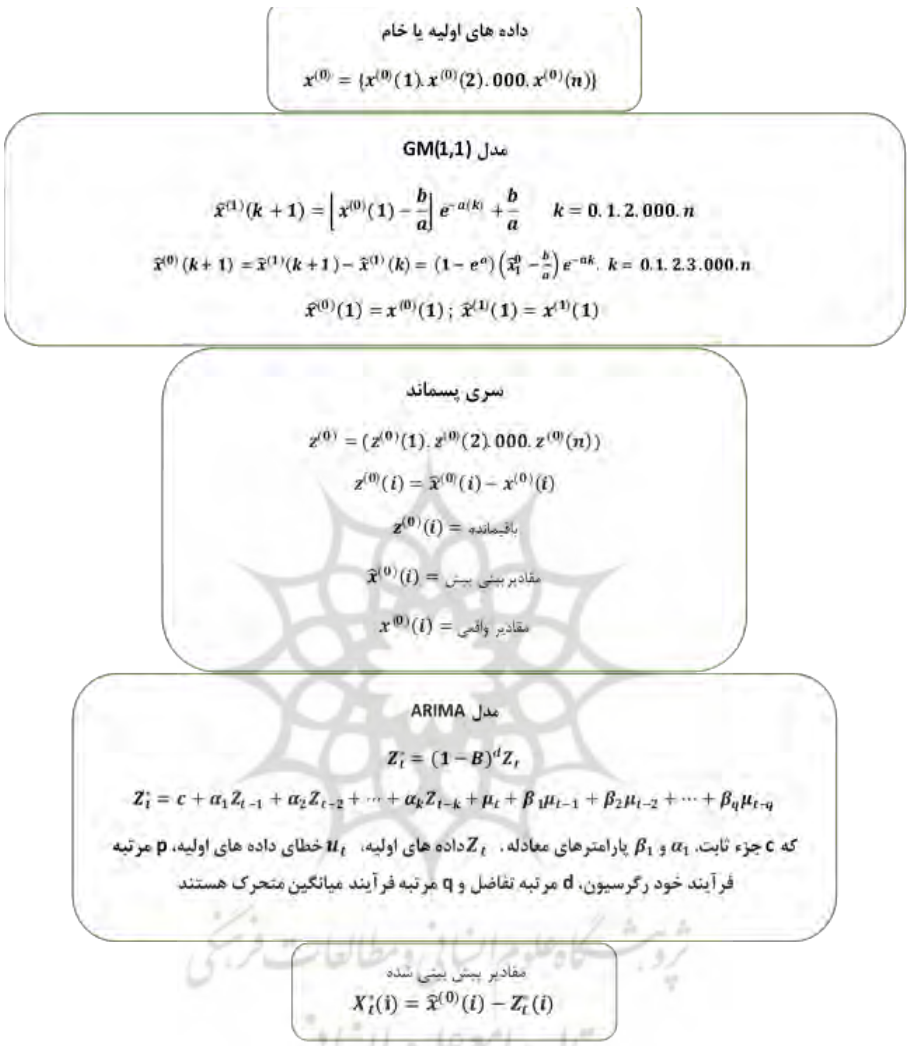
$$B \begin{matrix} (y_1^1 \quad y_2^1)/2 \quad 1 \\ \vdots \\ (y_m^1 \quad y_m^1)/2 \quad 1 \end{matrix}$$

۳-۳. مدل ترکیبی خاکستری - آریما

از نظر تئوری، این ایده دقت بهتری را نسبت به مدل‌های منفرد ارائه داده و دامنه مدل پیش‌بینی را گسترش می‌دهد. انتخاب روش صحیح در بین بسیاری از مدل‌های پیش‌بینی بر اساس ویژگی کالاها کار پیچیده‌ای است. با توجه به نقاط قوت و ضعف مدل‌های مختلف، ما مدل‌های خاکستری و آریما را به عنوان مدل اساسی این مطالعه انتخاب می‌کنیم. در اغلب مطالعات پیش‌بینی انرژی، محققان عمدتاً مدل‌هایی را براساس تئوری خطی یا غیرخطی به طور تکی و یا جداگانه ایجاد می‌کنند. اگرچه برخی از مطالعات نیز از چندین مدل استفاده می‌کنند، اما مبانی نظری آنها اغلب ساده است. استفاده از مدل خطی یا غیرخطی به تنهایی، ممکن است برخی از ویژگی‌های دنباله اصلی و نتایج نادیده گرفته شوند. لذا استفاده از مدل‌های تکی یا نظریه واحد، اطمینان از صحت پیش‌بینی را دشوار می‌کند. در این مقاله برای حل این مشکل، بر اساس نظریه خاکستری و نظریه تجزیه و تحلیل خود رگرسیون، مدل جدید ترکیبی خاکستری - آریما ساخته شده است. از لحاظ تئوری، مدل جدید ترکیبی، نقاط قوت مدل‌های جداگانه ساخته‌شده را به ارث برده و یکپارچه می‌کند و نقاط ضعف آنها را کاهش می‌دهد. به طور خاص، در مدل ترکیبی خاکستری - آریما، مدل خاکستری برای پیش‌بینی سری زمانی استفاده می‌شود و پس از آن پس‌ماندهای تولید شده توسط مدل آریما اصلاح می‌شوند. فرض می‌کنیم که ترکیب نظریه خاکستری و نظریه تجزیه و تحلیل خود رگرسیون دقت پیش‌بینی بالاتری ایجاد می‌کند. این بدان معنی است که مدل پیشنهادی خاکستری - آریما از مدل‌های تکی خاکستری و آریما برتر است. از طریق مقایسه شاخص‌های خطا، برتری مدل‌های ترکیبی نسبت به تک مدل‌هایی که آنها را ساخته است بررسی می‌شود.

