

# کاربرد الگوریتم جستجوی گرانشی و مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم یافته در مدل سازی قیمت نفت تک محموله ایران (رویکرد انتظارات تطبیقی)

علی امامی میبدی<sup>۱</sup> حمید آماده<sup>۲</sup> عباس معمارزاده<sup>۳</sup> امین قاسمی نژاد<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۱۴

## چکیده

مدل سازی رفتار قیمت نفت خام نقش مهمی در بهینه سازی تولید، بازاریابی و راهبرد بازار دارد، همچنین در سیاست های دولت نقش مؤثری را بازی می کند؛ چرا که دولت سیاست های خود را نه فقط بر مبنای وضع موجود، بلکه بر مبنای پیش بینی های کوتاه مدت و بلندمدت از متغیرهای کلیدی اقتصادی تدوین کرده و به اجرا می گذارد که از آن جمله می توان به قیمت نفت اشاره کرد. هدف از انجام این مطالعه مدل سازی قیمت نفت تک محموله ایران با استفاده الگوریتم جستجوی گرانشی و مدل واریانس ناهمسانی شرطی تعمیم یافته است. پیش بینی های این پژوهش که برای مقایسه عملکرد دو مدل انجام شده است، به صورت کوتاه مدت و درون نمونه ای و ایستا بوده؛ به گونه ای که داده ها به دو مجموعه داده های تخمین و داده های اعتبارسنجی تقسیم شده اند. افق اعتبارسنجی به صورت یک دوره به جلو و به مدت یک ماه می باشد. در این مطالعه، مدل هایی که برای پیش بینی قیمت نفت تک محموله ایران انتخاب شده است عبارتند از: واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم یافته (۲ و ۱) و یک تابع کاب داگلاس برای الگوریتم جستجوی گرانشی که تابعی از قیمت ۵ روز گذشته می باشد. در پایان از معیارهای ارزیابی برای مقایسه عملکرد این دو مدل

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

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

۳. دانشجوی دکتری اقتصاد نفت و گاز دانشگاه علامه طباطبائی (نویسنده مسئول)، Email: Memarzadeh\_eco@yahoo.com

۴. دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه شهید باهنر کرمان، Email: Amin.ghasemico@gmail.com

استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که فرایند واریانس ناهمسانی شرطی خود توضیحی تعمیم یافته به جز در معیار میانگین درصد قدر مطلق خطا در بقیه موارد عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم جستجوی گرانشی داشته است.

**واژگان کلیدی:** نفت تک‌محموله، پیش‌بینی، واریانس ناهمسانی شرطی خود توضیحی تعمیم یافته، الگوریتم جستجوی گرانشی.

**JEL:** Q30, C61, C53

### ۱. مقدمه

انرژی نهاده‌ای راهبردی در فرایند تولید است و تغییرات قیمت آن بر اقتصاد تمام جهان تاثیر گذار است؛ به طوری که در میان کشورهای صادرکننده نفت اثر آن بر درآمدهای ارزی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در دوره ۶۹-۱۳۳۸، به جز در سال ۱۳۵۹، همواره بیش از ۸۰ درصد از درآمد ارزی ایران از محل فروش نفت حاصل شده است. در دوره ۸۲-۱۳۷۰ نیز این رقم تنها تا کمتر از ۶۹ درصد کاهش یافته است (بانک مرکزی ایران، ۱۳۸۶). اتکای بالا به درآمد ارزی نفت، افزون بر پدیده بیماری هلندی موجب آسیب‌پذیری از نوسانات ناشی از درآمدهای 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 بعد آن به کمتر از ۴۰ دلار کاهش یافت (EIA, ۲۰۱۰). چنین نوسان بزرگی افزون بر کاهش دسترسی به درآمد 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 در کشورهای صادرکننده عمده نفت، سبب بروز بحران‌های مختلف و تشدید تورم یا رکود و یا هر دو می‌شود، لذا بررسی چگونگی انتخاب راهبردهای صحیح برآورد و پیش‌بینی درآمد 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 و ابزارهای مدل‌سازی در حوزه علوم انسانی به‌طور فزاینده‌ای در حال افزایش است. در چند دهه گذشته عناوین شبکه‌های عصبی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات<sup>۱</sup> و منطق فازی از موضوعاتی بوده‌اند که 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 صحت‌گذاری بر برتری این الگوریتم نسبت به دیگر الگوریتم‌ها، از نظر سرعت و قدرت همگرایی و همچنین دقت بالای آن در برآورد و پیش‌بینی، می‌توان به مطالعات راشدی و همکاران (۲۰۰۷) و همچنین بهرننگ 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.

