

پیش‌بینی قیمت نفت خام برنت با الگوی ترکیبی مدل خاکستری غیرخطی و تصحیح پسماند آریما^۱ خطی

حسین یادگاری^۱

دانشجوی دکتری اقتصاد نفت و گاز دانشگاه علامه طباطبائی. yadegaryh@yahoo.com

تیمور محمدی

دانشیار گروه اقتصاد نظری دانشگاه علامه طباطبائی. atmahmadi@gmail.com

حمید آماده

دانشیار گروه اقتصاد انرژی دانشگاه علامه طباطبائی. amadeh@gmail.com

عبدالرسول قاسمی

دانشیار گروه اقتصاد نظری دانشگاه علامه طباطبائی. ghasemi.a@hotmail.com

حمدیرضا مصطفایی

دانشیار گروه آمار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال. h_mostafaei@iau-tnb.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰

چکیده

ویژگی‌های نفت خام و عوامل موثر بر قیمت این حامل انرژی باعث شده است تا پیش‌بینی قیمت آن همواره مورد توجه محققان، فعالان بازار نفت، دولتها و سیاست‌گذاران قرار گیرد. با توجه به این که قیمت نفت خام تحت تاثیر عوامل زیادی است، همواره باید در این زمینه مطالعات مداوم صورت گیرد 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 غیرخطی و آریما^۳ استفاده شده و مدل ترکیبی خاکستری غیرخطی-آریما^۴ 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 ماهه اول سال ۲۰۱۵ تا سه ماهه چهارم سال ۲۰۲۱، در پیش‌بینی ماهیانه داده‌های ژانویه ۲۰۲۰ تا دسامبر ۲۰۲۱ و در پیش‌بینی هفتگی داده‌های هفته دوم مارس ۲۰۲۰ تا هفته اول دسامبر ۲۰۲۱ مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان داد میانگین قدرمطلق درصد خطای^۵ و جذر میانگین مریع خطای^۶ در مدل ترکیبی، همواره کمتر از مدل منفرد خاکستری غیرخطی است. هم‌چنین، مدل ترکیبی توانایی بالاتری جهت توضیح و پوشش نوسانات قیمت در بازه‌های مختلف زمانی را داشته و قابل اطمینان‌تر از مدل منفرد است. لذا می‌توان از مدل ترکیبی به جای مدل‌های مبتنى بر نظریه منفرد برای پیش‌بینی دقیق‌تر استفاده کرد.

طبقه‌بندی JEL: Q47,C53,C01

کلیدواژه‌ها: قیمت نفت خام، پیش‌بینی قیمت نفت خام، مدل خاکستری غیرخطی NGM، مدل ترکیبی تصحیح پسماند NGM-ARIMA

۱. نویسنده مسئول

2. NGM(1,1, α)

3. ARIMA

4. NGM-ARIMA

5. MAPE

6. RMSE

۱- مقدمه

قیمت نفت خام از مهم‌ترین شاخص‌های تاثیرگذار بر متغیرهای اقتصادی است و به عنوان یک متغیر بروزنزای قدرتمند می‌تواند متغیرهای کلان اقتصادی را تحت تاثیر قرار دهد. حجم سرمایه مورد نیاز در این صنعت و زمان بر بودن اجرای پروژه‌ها، اهمیت پیش‌بینی قیمت نفت را برای برنامه‌ریزی و توسعه این صنعت افزایش داده است. با توجه به شرایط ایجاد شده در بازار نفت از جمله افزایش عرضه نفت خام از منابع نامتعارف و کاهش هزینه تولید از این منابع، وقوع پیک تقاضا، شرایط برای تولیدکنندگان سنتی دشوار گردید و شناخت رفتار قیمت نفت خام اهمیت بیشتری یافته است. از این رو توجه بسیاری از پژوهشگران، تحلیلگران و کارشناسان نفتی به پیش‌بینی قیمت نفت خام و تلاش برای ارائه الگوهای جدید جلب شده است. قیمت نفت خام تحت تأثیر عوامل زیادی است و روندهای حاکم بر آن پیچیده و دارای الگوهای غیرخطی است. در واقع، قیمت نفت خام در بازار حاصل برآیند عوامل بنیادین و غیربنیادین است (شاکری و همکاران ۱۳۹۸) و بسادگی نمی‌توان تمام عوامل موثر بر قیمت نفت خام را دسته‌بندی و مدل‌سازی کرد. بنابراین کارشناسان بازار نفت، به قیمت و روند تغییرات آن توجه می‌کنند. زیرا تأثیر برآیند تمام عوامل بنیادین و غیربنیادین بر شکل گیری قیمت، نهایتاً در قیمت نفت خام بروز خواهد نمود. به عبارت بهتر این عوامل به نحوی در قیمت مستتر هستند. عوامل غیربنیادین به عواملی گفته می‌شود که با تأثیر بر عوامل بنیادین بازار (عرضه، تقاضا، سطح ذخیره‌سازی) بر قیمت نفت خام اثر می‌گذارند. این عوامل شامل جنگ و عملیات تروریستی، ناارامی، اغتشاشات ملی و منطقه‌ای، وضعیت آب و هوایی، تنش و اعتصابات در کشورهای تولیدکننده نفت خام، خطمشی نفتی اوپک، رشد اقتصادی و حتی انتظارات معامله‌گران می‌شوند. مدل‌های اقتصادستنجی سنتی، سری قیمت نفت خام را خطی یا تقریباً خطی می‌دانند. اما استفاده از مدل‌های جدیدتر غیرخطی و پیچیده، روش‌های بهتری برای پیش‌بینی قیمت نفت خام هستند. در هر حال پیش‌بینی قیمت نفت خام بسیار دشوار بوده و با تغییر شرایط سیاسی و عوامل غیرمنتظره تغییر می‌کند (رحمانی و فریدزاد ۱۳۹۸)، اما تلاش برای پیش‌بینی قیمت با استفاده از روش‌های جدید و با دقت بالاتر مسئله مهمی است. انتخاب یک روش درست از میان مدل‌های زیاد پیش‌بینی براساس مشخصات مورد

بررسی کار پیچیده و سختی است. تاکنون مطالعات زیادی در داخل و خارج از کشور در زمینه پیش‌بینی قیمت نفت خام با استفاده از مدل‌های منفرد خطی و غیرخطی و روش‌های مبتنی بر مدل‌های اقتصادسنجی و آماری انجام شده است. به طور کلی، دو رویکرد عمده برای پیش‌بینی قیمت نفت خام در تحقیقات انجام شده وجود دارد. رویکرد اول، روش‌های آماری و اقتصادسنجی سنتی مانند مدل‌های رگرسیون خطی با متغیرهای توضیحی، گام تصادفی^۱، مدل‌های خودرگرسیون میانگین متحرک^۲ یا آریما، مدل‌های خانواده گارچ^۳، مدل‌های تصحیح خطأ^۴ و مدل‌های سوئیچینگ. رویکرد دوم، مدل‌های هوش مصنوعی^۵، مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی^۶، ماشین بردار پشتیبانی^۷ و الگوریتم‌های ژنتیک^۸ هستند. لازم به ذکر است مدل‌های رویکرد دوم نسبت به روش‌های سنتی نتایج بهتری به دست می‌دهند. البته کاستی‌های مدل‌های هوش مصنوعی از جمله نیاز به داده‌های فراوان برای حصول نتایج دقیق نباید نادیده گرفته شود. جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای ساخت شبکه عصبی، بسیار هزینه‌بر و زمان‌بر است. (خاشعی، ۱۳۸۹).

