-- Iranian Energy Economics------
Fall 2021, 38(10), 97-126
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2022.49077.1709

ATU PRESS

Original Research
Received: 10/Jan/2020
Accepted: 17/Mar/2022
ISSN: 2423-5954
eISSN: 2476-6437

OPEC Crude Oil Daily Price Modeling by Extracting Nonlinear Exponential Behavior of Variance from Long-Term Memory

Moslem Ansarinasab * — Assistant Professor, Economic Sciences, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

Shabnam Rahimi — Master of Science in Economic Systems Planning, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

Abstract

Given the importance of oil prices, proper prediction of the OPEC Reference Basket can have an essential role in the immunization of economies in these countries against the effects of these fluctuations. This research is an effort to introduce an optimal model for modeling and predicting the fluctuations in OPEC crude oil prices. In this regard, we used data of daily oil prices between 2/1/1986 and 13/2/2017. According to this, the existence of long-term memory in the average equations and variance of crude oil prices were assessed and modeled and the result of the ARFIMA, confirms the existence of long-term memory in both the average equation and series variance. However, tests confirm non-linear and *exponential behavior* in crude oil prices. For this reason, results are specifically based on the information criteria and also MAPE and indicate the selection of a mixed model of partial augmented average movement and the model of conditional exponential Heteroscedasticity EGARCH (1,1) AFIRMA (4,0.09,3) as the best model for modeling and predicting the OPEC crude oil fluctuations in prices and lack of attention to exponential non-linear variance in the long term memory of crude oil prices can cause an error in the calculation of analysts and especially economic decision maker and deviation optimal policies.

Keywords: OPEC crude oil daily price, The Long term memory, Exponential non-linear variance behavior, Autoregressive fractionally integrated moving average, Exponential generalized autoregressive conditional heteroscedastic model.

JEL Classification: Q47 , E37 , Q43 , C53

* Corresponding Author: M.ansarinasab@vru.ac.ir
How to Cite: Ansarinasab, M., Rahimi, Sh. (2021). OPEC Crude Oil Daily Price Modeling by Extracting Nonlinear Exponential Behavior of Variance from Long-Term Memory. Iranian Energy Economics, 38 (10), 97-126.

-- پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ---------
دوره ۱۰، شماره ۳۸، بهار ۱٤۰۰، ۹۷-۱۲٦
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2022.49077.1709

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۶
ISSN: ۲۴۲۳-۵۹۵۴
eISSN: ۲۴۷۶-۶۴۳۷

مدل‌سازی قیمت روزانه نفت‌خام اوپک با استخراج رفتار غیرخطی نمایی واریانس از حافظه بلندمدت

مسلم انصاری‌نسب * استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه ولیعصر، رفسنجان، ایران

شبنم رحیمی کارشناس ارشد اقتصاد، دانشگاه ولیعصر، رفسنجان، ایران

چکیده

با توجه به اهمیت قیمت نفت، پیش‌بینی صحیح قیمت سبد نفت خام کشورهای عضو اوپک می‌تواند نقش به‌سزایی در ایمن‌سازی اقتصاد این کشورها در مقابل اثرات ناشی از این نوسانات داشته باشد. این پژوهش تلاشی در جهت معرفی یک الگوی مطلوب، به منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی نوسانات قیمت نفت خام اوپک خواهد داشت. در این راستا از داده‌های روزانه قیمت نفت خام، طی دوره زمانی ۱۹۸۶/۰۱/۰۲ الی ۲۰۱۷/۰۲/۱۳ استفاده شده است. بر این اساس، وجود ویژگی حافظهٔ بلندمدت در معادلات میانگین و واریانس قیمت نفت خام، مورد ارزیابی و مدل‌سازی قرار گرفت و نتایج مدل «میانگین متحرک انباشته جزئی خودهمبسته»، مؤید وجود ویژگی حافظه بلندمدت در هر دو معادله میانگین و واریانس سری مذکور است. اما آزمون‌های انجام شده، رفتاری غیرخطی و نمایی را در واریانس قیمت نفت خام تایید می‌نمایند. از این رو نتایج به ویژه براساس معیارهای اطلاعات و نیز معیار درصد میانگین مطلق خطا حاکی از انتخاب مدل ترکیبی از الگوی میانگین متحرک انباشته جزئی خودهمبسته و الگوی واریانس ناهمسانی شرطی نمایی یعنی مدل ARFIMA (۴,۰/۰۹,۳) - EGARCH(۱,۱)، به‌عنوان بهترین مدل جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی نوسانات قیمت نفت خام اوپک است و عدم توجه به رفتار غیرخطی نمایی واریانس در حافظه بلندمدت قیمت نفت‌خام می‌تواند تحلیل‌گران و به ویژه تصمیم‌سازان اقتصادی را دچار خطای محاسباتی نموده و از سیاست بهینه منحرف سازد.

