مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال دوازدهم، شماره چهارم (پیاپی ۴۷)، زمستان ۹۴، ص ص ۹۷-۸۳
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

مقایسه عملکرد مدل‌های پیش‌بینی خاکستری با هدف پیش‌بینی قیمت نفت خام

حبیب‌اله جوانمرد*[1]، سیده فاطمه فقیدیان[2]
۱-دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، گروه مدیریت صنعتی، اراک، ایران
۲-دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی صنایع، تهران، ایران

رسید مقاله: ۲۵ خرداد ۱۳۹۴
پذیرش مقاله: ۲۶ آبان ۱۳۹۴

چکیده
به‌کارگیری روش‌های کمی پیش‌بینی در زمینه‌های مختلف مورد توجه گسترده قرار گرفته است. تغییرات سریع محیط‌های ناشناخته در دنیای واقعی و به‌ویژه در بازارهای مالی سبب ایجاد مشکلاتی برای پیش‌بینی‌کنندگان برای تامین داده‌های مورد نیاز شده است. برتری مدل‌های خاکستری نسبت به مدل‌های پیش‌بینی متداول در این است که مدل‌های خاکستری برای پیش‌بینی رفتار سیستم نیاز به تعداد کمی داده دارد و نیز رفتار سیستم را بدون دانستن مدل ریاضی آن پیش‌بینی می‌کند. هدف از این پژوهش معرفی و استفاده از مدل‌های پیش‌بینی خاکستری برای پیش‌بینی قیمت نفت خام اوپک و مقایسه دقت این مدل‌ها در پیش‌بینی قیمت نفت خام می‌باشد. نتایج حاصله نشان داد که مدل چرخشی و مدل متداول خاکستری، مدل‌های مناسبی برای پیش‌بینی قیمت نفت محسوب می‌شود و از دقت بالایی برخوردار است.

کلمات کلیدی: مدل پیش‌بینی خاکستری، مدل چرخشی خاکستری، مدل ورهالست، مدل جدید(نول) خاکستری، قیمت نفت خام.

۱ مقدمه
پیش‌بینی از مهم‌ترین عوامل موثر در بهبود عملکرد مدیران و تصمیم‌گیرندگان در حوزه‌های علمی، صنعتی، مالی و سیاسی است. برای کاهش ریسک عملکرد مدیران صنعتی و مدیران مالی در شرایط ناپایدار اقتصاد امروز، پیش‌بینی از موقعیت‌های آینده می‌تواند منجر به عملکرد موفق مدیران گردد. کاهش ریسک تصمیم‌گیری مدیران برای سیستم‌های مالی و برای بهبود عملکرد سیستم‌های تولیدی مانند کنترل موجودی، برنامه‌ریزی تولید و بودجه‌بندی شرکت‌ها رویکردی حیاتی دارد. پیش‌بینی، فرآیند تصویر آینده بر مبنای داده‌های تاریخی است که در حوزه‌های مختلف ازجمله بازارهای مالی، صنعت توریسم، مدیریت و بازاریابی و انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. پیش‌بینی در بازارهای مالی بسیار پیچیده است و دلایل این پیچیدگی را می‌توان این‌گونه خلاصه

*عهده دار مکاتبات
آدرس الکترونیک:h-javanmard@iau-arak.ac.ir

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

کرد: ۱) ناایستایی داده‌ها، ۲) غیر خطی بودن روند داده‌ها، ۳) تغییرات زیاد داده‌ها [۲]. یکی از مهم‌ترین بازارهای مالی، بازار نفت است. سیستم قیمت‌گذاری نفت در این بازارها از پیچیده‌ترین، مبهم‌ترین و غیرشفاف‌ترین سیستم‌های قیمت‌گذاری است. نفت خام به عنوان مهم‌ترین کالای استراتژیک در اقتصاد جهانی، ماده‌ای حیاتی برای کشورهای صنعتی و سنگ بنای اقتصاد کشورهای عضو اوپک محسوب می‌شود. نفت را می‌توان یکی از متغیرهای موثر در تعیین بسیاری از معادلات منطقه‌ای و بین‌المللی دانست. از این رو نفت جزو معدود کالاهایی است که علاوه بر بعد اقتصادی و فنی، دارای بعد سیاسی و اجتماعی نیز هست.

کشورهای عضو اوپک، اغلب کشورهای در حال توسعه با ساختار اقتصادی ناپایدار هستند. اقتصاد این کشورها وابستگی شدیدی به نفت دارد و همین امر این کشورها را در جرگه کشورهای تک محصولی قرار می‌دهد. از این رو نوسانات شدید قیمت نفت می‌تواند سبب بروز بحران‌های اقتصادی مختلفی از جمله رکود، تشدید تورم و یا هر دو شود. شوک‌های نفتی ناشی از نوسانات قیمت نفت می‌تواند اثرات متفاوتی بر اقتصاد کشورهای عضو اوپک داشته باشد و علت آن را می‌توان در تفاوت زیر ساخت بخش‌های اقتصادی و سیاسی هر جامعه و یا در درجه وابستگی بودجه آن کشور به درآمدهای ارزی حاصل از فروش نفت و یا در سیستم پرداخت مالیاتی جستجو کرد. به همین علت پیش‌بینی صحیح قیمت نفت خام کشورهای عضو اوپک، می‌تواند نقش بسزایی در ایمن‌سازی اقتصاد این کشورها در مقابل اثرات ناشی از این نوسانات داشته باشد.

پیش‌بینی قیمت نفت خام تنها حوزه مورد علاقه محققان علمی-پژوهشی نبوده؛ بلکه مورد توجه بسیاری از محافل سیاسی- اقتصادی نیز بوده است. تصمیم‌گیرندگان سیاسی و پژوهشگران اقتصادی همواره درصدد اطلاع از پیش‌بینی صحیح قیمت نفت خام بوده‌اند. بدیهی است صحت و دقت این پیش‌بینی‌ها می‌تواند از جمله رموز موفقیت سیاستگزاران محسوب شود.

امروزه با وجود روش‌های متعدد پیش‌بینی، هنوز هم پیش‌بینی دقیق در بازارهای مالی کار چندان ساده‌ای نیست. تحقیقی پیرامون ادبیات موضوع مربوط به پیش‌بینی در سیستم‌های مالی و همچنین تحقیقات متعدد انجام شده در بازارهای مختلف و به‌ویژه بازارهای مالی همچون بازارهای ارز، بازار بورس اوراق بهادار، بازار سکه و طلا، بازار فلزات قیمتی و نیز بازار نفت و سایر انرژی‌های مصرفی همگی نشانگر اهمیت موضوع مورد بحث می‌باشد. گرچه مطالعات مدل‌های زیادی در حوزه پیش‌بینی قیمت نفت معرفی کرده‌اند؛ اما این مدل‌ها هم مزایا و هم نقایص و کمبودهایی دارند.