استفاده از سیستم‌های خاکستری جدیدترین تلاش صورت گرفته در این زمینه است. لذا با توجه به اهمیت موضوع پیش‌بینی قیمت نفت و تأثیر آن در برنامه‌ریزی کشورها، شرکت‌ها و نهادها، استفاده از روش‌های کارآمد و پیشرفته و بروز دنیا در این زمینه از اهمیت ویژه‌ای برخودار است. اولین مقاله در مورد سیستم خاکستری تحت عنوان "مشکلات کنترل سیستم‌های خاکستری" توسط دنگ^۹ انتشار این مقاله نشان داد که یک نظریه جدید بنام نظریه سیستم‌های خاکستری بطور رسمی در جهان ظهرور کرده و مورد توجه بسیاری از محققان در سراسر جهان قرار گرفته است. نظریه سیستم‌های خاکستری، روش جدیدی است که بر مطالعه مشکلات مربوط به نمونه‌های کوچک و اطلاعات ناقص متمرکز است (لی یو و لین^{۱۰}). این سیستم از طریق تولید

1. RW

2. ARIMA

3. GARCH

4. ECM

5. Artificial Intelligence

6. Artificial Neural Networks. (ANN).

7. SVM

8. Genetic Algorithms

9. Deng

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 موثر کنترل کرد، (لی یو و همکاران^۳). در دنیای واقعی، عموماً سیستم‌های نامشخص با نمونه‌های کوچک و اطلاعات ناقص معمولاً وجود دارند. این واقعیت طیف گسترده‌ای از کاربرد نظریه سیستم‌های خاکستری را تعیین می‌کند (اندرو^۳، ۲۰۱۱؛ هاکن^۴، ۲۰۱۱؛ هیپل^۵، ۲۰۱۱؛ وال لی^۶، ۲۰۰۸). نظریه سیستم خاکستری طی چهل سال اخیر توسعه یافته و در بسیاری از زمینه‌های تحقیقاتی کاربرد و دستاوردهای موفقی داشته است. با این حال، هنوز برای پیشرفت بیشتر راهی طولانی پیش رو دارد. در یک سخنرانی در کنفرانس بین المللی نظریه سیستم‌های خاکستری در سال ۲۰۱۱، در شهر نانجینگ چین، (اندرو ۲۰۱۱) نتیجه گرفت که کل جهان خاکستری است. 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 محیط ایجاد می‌کند، (کاملیا^۷ ۲۰۱۵). از مهم‌ترین ویژگی‌های مدل‌های خاکستری، پیش‌بینی در محیط‌هایی با شرایط عدم قطعیت و عدم وجود اطلاعات کافی از نحوه عملکرد سیستم مورد پیش‌بینی است. با توجه به شرایط ذکر شده، قیمت نفت خام از جمله برجسته‌ترین مواردی است که می‌تواند جز سیستم‌های خاکستری طبقه‌بندی شود. جدیدترین مدل‌های پیش‌بینی، مدل‌های ترکیبی هستند که با بهره‌گیری از دو مدل پیش‌بینی طراحی شده‌اند. نوآوری اصلی این روش عبارتست از: پویایی مدل بدلیل بکارگیری اطلاعات اخیر برای پیش‌بینی و استفاده از تصحیح خطای پسماند که باعث می‌شود نتایج دقیق‌تر بوده و خطای کمتری داشته باشد. در مطالعه حاضر مدل غیرخطی خاکستری با مدل تصحیح پسماند آریما خطی ترکیب شده است، که می‌تواند از مزایای هر دو مدل برخوردار بوده و کل اثرات الگوریتم را بهبود بخشد.

در ادامه بخش‌بندی این مقاله بدین شرح است: در بخش دوم مبانی نظری و مرور ادبیات بطور مختصر توضیح داده شده است. در بخش سوم، روش‌شناسی پژوهش شامل مدل سیستم خاکستری غیرخطی، مدل سری زمانی آریما، مدل ترکیبی خاکستری غیرخطی-آریما و معیارهای ارزیابی جهت ارزیابی 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 و در نهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری مطالعه آورد شده است.

۲- مبانی نظری و مرور ادبیات

طی 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^۱. (اما می میبدی ۱۳۸۵). در این تحقیق عوامل موثر 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، در سال ۱۹۳۱ در مقاله‌ای به نام "اقتصاد منابع پایان پذیر" 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 بتدریج توسعه یافت. چارچوب نظریه هتلینگ، بازار آزاد و بدون دخالت دولت است. در نظریه هتلینگ فرض بر این است که هزینه نهایی استخراج ثابت بوده و با در نظر گرفتن نرخ تنزیل استدلال می‌شود که در شرایط رقابت کامل، بایستی اختلاف قیمت منبع طبیعی و هزینه نهایی استخراج متناسب با نرخ تنزیل افزایش یابد. و در شرایط انحصاری، اختلاف درآمد نهایی و هزینه نهایی استخراج بایستی متناسب با نرخ تنزیل افزایش یابد. صاحب منبع طبیعی (میدان نفتی) دو سناریو در پیش رو دارد: (۱) می‌تواند نفت را استخراج کرده و بفروشد و (۲) یا این کار را در آینده انجام دهد. اگر این کار را اکنون انجام دهد، می‌تواند درآمد حاصل از فروش نفت را در بانک قرار داده و از بانک سود دریافت کند. هم‌چنین می‌تواند نفت را در آینده استخراج نماید. در آنصورت 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 واقع براساس

1. Walras & Marshall

نظریه هتلینگ صاحب منبع طبیعی بدبانی حداکثرسازی ارزش حال منافع آینده است. بر این اساس، شناخت بازار نفت و عوامل مؤثر بر قیمت نفت خام به منظور تحلیل وضعیت حال و آتی درآمدهای نفتی بسیار ضروری است و از اهمیت بالایی در سیاست‌گذاری و توسعه اقتصادی برخوردار است. از این رو، پیش‌بینی قیمت نفت نه تنها نقش موثری در سیاست دولت‌ها ایفاء می‌کند، بلکه بر بهینه‌سازی میزان تولید در بلندمدت نیز بسیار موثر است. بنابراین پیش‌بینی ابزار مهمی در جهت اخذ تصمیمات استراتژیک و آینده پژوهی است، چراکه اطلاعات بسترهای لازم برای فرآیند تصمیم‌سازی و سناریوسازی را فراهم می‌کند.

بدلیل اهمیت نفت خام در مبادلات تجاری و تامین امنیت عرضه انرژی در کشورهای صنعتی و تامین امنیت تقاضا و امنیت درآمدی کشورهای تولیدکننده، مطالعات زیادی در داخل و خارج از کشور در ارتباط با پیش‌بینی قیمت نفت خام انجام شده است.

