کاربرد الگوریتم جستجوی گرانشی و مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته در مدل‌سازی قیمت نفت تک‌محموله ایران (رویکرد انتظارات تطبیقی)

علی امامی‌میبدی[1] حمید آماده[2] عباس معمارزاده[3] امین قاسمی‌نژاد[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۱۴

چکیده

مدل‌سازی رفتار قیمت نفت خام نقش مهمی در بهینه‌سازی تولید، بازاریابی و راهبرد بازار دارد، همچنین در سیاست‌های دولت نقش مؤثری را بازی می‌کند؛ چرا که دولت سیاست‌های خود را نه فقط بر مبنای وضع موجود، بلکه بر مبنای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت از متغیرهای کلیدی اقتصادی تدوین کرده و به اجرا می‌گذارد که از آن جمله می‌توان به قیمت نفت اشاره کرد. هدف از انجام این مطالعه مدل‌سازی قیمت نفت تک‌محموله ایران با استفاده الگوریتم جستجوی گرانشی و مدل واریانس ناهمسانی شرطی تعمیم‌یافته است. پیش‌بینی‌های این پژوهش که برای مقایسه عملکرد دو مدل انجام شده‌است، به صورت کوتاه‌مدت و درون نمونه‌ای و ایستا بوده؛ به گونه‌ای که داده‌ها به دو مجموعه داده‌های تخمین و داده‌های اعتبارسنجی تقسیم شده‌اند. افق اعتبارسنجی به صورت یک دوره به جلو و به مدت یک ماه می‌باشد. در این مطالعه، مدل‌هایی که برای پیش‌بینی قیمت نفت تک‌محموله ایران انتخاب شده است عبارتند از: واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته (۲ و ۱) و یک تابع کاب داگلاس برای الگوریتم جستجوی گرانشی که تابعی از قیمت ۵ روز گذشته می‌باشد. در پایان از معیارهای ارزیابی برای مقایسه عملکرد این دو مدل

۱. دانشیار اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی، Email:Emami@atu.ac.ir

۲. استادیار اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی Email:Amadeh@gmail.com.

۳. دانشجوی دکتری اقتصاد نفت وگاز دانشگاه علامه طباطبایی(نویسنده مسئول)، Email:Memarzadeh_eco@yahoo.com

۴. دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصادانرژی دانشگاه شهید باهنر کرمان، Email:Amin.ghasemieco@gmail.com

استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که فرایند واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته به جز در معیار میانگین درصد قدر مطلق خطا در بقیه موارد عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم جستجوی گرانشی داشته‌است.

واژگان کلیدی: نفت تک‌محموله، پیش‌بینی، واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته، الگوریتم جستجوی گرانشی.

JEL: *Q30 ،C61 ،C53*

۱. مقدمه

انرژی نهاده‌ای راهبردی در فرایند تولید است و تغییرات قیمت آن بر اقتصاد تمام جهان تاثیرگذار است؛ به‌طوری‌که در میان کشورهای صادرکننده نفت اثر آن بر درامدهای ارزی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در دوره ۶۹- ۱۳۳۸، به جز در سال ۱۳۵۹، همواره بیش از ۸۰ درصد از درامد ارزی ایران از محل فروش نفت حاصل شده است. در دوره ۸۲-۱۳۷۰ نیز این رقم تنها تا کمتر از ۶۹ درصد کاهش یافته‌است (بانک مرکزی ایران، ۱۳۸۶). اتکای بالا به درامد ارزی نفت، افزون بر پدیده بیماری هلندی موجب آسیب‌پذیری از نوسانات ناشی از درامدهای ارزی نیز می‌شود. این نوسان از طریق انتقال به فعالیت‌های اقتصادی می‌تواند هزینه‌هایی را به اقتصاد تحمیل کند؛ به عنوان مثال در حالی که قیمت نفت خام ایران در جولای سال ۲۰۰۸ به بیش از ۱۳۶ دلار در هر بشکه افزایش یافته بود، تنها کمتر از ۶ ماه بعدآن به کمتر از ۴۰ دلار کاهش یافت (EIA، ۲۰۱۰). چنین نوسان بزرگی افزون بر کاهش دسترسی به درامد ارزی، نبود اطمینان شدید را نیز در پی دارد که می‌شود که ممکن است هزینه‌های آن بسیار بالا بوده و تا مدت زمانی طولانی پا بر جا بماند.

تغییرات قیمت جهانی نفت درکشورهای صادرکننده عمده نفت، سبب بروز بحران‌های مختلف و تشدید تورم یا رکود و یا هر دو می‌شود، لذا بررسی چگونگی انتخاب راهبردهای صحیح براورد و پیش‌بینی درامد هر سال، و تنظیم برنامه و بودجه‌های سالانه برای سرمایه‌گذاری عمرانی، توسعه منابع ارزی حاصل از صادرات غیر نفتی، ایمن‌سازی اقتصاد در برابر تغییرات نرخ ارز و ... برای این کشورها لازم و ضروری است (بیدآباد و پیکارجو، ۱۳۸۷). مدل‌سازی و پیش‌بینی قیمت نفت خام نقش عمده‌ای در بهینه‌سازی تولید، بازاریابی و راهبرد بازار دارد. علاوه بر این موارد، در سیاست‌های دولت نیز بسیار مؤثر است؛ چرا که

دولت سیاست‌های خود را نه تنها بر مبنای وضع موجود بلکه بر مبنای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت از متغیرهای کلیدی اقتصادی از جمله قیمت نفت تدوین می‌کند و به اجرا می‌گذارد. بازار نفت یکی از بازارهای پرتلاطم است که مدل‌سازی قیمت‌های آن می‌تواند تاثیر مثبتی بر تصمیم‌گیری داشته باشد، البته وقوع رویدادهای سیاسی و اقتصادی در سطح منطقه‌ای و بین‌المللی در بازار نفت درجه اطمینان پیش‌بینی‌های میان‌مدت و بلندمدت را با تردید مواجه می‌کند.

در مجموع از آن‌جایی که روند تغییرات قیمت در بازارهای بورس انرژی در تصمیم‌گیری معاملاتی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است، تلاش‌های بسیاری برای به‌کارگیری روش‌های مدل‌سازی و پیش‌بینی در تشخیص فرایندها انجام شده است. از طرفی پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت نفت برای کاهش اثرات نامطلوب نوسانات قیمت آن مهم است و اهمیت بسزایی در نحوه تصمیم‌گیری سیاست‌گذاران اقتصادی در کشورهای مصرف‌کننده و تولیدکننده دارد. بدیهی است که میزان صحت پیش‌بینی می‌تواند از جمله رموز موفقیت این سیاست‌ها باشد.

امروزه توجه به کاربرد روش‌های هوش مصنوعی وابزارهای مدل‌سازی در حوزه علوم انسانی به‌طور فزاینده‌ای در حال افزایش است. در چند دهه‌گذشته عناوین شبکه‌های عصبی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات[1] و منطق فازی از موضوعاتی بوده‌اندکه توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده‌است. الگوریتم جستجوی گرانشی روشی جدید از دسته الگوریتم‌های جستجوی ابتکاری می‌باشد و به دلیل برتری‌ای که بر دیگر الگوریتم‌ها دارد، یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌ها در علوم مختلف است. این الگوریتم قدرتمند که با الهام از قانون گرانش طبیعت، پیشنهاد شده است یک رهیافت نوین برای حل مسائل بهینه‌سازی است، برای تأیید و صحه گذاشتن بر برتری این الگوریتم نسبت به دیگر الگوریتم‌ها، از نظر سرعت و قدرت همگرایی و همچنین دقت بالای آن در براورد و پیش‌بینی، می‌توان به مطالعات راشدی و همکاران (۲۰۰۷) و همچنین بهرنگ و همکاران(۲۰۱۱) اشاره نمود. در هردو مقاله برتری کامل الگوریتم جستجوی گرانشی نسبت به دو الگوریتم با سابقه انبوه ذرات و ژنتیک نشان داده شده است.