کلیدواژه‌ها: قیمت روزانه نفت‌خام اوپک، حافظه بلندمدت، رفتار غیرخطی نمایی واریانس، مدل میانگین متحرک انباشته جزئی خودهمبست، مدل گارچ نمایی

طبقه‌بندی JEL: C53 , Q43 , E37 , Q47

* نویسنده مسئول: M.ansarinasab@vru.ac.ir

۱. مقدمه

نوسانات قیمت نفت، در بازارهای مالی بسیار اثرگذار بوده و به نوعی عامل کلیدی مؤثر بر تعیین قیمت‌های اختیار معامله، مدیریت سبد دارایی و اندازه‌گیری ریسک، به شمار می‌رود (وی و همکاران[1]، ۲۰۱۰). بنابراین، به علت نقش اساسی قیمت نفت در اقتصاد جهانی است که نوسانات قیمت این کالا همواره مورد توجه مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان، دولت‌ها و نیز تصمیم‌گیران کلان اقتصادی، بوده است (وانگ و همکاران[2]، ۲۰۱۱). طی سه دهه گذشته دیدگاهها و الگوهای مختلفی (الگوی کارتل، الگوی رقابتی، الگوی حق مالکیت، الگوی هدف درآمدی، الگوی عرضه باقیمانده و نظریه بازی‌ها، دیدگاه‌های سیاسی و غیره) برای توضیح و تجزیه و تحلیل نوسان‌های قیمت نفت خام مطرح شده است. (همتی، ۱۳۸۴).

از آنجا که شناخت رفتار قیمت نفت خام به دلیل پیچیدگی‌های ناشی از تأثیر عوامل متعدد و نوسانات گسترده به ویژه پس از شوک‌های قیمتی دهه‌های ۷۰ و ۸۰ میلادی تا حدی مشکل است، اغلب برای پیش‌بینی آن از مدل‌های خودرگرسیون تک متغیره استفاده می‌شود که در آنها سری زمانی به صورت ترکیبی از روند گذشته به اضافهٔ یک جزء همراه در نظر گرفته می‌شود که این جزء، طبق نگرش رایج، تصادفی فرض می‌شود و پژوهشگر به دنبال کشف بخش تصادفی و جداسازی آن از بخش غیرتصادفی است. در دو دهه گذشته مطالعات زیادی با استفاده از بررسی حافظه بلندمدت و استفاده از الگوی «مدل میانگین متحرک انباشته جزئی خودهمبسته»[3] انجام پذیرفته است که هز آن جمله، الوارز و رمایرز[4] (۲۰۰۸) یا الدر و سرلتیس[5] (۲۰۰۸)، هررا، هو و پاستور[6] (۲۰۱۸) به بررسی قیمت نفت بازارهای بین‌المللی بر این اساس پرداخته‌اند.

مدل‌سازی براساس الگوی میانگین متحرک انباشته جزئی خودهمبسته، پیش‌بینی براساس حافظه بلندمدت را نشان می‌دهد اما رفتار واریانس متغیر هدف، جزء پنهان مدل‌سازی حرکت یک متغیر است که عدم توجه به آن، نادیده گرفتن نیمی از واقعیت

1. Wei et al.
2. Wang et al.
3. Auto Regressive Fractionally Integrated Moving Average (ARFIMA)
4. Alvarez-Ramirez et al.
5. Elder and Serletis
6. Herreraa, Hu & Pastorc

رفتار آن متغیر است. ازاین‌رو پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از الگوی «مدل میانگین متحرک انباشته جزئی خودهمبسته» حافظه بلندمدت قیمت روزانه نفت خام اوپک را مدلسازی نموده و سپس با بررسی رفتار واریانس تغییرات قیمت نفت، الگوی رفتاری این متغیر را از ترکیب دو الگوی میانگین متحرک انباشته جزئی خودهمبسته و الگوی واریانس ناهمسانی شرطی به دست آورده و مدل بهینه جهت مدلسازی قیمت نفت اوپک را استخراج خواهد نمود.

ازاین‌رو در مجموع مقاله حاضر در پنج بخش سازماندهی شده است. در ادامه و در بخش دوم، ادبیات موضوع و مطالعات پیشین به لحاظ شواهد تجربی مورد بررسی قرار می‌گیرد. بخش سوم از مقاله حاضر، به معرفی الگوها و روش‌های تشخیص ویژگی حافظهٔ بلند و بررسی رفتار واریانس متغیر اختصاص می‌یابد و در بخش چهارم یافته‌های پژوهش ارائه می‌شوند و در بخش پنجم به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاد پرداخته می‌شود.