مطالعات داخلی: زمانی (۱۳۸۴)، نشان داد که مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی نسبت به مدل‌های تصحیح خط، قیمت نفت خام وست تگزاس اینترمیدیت را با دقت بیش تری پیش‌بینی می‌کند. بهرام‌مهر (۱۳۸۷)، در مطالعه‌ای، با استفاده از هموارسازی موجک و شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی روزانه قیمت نفت خام پرداخته است. در این مطالعه با استفاده از تبدیل موجک و شبکه عصبی مدلی اریه شده که پیش‌بینی دقیق‌تر و با خطای کم تری 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 می‌بخشد. پورکاظمی و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و نیز روش اقتصادسنجی آریما استفاده می‌کند. لازم به ذکر است که این پیش‌بینی‌ها به صورت پویا انجام شده‌اند. از یک سو نتایج پیش‌بینی‌های یک گام 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 اقتصادی و توسعه^۱ به عنوان یک ورودی دیگر در مدل و انجام یک پیش‌بینی دو متغیره (برای اولین بار در ایران)، خطای پیش‌بینی‌های قیمت نفت را کاهش می‌دهد. جوانمرد و فقیدیان (۱۳۹۳) پیش‌بینی قیمت نفت خام اوپک را با بکارگیری مدل پیش‌بینی خاکستری انجام دادند. بر اساس نتایج این مطالعه بازارهای مالی بویژه بازار نفت بسیار منطبق با محیط‌های خاکستری هستند، لذا محققان این پژوهش مدل پیش‌بینی خاکستری (که هسته نظریه سیستم‌های خاکستری می‌باشد) را مدلی مناسب برای پیش‌بینی قیمت نفت خام می‌دانند. نتایج این تحقیق نشان داد که با استفاده از مدل پیش‌بینی خاکستری می‌توان عملکرد پیش‌بینی قیمت نفت خام را به صورت چشم‌گیری بهبود بخشد 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 خاکستری، قیمت گاز طبیعی را پیش‌بینی نمودند. 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.

مطالعات خارجی: هانتینگتون^۲ (۱۹۹۴) از مدل‌های پیچیده اقتصادسنجی برای پیش‌بینی قیمت نفت خام استفاده کرد. وی از تولید ناخالص ملی، عرضه و تقاضاً عنوان متغیرهای بروزا در مدل استفاده نموده است. مدل‌های اقتصادسنجی سنتی، سری قیمت نفت خام را خطی یا تقریباً خطی می‌دانند. در حقیقت، سری قیمت واقعی نفت خام سیستم پیچیده‌ای است که تحت تأثیر عوامل زیادی از جمله عرضه نفت، خطمنشی نفتی اوپک، رشد اقتصادی و حتی انتظارات معامله گران قرار دارد. بنابراین سری قیمت واقعی غیرخطی و بی‌قاعده است. لanza و همکاران^۳ (۲۰۰۵) قیمت‌های نفت خام و فرآورده‌های نفتی را با استفاده از مدل‌های تصحیح خط^۴ و مدل‌های سوئیچینگ بررسی کردند. مورات و توکات^۵ (۲۰۰۹)، هی و همکاران^۶ (۲۰۱۰)، پانوپولو و پانتلیدیس^۷ (۲۰۱۵) از گام تصادفی به عنوان معیار استفاده کردند. هو و

1. OECD

2. Huntington

3. Lanza et al

4. ECM

5. Murat & Tokat.

6. He et al

7. Panopoulou & Pantelidis

سواردی^۱ (۲۰۱۲) برای پیش‌بینی نوسانات بازگشت قیمت نفت، یک مدل غیرپارامتری^۲ را اجرا کردند. همچنین هی و همکاران (۲۰۱۲)، لی و همکاران^۳ (۲۰۱۳)، یو و همکاران (۲۰۱۶) از آریما به عنوان معیار استفاده کردند. ژوب و همکاران^۴ (۲۰۱۶) با استفاده از روش پیش‌بینی گرافیکی موج خاکستری، قیمت نفت خام را بصورت چند مرحله‌ای پیش‌بینی کردند. 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 کردند. 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 موثر 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 غیرخطی با مدل تصحیح پسماند آریما می‌تواند مزایای دو مدل را گرفته و کل اثرات الگوریتم را بهبود بخشد که در مقایسه با مدل‌های مبتنی بر نظریه منفرد خاکستری غیرخطی نتایج بهتری بدست خواهد آمد.

۳- روش شناسی پژوهش

انتخاب روش صحیح در بین بسیاری از مدل‌های پیش‌بینی بر اساس ویژگی کالاهای کار پیچیده‌ای است. برخی از محققان (کیانگ وانگ و فنگ جیانگ^۵) روش‌های پیش‌بینی انرژی را در سال‌های اخیر بررسی کرده و آنها را به دو دسته کلی تقسیم کرده‌اند: مدل‌های پیش‌بینی خطی و مدل‌های پیش‌بینی غیرخطی. در جدول شماره (۱) جزئیات مدل‌های موجود در این دو نوع و خلاصه‌ای از مزایا و معایب آنها ارائه شده است.

1. Hou & Suardi.

2. GARCH

3. Li et al

4. Zhou et al

5. Qiang Wang & Feng Jiang.

جدول ۱. مقایسه مدل‌های خطی و غیرخطی

نوع مدل	مزایا	معایب	کاربرد
مدل آریما	فرم تبعی و توضیحی مستقیم عدم نیاز به داده‌های زیاد	عدم حساسیت به نوسانات تکیه به داده‌های تاریخی دقت کم برای پیش‌بینی غیرخطی	پیش‌بینی تقاضا
	به متغیر درون‌زا نیاز داریم دقت بالا در پیش‌بینی خطی	نیاز به سری زمانی مانا عدم حساسیت به نوسانات برای پیش‌بینی غیرخطی مناسب نیست	پیش‌بینی کوتاه مدت
	تحلیل‌های رگرسیونی	فرم تبعی و توضیحی مستقیم نتایج محاسباتی تفسیری	پیش‌بینی تقاضا
شبکه عصبی	دقت بالا برای پیش‌بینی غیرخطی	فرم تبعی و توضیحی ندارد تفسیر نتیجه محاسبات دشوار است مشکل در تعیین پارامترها	پیش‌بینی و مطالعات پارامتریک
	توانایی جستجوی سریع و تصادفی سرعت حل سریع	مشکل در تعیین پارامترها مشکل در توضیح فرمول	پیش‌بینی ترکیبی
	قابلیت توسعه در ترکیب با دیگر مدلها	حساسیت به داده‌های ناقص مشکل چند جوابی مشکلات طبقه‌بندی	پیش‌بینی‌های روزانه
مدل پشتیبان خود رگرسیون برداری	دقت بالا برای پیش‌بینی غیرخطی حجم نمونه کم	حساسیت به داده‌های ناقص	

منبع: Wang, Qiang & Jiang, Feng(2019)