1. Particle Swarm Optimization

بخش دوم این مقاله به پیشینه تحقیق می‌پردازد. در بخش سوم، با مروری بر نظریه انتظارات تطبیقی، به معرفی الگوریتم جستجوی گرانشی و مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته[1] پرداخته می‌شود. در بخش چهارم، یک مدل بهینه‌شده با الگوریتم جستجوی گرانشی با در نظر گرفتن انتظارات قیمتی برای داده‌های روزانه ۲۰۰۸/۰۸/۰۷ تا ۲۰۱۱/۰۵/۰۳، طراحی و مدل‌سازی می‌شود و مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم یافته با همان مجموعه، تخمین زده می‌شود. در بخش پنجم، بر اساس معیارهای خطا، به ارزیابی دو مدل در زمینه پیش‌بینی و اعتبارسنجی قیمت روزانه قیمت نفت تک¬محموله ایران برای یک ماه آینده پرداخته شده و در پایان نتایج ارائه می‌شود.

۲. پیشینه تحقیق

پیش‌بینی قیمت نفت خام برای فعالان بازارهای نفت در کشورهای مصرف‌کننده و صادرکننده آن از اهمیت خارق‌العاده‌ای برخوردار است. بسیاری از مطالعات به بررسی، تخمین و پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت نفت خام با استفاده از روش‌های مختلف پرداخته‌اند. در هر مطالعه‌ای، مطالعات دیگر محققان می‌تواند راهنما باشد؛ لذا این قسمت نگاهی اجمالی به مطالعات انجام‌شده داخلی و خارجی در زمینه پیش‌بینی قیمت نفت‌خام دارد.

۱.۲. مطالعات خارجی

مایکل یه و همکاران[2] (۲۰۰۲)، با استفاده از داده‌های سطح ذخیره‌سازی، به مدل‌سازی قیمت نفت خام وست تگزاز اینترمدیت[3] پرداخته‌اند. این الگو مبنای پیش‌بینی وزارت انرژی امریکا قرارگرفته‌است. در این مدل پیش‌بینی مناسبی در داخل نمونه حاصل آمده‌است. آن‌ها در مطالعه دیگری (۲۰۰۵)، به پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت نفت‌خام جنوب تگزاز پرداخته‌اند و تاثیر تغییرات بازار، از جمله موجودی کالا، تولید، واردات و تغییرات تقاضا بر روی قیمت‌های ماهانه نفت خام را بررسی کرده‌اند.

لیو[4] (۱۹۹۱) از مدل‌های تابع انتقال باکس – جنکینز برای مطالعه روابط پویا بین قیمت بنزین آمریکا،

1. Generalized Autoregressive Conditional Heterosedasticity
2. Michael Ye et al
3. West Texas Intermediate
4. Liu

قیمت نفت خام و موجودی بنزین استفاده کرد.

کومار[1] (۱۹۹۲) یک مدل خودتوضیحی میانگین متحرک[2](۱ و۲) را برای پیش‌بینی قیمت‌های آتی[3] نفت خام تخمین زد.

چین و همکاران[4] (۲۰۰۵) رابطه بین قیمت‌های تک‌محموله و قیمت‌های بلندمدت را برای حامل‌های انرژی بررسی کردند. یکی از این حامل‌ها، انرژی قیمت نفت وست تگزاز اینترمدیت بود که یک مدل خودتوضیحی میانگین متحرک انباشته[5] (۱و۱و۱) برای پیش‌بینی آن استفاده شد.

مشیری و فروتن[6] (۲۰۰۶) قیمت‌های روزانه بلندمدت نفت خام را مدل¬سازی و پیش‌بینی کردند. آنها مدل خطی خودتوضیحی میانگین متحرک(۳ و۱) و مدل غیرخطی واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم¬یافته(۲ و ۱) را تخمین زدند که مناسب به نظر می‌رسیدند؛ اما مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته مناسب‌تر از مدل خودتوضیحی میانگین متحرک عمل کرد.

ژی و همکاران[7] (۲۰۰۹) از مدل ماشین بردار پشتیبان[8] برای پیش‌بینی قیمت‌های ماهانه نفت خام استفاده کردند. آنها ادعا کردند که مدل ماشین بردار پشتیبان نسبت به مدل شبکه عصبی با الگوریتم پس انتشار خطا و مدل خودتوضیحی میانگین متحرک انباشته برای داده‌های خارج از نمونه، دقت و کارایی بیشتری دارند، اما نتایج آنها قطعی نبود، زیرا برای ۲ زیرنمونه از ۴ زیرنمونه دوره زمانی، مدل عصبی کارایی بهتری نسبت به ماشین بردار پشتیبان داشت؛ اما هر دوی آنها عملکرد بهتری نسبت به مدل خودتوضیحی میانگین متحرک انباشته داشتند.

مورانا[9](۲۰۰۱) نشان داد که می‌توان از ویژگی‌های مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم

1. Kumar
2. Autoregressive Moving average
3. Futures
4. Chinn et al
5. Autoregressive Integrated Moving average
6. Moshiri and Foroutan
7. Xie et al
8. Support vector machines(SVM)
9. Morana

یافته تغییرات قیمت نفت می‌تواند برای پیش‌بینی قیمت نفت در افق کوتاه‌مدت استفاده کرد. وی از یک نگرش شبه شاخصی برای پیش‌بینی نفت‌خام استفاده کرد که اساس و پایه آن نگرش خودگردانی[1] بود.

آلگنولوسی[2] (۲۰۰۹) بیان کرد که انواع مدل‌های مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم یافته قادر به پیش‌بینی و عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های نوسانی دیگر هستند. از دیگر نتایج می‌توان به این اشاره کرد که عواید بلندمدت نفت در طول زمان ثابت است و شوک‌های واریانس شرطی سری ماندگاری بالایی دارند.

نارایان[3] (۲۰۰۷) با استفاده از داده‌های روزانه ۲۰۰۶-۱۹۹۱ و به کمک مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم یافته نمایی[4] تلاطم قیمت نفت خام را آزمود. یافته‌های وی بیان‌کننده این نکته بود که در زیرمجموعه‌های متفاوت با داده‌ها، شواهد متناقضی از نامتقارنی و ماندگاری شوک به دست می‌آید و بر روی کل داده‌ها شواهد گویای این امر بود که شوک‌ها اثرات دائمی و نامتقارنی بر روی نوسانات دارند. این یافته‌ها بیان می‌کند که رفتار قیمت نفت، در بازه‌های زمانی کوتاه تغییر می‌کند.

کولکارنی و حیدر[5] (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی قیمت نفت خام وست تگزاز اینترمدیت برای سه روز آینده پرداختند و این طور نتیجه گرفتند که یک مدل پویا با ۱۳ تاخیر برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت نقطه‌ای نفت خام مناسب می‌باشد، همچنین دقت پیش‌بینی قیمت بازار به ترتیب ۷۸٪ ، ۶۶٪ و ۵۳٪ برای یک ، دو و سه روز آینده براورده شده است.

۲.۲. مطالعات داخلی

اصفهانیان و ناصری (۱۳۸۴)، از مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت نفت خام بهره گرفته، به پیش‌بینی ماهانه قیمت آن پرداختند. در این مدل، تاثیر انواع متغیرهای فنی و بنیادی، تعداد نرون‌های لایه ورودی، تعداد لایه‌ها و نرون‌های پنهان و توابع تبدیل لایه‌ها، پردازش مناسب داده‌ها، تقسیمات مختلف داده‌ها برای انتخاب مجموعه‌های آموزشی و آزمایش، انواع الگوریتم یادگیری بهبود یافته و انواع شبکه با انجام آزمایش‌های فراوان

1. Bootstrap
2. Agnolucci
3. Nareyan
4. Exponential Generalized Autoregressive Conditional Heterosedasticity
5. Kulkarni and Haidar

بررسی شده است؛ اما هیچ یک از متغیرها به جز متغیر تاخیری قیمت نفت خام با وقفه‌های ۹ – ۱ نتوانسته نتایج پیش‌بینی شبکه را بهبود بخشد. در نهایت یک شبکه پیش‌خور سه‌لایه با میانگین خطای ۷۴ سنت در مجموعه آموزش و ۷۱ سنت در مجموعه آزمایش، به عنوان بهترین مدل انتخاب شده است.