برای استفاده از مدل‌های موجود پیش‌بینی قیمت نفت، شناخت ساختار سیستم قیمت‌گذاری نفت در سطح بین‌المللی ضروری است. با وجود این آیا ساختار سیستم قیمت‌گذاری در سطح بین‌المللی کاملاً شناخته شده و شفاف است؟ آیا محققان این زمینه در مدل‌های پیش‌بینی خود از تمامی عوامل اثرگذار استفاده کرده‌اند؟ آیا اطلاعات استفاده شده توسط این محققان کاملاً شفاف و کافی است؟ اینها سوالاتی است که از درجه اعتماد به دقت و صحت مدل‌های موجود پیش‌بینی قیمت نفت می‌کاهد. بی‌تردید شناسایی و به‌کارگیری تمامی پارامترهای اثرگذار بر بازارهای جهانی نفت منجر به پیچیدگی بیش‌ترمدل‌های پیشنهادی و گاه عدم اثرگذاری مدل‌های مذکور می‌شود. مدل پیش‌بینی خاکستری به عنوان هسته اصلی تئوری سیستم‌های خاکستری، مزایای ایجاد یک

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

مدل با داده‌های کم و غیرقطعی را دارد و ابزاری مناسب برای پیش‌بینی سیستم‌هایی با ساختار پیچیده و نامطمئن در کوتاه مدت است [۳]. پژوهش حاضر با معرفی تئوری سیستم خاکستری و مدل‌های پیش‌بینی خاکستریبا مقایسه مدل‌های موجود خاکستری، مدلی مناسب برای بهبود عملکرد پیش‌بینی قیمت نفت معرفی می‌کند.

۲ تئوری سیستم های خاکستری

بعد از انقلاب فرهنگی در چین (۱۹۷۶)، دولت چین در سطوح مختلف به شدت درگیر برنامه‌ریزی‌های اقتصادی بود و به‌دلیل آثار شدیداً مخرب انقلاب فرهنگی، تقریباً هیچ داده‌ی تاریخی و آماری باقی نمانده بود. به همین علت هیچ یک از تئوری‌های علمی موجود که بر پایه آمار بودند، قابل قبول نبود. برای برخورد با این چالش «پروفسور جولانگ دنگ »و پیروانش در چین از سال (۱۹۸۰) تحقیقاتی را با نام تئوری سیستم‌های خاکستری شروع کردند [۴].

دنگ [۵] حاصل تحقیق خود را در دانشگاه علوم و تکنولوژی هازمونگ چین با معرفی مفاهیم و تئوری خاکستری در مقاله‌ای تحت عنوان «مسایل کنترل سیستم‌های خاکستری» در مجله بین‌المللی « Systems & control Letters» به چاپ رسانید. از آن پس تئوری سیستم‌های خاکستری به طور رسمی معرفی شد. دنگ بر روی پیش‌بینی و کنترل سیستم‌های اقتصادی و سیستم‌های فازی مطالعات فراوانی داشت و با سیستم‌های با عدم قطعیت بالا مواجه بود. شاخص‌های این سیستم‌ها به سختی با ریاضیات فازی و یا آمارو احتمالات توصیف می‌شد. ریاضیات فازی به طور کلی با مسایلی مواجه است که عدم قطعیت توسط خبرگان به‌وسیله توابع عضویت گسسته/پیوسته قابل بیان است. آمار و احتمالات نیز به توابع توزیع و نمونه‌گیری بالا جهت رسیدن به روایی لازم نیاز دارد [۶] و هر دوی این روش‌ها نیاز به حجم داده فراوان دارد.

مزیت اصلی تئوری سیستم خاکستری نیاز آن به داده با حجم کم است. در واقع تئوری سیستم‌های خاکستری به عنوان یک روش بسیار موثر برای حل مسایل با داده‌های گسسته و اطلاعات ناقص مطرح شده است [۷و۸].

تئوری خاکستری شامل پنج بخش اصلی است که عبارت است از: پیش‌بینی خاکستری، رابطه خاکستری، تصمیم خاکستری، برنامه‌ریزی خاکستری، کنترل خاکستری. مدل پیش‌بینی خاکستری را می‌توان هسته اصلی تئوری خاکستری دانست.

عدم قطعیت موجود در مسایل مختلف تولید، اقتصاد و غیره ریشه در دو نوع عدم قطعیت دارد. اولین نوع عدم قطعیت، عدم قطعیت تصادفی است که ناشی از ماهیت تصادفی مساله است. در این حالت استفاده از روش‌های آماری و احتمالات و الگوهای توابع توزیع کاربردی است. مطالعه این جنبه از پدیده‌ها وابسته به نمونه‌هایی با حجم زیاد است و این فرضیه است که نمونه‌ها از یک الگوی مشخص تحت عنوان تابع توزیع احتمال پیروی می‌کنند [۹] دومین نوع عدم قطعیت، «عدم قطعیت ادراکی» است که ناشی از پیچیدگی ذاتی پدیده‌ها و کمبود اطلاعات جامع در مورد آن است [۹]. برای توصیف و مطالعه این جنبه از پدیده‌ها تئوری سیستم‌های خاکستری به‌عنوان بسط‌یافته‌ی تئوری فازی در شرایط با اطلاعات ناکامل توسعه یافته است. مزیت

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

تئوری خاکستری بر تئوری فازی این است که تئوری خاکستری شرایط فازی بودن را دربر می‌گیرد. به عبارت بهتر تئوری خاکستری می‌تواند به خوبی در شرایط فازی عمل کند [۶]. به‌کارگیری تئوری فازی مستلزم تشخیص تابع عضویت مربوطه بر اساس تجربه خبرگان است؛ اما تئوری خاکستری بدون در نظر داشتن تابع عضویت و بر اساس محدوده اطلاعات در دسترس نیز به‌خوبی عمل می‌کند [۱].

پیش‌بینی در بازارهای مالی معمولاً بر اساس سری‌های زمانی صورت می‌گیرد؛ اما به‌دست آوردن داده‌هایی به صورت سری زمانی مستلزم صرف هزینه و زمان زیادی است. روش‌های سنتی پیش‌بینی معمولاً بر پایه استفاده از سری‌های زمانی با داده‌های فراوان است؛ اما طی چند دهه اخیر محققان به روش‌هایی گرایش پیدا کرده‌اند که با استفاده از تعداد داده‌های کم‌تر بتوانند به نتایج مطلوب‌تری دست پیدا کنند. از این رو به‌دست آوردن داده‌های زمانی مختصر و جامع که بتواند اطلاعات کافی و جامعی را برای مدل‌سازی فراهم کند، بسیار ضروریست. محیط‌های ناآرام اقتصادی با ریسک پذیری بالا، سیستم‌های پیچیده و مبهم، رشد سریع تکنولوژی، همگی منجر به پیش‌بینی در بازه‌های زمانی کوتاه مدت و استفاده از داده‌های کم برای پیش‌بینی سری‌های زمانی شده است. اینها همگی از دلایلی است که محققان این پژوهش را به سمت پیش‌بینی در محیط‌های خاکستری رهنمون می‌سازد.