با توجه به توضیحات ارائه شده در جدول شماره (۱) و نقاط قوت و ضعف مدل‌های مختلف، مدل‌های خاکستری و آریما به عنوان مدل اساسی این مطالعه انتخاب شده‌اند. این مدل‌ها هر دو مدل خطی و غیرخطی را پوشش می‌دهند و از دقت بالایی برخوردارند، بنابراین برای این مطالعه مناسب هستند. در واقع در این مقاله از مدل‌های خاکستری غیرخطی، خودرگرسیون میانگین متحرک و ترکیبی خاکستری غیرخطی - آریما برای پیش‌بینی قیمت نفت خام استفاده خواهد شد. تنها با استفاده از مدل خاکستری نمی‌توان روند کلی را به درستی پیش‌بینی نمود و احتمال خطاهای زیادی وجود خواهد داشت. همچنین استفاده از مدل آریما به تنها نمی‌تواند منعکس کننده روابط غیرخطی باشد و از طرفی نسبت به نوسانات داده‌ها حساس نیست، اما از دقت بالایی در فرآیند برازش خطی و توپانایی بالایی در پیش‌بینی روند کلی برخوردار است. تاکنون در مطالعات انجام شده از مدل‌های پیش‌بینی ترکیبی خطی و غیرخطی

بسیار کم استفاده شده است. بنابراین در مطالعه حاضر، مدل‌های پیش‌بینی غیرخطی و خطی را برای تدوین یک روش پیش‌بینی جدید ترکیب خواهیم نمود. این مدل ترکیبی، یک تکنیک جدید پیش‌بینی است که از نظر تنوری مزایای مدل‌های منفرد خطی و غیرخطی را ادغام و معایب آنها را برطرف می‌کند. لذا از دقت بهتری نسبت به مدل‌های منفرد برخوردار است.

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 و m بیانگر تعداد متغیرهای موجود در مدل است. مدل خاکستری مرتبه اول، اساس مدل کلاسیک پیش‌بینی خاکستری است. مهم ترین 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. 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 (جوانمرد، حبیب الله و فقیدیان، سیده فاطمه، ۱۳۹۳). این فرآیند به عنوان تولید دنباله خاکستری شناخته شده است. پیش‌بینی خاکستری براساس مدل خاکستری دارای سه عملیات اصلی می‌باشد: عملگر مولد تجمعی^۱ که معمولاً به منظور کاهش میزان تصادفی بودن داده‌های اصلی به کار گرفته می‌شود و داده‌های جدید تولید شده تقریباً رفتار نمایی خواهند داشت، وارون عملگر مولد تجمعی^۲ و مدل سازی خاکستری (شاه نظری، محمد رضا و همکاران، ۱۳۹۸).

۳-۲- مدل خاکستری غیرخطی $GM(1,1,\alpha)$

به منظور بهبود سازگاری مدل، محققان برخی از عناصر را به مدل پایه و اصلی خاکستری اضافه کردند تا برای سری‌های زمانی غیرخطی مناسب باشد (۲۰۱۸)^۳ به

1. AGO

2. IAGO

3. Rongrong, Xiaoxing & Li, Qiang & Song, Wang

عنوان مثال، افزودن ضریب توان به معادله دیفرانسیل برای ایجاد مدل خاکستری غیرخطی، آن را برای پیش‌بینی سری‌های پرنوسان، از جمله قیمت نفت خام مناسب سازی می‌کند. فرض می‌کنیم که $x^0_{(t)}$ سری اصلی داده‌ها و $x^1_{(t)}$ سری مرتبه اول عملگر مولد انباشت است.

$$x^1_{(t)} = \sum_{i=1}^t x^0_{(i)} \cdot t = 1.2.3.000.n \quad (1)$$

به منظور ساده سازی تحلیل یک سری کمکی بنام $Z^1_{(t)}$ می‌سازیم. ماهیت این مدل را می‌توان به صورت معادلات زیر نشان داد.

$$x^0_{(t)} + a(Z^1_{(t)})^\alpha = b \quad (2)$$

$$Z^1_{(t)} = 0.5x^1_{(t)} + 0.5x^1_{(t-1)} \quad (3)$$

$$\frac{dx^1_{(t)}}{dt} + a(x^1_{(t)})^\alpha = b \quad (4)$$

که a و b فرمول‌های زیر را تعیین می‌کنند.

$$[a, b]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_N \quad (5)$$

$$Y_N = [x^0_{(2)}.000, x^0_{(i)(n)}]^T \quad (6)$$

$$B = \begin{bmatrix} -Z^1_{(t)}^\alpha & 1 \\ -Z^1_{(t-1)}^\alpha & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -Z^1_{(2)}^\alpha & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

سپس با استفاده از به کاربردن روش عددی رانگ - کوتا^۱ مرتبه چهارم برای حل معادله (2) داریم:

$$K_1 = F(t_n, x_n) \quad (8)$$

1. Runge-Kutta. Wang, Qiang & Jiang, Feng (2019).

$$K_2 = F \left(t_n + \frac{h}{2} \cdot x_n + \frac{h}{2} K_1 \right) \quad (9)$$

$$K_3 = F \left(t_n + \frac{h}{2} \cdot x_n + \frac{h}{2} K_2 \right) \quad (10)$$

$$K_4 = F \left(t_n + \frac{h}{2} \cdot x_n + \frac{h}{2} K_3 \right) \quad (11)$$

$$X_{n+1} = X_n + \frac{h}{6} [K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4] \quad (12)$$

سری تجمعی x^1_k را می‌توان حل کرد و سری پیش‌بینی نهایی \hat{x}^0_k را با استفاده از معادله (۱۳) محاسبه کرد.

$$\hat{x}^0_{(k+1)} = \hat{x}^1_{(k+1)} - \hat{x}^1_{(k)} \quad (13)$$

۳-۳- مدل آریما یا مدل خود رگرسیون میانگین متحرک (ARIMA)

مدل آریما از دو بخش تشکیل شده است. مدل AR یا خودرگرسیون که برای پیش‌بینی اطلاعات آینده بر اساس اطلاعات سری زمانی گذشته طراحی شده و مدل MA یا میانگین متحرک که روند آتی داده‌ها را براساس تصحیح خط ارائه می‌نمایند. لذا از این مدل می‌توان برای پیش‌بینی سری زمانی استفاده نمود. که p مرتبه فرآیند خودرگرسیون، 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 بصورت ARIMA(p,q,d) تعریف می‌شود. فرض می‌کنیم که سری زمانی اطلاعات اصلی بشكل رابطه $\{y_t^0\}$ بوده که y_k^0 ماتریس اطلاعات خام است. همچنین $\{Y_t^*\} = \{y_1^1, y_2^1, \dots, y_m^1\}$ سری زمانی داده‌های پیش‌بینی شده است و y_k^1 ماتریس پیش‌بینی اطلاعات است. با توجه به تعاریف ذکر شده معادله شماره (۱۴) مدل AR معادله شماره (۱۵) مدل MA و معادله شماره (۱۶) مدل ARIMA هستند.