زمانی(۱۳۸۴)، به منظور شناسایی متغیرهای لازم برای الگوسازی قیمت نفت خام در مطالعه‌ای عملکرد بازار بین‌المللی نفت را بررسی کرده که مهم‌ترین این عوامل ذخیره‌سازی‌های نفت کشورهای توسعه و همکاری اقتصادی[1]، عرضه اوپک، تقاضای نفت کشورهای خارج از سازمان توسعه و همکاری اقتصادی، و نرخ موثر ارز دلار بوده است. در ادامه داده‌ها از لحاظ آماری بررسی و روابط بلندمدت بین قیمت وست تگزاز اینترمدیت و دیگر متغیرها را براورد شده است، سپس برای پیش‌بینی و شناسایی مدل مورد نظر با کم‌ترین خطا از مدل‌های خودرگرسیو تصحیح خطا[2] و خودرگرسیو با وقفه‌های توزیعی[3] استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان داده است که بر اساس معیار مجذور میانگین مربعات خطا، برای داخل و خارج نمونه، نتایج الگوی خودرگرسیو با وقفه‌های توزیعی بهترین پیش‌بینی را ارائه می‌دهد.

مدیرشانه‌چی و علیزاده (۱۳۸۵)، با استفاده از شبکه‌های عصبی رگرسیون تعمیم‌یافته[4]، مدل هوشمندی را برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت نفت ایران (به صورت ماهانه) در دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۳ ارائه کرده‌اند. نتایج شبیه‌سازی نشان داده است که سیستم طراحی‌شده، کارایی مناسبی در بازه‌های زمانی مختلف از خود نشان می‌دهد. در این مطالعه قیمت‌گذاری نفت ایران بر پایه قیمت نفت برنت بوده‌است.

فرجام‌فر و همکاران(۱۳۸۶)، با استفاده از دو روش خودتوضیحی میانگین متحرک انباشته و شبکه‌های عصبی مصنوعی، به پیش‌بینی روزانه قیمت جهانی نفت خام با ۵ وقفه در دوره آوریل ۱۹۸۳ تا ژوئن ۲۰۰۵ پرداخته‌اند، همچنین به منظور تشخیص سهم مشارکت هر شاخص ورودی، در این مدل از تجزیه و تحلیل حساسیت استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده برتری چشمگیر مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به مدل خودتوضیحی میانگین متحرک انباشته در پیش‌بینی قیمت روزانه نفت بوده است.

1. Organization for economic cooperation and development
2. Lag Autoregressive Distributed
3. Error Correction Model(ECM)
4. Generalized Regression Neural network

بیدآباد و پیکارجو(۱۳۸۷)، در مطالعه ای با بررسی و شناسایی عوامل اساسی موثر بر عرضه و تقاضای نفت خام، از طریق بررسی اثر مازاد عرضه بر بازار جهانی نفت خام، الگویی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی قیمت نفت خام طراحی کرده‌اند. این الگو - که یک الگوی رفتاری هم‌زمان اقتصادسنجی می‌باشد - با استفاده از روش تعدیل عدم تعادل پویا[1]، به بررسی اثرات متغیرهای قیمت گاز طبیعی، تولید ناخالص داخلی جهانی، تولید ناخالص داخلی، کشورهای تولیدکننده نفت، ظرفیت تولید نفت‌خام و مازاد عرضه نفت در بازار بر قیمت جهانی نفت پرداخته است. در این مطالعه بر اساس پیش‌بینی‌های انجام‌شده، قیمت نفت در سال‌های ۲۰۱۰- ۲۰۰۸، پس از روندی افزایشی، نزدیک به ۱۰۰ دلار کاهش خواهد یافت، ولی این کاهش به کاهش قیمت نفت حدود سال‌های دهه ۹۰ میلادی نخواهد رسید.

بهرادمهر (۱۳۸۷)، در مطالعه‌ای با استفاده از هموارسازی موجک و شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی روزانه قیمت نفت خام نیویورک و نفت خام خلیج مکزیک برای دوره ۲۰۰۰/۱/۴ تا ۲۰۰۴/۹/۲ پرداخته‌است. در این مطالعه، در مدل ترکیبی از خاصیت هموارسازی تبدیل موجک برای کاهش نویز داده‌ها استفاده شده، سپس قیمت نفت به وسیله شبکه عصبی مصنوعی و با استفاده از داده‌های هموارسازی شده پیش‌بینی شده است. نتایج حاصله از مقایسه مجذور میانگین مربع خطای استاندارد مدل‌های رقیب با مدل ترکیبی مورد اشاره، دلالت بر آن دارد که کاهش نویز و هموارسازی داده‌ها، عملکرد پیش‌بینی قیمت نفت را بهبود می‌دهد.

صادقی و ذوالفقاری (۱۳۸۸) به مقایسه عملکرد شبکه عصبی و مدل خودتوضیحی میانگین متحرک انباشته در مدل¬سازی و پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت سبد نفت خام اوپک (با تاکید بر انتظارات تطبیقی) پرداختند، نتایج این تحقیق نشان داد که شبکه عصبی مورد استفاده، نسبت به مدل خودتوضیحی میانگین متحرک انباشته از قدرت پیش‌بینی بهتری برخوردار است و قیمت نفت خام تابعی از قیمت‌های ۵ روز گذشته خود می‌باشد.

در مطالعاتی که تاکنون انجام شده، به‌ندرت از الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوش جمعی استفاده شده است. هدف از انجام این مطالعه، اول، معرفی الگوریتم جستجوی گرانشی و کاربرد آن در اقتصاد و دوم، مقایسه این الگوریتم با مدل‌های اقتصادسنجی در مدل‌سازی قیمت نفت خام است. روند تغییرات روزانه قیمت نفت

1. Dynamic Disequilibrium Adjustment Model

خام در بازه زمانی مورد بررسی این پژوهش، نوسانی و تصادفی می‌باشد، همچنین سطح قیمت در معرض نوسانات و شوک‌های شدید کاهشی و یا افزایشی قرار ندارد، بنابراین پس انتظارات تطبیقی می‌تواند مناسب و کارامد باشد (ابریشمی و همکاران، ۱۳۸۵). به علاوه ساز و کار تعدیل جزئی در وضعیتی که با مجموعه تغییرات تصادفی در سطح قیمت همراه است، خیلی سازگارتر است تا با وضعیتی که با جهش یک‌دفعه‌ای قیمت همراه است (برانسون،۱۳۸۶)، بنابراین در این مطالعه با معرفی نظریه انتظارات تطبیقی (که کارایی زیادی در تحلیل روندهای سری زمانی تصادفی دارد) نظریه انتظارات تطبیقی را در الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی گرانشی پیاده کرده و با مقایسه آن با مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته، تحت چهار معیار سنجش خطا، به پیش‌بینی کوتاه¬مدت قیمت نفت تک¬محموله ایران برای یک دوره یک ماهه پرداخته شده است.