اساس پیش‌بینی سری‌های زمانی استفاده از روند اطلاعاتی یک متغیر در بازه زمانی گذشته و به‌کارگیری این اطلاعات برای مدل‌سازی روند فعلی آن متغیر و در نهایت پیش‌بینی روند آینده آن متغیر است. تلاش تمامی محققان این زمینه، ساختن مدل‌هایی کارآمد و کارا با دقت پیش‌بینی بالاست. در مقایسه با مدل‌های باکس – جنکینز و تکنیک‌های هوش مصنوعی که به تلاش و وقت زیادی برای مشخص کردن پارامترها و مدل‌سازی مراحل مختلف نیاز دارد، مدل پیش‌بینی خاکستری بسیار ساده‌تر و کاربردی‌تر است. به بیان دیگر این مدل نیاز به محاسبات سخت و پیچیده ریاضی و یا برنامه نویسی‌های پیچیده و دشوار ندارد و در مقابل نتایج نشان می‌دهد، استفاده از این مدل‌ها منجر به دقت بالاتری نسبت به تکنیک‌های پیش‌بینی فازی و سیستم عصبی می‌شود [۱۰]. تحقیقات اولیه در زمینه پیش‌بینی خاکستری بیش‌تر به پیش‌بینی تقاضای انرژی می‌پرداخت [۳] در سال‌های بعد محققان از این مدل‌ها در زمینه‌های گوناگونی استفاده کردند.

ترونگ [۱۱] مدل اصلاح شده پیش‌بینی خاکستری را برای پیش‌بینی قدرت موج و کنترل انرژی موج‌های نامنظم انتخاب کرد. لین‌چیاو [۱۲] مدل پیش‌بینی خاکستری را در زمینه پیش‌بینی در پروژه‌های ساختمانی به‌کار برد. محققان تایوانی وانگ و همکارانش [۱۳] مقاله‌ای تحت عنوان بهبود موجودی کارا در RFID زنجیره‌تامین جهانی به‌وسیله مدل پیش‌بینی خاکستری را به چاپ رساندند. سانگ‌شنگ [۱۴] در مقاله‌ای به پیش‌بینی تعداد افراد استفاده کننده از بازی‌های اینترنتی و سود حاصل از آن در محیط خاکستری پرداختند. در همین سال دو محقق تایوانی با نام‌های مو–شانگ و هویی‌ون [۱۵] از مدل پیش‌بینی خاکستری برای پیش‌بینی رشد یا آرایش کار در چین استفاده کردند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

۳ مدل‌های پیش‌بینی خاکستری

در مدل‌های پیش‌بینی خاکستری، مقادیر آینده را برای سری‌های زمانی پیش‌بینی می‌کنند که در بازه‌های زمانی یکسان اندازه‌گیری شده است. اساس پیش‌بینی این مدل‌ها بر پایه جدیدترین مجموعه داده‌ها شکل می‌گیرد و تمامی داده‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی دارای مقادیری مثبت هستند و این دنباله داده‌ها، ثابت‌اند [۱۰]. وظیفه اصلی تئوری سیستم‌های خاکستری، استخراج قانون واقعی حاکم بر سیستم با استفاده از دنباله سری داده‌های موجود است. این پروسه به عنوان تولید دنباله خاکستری شناخته شده است [۱۶ و۱۷].

۳-۱ مدل GM(n,m)

دنگ [۹]، لین و لیو [۱۷] مدلGM(n,m)را به عنوان اصلی‌ترین مدل پیش‌بینی در تئوری خاکستری معرفی کرده‌اند. اساس مدل کلاسیک پیش‌بینی خاکستری، مدل نمایی است [۱۸] و مدل کلاسیک GM(۱,۱) اساساً یک مدل نمایی است [۱۹]. مدل GM(n,m) مدل خاکستری است به گونه‌ای که n درجه معادله دیفرانسیل استخراج شده از دنباله اپراتور جمع‌کننده AGO است که این دنباله خود وابسته به دنباله اصلی مدل است و m نمایانگر تعداد متغیرهای موجود در مدل است. ($m-۱$) متغیر آن مستقل و یک متغیر آن وابسته است و معادله دیفرانسیل خطی آن به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۱۸].

$$\frac{d^{n}x_{۱}^{(۱)}}{dt^{n}}+a_{۱}\frac{d^{n-۱}x_{t}^{(۱)}}{dt^{n-۱}}+\ldots+a_{n-۱}\frac{d\,x_{t}^{(۱)}}{dt}+a_{n}x_{t}^{(۱)}=b_{۱}x_{۱}^{(۱)}(t)+b_{۲}x_{۲}^{(۱)}(t)+\ldots+b_{m}x_{m-۱}^{(۱)}(t) \quad (۱)$$

حال اگر m = ۱ و n = ۱ باشد، معادله دیفرانسیل ان به فرم رابطه (۲) تبدیل می‌شود:

$$\frac{d\,x_{۱}^{(۱)}}{dt}+a_{۱}x_{۱}^{(۱)}=b \quad (۲)$$

برای هموارسازی خط سیر تصادفی داده‌های اولیه مدل به جهت استفاده در مدل GM(۱و۱)؛ این داده‌ها تحت عملکرد اپراتور جمع‌کننده AGO قرار می‌گیرند [۶و۱۶].در واقع مهم‌ترین و عمومی‌ترین رویه در روند تولید دنباله خاکستری را می‌توان اپراتور AGO دانست [۱۲]. به عبارت بهتر این اپراتور الگوی نظم درونی داده‌ها و یا روند سری داده‌ها را نمایان می‌کند [۲۰]. $x^{(۰)}$ به عنوان دنباله اصلی داده‌ها در نظر گرفته می‌شود:

$$x^{(۰)}=\left(x^{(۰)}(۱),x^{(۰)}(۲),\ldots,x^{(۰)}(n)\right)$$

و پس از عملکرد اپراتور AGO دنباله $x^{(۱)}$ به صورت رابطه (۳) محاسبه شده است:

$$\{x^{(۰)}(k)=x^{(۰)}(k)=\sum_{k=۱}^{۱}x^{(۰)}(k),\sum_{k=۱}^{۲}x^{(۰)}k,\ldots,\sum_{k=۱}^{n}x^{(۰)}(k) \quad (۳)$$

معادله دیفرانسیلی که در مدل خاکستری از آن استفاده می‌شود متفاوت از سایر معادلات دیفرانسیل است. سایر معادلات دیفرانسیل را برای مفاهیم پیوسته و دیفراسیل‌پذیر استفاده می‌کنند، در صورتی‌که سیستم خاکستری قادر به استفاده از دنباله داده‌های گسسته برای ساختن مدل است. آن هم در زمانی‌که مفاهیم نه دیفرانسیل‌پذیرند نه پیوسته، به علاوه معادلات دیفرانسیلی عادی در محیط‌های بی‌کران (نامتناهی) اطلاعاتی استفاده می‌شود، در

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

صورتی‌که دنباله داده‌های خاکستری متعلق به فضای اطلاعاتی متناهی است [۲۱]. مدل GM(۱,۱) در تئوری خاکستری را می‌توان به شرح زیر تعریف کرد [۲۰].