$$Y_t^* = c + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \dots + \alpha_p Y_{t-p} + u_t \quad (14)$$

$$Y_t^* = u_t + \beta_1 u_{t-1} + \beta_2 u_{t-2} + \dots + \beta_q u_{t-q} \quad (15)$$

$$Y_t^* = c + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \dots + \alpha_p Y_{t-k} + \mu_t + \beta_1 \mu_{t-1} + \beta_2 \mu_{t-2} + \dots + \beta_q \mu_{t-q} \quad (16)$$

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

$$B = \begin{pmatrix} -(y_1^1 + y_2^1)/2 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -(y_m^1 + y_m^1)/2 & 1 \end{pmatrix}$$

۴-۳- مدل ترکیبی خاکستری غیرخطی-آریما

تا کنون مدل‌های پیش‌بینی ترکیبی بر اساس مدل‌های خطی بوده و استفاده از ترکیب مدل‌های خطی و غیرخطی کمتر بوده است. در مطالعات پیش‌بینی انرژی، محققان عمدتاً از مدل‌های برپایه نظریه منفرد استفاده می‌کنند که در این صورت ممکن است برخی از ویژگی‌های دنباله اصلی و نتایج نادیده گرفته شوند. لذا استفاده از مدل‌های مبتنی بر نظریه منفرد، اطمینان از صحت پیش‌بینی را دشوار می‌سازد. در این پژوهش، بر اساس نظریه خاکستری و نظریه تحلیل خودرگرسیون، مدل ترکیبی غیرخطی جدید خاکستری - آریما توسعه داده شده است. از لحاظ نظری، مدل ترکیبی جدید نقاط قوت مدل‌های منفرد را به ارث برده و ادغام کرده و بر نقاط ضعف آنها غلبه می‌کند (2019)^۱. به طور خاص، در مدل خاکستری غیرخطی - آریما، مدل خاکستری غیرخطی بهبود یافته برای پیش‌بینی سری‌های زمانی غیرخطی استفاده می‌شود، و سپس باقی‌مانده‌های تولید شده توسط مدل آریما اصلاح می‌شوند. مدعی هستیم که ترکیب مدل‌های خطی و غیرخطی دقت پیش‌بینی بالاتری را ایجاد این مسئله خواهد نمود بدان معناست که مدل پیشنهادی خاکستری غیرخطی - آریما برتر از مدل منفرد خاکستری غیرخطی می‌باشد. از طریق مقایسه معیارهای ارزیابی، برتری مدل‌های ترکیبی نسبت به مدل‌های منفرد که آنها را تشکیل داده‌اند، مورد بررسی قرار می‌گیرد. هسته اصلی این مدل شامل فرآیند پیش‌بینی غیرخطی و فرآیند اصلاح مدل خطأ

1. Wang, Qiang & Jiang, Feng

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

ابتدا مقدار اصلی را با استفاده از مدل خاکستری غیرخطی پیش‌بینی کرده و مقدار پیش‌بینی اولیه را بدست می‌آوریم. سپس معادله دیفرانسیل را ایجاد کرده و متغیرهای α ، b و a را با استفاده از روش عددی در نرم افزار متلب ۲۰۲۱ برآورد می‌کنیم. پس از اینکه مقدار پیش‌بینی شده از سری AGO-1 بدست آمد، می‌توانیم مقدار پیش‌بینی شده اولیه \hat{x}^0 (k) را از مدل خاکستری غیرخطی بدست آوریم. در مرحله بعد سری پسماند \hat{Y}^0 را براساس داده‌های اولیه x^0 (i) و مقدار پیش‌بینی شده \hat{x}^0 (i) اولیه محاسبه می‌کنیم. سری پسماند جدید، را براساس مدل آریمای بهینه براساس معیارهای AIC، BIC بدست آورده و سپس آن را با مدل خاکستری غیر خطی براساس آلفای بهینه و کمترین RMSE، MAPE انتخاب شده ترکیب می‌نماییم.

۳-۵- معیارهای ارزیابی

به منظور ارزیابی علمی صحت مدل‌ها در این مقاله از ابزارهای متداول نظری میانگین قدرمطلق درصد خطأ (MAPE) و جذر میانگین مربع خطأ (RMSE) استفاده می‌کنیم. \hat{x} مقدار واقعی و \hat{x} مقدار پیش‌بینی و N تعداد نمونه است. هرچه مقادیر معیارها کوچکتر باشد، دقت مدل نیز بیشتر است.

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

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

داده‌های اولیه یا خام

$$x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$$

NGM(1,1,a) مدل

سری 1-AGO محاسبه می‌شود که برابر است با $\{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\}$

$$x^1_{(t)} = \sum_{i=1}^t x^0_{(i)} \cdot t = 1.2.3.000.n$$

$$x^0_{(t)} + a(Z^1_{(t)})^a = b$$

$$Z^1_{(t)} = 0.5x^1_{(t)} + 0.5x^1_{(t-1)}$$

$$\frac{dx^1_{(t)}}{dt} + a(x^1_{(t)})^a = b$$

تعیین پارامترهای a و b

$$\hat{x}^0_{(k+1)} = \hat{x}^1_{(k+1)} - \hat{x}^1_{(k)}$$

سری پسمند

$$Y^{(0)} = \{Y^{(0)}(1), Y^{(0)}(2), \dots, Y^{(0)}(n)\}$$

$$Y^{(0)}(i) = \hat{x}^{(0)}(i) - x^{(0)}(i)$$

ARIMA مدل

$$Y_t^* = (1 - B)^d Y_t$$

$$Y_t^* = c + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \dots + \alpha_p Y_{t-p} + u_t$$

$$Y_t^* = u_t + \beta_1 u_{t-1} + \beta_2 u_{t-2} + \dots + \beta_q u_{t-q}$$

$$Y_t^* = c + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \dots + \alpha_p Y_{t-k} + \mu_t + \beta_1 \mu_{t-1} + \beta_2 \mu_{t-2} + \dots + \beta_q \mu_{t-q}$$

که c جزء ثابت، α_1 و β_1 پارامترهای معادله، Y_t داده‌های اولیه، u_t خطای داده‌های اولیه، p مرتبه فرآیند خود رگرسیون، d مرتبه تفاضل و q مرتبه فرآیند میانگین متحرک هستند