طبق نظریه انتظارات تطبیقی فریدمن، متغیرهای قیمتی مورد انتظار مانند قیمت نفت خام بر اساس انتظارات نیروهای بازار تحت تجربیات گذشته تعیین می‌شود. تاکنون انتظارات نقش مهمی را در نوسانات قیمت نفت خام به عهده داشته و به نظر می‌رسد که در مورد قیمت نفت خام عامل اساسی در تغییرات رفتار واقعی قیمت آن باشد (امامی‌میبدی، ۱۳۸۵). به دلیل وجود نوسانات بسیار زیاد و پیچیده، فرایند مولد سری زمانی قیمت نفت خام بیشتر به صورت فرایند تصادفی در نظر گرفته می‌شود (ابریشمی و همکاران، ۱۳۸۵) و به دلیل مناسب بودن که انتظارات تطبیقی برای فرایندهای تصادفی که دارای نوسانات مداوم هستند، پیش‌بینی قیمت‌های انتظاری نفت خام تحت این نظریه مفید است. علاوه بر این قیمت‌های تک¬محموله نفت همبستگی بسیار بالایی با قیمت‌های آتی نفت در بازار کاغذی دارند، ضمناً در بازه کوتاه‌مدت رفتار قیمت نفت در بازارهای کاغذی به صورت تصادفی بوده و از گذشته خود تبعیت می‌کند، زیرا در کوتاه‌مدت قیمت نفت از عوامل برون‌زا مثل کشف ذخایر جدید، کاهش تولید و غیره تبعیت نمی‌کند (درخشان،۱۳۹۰). در این پژوهش از پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و درون‌نمونه‌ای برای ارزیابی عملکرد دو مدل استفاده شده است؛ بنابراین می‌توان گفت که نظریه انتظارات تطبیقی، کارایی بیشتری نسبت به نظریه انتظارات عقلایی در بازار کاغذی نفت و به تبع آن در بازار تک‌محموله در کوتاه‌مدت دارد.

در چند دهه گذشته کاربرد روش‌های هوش مصنوعی و ابزارهای مدل‌سازی مانند شبکه‌های عصبی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات، الگوریتم مورچگان و منطق فازی از موضوعاتی بوده‌اندکه توجه بسیاری

از دانشگاهیان و محققان را به خود جلب‌کرده است. در حوزه مطالعات داخلی الگوریتم جستجوی گرانشی به صورت معدود و در زمینه موضوعات مرتبط با اقتصاد مورد استفاده قرار گرفته‌است که در این زمینه تنها می‌توان به مطالعه بهرنگ و دیگران (۱۳۸۹) اشاره نمودکه با استفاده از متغیرهای جمعیت، تولید ناخالص داخلی، تعداد وسایل نقلیه سبک و سنگین و میزان صادرات و واردات، به برآورد توابع خطی و نمایی تقاضای نفت ایران با به‌کارگیری سه الگوریتم ژنتیک، انبوه ذرات و جستجوی گرانشی پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم جستجوی گرانشی از دقت بالاتری نسبت به دو الگوریتم دیگر برخوردار است.

۳. مبانی‌نظری

۱.۳. مروری بر نظریه انتظارات تطبیقی

اگر سطح قیمت در دوره‌های گذشته به طور نامنظم بالا و پایین رفته باشد و هیچ گونه جهش و روند افزایش و یا کاهش پیوسته‌ای از خود نشان نداده باشد و به عبارت دیگر به تکرار نوسان کنند (مانند قیمت جهانی نفت خام)، در این صورت می‌توان برای پیش‌بینی قیمت‌های آینده از انتظارات تطبیقی استفاده کرد (برانسون، ۱۳۸۶). فریدمن با مطرح کردن انتظارات تطبیقی که به معنی شکل‌گیری انتظارات تورمی (قیمتی) بر مبنای اطلاعات گذشته می‌باشد، نشان داد که در پیش‌بینی قیمت برای آینده، افراد، بر اساس خطای پیش‌بینی دوره‌های گذشته و تصحیح درصدی از آن خطا عمل می‌کنند. طبق این نظریه، سطح قیمت آینده از دو بخش تشکیل می‌شود؛ یکی همان سطح قیمت واقعی مربوط به زمان براورد و پیش‌بینی$(t-1)$ و دیگری عبارتی است که به تعدیل خطای پیش‌بینی در دوره قبلی مربوط می‌شود که می‌توان اثر قیمت‌های واقعی دوره‌های قبلی را در پیش‌بینی قیمت دوره بعدی در نظر گرفت؛ البته با طولانی شدن دوره، اثر قیمت‌های واقعی هم کمتر می‌شود؛ لذا به طور طبیعی می‌توان ساز و کار براورد را به صورت زیر نوشت:

$$ {}_{t-1}p_t = p_{t-1} + \lambda({}_{t-2}p_{t-1} - p_{t-1}) \qquad (۱) $$

اولین جمله در سمت راست رابطه فوق، سطح قیمت واقعی در زمان $t-1$ می‌باشد. دومین جمله، همان حاصل‌ضرب عامل تعدیل λ و خطایی است که در پیش‌بینی سطح قیمت مربوطه به دوره $t-1$ مرتکب می‌شود. حال می‌خواهیم نشان دهیم اگر انتظارات به کمک یک ساز و کار تصحیح خطا، تعدیل شود سطح

قیمت انتظاری دوره $_{t-1}p_t$ تنها به تاریخ و وضعیت قیمت‌های گذشته بستگی دارد و در حقیقت این ساز و کار تصحیح، قیمت انتظاری دوره $_{t-1}p_t$ را نسبت به تعیین قیمت واقعی این دوره p_t برون‌زا می‌کند. اگر معادله(۱) را یک دوره به عقب انتقال دهیم، قیمت انتظاری دوره $t-1$ برابر است با:

$$_{t-2}p_{t-1} = p_{t-2} + \lambda(_{t-3}p_{t-2} - p_{t-2}) \qquad (۲)$$

معادله(۲) را در λ ضرب و حاصل آن را با معادله(۱) جمع می‌کنیم و به عبارت زیر دست می‌یابیم:

$$_{t-1}p_t = (1-\lambda)p_{t-1} + \lambda(1-\lambda)p_{t-2} + \lambda^2\,_{t-3}p_{t-2} \qquad (۳)$$

روش فوق را تکرار می‌کنیم تا $_{t-3}p_{t-2}$ از عبارت بالا حذف شود و پس از آن همین روش را در مورد زمان‌های قبلی و قبلی‌تر به کار می‌بریم. تکرار این روند الگوی زیر را ارائه خواهد داد:

$$_{t-1}p_t = (1-\lambda)p_{t-1} + \lambda(1-\lambda)p_{t-2} + \lambda^2(1-\lambda)p_{t-3} + \ldots \qquad (۴)$$

میزان مطلق تصحیح خطا در هر دوره، به شاخص λ و طول مدت بعد از جهش قیمت بستگی دارد.

مفهوم رابطه(۴) آن است که قیمت انتظاری (پیش‌بینی‌شده) در دوره t، میانگین وزنی از قیمت‌های واقعی در دوره‌های گذشته است. به عبارت‌دیگر در پیش‌بینی قیمت (تورم، نفت خام ....) دوره t، فرد بر اساس قیمت‌های واقعی دوره‌های گذشته، پیش‌بینی را انجام می‌دهد. پس آنچه به طورخلاصه می‌توان گفت آن است که در این شیوه(شکل‌گیری انتظاری قیمت یا پیش‌بینی قیمت)، فرد گذشته‌نگر بوده و بر اساس اطلاعات دوره گذشته پیش‌بینی خود را انجام می‌دهد.

۲.۳. الگوریتم جستجوی گرانشی

الگوریتم جستجوی گرانشی[1]، یکی از جدیدترین اعضای خانواده الگوریتم‌های هوش جمعی است که از قوانین جاذبه میان اجرام و حرکت نیوتنی الهام گرفته است. طبق قانون جاذبه نیوتن، هر جسم به اجسام دیگر نیرو وارد نموده، آن‌ها را به سمت خود جذب می‌کند. به‌وضوح هرچه این اجسام بزرگ‌تر و نزدیک‌تر باشند،

1. A Gravitational Search Algorithm

تاثیر این نیرو بیشتر خواهد بود و در نتیجه هر جسم با استفاده از نیروی جاذبه محل و مقدار جرم سایر اجسام را درک می‌کند، بنابراین می‌توان از این نیرو به عنوان رسانه‌ای برای تبادل اطلاعات استفاده کرد. از الگوریتم جستجوی گرانشی در حل مسائل بهینه‌سازی استفاده می‌شود. در این الگوریتم پاسخ‌های مورد نظر، اجرام در فضای مسئله هستند، میزان اجرام نیز با توجه به تابع هدف تعیین می‌شود. در ابتدا فضای سیستم مشخص می‌شود که شامل یک دستگاه مختصات چند بعدی در فضای تعریف مسئله است. پس از تشکیل سیستم، قوانین حاکم بر آن مشخص می‌شوند. فرض می‌شود که تنها قانون جاذبه و قوانین حرکت بر این سیستم حاکم هستند. صورت کلی این قوانین تقریباً شبیه به قوانین طبیعت است و به صورت زیر تعریف می‌شوند:

سیستم به صورت مجموعه‌ای از m جرم تصور می‌شود. موقعیت هر جرم می‌تواند جوابی برای مسئله باشد. موقعیت بعد d از جرم i با $x_i^d(t)$ نشان داده می‌شود.

$$X_i = \left(x_i^1, \ldots, x_i^i, \ldots x_i^n\right) \text{ for } i=1,2,3\ldots m, \qquad (۵)$$

n در رابطه بالا نشان‌دهنده بعد فضای پاسخ است. در این سیستم در زمان t، به هر جرم i از سوی جرم j در جهت بعد d نیروی به اندازه $f_{ij}^d(t)$ وارد می‌شود. مقدار این نیرو طبق رابطه(۶) محاسبه می‌شود. $G(t)$ ثابت گرانش در زمان t و R_{ij} فاصله بین دو جرم i و j می‌باشد. برای تعیین فاصله بین اجرام مطابق با رابطه(۷) از فاصله اقلیدوسی استفاده می‌شود.

$$F_{ij}^d(t) = G(t)\frac{M_i(t).M_j(t)}{R_{ij}(t)+\varepsilon}\left(x_j^d(t) - x_i^d(t)\right) \qquad (۶)$$

$$R_{ij}(t) = \left\|X_i(t), X_j(t)\right\|_2 \qquad (۷)$$

در رابطه(۶)، ε یک عدد بسیار کوچک است. نیروی وارد بر جرم i در جهت d در زمان t، برابر با مجموع نیروهایی است که k جرم برتر جمعیت، بر جرم وارد می‌کنند. مقصود از اجرام برتر، عامل‌هایی هستند که دارای برازندگی بیشتری باشند.

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in kbest, j \neq i} rand_j(t) * F_{ij}^d(t) \qquad (۸)$$

در رابطه فوق، kbest بیانگر مجموعه k جرم برتر جمعیت است. همچنین در این رابطه، $rand_j$ عددی

تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه [0,1] است که برای حفظ خصوصیت تصادفی بودن جستجو در نظر گرفته می‌شود. طبق قانون دوم نیوتن، هر جرم در جهت بعد d شتابی می‌گیرد که متناسب است با نیروی وارد بر جرم در آن جهت بخش بر جرم i. رابطه(۹) شتاب جرم i در جهت بعد d در زمان t را نشان می‌دهد.

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_i(t)} \qquad (۹)$$

سرعت هر جرم برابر مجموع ضریبی از سرعت فعلی جرم و شتاب جرم طبق رابطه(۶) تعریف می‌شود. موقعیت جدید بعد d از جرم i طی رابطه(۱۰) محاسبه می‌شود.

$$V_i^d(t+1) = rand_i * V_i^d(t) + a_i^d(t) \qquad (۱۰)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + V_i^d(t+1)$$

در روابط فوق $v_i^d(t)$ سرعت بعد d ام عامل i در زمان t و $rand_i$ عددی تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه [0,1] است که برای حفظ خصوصیت تصادفی بودن جستجو در نظر گرفته می‌شود. برای تنظیم ضریب گرانش از رابطه (۱۱) استفاده می‌شود.

$$G(t) = \beta^{-\alpha\frac{t}{T}} \qquad (۱۱)$$

در رابطه زیر جرم عامل‌ها بر مبنای تابع هدف تنظیم می‌شود، به گونه‌ای که به عامل‌های با شایستگی بیشتر جرم بیشتری نسبت داده می‌شود.

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \qquad (۱۲)$$

در این رابطه $fit_i(t)$ بیانگر میزان برازندگی جرم i در زمان t است. $best(t)$ و $worst(t)$ به ترتیب بیانگر شایستگی قوی‌ترین و ضعیف‌ترین عامل جمعیت در زمان هستند. در نهایت اندازه جرم عامل‌ها طبق رابطه (۱۳) نرمالیزه می‌شود.

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^{n} m_j(t)} \qquad (۱۳)$$

در مسائل کمینه‌یابی می‌توان از روابط زیر برای محاسبه بهترین و بدترین عامل‌ها استفاده کرد.

$$best(t) = \min fit_i(t) \quad (۱۴)$$

$$worst(t) = \max fit_i(t) \quad (۱۵)$$

۳.۳. مدل واریانس ناهمسانی شرطی تعمیم¬یافته

انگل[1] (۱۹۷۲) در الگوی پیشنهادی خود فرایندهای مختلف واریانس ناهمسانی شرطی(q) را به ازای مقادیر مختلف q به صورت $\varepsilon_t = v_t \sqrt{a_0 + \sum_q a_i \varepsilon_{t-i}^2}$ ارائه نموده‌است که ε_t جمله خطای (اختلال) فرایند مدل خودتوضیحی میانگین متحرک انباشته است که با استفاده از فرایند باکس- جنکینز تخمین زده شده است. بارسلو[2] (۱۹۸۶) توانست الگوی اولیه ارائه شده توسط انگل را توسعه دهد. وی روشی را ابداع نمود که بر اساس آن واریانس شرطی می‌تواند یک فرایند خودتوضیحی میانگین متحرک باشد. فرایند خطا دارای الگوی زیر می‌باشد:

$$\varepsilon_t = v_t \sqrt{h_t} \quad \text{به¬طوری¬که} \quad \sigma_v^2 = 1 \quad \text{و} \quad h_t = a_0 + \sum_q a_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_p \beta_i h_{t-i}$$

در این مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی(p,q) تعمیم‌یافته که اصطلاحاً واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته (p,q) نامیده می‌شود، هم اجزای خودهمبسته و هم اجزای میانگین‌متحرک در معادله واریانس ظاهر شده‌اند. ویژگی اصلی مدل‌های واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته در آن است که واریانس شرطی اجزای اختلال دنباله $\{y_t\}$ دارای الگوی خودتوضیحی میانگین متحرک می‌باشد. به‌عبارت دیگر می‌توان از الگوی پسماندهای حاصل از تخمین یک مدل خودتوضیحی میانگین متحرک وجود یک الگوی واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته را تشخیص داد. برای توضیح بیشتر فرض می‌کنیم که دنباله $\{y_t\}$ را به عنوان یک فرایند خودتوضیحی میانگین متحرک تخمین زده‌ایم. اگر مدل مذکور مدل مناسبی باشد لازم است مقادیر نمودار همبستگی و

1. Engle
2. Bollerslev

همبستگی جزئی نوفه سفید[1] بودن پسماندها را تاییدکنند. از سوی دیگر با استفاده از نمودار همبستگی مربوط به توان دوم پسماندهای مدل خودتوضیحی میانگین متحرک می‌توان مرتبه فرایند واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم یافته را تشخیص داد.

۴. طراحی و تخمین مدل‌ها

همان طور که در بخش قبل بیان شد، بر اساس نظریه انتظارات تطبیقی، در صورت واقع‌نشدن یک رویداد خاص در فرایندهای تصادفی، انتظارات قیمتی بر اساس قیمت‌های واقعی دوره‌های گذشته می‌باشد، لذا با توجه به این نظریه، پیش‌بینی‌های قیمتی روزهای آینده بر اساس نوسانات قیمت‌های واقعی روزهای گذشته در نظر گرفته می‌شود و چون هدف این مقاله مقایسه مدل‌های الگوریتم جستجوی گرانشی و واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته می‌باشد و به سبب آنکه مدل‌های سری زمانی بر مبنای رفتار گذشته متغیرها تخمین زده می‌شوند، در ابتدا می‌بایست تعداد روزهایی که قیمت‌های آنها بر انتظارات قیمتی روزهای بعد تاثیر می‌گذارد، تعیین شود و پس از تعیین اثرات هر کدام از این روزها بر این مبنا قیمت‌های انتظاری پیش‌بینی‌شده روزهای بعد هم مشخص شود.