این مدل برای پیش‌بینی در حوزه انرژی استفاده شده و دقت بالایی دارد. دلیل انتخاب این مدل در این مقاله این است که مدل خاکستری - آریما توانایی انعکاس تصحیح پسماند پیش‌بینی خطی را دارد. در این مدل ترکیبی مقادیر پیش‌بینی طی دو فرآیند پیش‌بینی و تصحیح پسماند به دست می‌آیند. لذا از مدل خاکستری برای پیش‌بینی اولیه و از مدل آریما برای تصحیح پسماند استفاده می‌شود. فرآیند کلی محاسبه مدل خاکستری - آریما در شکل شماره (۱) ارائه شده است.

شکل ۱. فرآیند فرمولی محاسبه مدل خاکستری – آریما



۳-٤. معیارهای ارزیابی

به منظور ارزیابی علمی صحت مدل‌ها در این مقاله از ابزارهای متداول نظیر میانگین قدرمطلق درصد خطا و جذر میانگین مربع خطا استفاده می‌کنیم. x مقدار واقعی و $\hat{x}$ مقدار پیش‌بینی و N تعداد نمونه است. هرچه مقادیر کوچک‌تر باشد، دقت مدل‌ها نیز بالاتر است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_t - \hat{x}_t)^2}$$

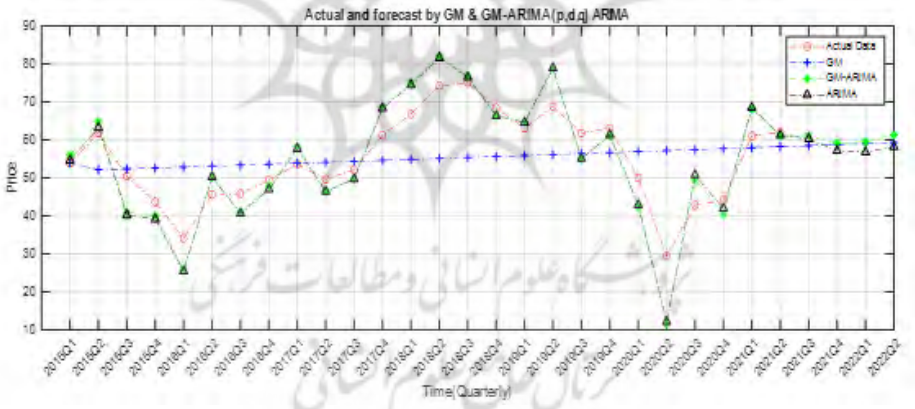
$$MAPE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|\left(\frac{x_t - \hat{x}_t}{x_t}\right)\right| \times 100\%$$

٤. نتایج و بحث

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از سایت اینترانت اوپک جمع‌آوری شده و با استفاده از نرم افزار متلب نسخه ۲۰۲۰ پیش‌بینی‌ها انجام شده است. در ادامه نتایج پیش‌بینی فصلی، ماهانه و هفتگی ارائه شده است.

پیش‌بینی فصلی: با بررسی داده‌های فصلی قیمت نفت خام برنت در بازه زمانی ۲۰۲۱Q2-۲۰۱۵Q1 و پیش‌بینی برای چهار فصل آتی ۲۰۲۲Q2- ۲۰۲۱Q3 نتایج زیر حاصل شده است.