$$\sum_{i=0}^{h} a_i \frac{d^{(i)} x_1^{(1)}}{dt^i} = \sum_{j=2}^{N} b_j x_j^{(1)} \quad (۴)$$

اگر $h = 1$ و $N = 2$.

$$\frac{d\, x_1^{(1)}}{dt} = a_1 x_1^{(1)} = b_2 \Rightarrow \frac{d\, x_1^{(1)}}{dt} + a_1 x_1^{(1)} = b \quad (۵)$$

در نتیجه معادله دیفرانسیل خاکستری مدل GM(۱,۱) به صورت رابطه (۶) به‌دست می‌آید.

$$x^{(0)}(k) + a z^{(1)}(k) = b_2 \Rightarrow x^{(0)}(k) + a z^{(1)}(k) = b \quad (۶)$$

A را ضریب توسعه (بهبود)[1] و b را ضریب ورود خاکستری[2] یا پارامترکنترل خاکستری می‌نامند [۱۶و۲۲] معادله سفیدشده دیفرانسیل خاکستری می‌تواند به‌وسیله دو مقدار تولید شود:

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + a x^{(1)} = b \quad (۷)$$

رابطه بین معادله دیفرانسیل خاکستری و معادله سفید شده آن به‌صورت رابطه‌های (۸) و (۹) است [۱۲و۲۳]:

$$x^{(0)}(k) = x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1) \approx \frac{dx^{(1)}(t)}{dt} \quad (۸)$$

$$z^{(1)}(k) = x^{(1)}(t) \quad (۹)$$

به منظور به دست آوردن مقادیر a و b باید دنباله داده‌های اصلی و مقدار $z^{(1)}(t)$ را در معادله دیفرانسیل خاکستری قرار داد و به این ترتیب $n-1$ معادله خطی به‌دست می‌آید [۱۲]. برای تولید $az^{(1)}(n)$ از دنباله $x^{(1)}$ در رابطه (۱۰) محاسبه شده است:

$$z^{(1)} = \left(z^{(1)}(2), \ldots, z^{(1)}(n) \right) \quad (۱۰)$$

$$z^{(1)}(k) = a x^{(1)}(k) + (1-\alpha) x^{(1)}(k-1), \alpha \in (0,1)$$

محققین معمولاً مقدار α را برابر ۰/۵ در نظر می‌گیرند و بدین ترتیب دنباله $z^{(1)}$ را می‌توان دنباله میانگین سری $x^{(1)}$ دانست؛ البته تعیین و به‌کارگیری مقادیر متفاوتی برای α موضوع تحقیق بسیاری از محققین بوده است و همچنین تعیین مدلی برای دنباله $z^{(1)}$ نیز منجر به ارایه مدل‌های بهبود یافته خاکستری نیز شده است. چن و چانگ

1- Development coefficient
2- Grey input coefficient

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[۱۲] در مقاله خود نشان دادند که:

$$\frac{d\,x_1^{(1)}}{dt} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{x_1^{(1)}(t+\Delta t) - x_1^{(1)}(t)}{\Delta t} \tag{۱۱}$$

$$\frac{d\,x_1^{(1)}t}{dt} = x^{(1)}(t+1) - x^{(1)}(t) = x^{(0)}(t+1) \;\; when \;\; \Delta t \to 1 \tag{۱۲}$$

معادلات خطی را می‌توان به فرم ماتریسی تبدیل کرد:

$$B\,\hat{W} \;=\; Y$$

$$Y \;=\; \begin{bmatrix} x^{(0)}\,(2) \\ x^{(0)}\,(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}\,(n) \end{bmatrix} \;\; ; \quad B \;=\; \begin{bmatrix} -z^{(1)}\,(2) & 1 \\ -z^{(1)}\,(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}\,(n) & 1 \end{bmatrix} \;\; ; \quad \hat{W} \;=\; \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \tag{۱۳}$$

حال با استفاده از روش حداقل مربعات، می‌توان نوشت:

$$\hat{W} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y \tag{۱۴}$$

با تعیین مقادیر a و b می‌توان به حل معادله سفیدشده رابطه (۱۵) پرداخت:

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + ax^{(1)}(t) = b \tag{۱۵}$$

و از حل آن نتایج زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} = -a\left(x^{(1)}(t) - \frac{b}{a}\right) \tag{۱۶}$$

$$\frac{d\left(x^{(1)}(t) - \frac{b}{a}\right)}{dt} = -a\left(x^{(1)}(t) - \frac{b}{a}\right) \tag{۱۷}$$

حال اگر $x^{(1)}(t) - \frac{b}{a} = \omega, \quad x^{(1)}(t) = x^{(0)}(t)$ و $t=1$ باشد، فرمول به شرح رابطه (۱۸) محاسبه می‌شود:

$$\hat{x}^{(1)}(n+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}\right)e^{-n} + \frac{b}{a} \tag{۱۸}$$

همان‌طور که در روند بالا برای فرمول‌بندی مدل مشاهده گردید، در این روند به جای استفاده از دنباله اصلی داده‌ها از دنباله تولید شده توسط اپراتور AGO استفاده می‌شود؛ بنابراین لازم است که مجدداً اپراتور جدیدی

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

معرفی گردد. این اپراتور، اپراتور معکوس جمع[1] است IAGO که با استفاده از اپراتور ذکر شده، می‌توان نوشت:

$$x^{(0)}(i) = x^{(1)}(i) - x^{(1)}(i-1)\ ,\ \ x^{(0)}(1) = x^{(1)}(1) \qquad (19)$$

حال فرمول پیش‌بینی مدل GM(n, m) با استفاده از اپراتور ذکرشده، برابر است با:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-ak}.(1-e^{a}) \quad k = 1, 2, \ldots \qquad (20)$$

۳-۲ مدل چرخشی خاکستری

اساس ساختار مدل چرخشی خاکستری[2] RGM (۱,۱) به‌کارگیری داده‌های جدیدتر برای محاسبه مقادیر پیش‌بینی است. تفاوت اصلی این مدل با مدل متداول GM (۱,۱) جایگزین جدیدترین داده و حذف قدیمی‌ترین داده و محاسبه مجدد دنباله‌های مورد نیاز، برای ساخت مدل پیش‌بینی است [۱۱]. عملکرد این مدل به این صورت است که: با ورود داده جدید، قدیمی‌ترین داده از دنباله داده‌ها حذف می‌شود و به این ترتیب همواره تعداد داده‌های موجود در دنباله اصلی مدل پیش‌بینی ثابت می‌ماند. مثلاً اگر دنباله اولیه متشکل از پنج داده مانند $\left(x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4), x^{(0)}(5)\right)$ باشد از دنباله قبل برای پیش‌بینی $x^{(0)}(6)$ استفاده می‌شود. روند جایگزینی داده‌ها در دنباله‌ها تا جایگزینی تمامی داده‌های دنباله اصلی ادامه می‌یابد [۲۰ و۲۴].