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش لگاریتم طبیعی قیمت نفت تک¬محموله سبک ایران به صورت روزانه از ۲۰۰۸/۰۸/۰۷ تا ۲۰۱۱/۰۶/۱۴ است، که در مجموع ۷۴۴ مشاهده را در بر می‌گیرد. داده‌ها از بانک سری زمانی بانک مرکزی و سایت سازمان بین‌المللی انرژی جمع‌آوری شده‌است. این داده‌ها از دو بخش تشکیل شده‌اند، نخست داده‌های مربوط به دوره برای آموزش و تخمین مدل‌ها (بازه ۲۰۰۸/۰۸/۰۷ تا ۲۰۱۱/۰۵/۰۳) و بخش دوم، برای اعتبارسنجی و مقایسه مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحیتعمیم یافته و الگوریتم جستجوی گرانشی (بازه ۲۰۱۱/۰۵/۰۴ تا ۲۰۱۱/۰۶/۱۴) مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای ارزیابی دقت مدل‌ها از چهار معیار میانگین مربع خطا استاندارد، مجذور میانگین مربع خطا استاندارد، میانگین درصد قدرمطلق خطا و میانگین قدر مطلق خطا استفاده شده است. این معیارها در جدول ۱ محاسبه شده‌اند.

1. White noise

جدول ۱. معیارهای ارزیابی و انتخاب مدل

میانگین مربع خطای استاندارد	$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(E_i^{observed} - E_i^{simulated}\right)^2}{n}$
مجذور میانگین مربع خطای استاندارد	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(E_i^{observed} - E_i^{simulated}\right)^2}{n}}$
میانگین قدر مطلق خطا	$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left\|E_i^{observed} - E_i^{simulated}\right\|}{n}$
میانگین درصد قدر مطلق خطا	$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left\|\frac{E_i^{observed} - E_i^{simulated}}{E_i^{observed}}\right\|}{n}$

n = افق پیش‌بینی

منبع: مبانی اقتصادسنجی، دامودار گجراتی، ترجمه حمید ابریشمی.

۱.۴. مدل‌سازی داده‌ها با مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته

برای مدل‌سازی داده‌ها با مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم یافته ابتدا مدل میانگین یا مدل خودتوضیحی میانگین متحرک انباشته مربوطه تخمین زده شده است. برای این منظور ابتدا با استفاده از آزمایش دیکی فولر مانایی داده‌ها بررسی شده‌است. نتایج حاصل از این آزمایش گواه آن بوده که متغیر لگاریتم قیمت در سطح اطمینان ۹۵٪ مانا نبوده و با یک بار تفاضل‌گیری متغیر مذکور مانا شده است. سپس با استفاده از فرایند باکس- جنکینز مدل مربوطه تخمین زده شده‌است. از میان مدل‌های تخمین‌زده‌شده، مدل خودتوضیحی میانگین متحرک انباشته(۱و۱و۱) دارای حداقل مقادیر آکائیک و شوارتز بوده که به عنوان مدل بهینه در نظر گرفته شده‌است.

برای اثبات وجود واریانس ناهمسانی از آزمون ضریب لاگرانژ آرچ استفاده شده است. فرض صفر در این آزمون از این قرار است که مدل واریانس ناهمسانی ندارد. از این آزمون برای تایید وقوع اثر آرچ بر روی باقی‌مانده‌ها استفاده می‌شود. مقادیر آماره‌های F و NR^2 به ترتیب ۱۱/۵۸ و ۱۱/۴۳ به دست آمده‌است که حاکی از رد شدن فرضیه صفر و اثبات وجود واریانس ناهمسانی است. سپس با استفاده از نمودارهای همبستگی و همبستگی جزئی مربعات باقی‌مانده‌ها، و ضرایب آکائیک و شوارتز بهترین مدل واریانس

ناهمسانی شرطی خودتوضیحیتعمیم یافته تخمین زده شده‌است. مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحیتعمیم یافته (۲و ۱) دارای حداقل مقادیر آکائیک و شوارتز بوده است. تخمین شاخصهای مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم یافته(۲ و۱) در جدول ۲ فهرست شده است.

جدول ۲. تخمین شاخص‌های مدلGARCH(2,1)

متغیر	ضریب	انحراف معیار	آمارهZ	Prob
C	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۸۶	۱/۰۳	۰/۳۰
AR(1)	۰/۳۴۸	۰/۱۶۸	۲/۰۶۸	۰/۰۳۸
MA(1)	-۰/۳۴۰	۰/۱۷۶	-۱/۹۳۱	۰/۰۵
معادله واریانس				
C	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲۳	۳/۹۷۲	۰/۰۰۰۰
$RESID^2(-1)$	۰/۰۷۶	۰/۰۲۶	۲/۸۷	۰/۰۰۴۱
GARCH(-1)	۰/۹۶۷	۰/۰۱۸	۱۰۲/۸۴۴	۰/۰۰۰
$RESID^2(-2)$	-۰/۰۶۵	۰/۰۰۹	-۲/۴۲۲	۰/۰۱۵۴
F	D-W	AIC	SC	R^2
-	۱/۹۸	-۴/۶۲	-۴/۵۷	۰/۰۲۱

منبع: یافته‌های تحقیق

آماره t به‌دست آمده برای تمامی ضرایب از مقدار بحرانی حاصل از جدول در سطح اعتماد ۹۵٪(۱/۹۶ =$t_{.,.۲۵}$) بزرگتر بوده و این نشان‌دهنده معناداری ضرایب در سطح اعتماد ۹۵٪ است. مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته(۲و۱) را می‌توان به صورت معادلات میانگین شرطی و واریانس شرطی نیز نوشت:

$$y_t = 0.0008 + 0.348 * y_{t-1} - 0.34 * \varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$\sigma_t^2 = 0.000009 + 0.076 * \varepsilon^2_{t-1} - 0.065 * \varepsilon^2_{t-2} + 0.967\sigma^2_{t-1}$$

۲.۴. مدل‌سازی داده‌ها با الگوریتم جستجوی گرانشی

تابعی که برای الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی گرانشی در نظر گرفته شده است، یک تابع کاب داگلاس بوده و داده‌ها بصورت لگاریتم طبیعی وارد شده‌اند، لذا ضرایب تخمین‌زده شده همان کشش متغیر وابسته نسبت به متغیرهای ورودی است. از آنجا که داده‌های ما به‌صورت روزانه و ۵ روز در هفته می‌باشند، وقفه اول تا پنجم متغیر قیمت به‌صورت متغیر توضیحی وارد مدل شده‌اند، البته وقفه‌های دیگر نیز آزمون شده‌اند، اما وقفه اول تا پنجم بهترین عملکرد را در پیش‌بینی بر اساس معیارهای خطا داشته‌اند. شکل کلی تابع کاب داگلاس که برای قیمت نفت در نظر گرفته شده است به صورت زیر است:

$$Y = A_0 (X_{t-1})^{\alpha_1} (X_{t-2})^{\alpha_2} (X_{t-3})^{\alpha_3} (X_{t-4})^{\alpha_4} (X_{t-5})^{\alpha_5}$$

یا:

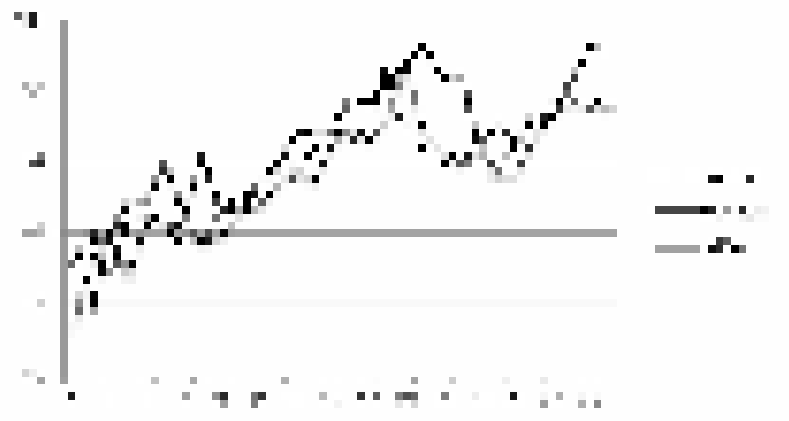
$$\ln Y = A_0 + \alpha_1 \ln(X_{t-1}) + \alpha_2 \ln(X_{t-2}) + \alpha_3 \ln(X_{t-3}) + \alpha_4 \ln(X_{t-4}) + \alpha_5 \ln(X_{t-5})$$