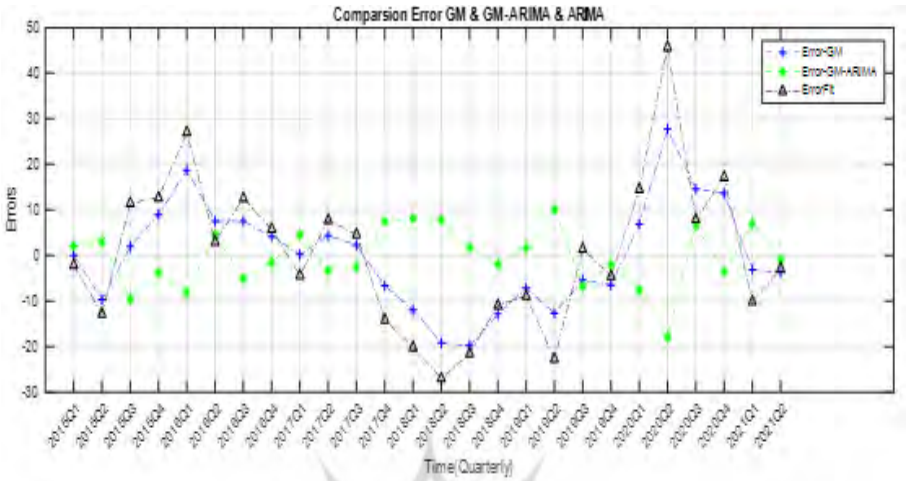
نمودار ۱. مقادیر واقعی و پیش‌بینی فصلی قیمت براساس مدل‌های خاکستری، آریما و خاکستری -آریما



منبع: یافته‌های تحقیق

در نمودار شماره (۱) مقادیر پیش‌بینی فصلی قیمت نفت خام براساس هر سه مدل خاکستری، آریما و خاکستری - آریما ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که میزان پوشش نوسانات قیمت توسط مدل خاکستری - آریما نسبت به دو مدل دیگر بهتر است و دقت بالاتری دارد. این مسئله با توجه به خطاهای نسبی که در نمودار شماره (۲) ارائه شده است نیز تأیید می‌گردد.

نمودار ۲. .مقایسه خطاهای نسبی پیش‌بینی قیمت در مدل‌های خاکستری، آریما و خاکستری – آریما



منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۱. نتایج پیش‌بینی قیمت نفت خام برنت برای چهار فصل

	۳Q۲۰۲۱	٤Q۲۰۲۱	۳Q۲۰۲۲	۲Q۲۰۲۲
GM	۵۸/۵۱۶۶	۵۸/۷۸۶۷	۵۹/۰۵۸۲	۵۹/۳۳۰۹
GM-ARIMA	٦۱/۱۳۰٤	۵۹/۱٤۸۲	۵۹/۵۰۲۲	٦۱/۲۸۹۳
ARIMA	٦۰/۳۱۳۷	۵۷/۱۷٦۲	۵٦/۷٦۵۷	۵۸/۲٤٤۷

منبع: محاسبات تحقیق

نتایج حاصل از برآورد قیمت فصلی نفت خام برنت توسط مدل‌های خاکستری، آریما و خاکستری – آریما ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که براساس دو معیار میانگین قدر مطلق درصد خطا و جذر میانگین مربع خطا که در جدول شماره (۲) ارائه شده، نتایج مدل خاکستری – آریما از مدل خاکستری بسیار بهتر و دقیق‌تر است.

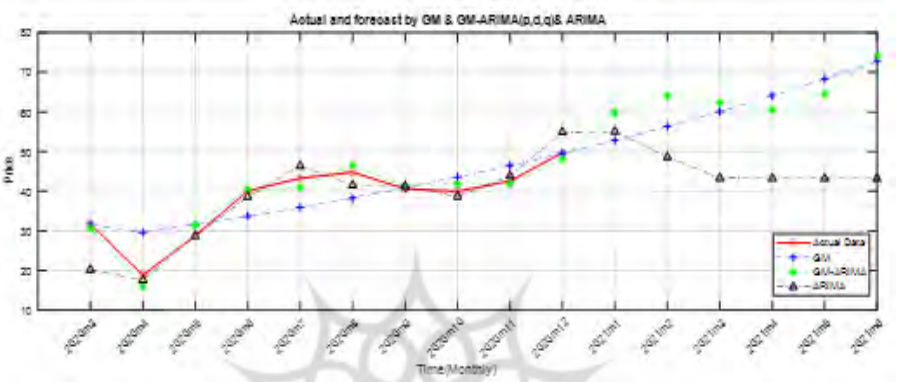
جدول ۲. معیارهای ارزیابی مدل خاکستری – آریما برای پیش‌بینی قیمت نفت خام برنت فصلی فصل اول ۲۰۱۵ – فصل دوم ۲۰۲۱

	ARIMA	GM-ARIMA	GM
میانگین قدرمطلق درصد خطا	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۹
جذر میانگین مربع خطا	٦/٦٤	٦/۵۱	۱۱/۳۰

منبع: محاسبات تحقیق

پیش‌بینی ماهانه: با بررسی داده‌های ماهانه قیمت نفت خام برنت در بازه زمانی ماه سوم ۲۰۲۰ تا ماه دوازدهم ۲۰۲۰ و پیش‌بینی ۶ ماهه، ماه اول ۲۰۲۱ تا ماه ششم ۲۰۲۱ نتایج زیر حاصل شده است.