مقادیر پیش‌بینی شده

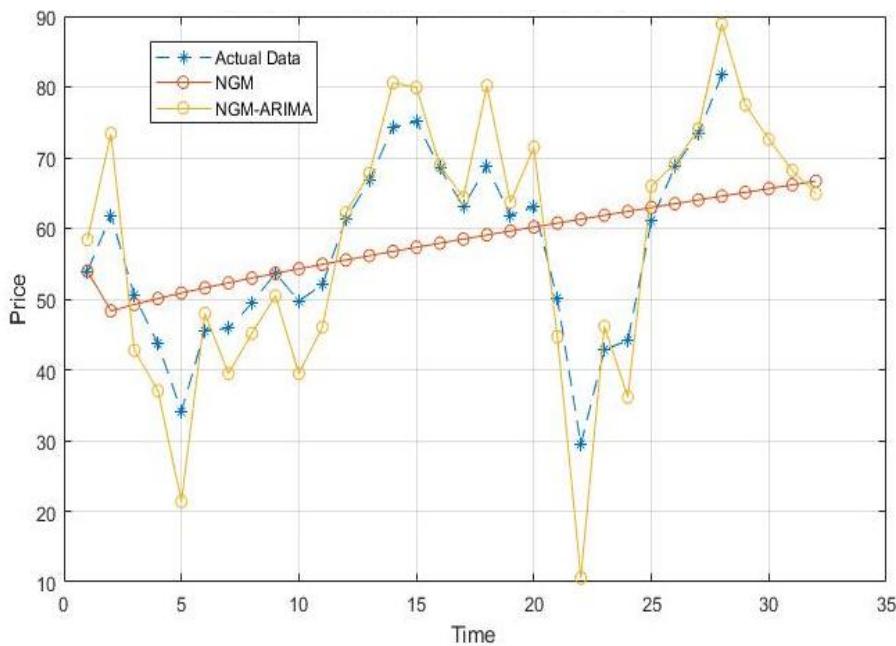
$$X_t^*(i) = \hat{x}^{(0)}(i) - Y_t^*(i)$$

شکل ۱. فرآیند مدلسازی اجرای مدل ترکیبی خاکستری غیرخطی - آریما

۴- نتایج و بحث

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش (قیمت فصلی، ماهانه و هفتگی نفت خام برنت^۱) از سایت اینترنت اوپک^۲ جمع آوری شده و پیش‌بینی‌ها با استفاده از نرم افزار متلب^۳ نسخه ۲۰۲۱ 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 2015Q1-2022Q4 و پیش‌بینی برای چهار فصل آتی 2022Q1-2021Q4 نتایج زیر حاصل شده است.



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

۱. قیمت فصلی، ماهانه و هفتگی نفت خام برنت متغیر مدل است.

2. OPEC Intranet.

3. MATLAB

در نمودار شماره (۱) پیش‌بینی فصلی قیمت نفت خام براساس مدل مبتنی بر نظریه منفرد خاکستری غیرخطی و مدل ترکیبی خاکستری غیرخطی-آریما ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که میزان پوشش نوسانات قیمت توسط مدل ترکیبی خاکستری-آریما نسبت به مدل منفرد بهتر است و دقت بالاتری دارد. اما مدل مبتنی بر نظریه منفرد خاکستری توانایی پوشش نوسانات را نداشته و تنها بصورت یک خط صعودی نمایش داده شده است.

جدول ۱. نتایج پیش‌بینی فصلی قیمت نفت خام برنت

2022Q4	2022Q3	2022Q2	2022Q1	
66/7	66/2	65/6	65/1	NGM
64/1	68/2	72/6	77/5	NGM-ARIMA

منبع: محاسبات تحقیق

نتایج حاصل از برآورد قیمت فصلی نفت خام برنت توسط مدل‌های خاکستری غیرخطی و خاکستری غیر خطی-آریما در جدول شماره (۱) ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که براساس دو معیار ارزیابی مدل‌ها یعنی، میانگین قدرمطلق درصد خطا و جذر میانگین مربع خطا که در جدول شماره (۲) ارائه شده، نتایج مدل خاکستری غیر خطی-آریما از مدل منفرد خاکستری غیرخطی بسیار بهتر و دقیق‌تر است.

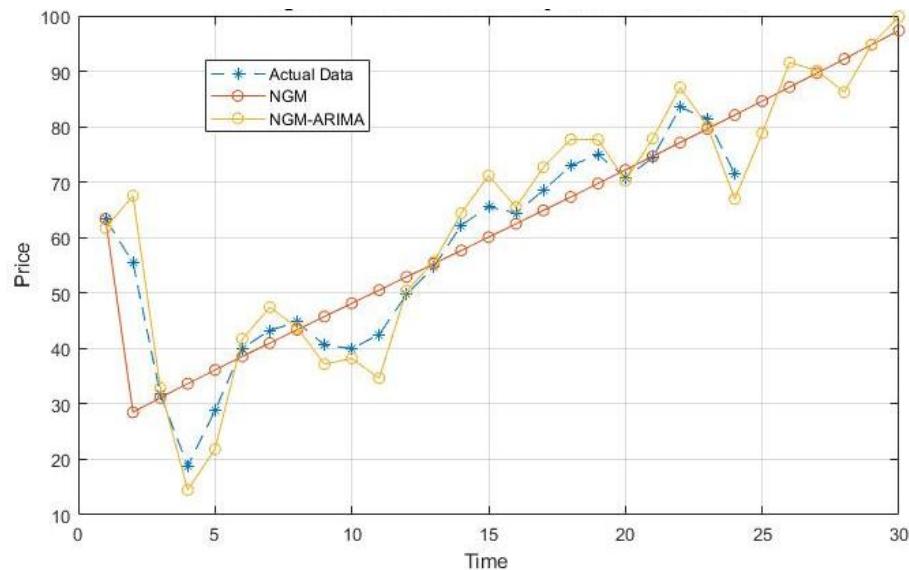
جدول ۲. معیارهای ارزیابی مدل‌ها برای پیش‌بینی فصلی قیمت نفت خام برنت

2015Q1 – 2021Q2

NGM-ARIMA	NGM	
0/12	۰/۱۸	MAPE
7/2	11/8	RMSE

منبع: محاسبات تحقیق

پیش‌بینی ماهانه: با بررسی داده‌های ماهانه قیمت نفت خام برنت در بازه زمانی ۲۰۲۰m1-۲۰۲۱m6 و پیش‌بینی ۶ ماهه ۲۰۲۰m1-۲۰۲۰m12 نتایج زیر حاصل شده است.



نمودار ۲. مقادیر واقعی و پیش‌بینی ماهانه قیمت براساس مدل‌های خاکستری غیرخطی، خاکستری-آریما

در نمودار شماره (۲) پیش‌بینی ماهانه قیمت نفت خام برنت برای شش ماه انجام شده است. ملاحظه می‌شود که نوسانات قیمت نفت خام در مدل ترکیبی خاکستری غیرخطی-آریما تقریباً در تمام دوره مورد بررسی پوشش داده شده است. اما مدل منفرد خاکستری بصورت یک خط مستقیم با شبیه مثبت برازش شده است که قدرت پوشش نوسانات داده نظر را نداشته است. بنابراین مدل ترکیبی ارائه شده بسیار دقیق‌تر از مدل منفرد خاکستری غیرخطی است.