۳-۳ مدل خاکستری ورهالست

مدل ورهالست[3] اولین بار توسط یک زیست‌شناس آلمانی به همین نام معرفی گردید. هدف اصلی این مدل کاهش توسعه یا پیشرفت مدل در دنیای واقعی است. این تاثیر بر شرح چگونگی افزایش یافتن منحنی مدل است. اگر دنباله اصلی داده‌ها دارای توزیعی شبیه به منحنی‌های δ باشد؛ یعنی با گذشت زمان رشد افزایش داده‌ها به فرم اشباع درآید، به‌کارگیری این مدل می‌تواند مفید واقع شود. این مدل نیز بر پایه مدل متداول GM ساخته شده است. بر طبق تئوری خاکستری مدل خاکستری ورهالست به صورت رابطه (۲۱) تعریف شده است [۲۳]:

$$\hat{x}^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b[z^{(1)}(k)]^{2} \qquad (21)$$

و معادله سفید شده آن به فرم رابطه (۲۲) بیان می‌شود:

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + ax^{(1)}(t) = b[x^{(1)}(t)]^{2} \qquad (22)$$

که در آن a و b پارامترهای فاصله‌ای هستند.

پس از محاسبه و جایگذاری پارامترهای a و b، در نهایت مدل پیش‌بینی به صورت رابطه (۲۳) معرفی می‌شود:

1- Inverse accumulated generating operation
2- Rolling GM(1,1) model
3- Verhulst model

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

$$\hat{x}^{(1)} = \frac{ax^{(1)}(1)}{bx^{(1)}(1) + \left(a - bx^{(1)}(1)e^{a(k-1)}\right)} \quad (۲۳)$$

پس از اجرای اپراتور IAGO مقدار $\hat{x}^{(0)}(k)$ به‌صورت رابطه (۲۴) بیان می‌شود:

$$\hat{x}^{(0)}(k) = \frac{ax^{(0)}(1)\left(a - bx^{(0)}(1)\right)}{\left(bx^{(0)}(1) + (a - bx^{(0)}(1))\right)e^{a(k-1)}} \times \frac{(1-e^{a})e^{a(k-2)}}{(bx^{(0)}(1) + (a - bx^{(0)}(1)))e^{a(k-2)}} \quad (۲۴)$$

اگر $a < 0$ باشد، می‌توان نوشت:

$$\lim_{k\to\infty} \hat{x}^{(1)}(k+1) \to \frac{a}{b} \quad (۲۵)$$

این بدین معنی است که نقطه اشباع معادله پیش‌بینی نقطه $\frac{a}{b}$ است. هنگامی که k به اندازه کافی بزرگ انتخاب شود $\hat{x}^{(1)}(k+1)$, $\hat{x}^{(1)}(k)$ بسیار به یکدیگر نزدیک خواهند بود؛ زیرا خصیصه مدل خاکستری ورهالست؛ پیش‌بینی و تشریح پروسه در ناحیه‌ها و یا فضاهای اشباع شده است [۱۶].

۳-٤ مدل NGM(۱,۱)

مدل NGM'(۱,۱)[1] در سال ۲۰۱۲ در مقاله‌ای توسط ژی و همکاران [۲۵] معرفی شد. آنان هدف از ارایه این مدل را افزایش دقت در پیش‌بینی‌ها عنوان کردند و مدل خود را چنین معرفی نمودند. "این مدل، مدلی است برای پیش‌بینی سری‌های زمانی در فضای خاکستری، که برای پیش‌بینی پارامترهای مدل از گروهی از معادلات دیفرانسیل به جای یک معادله دیفرانسیل استفاده می‌شود. در دنیای واقعی بسیاری از دنباله‌ها بر پایه قوانین نمایی نیستند"[۲۵]، برای پیش‌بینی این گروه از داده‌ها، محققین این مقاله ادعا کردند که مدل ارایه شده توسط آنان مناسب این سری از داده‌هاست و معادله رابطه (۲۶) را معرف مدل NGM می‌دانند:

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = kb \quad (۲۶)$$

معادله دیفرانسیل مرتبه اول آن به‌صورت رابطه (۲۷) معرفی می‌شود و آن را معادله سفیدسازی شده برای مدل NGM می‌دانند:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = tb \quad (۲۷)$$

دنباله برآورد مجذور مربعات از معادلات دیفرانسیل خاکستری مدل به صورت رابطه (۲۸) بیان می‌شود:

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (۲۸)$$

1- Novel Grey Model

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

از طریق مینیمم‌سازی مقدار خطا، نیز می‌توان پارامترهای a و b را برآورد نمود:

$$\varepsilon = Y - B\hat{a}$$
$$S = \varepsilon^T \varepsilon = (Y - B\hat{a})^T (Y - B\hat{a}) = \sum_{k=2}^{n} (x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) - bk)^2 \quad (29)$$
$$\frac{ds}{da} = 0, \qquad \frac{ds}{db} = 0$$
$$a = \frac{\sum_{k=2}^{n} kz^{(1)}(k) \sum_{k=2}^{n} kx^{(0)}(k) - \sum_{k=2}^{n} k^2 \sum_{k=2}^{n} x^{(0)}(k) z^{(1)}(k)}{\sum_{k=2}^{n} k^2 \sum_{k=2}^{n} (z^{(1)}(k))^2 - (\sum_{k=2}^{n} kz^{(1)}(k))^2} \quad (30)$$
$$b = \frac{1}{\sum_{k=2}^{n} k^2} \left[\sum_{k=2}^{n} kx^{(0)}(k) + a \sum_{k=2}^{n} kz^{(1)}(k) \right] \quad (31)$$

حال اگر $x^{(0)}(1) = x^{(1)}(1)$ باشد، فرمول پیش‌بینی به صورت رابطه (۳۲) ارایه می‌شود:

$$\hat{x}^{(1)}(k) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} + \frac{b}{a^2} \right) e^{-a(k-1)} + \frac{b}{a} k - \frac{b}{a^2}, \; k = 1, 2, \ldots, n \quad (32)$$

مقادیر $\hat{x}^{(0)}(k)$ از طریق عملکرد اپراتور IAGO قابل محاسبه است.

٤ معیارهای ارزیابی مدل‌ها

هسو [۲۶] نشان داده که برای مقایسه مدل‌های پیش‌بینی باید تکنیک‌های مورد استفاده در مدل را با یکدیگر مقایسه کرد و باید این مقایسه در سرتاسر داده‌های پیش‌بینی شده نیز صورت بگیرد. برای مقایسه دقت مدل‌های ارایه شده از سه ابزار متداول استفاده می‌شود.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{k=2}^{n} \left(x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k) \right)^2, \; MAE = \frac{1}{n} \sum_{k=2}^{n} \left| x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k) \right| \quad (33)$$
$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{k=2}^{n} \left| \frac{x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)} \right| \times 100\%$$

به نقل ازسی‌فنگ‌لین [۶] لیوایز در سال ۱۹۸۲ و دلیورجیو در سال ۱۹۹۸ برای مقایسه قدرت پیش‌بینی مدل‌ها توسط ابزار MAPE و MSE, MAE چهار منطقه را تعیین کردند. اگر این مقادیر کم‌تر از ٪۱۰ باشد قدرت مدل را در دقت پیش‌بینی می‌توان عالی دانست و اگر بین ٪۱۰ تا ٪۲۰ باشد پیش‌بینی خوبی است و اگر در محدوده ٪۲۰ تا ٪۵۰ باشد قدرت پیش‌بینی به صورت قابل قبول است و اگر بیش‌تر از ٪۵۰ باشد، پیش‌بینی نادقیقی است.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

۵ روش اجرای تحقیق

روش تحقیق توصیفی ریاضی است و روش گردآوری اطلاعات کتابخانه‌ای و ابزار گردآوری استفاده از ابزار اسناد و مدارک است. داده‌های استفاده شده در این تحقیق، داده‌های روزانه قیمت نفت اوپک مربوط به دو هفته کاری متوالی است. این داده‌ها از سایت رسمی اوپک[1] استخراج شده‌است. از ۱۰داده اولیه برای مدل‌سازی استفاده شده و از سه داده آخر برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها استفاده می‌شود. در مجموع در این تحقیق از ۱۳ داده استفاده شده است.