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<sup>۱</sup> 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 تعمیم‌یافته با همان مجموعه، تخمین زده می‌شود. در بخش پنجم، بر اساس معیارهای خطا، به ارزیابی دو مدل در زمینه پیش‌بینی و اعتبارسنجی قیمت روزانه 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 نفت خام دارد.

### ۱.۲. مطالعات خارجی

مایکل یه و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۲)، با استفاده از داده‌های سطح ذخیره‌سازی، به مدل‌سازی قیمت نفت خام وست تگزاس اینترمدیت<sup>۳</sup> پرداخته‌اند. این الگو مبنای پیش‌بینی وزارت انرژی آمریکا قرار گرفته‌است. در این مدل پیش‌بینی مناسبی در داخل نمونه حاصل آمده‌است. آن‌ها در مطالعه دیگری (۲۰۰۵)، به پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت نفت خام جنوب تگزاس پرداخته‌اند و تاثیر تغییرات بازار، از جمله موجودی کالا، تولید، واردات و تغییرات تقاضا بر روی قیمت‌های ماهانه نفت خام را بررسی کرده‌اند.

لیو<sup>۴</sup> (۱۹۹۱) از مدل‌های تابع انتقال باکس - جنکینز برای مطالعه روابط پویا بین قیمت بنزین آمریکا،

---

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

قیمت نفت خام و موجودی بنزین استفاده کرد.

کومار<sup>۱</sup> (۱۹۹۲) یک مدل خودتوضیحی میانگین متحرک<sup>۲</sup> (۱ و ۲) را برای پیش‌بینی قیمت‌های آتی<sup>۳</sup> نفت خام تخمین زد.

چین و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۵) رابطه بین قیمت‌های تک‌محموله و قیمت‌های بلندمدت را برای حامل‌های انرژی بررسی کردند. یکی از این حامل‌ها، انرژی قیمت نفت و ست تگراز اینترمدیت بود که یک مدل خودتوضیحی میانگین متحرک انباشته<sup>۵</sup> (۱ و ۱ا) برای پیش‌بینی آن استفاده شد.

مشیری و فروتن<sup>۶</sup> (۲۰۰۶) قیمت‌های روزانه بلندمدت نفت خام را مدل‌سازی و پیش‌بینی کردند. آنها مدل خطی خودتوضیحی میانگین متحرک (۳ و ۱) و مدل غیرخطی واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته (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<sup>۷</sup> (۲۰۰۹) از مدل ماشین بردار پشتیبان<sup>۸</sup> 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<sup>۹</sup> (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 نفت خام استفاده کرد که اساس و پایه آن نگرش خودگردانی<sup>۱</sup> بود.

آلگنولوسی<sup>۲</sup> (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<sup>۳</sup> (۲۰۰۷) با استفاده از داده‌های روزانه ۲۰۰۶-۱۹۹۱ و به کمک مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم یافته نمایی<sup>۴</sup> 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<sup>۵</sup> (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 برآورده 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 Heteroscedasticity

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<sup>۱</sup>، 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 برآورد شده است، سپس برای پیش‌بینی و شناسایی مدل مورد نظر با کم‌ترین خطا از مدل‌های خودرگرسیو تصحیح خطا<sup>۲</sup> و خودرگرسیو با وقفه‌های توزیعی<sup>۳</sup> 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<sup>۴</sup>، 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 بوده است.