جدول ۳. نتایج پیش‌بینی ماهانه قیمت نفت خام برنت

ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	
۹۷/۳	۹۴/۸	۹۲/۲	۸۹/۷	۸۷/۱	۸۴/۶	NGM
۹۹/۹	۹۴/۸	۸۶/۲	۹۰/۱	۹۱/۶	۷۸/۸	NGM-ARIMA

منبع: محاسبات تحقیق

در جدول شماره (۳) پیش‌بینی قیمت نفت خام برنت برای شش ماه ارائه شده است. با بررسی معیارهای ارزیابی مدل‌ها که در جدول شماره (۴) ارائه شده ملاحظه می‌شود که مدل ترکیبی خاکستری غیرخطی-آریما بسیار دقیق‌تر و بهتر از مدل منفرد خاکستری نوسانات قیمت نفت خام را پوشش داده است. در واقع مدل ترکیبی هم قدرت

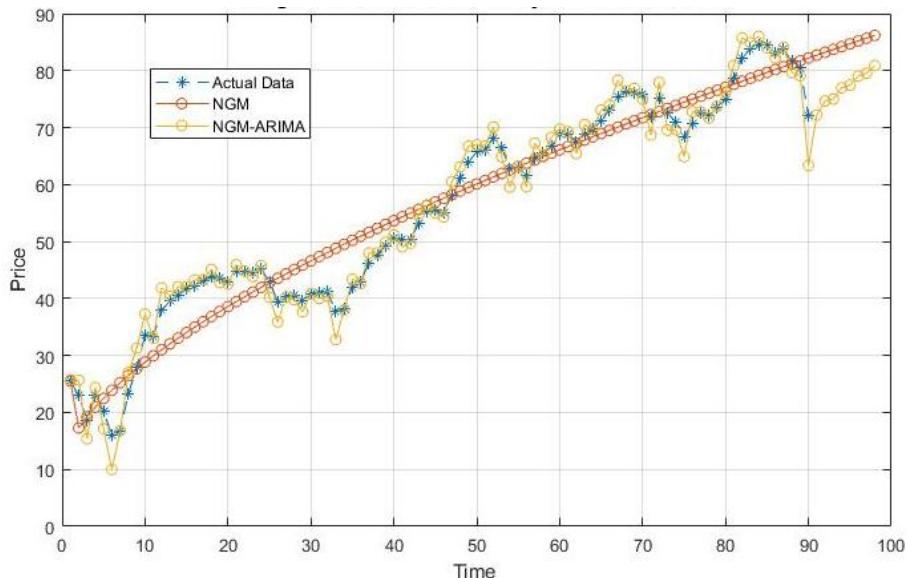
پوشش بالاتری برای نوسانات قیمت داشته و خطای نسبی کمتری در مقایسه با مدل غیرخطی خاکستری داشته است.

جدول ۴. معیارهای ارزیابی مدل‌ها برای پیش‌بینی ماهیانه قیمت نفت خام برنت

NGM-ARIMA	NGM	
+/+٧	+/١٢	MAPE
٤/٣	٧/٨	RMSE

منبع: محاسبات تحقیق

پیش‌بینی هفتگی: با بررسی داده‌های هفتگی قیمت نفت خام برنت در بازه زمانی w49-2020-2021 و پیش‌بینی برای ۸ هفته آینده نتایج زیر حاصل شده است.



نمودار ۳. مقادیر واقعی و پیش‌بینی قیمت هفتگی براساس مدل‌های خاکستری، آریما و خاکستری-آریما

در نمودار شماره (۳) مقادیر پیش‌بینی هفتگی قیمت نفت خام براساس مدل ترکیبی خاکستری غیرخطی - آریما و مدل منفرد خاکستری غیرخطی ارائه شده است. ملاحظه گردد که میزان پوشش نوسانات قیمت نفت خام توسط مدل ترکیبی نسبت به مدل دیگر بهتر است و دقت بالاتری دارد.

جدول ۵. نتایج پیش‌بینی هفتگی قیمت نفت خام برنت

هفته چهارم زانویه ۲۰۲۲	هفته سوم زانویه ۲۰۲۲	هفته دوم زانویه ۲۰۲۲	هفته اول زانویه ۲۰۲۲	هفته پنجم دسامبر ۲۰۲۱	هفته چهارم دسامبر ۲۰۲۱	هفته سوم دسامبر ۲۰۲۱	هفته دوم دسامبر ۲۰۲۱	
86/2	85/7	85/2	84/7	84/2	83/7	83/2	82/7	NGM
80/9	79/5	79	77/4	76/9	75	74/7	72/2	NGM- ARIMA

منبع: محاسبات تحقیق

جدول شماره (۵) نتایج پیش‌بینی قیمت هفتگی نفت خام برنت را با بکارگیری مدل خاکستری غیرخطی و مدل ترکیبی خاکستری غیرخطی-آریما نشان می‌دهد. مقایسه معیارهای ارزیابی مدل‌ها در جدول شماره (۶) ارائه شده است. معیارهای میانگین قدر مطلق خطاهای و همچنین جذر میانگین مربع خطای نشان می‌دهد که مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل ترکیبی خاکستری غیرخطی-آریما خطای نسبی کمتری داشته و نتایج قابل قبول تر هستند و نسبت به خاکستری غیرخطی دقت بیشتری دارد.

جدول ۶. معیارهای ارزیابی مدل خاکستری-آریما برای پیش‌بینی قیمت هفتگی نفت خام

برنت

NGM-ARIMA	NGM	
0/04	0/09	MAPE
2/15	4/8	RMSE

منبع: محاسبات تحقیق

به طور شهودی می‌توان دریافت که دقت هر دو مدل خاکستری غیرخطی و خاکستری غیرخطی-آریما، اساساً بالا است و میزان خطای بسیار پایینی دارند که نشان می‌دهد همه آنها از آزمون خوب بودن برآش عبور می‌کنند. اما نتایج حاصل از بررسی و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که در مدل ترکیبی (خاکستری غیرخطی-آریما) در بازه‌های زمانی مختلف، میانگین قدر مطلق درصد خطای و جذر میانگین مربع خطای، همواره از مدل خاکستری غیرخطی (مبتنی بر نظریه منفرد) کمتر است. ضمن اینکه میزان پوشش نوسانات قیمت نفت خام توسط مدل ترکیبی نسبت به مدل مبتنی بر نظریه منفرد در تمام بازه‌های فصلی، ماهانه و هفتگی بهتر است و دقت بالاتری دارد. لذا دقت و اطمینان بالاتری در پیش‌بینی قیمت نفت خام دارد. جدول شماره (۷) را ملاحظه نمائید.

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

RMSE		MAPE		معیار ارزیابی
NGM	NGM-ARIMA	NGM	NGM-ARIMA	مدل
۱۱/۸	۷/۲	۰/۱۸	۰/۱۲	فصلی
۷/۸	۴/۳	۰/۱۲	۰/۰۷	ماهانه
۴/۸	۲/۱۵	۰/۰۹	۰/۰۴	هفتگی