سری داده‌های مورد استفاده از تاریخ ۲۰۱۲/۲/۶ تا ۲/۱۷/ تا۲۰۱۲ برای مدل‌سازی و از تاریخ ۲۰۱۲/۲/۲۱ تا تاریخ ۲۰۱۲/۲/۲۳ برای ارزیابی عملکرد مدل استفاده شده است.سری داده‌های روند مدل برابر است با:

$$A=\{۱۱۳ / ۳۹,۱۱۴ / ۶۸,۱۱۵ / ۱۸,۱۱۶ / ۲۶,۱۱۶ / ۴۱,۱۱۷ / ۱۹,۱۱۶ / ۶۳,۱۱۷ / ۹۴,۱۱۸ / ۱۳,۱۱۸ / ۵۹\}$$

دنباله تست مدل نیز به‌صورت زیر معرفی می‌شود:

$$A_T=\{۱۱۹ / ۱۹,۱۲۰ / ۸۷,۱۲۱ / ۶۹\}$$

٦ تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این قسمت نتایج حاصل از اجرای چهار مدل بیان شده و باتوجه به ساختار مدل‌ها، سری پیش‌بینی و سری باقیمانده‌ها از $\hat{X}^{(۰)}(۲)$, $\hat{E}^{(۰)}(۲)$ شروع می‌شود.

٦-۱ اجرای مدل GM(۱,۱)

$$a=-۰/۰۰۴۰۰۳۳۳۹۰۱۴ \qquad b=۱۱۴/۲۳۳۶۶۱۶$$

$$\hat{x}^{(۰)}(k+۱)=۱۱۴/۴۵۸۳۳۹۶\times e^{-ka}$$

سری پیش‌بینی مدل به شرح زیر است.

$$\hat{A}=\left\{\begin{matrix}۱۱۴ / ۹۱۷۴۷۳۶,۱۱۵ / ۳۷۸۴۴۹۳,۱۱۵ / ۸۴۱۲۷۴۱,۱۱۶ / ۳۰۵۹۵۵۵,۱۱۶ / ۷۷۲۵۰۰۹,۱۱۷ / ۲۴۰۹۱۷۸, \\ ۱۱۷ / ۷۱۱۲۱۳۷,۱۱۸ / ۱۸۳۳۹۶۲,۱۱۸ / ۶۵۲۳۴۷۷\end{matrix}\right\}$$

معیارهای ارزیابی عملکرد روند مدل عبارت است از:

$$MAE=۰/۲۵۷۷۷۷۷۷۸,\quad MSE=۰/۰۹۸۳۳۳۳۳۳,\ MAPE=۰/۰۰۲۲۱۱۷۹۹۰۴۶$$

و دنباله پیش‌بینی $\hat{A}_T$ به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{A}_T=\{۱۱۹ / ۱۳۳۴۵۰۹,\ ۱۱۹ / ۶۱۱۳۳۸۴,\ ۱۲۰ / ۰۹۱۱۴۲۹)$$

معیارهای ارزیابی عملکرد تست مدل عبارت است از:

1- www.opec.org

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

$MAE = ۰/۹۷۳۳۳۳۳۳۷\ ,\ MSE = ۱/۳۸۳۷۳۳۳۳,\ MAPE = ۰/۰۰۸۰۲۵۳۲۸۰۷۹$

۶-۲ اجرای مدل چرخشی (۱ , ۱)

صادقی [۲۷] در تحقیق خود عملکرد شبکه‌های عصبی را با مدل ARIMA در پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت سبد نفت خام اوپک مقایسه کرد. در آن تحقیق قیمت نفت خام اوپک را تابعی از قیمت‌های ۵ روز گذشته عنوان کرد. البته او به مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی و مدلARIMA در مدل‌سازی و پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت سبد نفت خام اوپک پرداخت. نتایج تحقیق او نشان‌دهنده قدرت شبکه عصبی نسبت به مدل ARIMA است. ازاین‌رو برای اجرای مدل چرخشی ازمدل چرخشی ۵ روزه استفاده می‌شود.

$\hat{x}^{(۰)}(k+۱) = ۱۱۴/۰۷۴۱۵۱۱ \times e^{-ka}, \quad \hat{x}^{(۰)}(۶) = ۱۱۷/۱۹۸۶۷۱۴$

$\hat{x}^{(۰)}(k+۱) = ۱۱۴/۷۲۳۷۱۹۲ \times e^{-ka}, \quad \hat{x}^{(۰)}(۷) = ۱۱۷/۸۱۲۱۴۰۸$

$\hat{x}^{(۰)}(k+۱) = ۱۱۶/۱۵۱۳۱۴۸ \times e^{-ka}, \quad \hat{x}^{(۰)}(۸) = ۱۱۷/۰۹۵۱۶۲۷$

$\hat{x}^{(۰)}(k+۱) = ۱۱۶/۰۳۷۴۴۳۷ \times e^{-ka}, \quad \hat{x}^{(۰)}(۹) = ۱۱۸/۰۵۴۲۷۰۴$

$\hat{x}^{(۰)}(k+۱) = ۱۱۶/۴۴۲۱۹۵۵ \times e^{-ka}, \quad \hat{x}^{(۰)}(۱۰) = ۱۱۸/۵۰۹۸۳۴$

معیارهای ارزیابی عملکرد روند مدل عبارت است از:

$MAE = ۰/۴۴,\ \ MSE = ۰/۴۲۵۸۸,\ \ MAPE = ۰/۰۰۳۷۵۲۱۳۱۴۴۳$

برای برآورد داده‌های تست مدل به صورت زیرعمل می‌شود:

$\hat{x}^{(۰)}(k+۱) = ۱۱۶/۸۳۴۶۷۲۵ \times e^{-ka}, \quad \hat{x}^{(۰)}(۱۱) = ۱۱۹/۱۶۸۶۵۷$

$\hat{x}^{(۰)}(k+۱) = ۱۱۷/۴۱۸۹۱۱ \times e^{-ka}\ , \quad \hat{x}^{(۰)}(۱۲) = ۱۱۹/۵۱۹۳۴۵۹$

$\hat{x}^{(۰)}(k+۱) = ۱۱۷/۰۰۱۲۷۴۹ \times e^{-ka}\ , \quad \hat{x}^{(۰)}(۱۳) = ۱۲۱/۴۲۰۳۴۸۴$

معیارهای ارزیابی عملکرد تست مدل عبارتند از:

$MAE = ۰/۵۵۳۳۳۳۳۳۳۳\ \ ,MSE = ۰/۶۴۱۱۳۳۳۳۳۳,\ \ MAPE = ۰/۰۰۴۵۷۴۰۶۶۶۶۷$

۶-۳ اجرای مدل ورهالست

برای اجرای مدل برای سری داده‌ها، پارامترهای مدل به شرح زیرمحاسبه می‌شود.