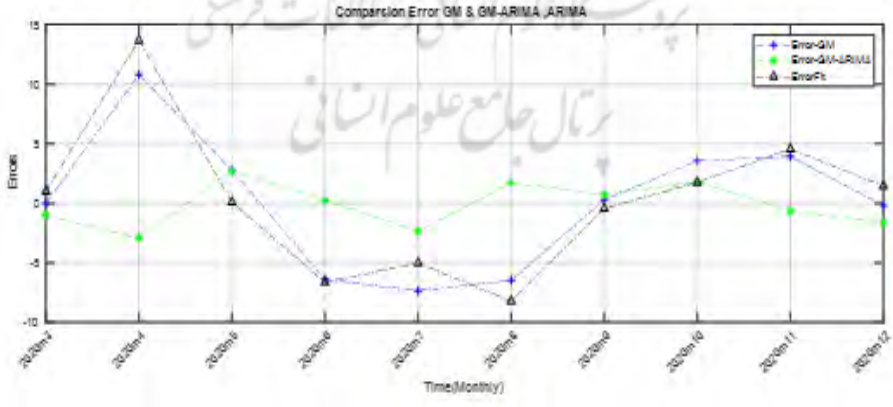
نمودار ۳. مقادیر واقعی و پیش‌بینی ماهانه براساس مدل‌های خاکستری، آریما و خاکستری – آریما



منبع: یافته‌های تحقیق

در نمودار شماره (۳) پیش‌بینی ماهانه قیمت نفت خام برنت برای شش ماه انجام شده و ملاحظه می‌شود که قدرت پوشش نوسانات قیمت نفت خام در مدل خاکستری – آریما بسیار دقیق‌تر از مدل‌های منفرد خاکستری و آریما است. این مسئله با توجه به خطاهای نسبی ارائه شده در نمودار شماره (۴) نیز تأیید می‌گردد.

نمودار (٤). مقایسه خطاهای نسبی پیش‌بینی قیمت در مدل‌های خاکستری، آریما و خاکستری – آریما



منبع: یافته‌های تحقیق

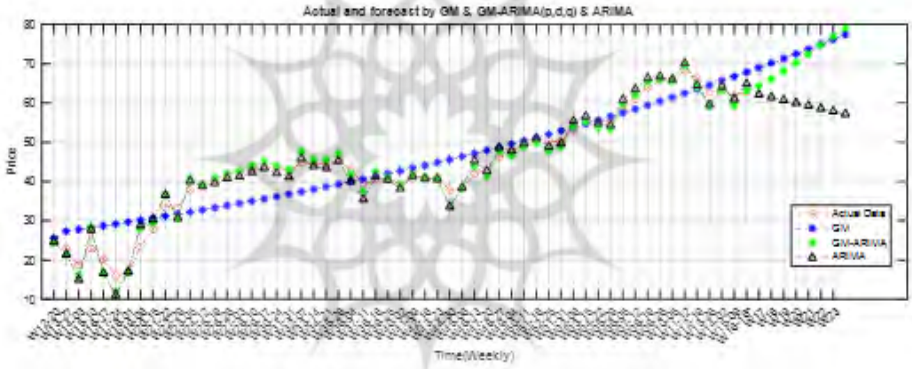
در نمودار شماره (۴) خطاهای نسبی پیش‌بینی قیمت ماهیانه نفت خام برنت با استفاده از مدل‌های خاکستری - آریما و خاکستری مقایسه شده و ملاحظه می‌گردد که خطاهای نسبی در مدل ترکیبی کمتر است.

جدول ۳. نتایج پیش‌بینی ماهانه قیمت نفت خام برنت

	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن
GM	۵۲/۸۵۷۸	۵٦/۳۷	٦۰/۱۱۵٦	٦٤/۱۱۰۱	٦۸/۳۷	۷۲/۹۱۳
GM-ARIMA	۵۹/۷٦۱٤	٦٤/۰۵۱۱	٦۲/۳۵۲۲	٦۰/٦٤٦٤	٦٤/٦٦۵٤	۷٤/۲۰٤۱
ARIMA	۵۵/۰۹۲٤	٤۸/٦۳۷٤	٤۳/۳۰۸۷	٤۳/۲۲٦۵	٤۳/۲۲۵۲	٤۳/۲۲۵۲

منبع: محاسبات تحقیق

نمودار ۵. مقادیر واقعی و پیش‌بینی قیمت هفتگی براساس مدل‌های خاکستری، آریما و خاکستری - آریما



منبع: یافته‌های تحقیق

در جدول شماره (۳) پیش‌بینی قیمت نفت خام برنت برای شش ماه ارائه شده است. با بررسی خطاهای نسبی پیش‌بینی قیمت و همچنین معیارهای ارزیابی مدل‌ها در جدول شماره (۴)، ملاحظه می‌شود که مدل خاکستری - آریما بسیار دقیق‌تر و بهتر از سایر مدل‌ها نوسانات قیمت را پوشش داده است.