برای براورد مدل با الگوریتم جستجوی گرانشی از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. هدف اصلی مطالعه براورد بهترین مدل است، بر این اساس با استفاده از چهار معیار خطای مذکور، بهترین ضرایب ممکن برای تابع تخمین‌زده شده است.مدل براوردشده با روش الگوریتم جستجوی گرانشی به صورت زیر ارائه شده است:

$$Y = 1.0003 (X_{t-1})^{0.0782} (X_{t-2})^{0.7916} (X_{t-3})^{0.0094} (X_{t-4})^{0.6044} (X_{t-5})^{-0.4802}$$

۵. ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی

طبق نتایج در مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته (۲ و ۱)، قیمت روزانه نفت تابعی از قیمت یک روز گذشته و جمله خطا یک روز گذشته می‌باشد. در حالی که بر اساس مدل الگوریتم جستجوی گرانشی قیمت نفت تابعی از قیمت‌های ۵ روز گذشته است. نمودار۱، مقادیر پیش‌بینی‌شده به‌وسیله فرایند واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته (۲ و ۱) و الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی گرانشی را به همراه مقادیر واقعی برای ۱ ماه آینده (۲۰۱۱/۰۶/۱۴ – ۲۰۱۱/۰۵/۰۴) نشان می‌دهد.



نمودار ۱. مقایسه نتایج پیش‌بینی بر مبنای GARCH(2,1) و الگوریتم GSA با مقادیر واقعی(دلار)

منبع: یافته‌های تحقیق

به‌منظور مقایسه قدرت پیش‌بینی فرایند واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم یافته (۲و ۱) و الگوریتم جستجوی گرانشی، از معیارهای ارزیابی به شرح جدول۳ استفاده شده‌است. این معیارها بر اساس مقیاس داده‌های واقعی دوره (۲۰۱۱/۰۶/۱۴ – ۲۰۱۱/۰۵/۰۴) محاسبه شده‌اند.

جدول ۳. مقایسه قدرت پیش‌بینی مدل‌های GARCH(2,1) و الگوریتم GSA

معیار	الگوریتم GSA	فرایند GARCH(2,1)
MSE	۱/۰۰۱	۱/۰۰۰۳
RMSE	۱/۰۴۳	۱/۰۱۹
MAPE	۱/۰۰۷	۱/۳۹۰
MAE	۱/۰۳۳	۱/۰۱۴

منبع: یافته‌های تحقیق

همان طور که در جدول۳ مشاهده می‌شود، فرایند واریانس ناهمسانی شرطی تعمیم¬یافته(۲و۱)، در ۳ معیار میانگین مربع خطای استاندارد، مجذور میانگین مربع خطای استاندارد و میانگین قدر مطلق خطا نسبت به الگوریتم جستجوی گرانشی برتری دارد. پس می‌توان نتیجه گرفت که در این مطالعه روش‌های اقتصادسنجی نسبت به

الگوریتم‌های بهینه‌سازی جستجوی گرانشی، کارایی بیشتری در مدل‌سازی رفتار و پیش‌بینی قیمت نفت‌خام دارند. در جدول ۴ مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده به‌وسیله ۲ مدل نشان داده شده است.

جدول ۴. ارقام پیش‌بینی قیمت مدل‌های GARCH(2,1) و الگوریتم GSA و مقادیر واقعی(دلار)

Observation	Actual	GARCH	GSA
۲۰۱۱/۵/۰۴	۸۶/۲۹	۸۵/۵۵	۸۴/۶۳
۲۰۱۱/۵/۰۵	۸۸/۰۹	۸۶/۴۰	۸۳/۵۳
۲۰۱۱/۵/۰۶	۸۵/۳۹	۸۸/۲۰	۸۷/۸۲
۲۰۱۱/۵/۰۹	۸۹/۰۵	۸۵/۴۶	۸۹/۸۶
۲۰۱۱/۵/۱۰	۸۸/۴۲	۸۹/۱۵	۸۹/۸۴
۲۰۱۱/۵/۱۱	۸۸/۳۰	۸۸/۵۱	۹۱/۹۵
۲۰۱۱/۵/۱۲	۸۷/۳۳	۸۸/۳۸	۸۸/۸۵
۲۰۱۱/۵/۱۳	۸۷/۶۴	۸۷/۴۰	۹۲/۳۴
۲۰۱۱/۵/۱۶	۸۹/۱۵	۸۷/۷۱	۸۹/۳۳
۲۰۱۱/۵/۱۷	۸۹/۳۴	۸۹/۲۴	۸۹/۹۲
۲۰۱۱/۵/۱۸	۹۰/۵۶	۸۹/۴۲	۹۰/۶۳
۲۰۱۱/۵/۱۹	۹۱/۸۰	۹۰/۶۵	۹۱/۵۷
۲۰۱۱/۵/۲۰	۹۰/۷۷	۹۱/۹۰	۹۳/۴۹
۲۰۱۱/۵/۲۳	۹۲/۷۵	۹۰/۸۵	۹۳/۷۷
۲۰۱۱/۵/۲۴	۹۳/۹۳	۹۲/۸۵	۹۳/۷۸
۲۰۱۱/۵/۲۵	۹۳/۱۰	۹۴/۰۳	۹۵/۶۵
۲۰۱۱/۵/۲۶	۹۴/۳۰	۹۳/۱۸	۹۵/۲۷
۲۰۱۱/۵/۲۷	۹۷/۴۲	۹۴/۳۹	۹۶/۵۰
۲۰۱۱/۵/۳۰	۹۳/۷۶	۹۷/۵۴	۹۷/۴۵
۲۰۱۱/۵/۳۱	۹۲/۶۵	۹۳/۸۳	۹۸/۵۹
۲۰۱۱/۶/۰۱	۹۱/۷۳	۹۲/۷۲	۹۶/۷۲
۲۰۱۱/۶/۰۲	۹۲/۷۳	۹۱/۸۰	۹۷/۰۰
۲۰۱۱/۶/۰۳	۹۱/۱۸	۹۲/۸۲	۹۲/۶۵
۲۰۱۱/۶/۰۶	۹۱/۱۸	۹۱/۲۵	۹۴/۳۶
۲۰۱۱/۶/۰۷	۹۳/۱۷	۹۱/۲۶	۹۳/۰۹
۲۰۱۱/۶/۰۸	۹۴/۷۱	۹۳/۲۷	۹۴/۳۰
۲۰۱۱/۶/۰۹	۹۵/۲۶	۹۴/۸۱	۹۴/۵۷
۲۰۱۱/۶/۱۰	۹۵/۱۰	۹۵/۳۵	۹۶/۶۶
۲۰۱۱/۶/۱۳	۹۵/۱۰	۹۵/۱۹	۹۸/۴۰
۲۰۱۱/۶/۱۴	۹۵/۸۷	۹۵/۱۹	۹۸/۲۲

منبع: یافته‌های تحقیق

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نفت به عنوان مهم‌ترین کالای سیاسی– اقتصادی، تعیین‌کننده بسیاری از معادلات بین‌المللی و منطقه‌ای است. به عبارتی، یک کالای مصرفی مهم برای اقتصاد جهانی و یک ماده حیاتی برای کشورهای صنعتی و در حال توسعه می‌باشد. هدف از این تحقیق، براورد و ارائه مدل مناسب برای پیش‌بینی قیمت نفت خام تک¬محموله سبک ایران می‌باشد. در این مطالعه، قیمت نفت تک‌محموله ایران با استفاده از مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحیتعمیم یافته و الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی گرانشی مدل¬سازی و پیش‌بینی شده و سپس عملکرد این دو مدل با یکدیگر مقایسه شده است.