$a = -۰/۳۸۴۶۳۲۸۸۲۱,\ \ b = -۲/۶۸۹۱۹۷۷۳۳ \times ۱۰^{-۴}$

$\hat{x}^{(۱)}(k+۱) = (-۴۳/۶۱۳۵۲۲۵) - ۰/۳۰۴۹۲۸۱۳۰۹ - (۰/۳۵۴۱۴۰۰۶۹)e^{ak}$

سری داده‌های پیش‌بینی مدل عبارت است از:

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

$$\hat{A}=\left\{\begin{matrix}۴۷ / ۲۱۵۹۲۱۱, ۶۳ / ۵۳۰۴۸۶۱, ۸۲ / ۵۹۰۱۰۱۴, ۱۰۲ / ۶۹۲۷۹۳۷, ۱۲۰ / ۹۴۸۰۳۵۸, ۱۳۳ / ۳۳۱۵۷۵۶, \\ ۱۳۷ / ۰۳۳۷۳۳۶, ۱۳۰ / ۹۴۷۸۱۵۶, ۱۱۶ / ۷۰۸۳۶۴۱\end{matrix}\right\}$$

معیارهای ارزیابی عملکرد روند مدل عبارت است از:

$$MAE = ۲۴ / ۴۷۲۲۲۲۲,\ \ MSE = ۱۰۳۴ / ۹۸۴۸۱,\ \ \ MAPE = ۰ / ۲۱۱۲$$

سری تست داده‌های پیش‌بینی عبارت است از:

$$\hat{A}_T = \{۹۷ / ۷۳۰۳۷۵, ۷۷ / ۶۵۵۲, ۵۹ / ۱۶۹۶۸۲\}$$

معیارهای ارزیابی عملکرد تست مدل عبارت است از:

$$MAE = ۴۲ / ۴۰۳۳۳۳۳۳,\ \ \ MSE = ۲۰۷۹ / ۵۰۰۳,\ \ MAPE = ۰ / ۳۵۰۴۳۳۳۳۳۳$$

٦-٤ اجرای مدل NGM(1,1)

همان‌طورکه اشاره شد اساس این مدل برپایه دسته معادلات خاکستری است و بر همین مبنا برآوردهای جدیدی برای پارامترهای a و b حاصل می‌شود.

۰۰۴۵۷۴۰۶۶۶۶۷

$$a = ۱ / ۷۴۵۵۰۱۱۷۴ \qquad b = ۲۰۴ / ۴۱۳۹۴۵۷$$

$$\hat{x}^{(۱)}(k) = ۶۳ / ۳۷۲۸۹۳۶۹ \times e^{-a(k-۱)} + ۱۱۷ / ۱۰۹۰۲۷۹k - ۶۹ / ۰۹۱۹۲۵۱۹$$

سری پیش‌بینی روند داده‌های مدل به شرح زیر بیان می‌شود:

۰۰۴۵۷۴۰۶۶۶۶۷

$$\hat{A}=\left\{\begin{matrix}۶۴ / ۷۹۸۳۴۷۰۵, ۱۰۷ / ۹۷۷۸۰۷۱, ۱۱۵ / ۵۱۵۱۰۵, ۱۱۶ / ۸۳۰۷۹۶۷, ۱۱۷ / ۰۶۰۴۶۰۶, ۱۱۷ / ۱۰۰۵۵۰۱, \\ ۱۱۷ / ۱۰۸۸۶۲۱, ۱۱۷ / ۱۰۷۴۵۵۵, ۱۱۷ / ۱۰۸۹۸۲۸\end{matrix}\right\}$$

معیارهای ارزیابی عملکرد روند مدل عبارت است از:

۷۴۰۶۶۶۶۷

$$MAE = ۶ / ۹۱۴۴۴۴۴۴۴,\ MSE = \ ۲۸۲ / ۸۸۴۳۸۸۹,\ \ MAPE = ۰ / ۰۶۰۱۳۷۵۷۸۸۹$$

سری پیش‌بینی تست داده‌ها نیز به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{A}_T = \{۱۱۷ / ۱۰۹۰۲, ۱۱۷ / ۱۰۸۵۷۴۹, \ ۱۱۷ / ۱۰۹۰۲۷۲\}$$

معیارهای ارزیابی عملکرد تست مدل عبارت است از:

$$MAE = ۳ / ۴۸۳۳۳۳۳۳۳,\ \ \ MSE = ۱۳ / ۲۱۶۳۶۶۶۷,\ \ \ MAPE = ۰ / ۰۲۸۸۱۴۷۸۳۳۳$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

۶-۵ نتایج عملکرد مدل‌ها

در مدل RGM(۱,۱) مقادیر MAPEMSE و MAE ، کم‌تر از ٪۱۰ است و قدرت مدل را در دقت پیش‌بینی می‌توان عالی دانست و در مدل GM(۱,۱) مقادیر MAPE و MAE کم‌تر از ٪۱۰ است و MSE بین ٪۱۰ تا ٪۲۰ است؛ بنابراین این مدل پیش‌بینی خوبی است، ولی در مدل NGM(۱,۱) و مدل ورهالست در محدوده قدرت پیش‌بینی تا حدودی قابل قبول و نادقیق قرار می‌گیرد؛ بنابراین از مدل‌های آزمون شده، مدل چرخشی خاکستری RGM(۱,۱) و مدل GM(۱,۱) نتایج بهتری را نشان می‌دهند و مدل خاکستری ورهالست و مدل NGM(۱,۱) برای پیش‌بینی قیمت نفت با این سری از داده‌ها مناسب نیستند. علت آن را می‌توان در ساختار این مدل‌ها دانست.

۷ نتیجه‌گیری

با توجه به رشد سریع تکنولوژی و جهانی شدن بازارهای مالی و اهمیت استراتژیک کالایی مانند نفت، نیاز به پیش‌بینی دقیق و کارای قیمت نفت چندین برابر شده است. همچنین تغییرات سریع و اثرگذار محیط‌های اقتصادی، سیاسی و اجتماعی در کشورهای تولیدکننده و مصرف‌کننده نفت، پیش‌بینی‌کنندگان را از نظر تامین داده‌های لازم برای حصول نتایجی دقیق و کارا دچار مشکل کرده است، از این‌رو محققان برآن شده‌اندکه به دنبال مدل‌هایی برای پیش‌بینی باشندکه به تعداد داده‌های کم‌تری نیاز داشته باشند. یکی از این مدل‌های پیش‌بینی که امروزه کاربرد گسترده‌تری در محیط‌های علمی بین رشته‌ای دارد، مدل‌های خاکستری است.