جدول ٤. معیارهای ارزیابی مدل خاکستری - آریما برای پیش‌بینی قیمت ماهیانه نفت خام برنت

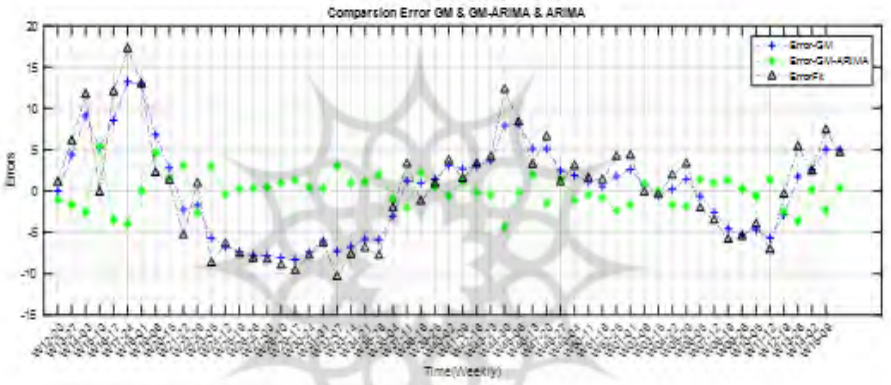
	GM	GM-ARIMA	ARIMA
میانگین قدرمطلق درصد خطا	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۸
جذر میانگین مربع خطا	۵/۳۸	۱/۷۹	٤/۳۳

منبع: محاسبات تحقیق

پیش‌بینی هفتگی: با بررسی داده‌های هفتگی قیمت نفت خام برنت در بازه زمانی هفتهٔ ۱۲، ۲۰۲۰ تا هفتهٔ شانزدهم ۲۰۲۱ و پیش‌بینی برای ۸ هفته آینده نتایج زیر حاصل شده است:

در نمودار شماره (۵) مقادیر پیش‌بینی هفتگی قیمت نفت خام براساس هر سه مدل خاکستری - ریما، خاکستری و آریما ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که میزان پوشش نوسانات قیمت توسط مدل خاکستری - آریما نسبت به دو مدل دیگر بهتر است و دقت بالاتری دارد. دقت مدل ترکیبی با توجه به خطاهای نسبی ارائه شده در نمودار شماره (۶) نیز تأیید می‌گردد.

نمودار ٦. مقایسه خطاهای نسبی پیش‌بینی قیمت در مدل‌های خاکستری، آریما و خاکستری - آریما



منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۵. نتایج پیش‌بینی هفتگی قیمت نفت خام برنت

	هفته ۱۷-۲۳	هفته ۱۸-۳۰	هفته ۷-۱۹	هفته ۱۴-۲۰	هفته ۲۱-۲۱	هفته ۲۲-۲۸	هفته ٤-۲۳	هفته ۱۱-۲٤
GM	٦٩/٠٠	٧٠/١٥	٧١/٣٢	٧٢/٥١	٧٣/٧٢	٧٤/٩٥	٧٦/٢٠	٧٧/٤٧
GM-ARIMA	٦٤/٤٣	٦٦/١٤	٦٨/١٤	٧٠/٢٨	٧٢/٥٠	٧٤/٧٣	٧٦/٩٢	٧٩/٠٠
ARIMA	٦٢/٢٠	٦١/٥١	٦٠/٧٨	٦٠/٠٥	٥٩/٣١	٥٨/٥٩	٥٧/٨٩	٥٧/٢٢

منبع: محاسبات تحقیق

جدول شماره (۵) نتایج پیش‌بینی قیمت هفتگی نفت خام برنت را با به‌کارگیری سه مدل خاکستری، آریما و خاکستری - آریما را نشان می‌دهد. مقایسه معیارهای ارزیابی مدل‌ها در جدول شماره (۶) نشان می‌دهد که مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل ترکیبی خاکستری - آریما نتایج قابل قبول‌تری هستند و نسبت به دو مدل دیگر دقت بیشتری دارند.

جدول ٦. معیارهای ارزیابی مدل خاکستری-آریما برای پیش‌بینی قیمت هفتگی نفت خام برنت

	GM	GM-ARIMA	ARIMA
میانگین قدرمطلق درصد خطا	۰/۱۳	۰/۰٤	۰/۰۵
جذر میانگین مربع خطا	۵/٤٤	۱/۹۸	۲/۱٤

منبع: محاسبات تحقیق

به طور شهودی می‌توان دریافت که دقت هر سه مدل خاکستری، آریما و خاکستری - آریما، اساساً بالا است و میزان خطای بسیار پایینی دارند که نشان می‌دهد همه آنها از آزمون خوب بودن برازش عبور می‌کنند. اما نتایج حاصل از بررسی و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که در مدل ترکیبی (خاکستری - آریما) در بازه‌های زمانی مختلف، میانگین قدر مطلق درصد خطا و جذر میانگین مربع خطا، همواره از مدل‌های منفرد و تک‌تئوری کمتر بوده و لذا دقت و اطمینان بالاتری در پیش‌بینی قیمت نفت خام دارد. جدول شماره (۷) را ملاحظه نمایید.