منبع: محاسبات تحقیق

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

مطالعات براساس مدل‌های خاکستری غیرخطی و ترکیب آن با مدل‌های اقتصادسنجی تقریباً مبحث جدیدی است. در این مقاله مدل ترکیبی خاکستری غیر خطی-آریما، را برای بهبود روش پیش‌بینی بکار بردیم. این تکنیک از اصل تصحیح خطا استفاده می‌کند. برای بررسی دقیق این تکنیک، داده‌های قیمت نفت خام برنت را (بصورت فصلی، ماهیانه و هفتگی) در مدل ترکیبی استفاده کرده و نتایج حاصل را مورد مقایسه قرار دادیم. نتایج محاسبات انجام شده و برآورده مدل‌ها نشان می‌دهد که معیارهای میانگین قدر مطلق درصد خطا و جذر میانگین مربع خطا در همه نمونه‌های استفاده شده در مدل ترکیبی خاکستری غیر خطی-آریما، از مدل مبتنی بر نظریه منفرد خاکستری غیرخطی بسیار کمتر است. در واقع در مدل ترکیبی پیشنهادی، دقیق‌تر و پیش‌بینی نسبت به مدل منفرد بر اساس معیارهای ارزیابی معرفی شده بهبود یافته است. همچنانی تکنیک مدل ترکیبی، توانایی بالاتری جهت پوشش نوسانات قیمت نفت خام را داشته و قابل اطمینان‌تر از مدل منفرد است. بنابراین مدل‌های ترکیبی عملکرد پیش‌بینی بهتری را نسبت به مدل‌های منفرد که آنها را تشکیل داده‌اند، دارند و پیش‌بینی آن برای قیمت نفت خام نیز بسیار قابل اعتماد خواهد بود. براساس شرایط جدید ایجاد شده در بازار نفت از جمله افزایش عرضه از منابع نامتعارف و کاهش هزینه‌ی تولید از این منابع، وقوع پیک تقاضا و شرایط برای تولید کنندگان 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 تاثیر گذار 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 سایر مدل‌ها از جمله مدل‌های عصبی و ژنتیک تداوم داشته باشد تا به مدل‌های دقیق‌تر و با خطای کمتر دست یابیم.

منابع

- امامی میبدی، علی(۱۳۸۵). تحلیل عوامل موثر بر قیمت نفت خام، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، شماره ۲۸، ۱۱۱-۱۲۶.
- شاکری، عباس ، محمدی، تیمور و جعفری، محمد(۱۳۹۸). تاثیر نوسانات مالی جهانی بر بازار نفت با تأکید بر بحران مالی ۲۰۰۸، فصلنامه علمی پژوهشنامه اقتصادی، شماره ۷۴، 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، شماره های ۸۳ و ۸۴، ۱۶۸-۱۳۱.
- جوانمرد، حبیب الله و فقیدیان، سیده فاطمه (۱۳۹۳). پیش‌بینی قیمت نفت خام اوپک با بکارگیری مدل پیش‌بینی خاکستری، مجله فصلنامه مدلسازی اقتصادی ، شماره ۳، ۱۱۴-۹۱.
- زمانی، مهرزاد(۱۳۸۴). مدل سازی و پیش‌بینی قیمت نفت خام WTI. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره ۴، ۳۸-۲۲.
- شاه نظری، محمدرضا و همکاران(۱۳۹۸). توسعه و مقایسه روش‌های مبتنی بر روش گری و فرکتال در پیش‌بینی قیمت گاز طبیعی، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره ۶۲، ۱۸-۱.
- بهرام‌مهر، نفیسه (۱۳۸۷). پیش‌بینی قیمت نفت خام با استفاده از هموارسازی موجک و شبکه عصبی مصنوعی، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره ۱۸، ۹۸-۸۱.
- پورکاظمی، محمدحسین و اسدی، محمدباقر (۱۳۸۸). پیش‌بینی پویای قیمت نفت خام با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی و با بکارگیری ذخیره سازیهای نفتی کشورهای OECD ، مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۸۸، ۴۶-۲۵.

- 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", Grey Systems: 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, 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 29(4).0002, 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, 15(2): 1-22.
- Hou Aijun, Suardi Sandy (2012). A nonparametric GARCH model of crude oil price return volatility. Energy Economics, 34(2): 618-626.

- Lanza Alessandro, Manera Matteo, Giovannini Massimo(2005).Modeling and forecasting cointegrated relationships among heavy oil and product prices. *Energy Economics*, 27(6): 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*, 32(6): 1499-1506.
- He Kaijian, Yu Lean, Lai Kin Keung(2012). Crude oil price analysis and forecasting using wavelet decomposed ensemble model. *Energy*, 46(1): 564-574.
- 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*, 2016, 47(110-121).
- Behradmehr, N. (1387). Oil price forecasting with using ANNs and wavelet smoothing. *Journal of studies energy economic*, 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*, 26(3),301-308.
- Zhou, W., & He, J. M. (2013). “Generalized GM (1, 1) model and its application in forecasting of fuel production”. *Applied Mathematical Modelling*, 37(9), 6234-6243.
- Kayacan, E., Kaynak, O. & Ulutas, B. (2010). “Grey system theory- based models in time series prediction”. *Expert Systems with Application*, 37(2), 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*. 8(3), 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*.
- Julong, Deng(1989). Introduction to Grey System Theory, *The Journal of Grey System* 1, 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*,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 165 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. www.elsevier.com/locate/energy ,Energy 178 781-803.
- 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 89 19-27.
- Li S, Li R.(2017). Comparison of forecasting energy consumption in Shandong, China Using the ARIMA model, GM model, and ARIMA-GM model. Sustainability 2017, 9, 1181;doi:10.3390/su9071181.
- 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 151-167.

Brent crude oil Price Forecast with Hybrid Model of Nonlinear Grey Model and Linear Arima Waste Correction

Hossein Yadegari¹

PhD Student in Oil and Gas Economics, Allameh Tabatabai University, yadegaryh@yahoo.com

Teimur Mohammadi

Associate Professor, Department of Theoretical Economics, Allameh Tabatabai University,
atmohmadi@gmail.com

Hamid Amadeh

Associate Professor, Department of Energy Economics, Allameh Tabatabai University,
amadeh@gmail.com

Abdolrasol Qasemi

Associate Professor, Department of Theoretical Economics, Allameh Tabatabai University,
ghasemi.a@hotmail.com

Hamidreza Mostafaei

Associate Professor, Department of Statistics, Islamic Azad University, h_mostafaei@iau-tnb.ac.ir

Received: 2021/11/08 Accepted: 2022/01/10

Abstract

The characteristics of crude oil and the factors affecting the price of this energy carrier have caused its price forecast to always be considered by researchers, oil market activists, governments and policy makers. Since the price of crude oil is affected by many factors, therefore, continuous studies should be done in this way so that the estimates made over time, the results are more accurate and more reliable. In this paper, a combination of nonlinear grey model and Arima is used to forecast the price of crude oil and a combined nonlinear grey-Arima model is proposed. Brent crude oil price data for seasonal, monthly and weekly periods have been used to investigate this technique. In the quarterly forecast of data for the first quarter of 2015 to the fourth quarter of 2021, in the monthly forecast of data for January 2020 to December 2021 and in the weekly forecast of data for the second quarter of March 2020 until the first week of December 2021 has been used. The results showed that the mean absolute value of the error percentage and the square root of the mean square error in the hybrid model are always lower than the single theory-based model or the nonlinear grey single theory. Also, the hybrid model has a higher ability to explain and cover price fluctuations in different time periods and is more reliable than the single model. Therefore, a hybrid model can be used instead of single and single theory-based models for more accurate forecasting.

JEL Classification: Q47, C53, C01

Keywords: Crude Oil Price, Crude Oil Price Forecast, NGM Nonlinear Grey Model, ARIMA Model, NGM-ARIMA hybrid correction model

1. Corresponding Author