در این تحقیق برای پیش‌بینی قیمت نفت خام اوپک از مدل‌های خاکستری استفاده شده و برای مقایسه عملکرد این مدل‌ها از ابزارهای متداول این کار، یعنی MAE، MSE و MAPE استفاده شده است. نتایج حاصله حاکی از آن است که از مدل‌های موجود مدل چرخشی خاکستری RGM(۱,۱) و مدل GM(۱,۱) نتایج بهتری را نشان می‌دهند و مدل خاکستری ورهالست و مدل NGM(۱,۱) برای پیش‌بینی قیمت نفت با این سری از داده‌ها مناسب نیستند و علت آن را می‌توان در ساختار این مدل‌ها دانست.

محققان در تحقیقات آینده می‌توانند به بررسی این موضوع بپردازند که آیا برای پیش‌بینی قیمت‌ها در بازارهای مالی استفاده از مدل‌های ۲ متغیر (۱و۲) GM و یا مدل‌های (۲ و۱)GM مناسب‌تر است. محققان با توجه به پیشینه علمی خود می‌توانند نتایج حاصل از پیش‌بینی با مدل‌های خاکستری را با نتایج حاصل از سایر روش‌های پیش‌بینی سری‌های زمانی مانند خانواده ARIMA و یا شبکه‌های عصبی و یا به طورکلی روش‌های خانواده هوش مصنوعی مورد مقایسه قراردهند.

از آنجا که استفاده از کلیه سیستم‌های خاکستری در ایران به تازگی مورد استقبال قرارگرفته و با توجه به اینکه پیش‌بینی خاکستری را می‌توان هسته مرکزی تئوری سیستم‌های خاکستری دانست، محققان می‌توانند سایر مسایل اقتصادی مثلاً میزان تولید نفت را برای بازارهای نفتی و یا میزان مصرف انرژی مانند گاز، برق، بنزین و یاگازوئیل پیش‌بینی نمایند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

منابع

[۱] حافظی، ر.، شهرابی، ج، هداوندی، الف.، (۱۳۹۲). توسعه مدلی ترکیبی هوشمندبرای پیش‌بینی بازار سهام تهران. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۱۰(۲)، ۴۹-۳۵.

[۲۷] صادقی، ح.، ذولفقاری، م.، الهامی نژاد، م.، (۱۳۹۰). مقایسه عملکرد شبکه های عصبی و مدل ARIMA در مدل سازی و پیش‌بینی کوتاه مدت قیمت سبد نفت خام اوپک (با تاکید بر انتظارات تطبیقی). نشریه مطالعات اقتصاد انرژی،۸ (۲۸)، ۴۷-۲۵.

[2] Hussain, A. J., Knowles, A., Lisboa, P. J. G., El-Deredy, W., (2008). Financial time series prediction using polynomial pipelined neural networks. Expert Systems with Application, 35, 1186-1199.

[3] Guo-Dong, L., Daisuke, Y., Masatake N., (2006). A GM(1, 1)- Markov chain combined model with an application to predict the number of Chinese international airlines. Technological Forecasting & Social change.

[4] Lin, N., Sifeng, L., (1999). Several Programming Models with Unascertained Parameters and their Applications. J. Multi-Crit, Decis. Anal., 8, 206-220

[5] Deng, J. L., (1989). Introduction to Grey System Theory. Journal of Grey system, 1(1), 1-24.

[6] SifengLin, Y., (2006). Grey Information Theory and Practical Applications. Springer-Verlag London Limited.

[7] Wang, Z. L., Liu, S. F., (2005). Extension of grey superiority analysis. IEE Trans. System, Man Cybern. Conf., 1, 616-621.

[8] Wang, C. H., (2004). Predicting tourism demand using fuzzy time series and hybrid grey theory. Tourism Management, 367-374.

[9] Deng, J. L., (1985). Special issue of grey system approach. Fuzzy math, 5(2).

[10] Lin, Y. H., Chin-chiang, C, Pin-chan, L., Yong-Jun., L., (2012). Applying fuzzy grey modification model on inflow forecasting. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 25, 734-743.

[11] Trung, D. Q., Ahn, K. K., (2012). Wave prediction based on a modeling grey model MGM(1, 1) for real-time control of wave energy converters in irregular wave. Renewable Energy, 34, 242-255.

[12] LinChiao, M., et al., (2012). A novel dynamic progress forecasting approach for construction projects. Expert Systems with Application, 39, 2247-2255.

[13] Wang, S. W., Wang, C. T., Huang, S. C., (2011). Improving inventory effectiveness in RFID-enabled global supply chain with Grey forecasting model. Journal of Strategic information systems, 20, 307-322.

[14] Tsung-Sheng C., (2013). Grey theory analysis of on line population and online game industry revenue in Taiwan", Technological Forecasting &Social Change, 80, 175-185.

[15] Mu-Shang Y., Hui-wen V. T., (2013). On the fit and forecasting performance of grey predication models for china labor formation", Mathematical and computer Modeling, 57, 357-365

[16] Kayacan, E., Baris. U, Okyay, K., (2010). Grey system theory-based model in time series prediction. Expert systems with applications, 37, 1784-1789.

[17] Liu, S. F., Dang, Y. G., Fang, Z. G., (2004). Grey system Theory and its application. Third ed., science press, Bijing, (chapter 5)

[18] Lin, Y. H., Pin-chan, L., Ta-Peng, C., (2009). Adaptive and high-precision grey forecasting model. Expert systems with applications, 36, 9658-9662.

[19] Shang, L., (2012). Forecasting agricultural output with an improved grey forecasting model based on the genetic algorithm. Computers and Electronics in agriculture, 85, 33-39.

[20] Wen, K. L., (2009). Grey system theory and applications, Wunan Publisher, Taipei.

[21] Hui-Wen V. T., Mu-Shang Y., (2012).Forecasting performance of grey prediction for education expenditure and school enrollment", Economic of Education Review, 31, 452-462.

[22] Wang, J., Suling, Z., Weigangzhao, W., (2011). Optimal parameters estimation and input subset for grey model based on chaotic particle swarm optimization algorithm. Expert system with Applications, 38, 8151-8158

[23] Xu, J., Tao, T., Mao, T., long Q. I., (2011). Improvement of grey models by least squares",, Expert systems with Applications, 38, 13961-13966.

[24] Kung, L. M., Yu, S. W., (2008). Prediction of index futures returns and analysis of financial spillovers- a comparison between GARCH and the grey theorem. European Journal of operational research, 186, 1184-1200.

[25] Jie, C., Si-feng L., Bo Z., Nai-ming X., (2012). A novel grey forecasting model and its optimization", Applied Mathematical Modeling, No. 45, pp 234-256.

[26] Hsu, L. C., (2011). Using improved grey forecasting models to forecast the output to opto-electronics industry. Expert systems with applications, 38, 13879-13885.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]