جدول ۷. معیارهای ارزیابی مدل‌های خاکستری، آریما و خاکستری - آریما برای پیش‌بینی قیمت نفت خام برنت

معیار	میانگین قدرمطلق درصد خطا			جذر میانگین مربع خطا		
مدل	ARIMA	GM-ARIMA	GM	ARIMA	GM-ARIMA	GM
هفتگی	۰/۰۵	۰/۰٤	۰/۱۳	۲/۱٤	۱/۹۸	۵/٤٤
ماهیانه	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۱۳	٤/۳۳	۱/۷۹	۵/۳۸
فصلی	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۹	٦/٦٤	٦/۵۱	۱۱/۳۰

منبع: محاسبات تحقیق

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهاد

مطالعات براساس مدل‌های خاکستری و ترکیب آن با مدل‌های اقتصادسنجی تقریباً مبحث جدیدی است. در این مقاله ترکیب مدل خاکستری و مدل اقتصادسنجی (خاکستری - آریما)، را برای بهبود روش‌های پیش‌بینی به کار بردیم. این تکنیک از اصل تصحیح خطا استفاده می‌کند. برای بررسی دقت این تکنیک، داده‌های قیمت نفت خام برنت را (به صورت فصلی، ماهیانه و هفتگی) در مدل ترکیبی استفاده کرده و نتایج حاصل را مورد مقایسه قرار دادیم. نتایج محاسبات انجام‌شده و برآورد مدل‌ها نشان می‌دهد که معیارهای میانگین قدر مطلق درصد خطا و جذر میانگین مربع خطا در همه نمونه‌های استفاده شده در مدل ترکیبی خاکستری - آریما، از مدل‌های منفرد خاکستری و مدل آریما بسیار کمتر

است. درواقع در مدل ترکیبی پیشنهادی، دقت پیش‌بینی نسبت به مدل‌های منفرد و تک تئوری، براساس معیارهای ارزیابی معرفی‌شده بهبود یافته است. همچنین تکنیک مدل ترکیبی، توانایی بالاتری جهت پوشش نوسانات قیمت نفت خام را داشته و قابل اطمینان‌تر از مدل‌های تک‌تئوری است. بنابراین مدل‌های ترکیبی که در سال‌های اخیر پیشنهاد شده‌اند عملکرد پیش‌بینی بهتری را نسبت به مدل‌های مبتنی بر تئوری واحد که آنها را تشکیل داده‌اند، دارند و پیش‌بینی آن برای قیمت نفت خام نیز بسیار قابل اعتماد خواهد بود. براساس شرایط جدید ایجادشده در بازار نفت از جمله افزایش عرضه از منابع نامتعارف و کاهش هزینهٔ تولید از این منابع، وقوع پیک تقاضا و تحریم‌های اقتصادی، شرایط برای تولیدکنندگان سنتی از جمله ج.ا. ایران، دشوار شده و شناخت رفتار قیمت نفت خام از اهمیت بیشتری برخوردار شده است. بنابراین شناخت بازار نفت و عوامل تأثیرگذار بر قیمت نفت خام به منظور تحلیل وضعیت حال و آتی بسیار ضروری است. لذا پیشنهاد می‌گردد که مطالعات در زمینه پیش‌بینی قیمت نفت خام با استفاده از روش‌های جدید و بروز از جمله ترکیب مدل‌های غیرخطی خاکستری با مدل‌های اقتصادسنجی تداوم داشته باشد تا به مدل‌های دقیق‌تر و با خطای کمتر دست یابیم.

٦. تعارض منافع

تعارض منافع وجود ندارد.

ORCID

Hossein Yadegari https://orcid.org/0000-0002-2929-8731
Teimur Mohammadi https://orcid.org/0000-0003-4394-774X
Hamid Amadeh https://orcid.org/0000-0002-6904-2626
Abdolrasol Qasemi https://orcid.org/0000-0002-6466-1137
Hamidreza Mostafaei https://orcid.org/0000-0002-5893-4653

۹. منابع

امامی میبدی، علی (۱۳۸۵). تحلیل عوامل مؤثر بر قیمت نفت خام. *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، شماره ۲۸، صفحات ۱۱۱-۱۲۶.

شاکری، عباس و محمدی، تیمور و جعفری، محمد(۱۳۹۸). تأثیر نوسانات مالی جهانی بر بازار نفت با تأکید بر بحران مالی ۲۰۰۸. *فصلنامه علمی پژوهشنامه اقتصادی*، شماره ۷۴، صفحات ۳۸-۱.

رحمانی، مهرداد و فریدزاد، علی (۱۳۹۸). نوسانات قیمت نفت طی چهل سال: چرا قیمت نفت همچنان ممکن است ما را متعجب کند؟. *فصلنامه روند*، شماره‌های ۸۳ و ۸۴، صفحات ۱۶۸-۱۳۱.