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<sup>۱</sup>، به بررسی اثرات متغیرهای قیمت گاز طبیعی، تولید ناخالص داخلی جهانی، تولید ناخالص داخلی، کشورهای تولیدکننده نفت، ظرفیت تولید نفت خام 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 پرداخته است. 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 مدل‌سازی و پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت سبد نفت خام اوپک (با تأکید 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



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 کارآمد 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 خود توضیحی تعمیم یافته، تحت چهار معیار سنجش خطا، به پیش‌بینی کوتاه‌مدت 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 (امامی میدی، 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 بوده‌اند که توجه بسیاری

از دانشگاہیان و محققان را به خود جلب کرده است. در حوزه مطالعات داخلی الگوریتم جستجوی گرانشی به صورت محدود و در زمینه موضوعات مرتبط با اقتصاد مورد استفاده قرار گرفته است که در این زمینه تنها می‌توان به مطالعه بهرنک و دیگران (۱۳۸۹) اشاره نمود که 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 به-کارگیری 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. مبانی نظری

#### 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 برآورد 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 برآورد را به صورت زیر نوشت:

$${}_{t-1}P_t = P_{t-1} + \lambda({}_{t-2}P_{t-1} - P_{t-1}) \quad (1)$$

اولین جمله در سمت راست رابطه فوق، سطح قیمت واقعی در زمان  $t-1$  می‌باشد. دومین جمله، همان حاصل ضرب عامل تعدیل  $\lambda$  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:

$${}_{t-2}P_{t-1} = P_{t-2} + \lambda({}_{t-3}P_{t-2} - P_{t-2}) \quad (2)$$

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

$${}_{t-1}P_t = (1-\lambda)P_{t-1} + \lambda(1-\lambda)P_{t-2} + \lambda^2 {}_{t-3}P_{t-2} \quad (3)$$

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:

$${}_{t-1}P_t = (1-\lambda)P_{t-1} + \lambda(1-\lambda)P_{t-2} + \lambda^2(1-\lambda)P_{t-3} + \dots \quad (4)$$

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

مفهوم رابطه (۴) آن است که قیمت انتظاری (پیش‌بینی شده) در دوره  $t$ ، میانگین وزنی از قیمت‌های واقعی در دوره‌های گذشته است. به عبارت دیگر در پیش‌بینی قیمت (تورم، نفت خام ....) دوره  $t$ ، فرد بر اساس قیمت‌های واقعی دوره‌های گذشته، پیش‌بینی را انجام می‌دهد. پس آنچه به طور خلاصه 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<sup>۱</sup>، 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. به وضوح هرچه این اجسام بزرگ‌تر و نزدیک‌تر باشند،

تأثیر 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.

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^i, \dots, x_i^n) \text{ for } i=1,2,3,\dots,m, \quad (5)$$

$n$  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.

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_i(t) \cdot M_j(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (6)$$

$$R_{ij}(t) = \|X_i(t), X_j(t)\|_2 \quad (7)$$

در رابطه (۶)،  $\varepsilon$  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 برزندگی بیشتری باشند.

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in kbest, j \neq i} rand_j(t) * F_{ij}^d(t) \quad (8)$$

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 می شود. طبق قانون دوم نیوتن، هر جرم در جهت بعد  $d$  شتابی می گیرد 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 می دهد.

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_i(t)} \quad (9)$$

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

$$V_i^d(t+1) = rand_i * V_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (10)$$

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

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 می شود. برای تنظیم ضریب گرانش از رابطه (۱۱) استفاده می شود.

$$G(t) = \beta^{-\frac{t}{T}} \quad (11)$$

در رابطه زیر جرم عامل ها بر مبنای تابع هدف تنظیم می شود، به گونه ای که به عامل های با شایستگی بیشتر جرم بیشتری نسبت داده می شود.

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (12)$$

در این رابطه  $fit_i(t)$  بیانگر میزان برازندگی جرم  $i$  در زمان  $t$  است.  $best(t)$  و  $worst(t)$  به ترتیب بیانگر شایستگی قوی ترین و ضعیف ترین عامل جمعیت در زمان هستند. در نهایت اندازه جرم عامل ها طبق رابطه (۱۳) نرمالیزه می شود.