در این مطالعه، مدل‌هایی که برای پیش‌بینی قیمت نفت تک‌محموله ایران انتخاب شده است، مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته (۲و۱) و یک تابع کاب داگلاس برای الگوریتم جستجوی گرانشی است که تابعی از قیمت ۵ روز گذشته است. در پایان عملکرد این دو مدل با یکدیگر مقایسه شده است. برای مقایسه این مدل‌ها از معیارهای ارزیابی استفاده شده است که مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته(۲و۱) به جز در معیار میانگین درصد قدرمطلق خطا در بقیه موارد عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم جستجوی گرانشی داشته است. مطالعات بعدی در این زمینه می‌تواند استفاده از مدل‌های هیبریدی مخصوصا مدل‌های ARIMA/GARCH باشد. این مدل‌ها رهیافت باکس جنکینز را با مدل GARCH ترکیب می‌کند. مدل هیبریدی یک مدل جایگزین برای پیش‌بینی قیمت نفت می‌باشد، زیرا این مدل ویژگی‌های هر دو رهیافت باکس جنکینز و GARCH را داراست. همچنین مطالعات بعدی می‌توانند برای پیش‌بینی قیمت نفت از دیگر مدل‌های خانواده GARCH، مثل EGARCH یا IGARCH استفاده-کنند.

منابع و مآخذ

ابریشمی، حمید، محسن مهرآرا و یاسمین آریانا (۱۳۸۵)،" ارزیابی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی بی‌ثباتی قیمت نفت"، *مجله تحقیقات اقتصادی*، شماره ۷۸، صص۲۱-۱.

احمدی، علی‌محمد، مهدی ذوالفقاری و آیدین غفارنژاد(۱۳۸۸)، "مطالعه تطبیقی روش‌های ARIMA و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی نیاز داخلی برق کشور"، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، شماره ۴۱،

صص ۱۰۷-۱۷۱.

اصفهانیان، مجید و محمدرضا امین‌ناصری(۱۳۸۷)، "ارائه یک مدل شبکه عصبی جهت پیش‌بینی کوتاه¬مدت نفت خام"، *نشریه بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران*، شماره ۱، صص۱۹-۲۷.

امامی‌میبدی، علی(۱۳۸۵)، "تحلیل عوامل موثربر قیمت نفت خام"، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، سال هشتم، شماره ۲۸، صص ۱۲۲-۱۰۷.

اندرس، والتر(۱۳۸۶)، "اقتصادسنجی سری‌های زمانی با رویکرد کاربردی"، ترجمه مهدی صادقی و سعید شوال‌پور، *انتشارات دانشگاه امام صادق*، تهران، جلد اول.

بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران www.cbi.ir.

برانسون، ویلیام اچ برانسون(۱۳۸۶)، "تئوری و سیاست‌های اقتصاد کلان"، ترجمه عباس شاکری، *نشر نی*. تهران.

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

بیدآباد، بیژن و کامبیز پیکارجو(۱۳۸۷)، "شبیه‌سازی و پیش‌بینی قیمت جهانی نفت خام، *پژوهش‌نامه اقتصادی ایران*" ، سال هفتم، شماره ۲۷، صص ۱۱۷-۸۳.

درخشان، مسعود(۱۳۹۰)، "مشتقات و مدیریت ریسک در بازارهای نفت"، *موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی*، تهران.

راشدی، عصمت، حسین نظام‌آبادی‌پور و سعید سریزدی (۱۳۸۶)،" الگوریتم جستجوی گرانشی باینری"، *اولین کنگره مشترک سیستمهای فازی و سیستمهای هوشمند*.

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

صادقی، حسین، مهدی ذوالفقاری و مجتبی الهامی‌نژاد(۱۳۸۸)، "مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی و مدل ARIMA در مدل‌سازی و پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت سبد نفت خام اوپک (با تاکید بر انتظارات تطبیقی)"، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال هشتم، شماره ۲۸، صص ۴۷-۲۵.

فرجام‌فر، ایمان، محسن ناصری و سیدمحمدمهدی احمدی(۱۳۸۶)،" پیش‌بینی قیمت نفت با دو روش ARIMA و شبکه عصبی مصنوعی"، فصلنامه *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، سال نهم، شماره ۳۲، صص۱۸۳-۱۶۱.

قدیمی، محمدرضا(۱۳۸۱)،" پیش‌بینی رشد تولید ناخالص داخلی ایران با استفاده از شبکه‌های عصبی و

الگوریتم ژنتیک"، *پایان‌نامه دکتری*، دانشگاه علامه‌طباطبایی تهران.

مدیرشانه‌چی، محمد حسین و ارغوان علیزاده(۱۳۸۵)، "پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت نفت با استفاده از شبکه عصبی"، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال سوم، شماره ۹، صص ۲۷-۱.

مهرآرا، محسن، نفیسه بهرادمهر، مهدی احراری و محسن محقق(۱۳۸۹)،"پیش‌بینی بی ثباتی فیمت نفت با استفاده از شبکه‌های عصبی GMDH"، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، موسسه مطالعات انرژی*، شماره ۲۵.

Administration. Retrieved September 12, 2011, *from http:// www.eia.doe.gov/*

Agnolucci, P.(2009). "Volatility in Crude Oil Futures: A Comparison of the Predictive Ability of GARCH and Implied Volatility Models". *Energy Economics 31, pp.316-321.*

BehrangM.A., AssarehE., GhalambazM., Assari M.R., NoghrehabadiA.R., (2011)."Forecasting future oil demand in Iran using GSA(Gravitational Search Algorithm)" *Energy, Volume 36, Issue 9, September pp. 5649-5654.*

Chinn, M. D., LeBlanc, M. and Coibion, O.(2005). "The Predictive Content of Energy Futures: An Update on Petroleum, Natural Gas, Heating Oil and Gasoline". *NBER Working Paper No. 11033.*

EIA(2010, September 12). This Week in Petroleum. Energy Information http://www.eia.doe.gov/ 2010

EsmatRashedi, HosseinNezamabadi-pour, SaeidSaryazdi,(2009)," GSA: A Gravitational Search Algorithm", *Information Sciences 179, pp. 2232–2248.*

Ghaffari, A. and Zare, S.(2009). "A Novel Algorithm for Prediction of Crude Oil Price Variation Based on Soft Computing". *Energy Economics 31, pp.531-536.*

Kumar, M. S.(1992). "The Forecasting Accuracy of Crude Oil Futures Prices". *International Monetary Fund, 39(2), pp. 432-461.*

Kulkarni, S. and Haidar, I.(2009). "Forecasting Model for Crude Oil Price Using Artificial Neural Networks and Commodity Futures Prices". *International Journal of Computer Science and Information Security 2(1).*

Liu, L. M.(1991). "Dynamic Relationship Analysis of US Gasoline and Crude Oil Prices". *Journal of Forecasting, 10, pp.521-547.*

Michael Ye, John Zyren, And Joanne Shore(2002), "Forecasting Crude Oil Spot Price Using OECD Petroleum Inventory Levels", *International Advances in Economic Research.*

Morana, C.(2001). "A Semi Parametric Approach to Short-Term Oil Price Forecasting". *Energy Economics, 23: pp.325-338.*

Moshiri, S. and Foroutan, F.(2006). "Forecasting Nonlinear Crude Oil Futures Prices". *The Energy Journal 27(4), pp.81-95.*

Narayan, P. K. and Narayan, S.(2007). "Modelling Oil Price Volatility". *Energy Policy, 35, pp.6549-6553.*

W. Xie, L. Yu, L, S. Xu, and S. Wang.(2006). "A new method for crude oilprice forecasting based on support vector machines," *Lecture notes incomputer science, V.N. Alexanderov et al., Ed. Springer, Heidelberg, pp.444-451.*