جوانمرد، حبیب‌الله و فقیدیان، سیده فاطمه (۱۳۹۳). پیش‌بینی قیمت نفت خام اوپک با به‌کارگیری مدل پیش‌بینی خاکستری. *مجله فصلنامه مدلسازی اقتصادی*، شماره ۳، صفحات ۱۱۴-۹۱.

زمانی، مهرزاد (۱۳۸۴). مدل‌سازی و پیش‌بینی قیمت نفت خام WTI. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، شماره ۴، صفحات ۳۸-۲۲.

شاه‌نظری، محمدرضا و همکاران (۱۳۹۸). توسعه و مقایسه روش‌های مبتنی بر روش‌گری و فرکتال در پیش‌بینی قیمت گاز طبیعی. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، شماره ۶۲، صفحات ۱۸-۱.

بهرادمهر، نفیسه (۱۳۸۷). پیش‌بینی قیمت نفت خام با استفاده از هموارسازی موجک و شبکه عصبی مصنوعی. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، شماره ۱۸، صفحات ۹۸-۸۱.

پورکاظمی، محمدحسین و اسدی، محمدباقر (۱۳۸۸). پیش‌بینی پویای قیمت نفتخام با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و با به‌کارگیری ذخیره‌سازی‌های نفتی کشورهای OECD. *مجله تحقیقات اقتصادی*، شماره ۸۸، صفحات ۴۶-۲۵.

References

Liu, S. F., Yang, Y. and Wu, L. (2014c). Grey System Theory and Its Application. 7th ed., Science Press, Beijing.

Haken, H. (2011). Book reviews: grey information: theory and practical applications. *GreySystems: Theory and Application*, Vol. 1 No. 1, pp. 105-106.

Andrew,A. (2011).Why the world is grey. *Grey Systems:Theory and Application*, Vol. 1 No. 2, pp. 112-116.

Hipel, K.W. (2011).Book reviews: Grey Systems: theory and applications. *Grey Systems: Theory and Application*, Vol. 1 No. 3, pp. 274-275.

Vallee, R. (2008).Book reviews: grey information: theory and practical applications. *Kybernetes*,Vol. 37 No. 1, p. 89.

Lin ,Aimei,(2009). Prediction of International Crude Oil Futures Price Based on GM(1,1), IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services, pp. 692-696.

Hong-Xia Chen, Guang-Jun Jiang and Qing-Chao Zhang (2018). GM(1,1) Modeling of Failure Rate Prediction for Preventive Maintenance. *International Journal of Information and Management* ,Sciences 29, DOI:10.6186/IJIMS.201812, Vol. 29(4), pp. 365-379.

Sifeng Liu Jeffrey Forrest Yingjie Yang, (2012).A brief introduction to grey systems theory. *Grey Systems: Theory and Application*, Vol. 2 Iss 2 pp. 89-104.

Javanmardi, Ehsan & Liu, Sifeng(2019). Exploring Grey Systems Theory-Based Methods and Applications in Analyzing Socio-Economic Systems, Institute for Grey Systems Studies, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China.

Li, Rongrong & Li, Shuyu & Yang, Xue(2018). Forecasting China's Coal Power Installed Capacity:A Comparison of MGM, ARIMA, GM-ARIMA,and NMGM Models, School of Economic and Management, China University of Petroleum (East China).

Lu, Meng(2015). Grey system: theory, methods, applications and challenges. Leverhulme Trust Workshop on Grey Systems and Applications.

Huntington Hillard G (1994) Oil Price Forecasting in the 1980s: What Went Wrong?. *The Energy Journal*, Vol. 15(2), pp. 1-22.

Hou Aijun, Suardi Sandy (2012). A nonparametric GARCH model of crude oil price return volatility. Energy Economics, Vol.34(2), pp. 618-626.

Lanza Alessandro, Manera Matteo, Giovannini Massimo(2005).Modeling and forecasting cointegrated relationships among heavy oil and product prices. Energy Economics, Vol. 27(6), pp. 831-848.

He Angela W. W., Kwok Jerry T. K., Wan Alan T. K. (2010) An empirical model of daily highs and lows of West Texas Intermediate crude oil prices. *Energy Economics*, Vol. 32(6) , pp. 1499-1506.

Panopoulou Ekaterini, Pantelidis Theologos (2015). Speculative behaviour and oil price predictability. *Economic Modelling*, Vol.47, pp.128-136.

Murat Atilim, Tokat Ekin (2009). Forecasting oil price movements with crack spread futures. *Energy Economics*, Vol. 31(1) , pp. 85-90.

Yu Lean, Wang Shouyang, Lai Kin Keung (2008). Forecasting crude oil price with an EMD-based neural network ensemble learning paradigm. *Energy Economics*, Vol. 30(5) , pp. 2623-2635.

He Kaijian, Yu Lean, Lai Kin Keung (2012). Crude oil price analysis and forecasting using wavelet decomposed ensemble model. *Energy*, Vol.46(1): 564-574.