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^n m_j(t)} \quad (13)$$

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-تعمیم‌یافته

انگل<sup>۱</sup> (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  $\varepsilon_t$  جمله خطای (اختلال) فرایند مدل خودتوضیحی میانگین متحرک انباشته است که با استفاده از فرایند باکس-جنکینز تخمین زده شده است. بارسلو<sup>۲</sup> (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:

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

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 میانگین متحرک 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. به عبارت 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<sup>۱</sup> بودن پسماندها را تایید کنند. 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

همان‌طور 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 تعمیم یافته 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 پیش‌بینی شده 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 خودتوضیحی تعمیم 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 شده‌است. این معیارها در جدول ۱ محاسبه شده‌اند.

## جدول ۱. معیارهای ارزیابی و انتخاب مدل

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

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 تعمیم‌یافته 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 شده است. 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 شده است. از میان مدل‌های تخمین زده شده، مدل خودتوضیحی میانگین متحرک انباشته (۱ و ۱) دارای حداقل مقادیر آکائیک و شوارتز بوده که به عنوان مدل بهینه در نظر گرفته شده است.

برای اثبات وجود واریانس ناهمسانی از آزمون ضریب لاگرانژ آرج استفاده شده است. فرض صفر در این آزمون از این قرار است که مدل واریانس ناهمسانی ندارد. از این آزمون برای تایید وقوع اثر آرج بر روی باقی‌مانده‌ها استفاده می‌شود. مقادیر آماره‌های  $F$  و  $NR^2$  به ترتیب ۱۱/۵۸ و ۱۱/۴۳ به دست آمده است 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 خودتوضیحیتمیم یافته تخمین زده شده است. مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحیتمیم یافته (۲ و ۱) دارای حداقل مقادیر آکانیک و شوارتز بوده است. تخمین شاخصهای مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحیتمیم یافته (۲ و ۱) در جدول ۲ فهرست شده است.

**جدول ۲. تخمین شاخص های مدل GARCH(2,1)**

متغیر	ضریب	انحراف معیار	آماره Z	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 <sup>2</sup> (-1)	۰/۰۷۶	۰/۰۲۶	۲/۸۷	۰/۰۰۴۱
GARCH(-1)	۰/۹۶۷	۰/۰۱۸	۱۰۲/۸۴۴	۰/۰۰۰
RESID <sup>2</sup> (-2)	-۰/۰۶۵	۰/۰۰۹	-۲/۴۲۲	۰/۰۱۵۴
F	D-W	AIC	SC	R <sup>2</sup>
-	۱/۹۸	-۴/۶۲	-۴/۵۷	۰/۰۲۱

منبع: یافته های تحقیق

آماره t به دست آمده برای تمامی ضرایب از مقدار بحرانی حاصل از جدول در سطح اعتماد (۱/۹۶ = t<sub>۰.۰۲۵</sub>) بزرگتر بوده و این نشان دهنده معناداری ضرایب در سطح اعتماد ۹۵٪ است. مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحیتمیم یافته (۲ و ۱) را می توان به صورت معادلات میانگین شرطی و واریانس شرطی نیز نوشت:

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

$$\sigma_t^2 = 0.000009 + 0.076 * \varepsilon_{t-1}^2 - 0.065 * \varepsilon_{t-2}^2 + 0.967 \sigma_{t-1}^2$$

## 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 تخمین زده شده همان کشش متغیر وابسته نسبت به متغیرهای ورودی است. از آنجا که داده‌های ما به صورت روزانه و ۵ روز در هفته می‌باشند، وقفه اول تا پنجم متغیر قیمت به صورت 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:

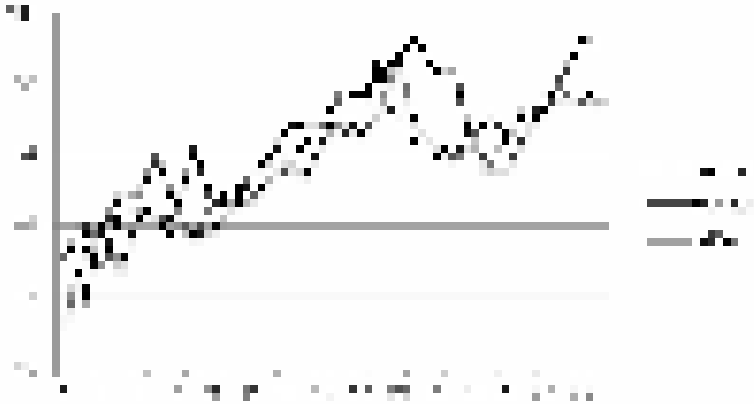
$$\ln Y = A_0 + \alpha_1 \ln(X_{t-1}) + \alpha_2 \ln(X_{t-2}) + \alpha_3 \ln(X_{t-3}) + \alpha_4 \ln(X_{t-4}) + \alpha_5 \ln(X_{t-5})$$

برای برآورد مدل با الگوریتم جستجوی گرانشی از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. هدف اصلی مطالعه برآورد بهترین مدل است، بر این اساس با استفاده از چهار معیار خطای مذکور، بهترین ضرایب ممکن برای تابع تخمین زده شده است. مدل برآورد شده 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 خود توضیحی تعمیم یافته (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. نمودار ۱، مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله فرایند واریانس ناهمسانی شرطی خود توضیحی تعمیم یافته (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

به منظور مقایسه قدرت پیش‌بینی فرایند واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم یافته (۲ و ۱) و الگوریتم جستجوی گرانشی، از معیارهای ارزیابی به شرح جدول ۳ استفاده شده است. 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

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، فرایند واریانس ناهمسانی شرطی تعمیم یافته (۲ و ۱)، 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 نفت خام دارند. در جدول ۴ مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله 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

## 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، برآورد و ارائه مدل مناسب برای پیش‌بینی قیمت نفت خام تک-تک-محموله سبک ایران می‌باشد. در این مطالعه، قیمت نفت تک-محموله ایران با استفاده از مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیح‌تعمیم 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 تک-محموله ایران انتخاب شده است، مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودتوضیحی تعمیم‌یافته (۱ و ۲) 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 (۱ و ۲) 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 مخصوصاً 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 می‌تواند برای پیش‌بینی قیمت نفت از دیگر مدل‌های خانواده GARCH، مثل EGARCH یا IGARCH استفاده-کنند.

## منابع و مآخذ

- ابریشمی، حمید، محسن مهر آرا و یاسمین آریانا (۱۳۸۵)، "ارزیابی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی بی‌ثباتی قیمت نفت"، *مجله تحقیقات اقتصادی*، شماره ۷۸، صص ۲۱-۱.
- احمدی، علی محمد، مهدی ذوالفقاری و آیدین غفارزاد (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 کوتاه‌مدت نفت خام"، *نشریه بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران*، شماره ۱، صص ۱۹-۲۷.

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

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](http://www.cbi.ir)

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

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

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

درخشان، مسعود (۱۳۹۰)، "مشقتات 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 ۲۲-۳۸.

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

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

صص ۱۸۳-۱۶۱.

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

- الگوریتم ژنتیک"، پایان نامه دکتری، دانشگاه علامه طباطبائی تهران.
- مدیرشانه‌چی، محمد حسین و ارغوان‌علیزاده (۱۳۸۵)، "پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت نفت با استفاده از شبکه عصبی"، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال سوم، شماره ۹، صص ۲۷-۱.
- مهرآرا، محسن، نفیسه بهرام‌مهر، مهدی احراری و محسن محقق (۱۳۸۹)، "پیش‌بینی بی‌ثباتی قیمت 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.
- Behrang M.A., Assareh E., Ghalambaz M., Assari M.R., Noghabadi A.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
- Esmat Rashedi, Hossein Nezamabadi-pour, Saeid Saryazdi,(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 oil price forecasting based on support vector machines," *Lecture notes in computer science*, V.N. Alexanderov et al., Ed. Springer, Heidelberg, pp.444-451.