Li Ziran, Sun Jiajing, Wang Shouyang (2013).An information diffusion-based model of oil futures price. *Energy Economics*, Vol. 36, pp. 518-525.

Yu Lean, Dai Wei, Tang Ling (2016). A novel decomposition ensemble model with extended extreme learning machine for crude oil price forecasting. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 47, pp. 110-121.

Behradmehr, N. (1387). Oil price forecasting with using ANNs and wavelet smoothing. *Journal of studies energy economic*, Vol. 18: 81-98.

Hsu, C. C., & Chen, C. Y. (2003). A modified Grey Forecasting Model for Long-Term Prediction. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Vol. 26(3), pp. 301-308.

Zhou, W., & He, J. M. (2013). Generalized GM (1, 1) model and its application in forecasting of fuel production. *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 37(9) , pp. 6234-6243.

Xiong, H. Y., Chen, X. Y., Wang, W. B, (2010). Prediction of China's energy consumption based on combination model. *Science Technology and Engineering*, Vol. 42, pp. 67–70.

Zhou, W., & He, J. M. (2013). Generalized GM (1, 1) model and its application in forecasting of fuel production. *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 37(9) , pp. 6234-6243.

Kayacan, E., Kaynak, O. & Ulutas, B. (2010). Grey system theory- based models in time series prediction. *Expert Systems with Application*, Vol.37(2) , pp. 1784-1789

Dehdar, F., Yap, S., Naghavi, M. S., & Dehdar, M. M. (2017). Charting the Future Global Status of Oil and Natural Gas using Grey Forecasting. *Institutions and Economies*. Vol.8(3), pp.105-125.

Camelia, Delcea (2015). Grey systems theory in economics – a historical applications review. Economic Informatics and Cybernetics Department,Bucharest University of Economic Studies, Bucharest, Romania DOI: 10.1108/GS-05-2015-0018.

An, Haizhong & Jia, Xiaoliang (2015). How do correlations of crude oil prices co-move? A greycorrelation-based wavelet perspective. *Energy Economics*, Vol.49, pp.588–598.

Julong, Deng(1989). Introduction to Grey System Theory, *The Journal of Grey* System Vol 1, pp.1-24.

Zou, Yingchao & Chen, Yanhui(2016). Multi-step-ahead Crude Oil Price Forecasting based on Grey Wave Forecasting Method, *Information Technology and Quantitative Management* Vol 91, pp.1051-1056

Liu, Sifeng &Yang, Yingjie(2015). New progress of Grey System Theory in the new millennium, DOI 10.1108/GS-09-2015-0054

Wang, Qiang & Song, Xiaoxing & Li, Rongrong (2018). A novel hybridization of nonlinear grey model and linear ARIMA residual correction for forecasting U.S. shale oil production, www.elsevier.com/locate/energy, *Energy*, Vol.165, pp.1320-1331.

Wang, Qiang & Jiang, Feng(2019). Integrating linear and nonlinear forecasting techniques based on grey theory and artificial intelligence to forecast shale gas monthly production in Pennsylvania and Texas of the United States. *Energy* Vol. 178, pp. 781-803. www.elsevier.com/ locate/energy.

Li C, Qin J, Li J, Hou Q. (2016. The accident early warning system for iron and steel enterprises based on combination weighting and Grey Prediction Model GM (1, 1). *Saf Sci* , Vol. 89, pp. 19-27.

Yuan C, Liu S, Fang Z.(2016). Comparison of China's primary energy consumption forecasting by using ARIMA (the autoregressive integrated moving average) model and GM (1,1) model. *Energy*, Vol. 100, pp. 384-390, https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.001.

Li S, Li R.(2017). Comparison of forecasting energy consumption in Shandong, China Using the ARIMA model, GM model, and ARIMA-GM model. *Sustainability*, Vol. 9, doi:10.3390/su9071181.

Sen P, Roy M, Pal P. (2016). Application of ARIMA for forecasting energy consumption and GHG emission: a case study of an Indian pig iron manufacturing organization.*Energy*, Vol. 116, pp. 1031-1038.

Oliveira EMD, Oliveira FLC(2018). Forecasting mid-long term electric energy consumptionthrough bagging ARIMA and exponential smoothing methods. *Energy* ,Vol. 144 , pp. 776-788.

Wang Q, Li S, Li R(2018).China's dependency on foreign oil will exceed 80% by 2030: Developing a novel NMGM-ARIMA to forecast China's foreign oil dependence from two dimensions. *Energy,* Vol. 163, pp. 151-167.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

استناد به این مقاله: یادگاری، حسین، محمدی، تیمور، آماده، حمید، قاسمی، عبدالرسول، مصطفایی، حمیدرضا. (۱۳۹۹). پیش‌بینی قیمت نفت خام برنت با ترکیب تکنیک‌های مبتنی بر تئوری خاکستری و اقتصادسنجی، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۳۶ (۹)، ۱۴۹-۱۷۱.

Iranian Energy Economics is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.