۲. ادبیات موضوع و مطالعات پیشین

درآمدهای حاصل از فروش نفت جایگاه ویژه‌ای در اقتصاد کشورهای صادرکننده نفت دارد و صنعت نفت از مهم‌ترین صنایع در کشورهای نفت خیز محسوب می‌شود و مسئله پیش‌بینی قیمت نفت در تعیین سیاست بهره‌برداری از منابع نفتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از طرف دیگر پیش‌بینی و الگوهای آن یکی از مباحث مهم و حیاتی مدیریت در زمینه برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری است که امروزه علاقه فراوانی در استفاده از الگوها به منظور بهبود کیفیت تصمیم‌های مدیریتی و کاهش خطاهای پیش‌بینی به وجود آمده است. محققان و کارشناسان کسب و کار، مدت طولانی است که به دنبال درک چگونگی شکل‌گیری قیمت نفت در تجارت بین‌المللی هستند. به طور کلی، اینکه قیمت در بازارهای مالی دارای پویایی و نوسانات شدید است، همانند یک الگو و قالب کلی می‌باشد، که در ادبیات اقتصادسنجی این‌گونه بازارها را بیشتر با مدل‌های خانوادهٔ گارچ[1] مدلسازی و پیش‌بینی می‌کنند. این مدل مشکل نوسانات خوشه‌ای و غیرنرمال بودن در سری‌های زمانی را برطرف کرده و همچنین، عواملی چون شوک‌های ناگهانی، تغییرات ساختاری، پاسخ به تقاضای داخلی، شرایط جهانی اقتصاد و حوادث سیاسی که قیمت

1. GARCH

دارایی‌ها را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند را به خوبی در نظر داشته و در مدل‌سازی به آنها توجه بسیار می‌کند (وو[1]، ۲۰۱۱).

بازار نفت، یکی از بازارهایی است که همواره (به ویژه در سال‌های اخیر) دارای نوسانات شدید بوده، به طوری که پیش‌بینی قیمت آن به سختی امکان‌پذیر است. این بازار معمولاً دچار تغییرات ساختاری ناگهانی شده و این امر منجر به شوک‌های اقتصادی و سیاسی می‌شود. به علت جایگاه ویژهٔ نفت در اقتصاد جهانی، حتی یک کاهش اندک در قیمت این کالا، منجر به افزایش شدید نوسانات بازارها خواهد شد (اربیل[2]، ۲۰۱۱).

در یک تقسیم‌بندی کلی روش‌های پیش‌بینی را به دو دسته کمی و کیفی تقسیم‌بندی می‌کنند. روش‌های کمی زمانی به کار می‌روند که ادامه روند گذشته در آینده انتظار می‌رود و یا نوعی رابطه علّی بین متغیرها برقرار است، در حالی که روش‌های کیفی موقعی مورد استفاده قرار می‌گیرند که اطلاعات اندکی از گذشته در اختیار ما باشد. در این بخش به طور خلاصه به بیان روش‌های رایج پیش‌بینی قیمت نفت پرداخته شده است. روش‌های شبیه‌سازی که توسط (کیم و لونگانی[3]، ۱۹۹۲)، (آبسفلد و روگو[4]، ۱۹۹۵)، (روتمبرگ و وودفورد[5]، ۱۹۹۶)، (برنانک و دستیارانش[6]، ۱۹۹۷)، (فین[7] و همیلتن و هررا[8]، ۲۰۰۰)، (بارسکی، باکوس و کیلیان[9]، ۲۰۰۱) ارائه گردید، دستاورد تمامی این تحقیقات به اینجا منجر شد که بیشترین اثرات در قیمت نفت را متغیرهای پولی و بعضاً مالی بین‌المللی دارد. تمامی این افراد با برازش مدل‌های مختلف به این نتیجه رسیدند که بخش نااطمینانی در قیمت نفت به مرور بیشتر شده است و این امر ریشه در سیاست‌های مالی و پولی آمریکا دارد. از نظر چشم‌انداز تئوریکی علاوه بر مطالعات مندلبروت و والیس[10] (۱۹۶۹)، گرنجر و جویکس[11] (۱۹۸۰)، به مطالعاتی چون (هاسکینگ[12]، ۱۹۸۱)، (کویک و پورتر ـ هوداک[13]، ۱۹۸۳)،

1. Vo
2. Erbil
3. Kim & Loungani
4. Obstfeld & Rogoff
5. Obstfeld & Rogoff
6. Bernanke
7. Finn
8. Hamilton & Herrera
9. Barsky & Kilian
10. Mandelbrot & Wallis
11. Granger & Joyeux
12. Hosking
13. Geweke & Porter-Hodak

(لو[1]، ۱۹۹۱)، (سوول[2]، ۱۹۹۲)، (چونگ و دایبولد[3]، ۱۹۹۴)، (رابینسون[4]، ۱۹۹۵)، (انگل و اسمیت[5]، ۱۹۹۹)، (دایبولد و اینو[6]، ۲۰۰۱)، و (دیتمن و گرنجر[7]، ۲۰۰۲) در زمینهٔ اقتصاد مالی می‌توان اشاره داشت که بیشتر تمرکز آنها بر تست و تخمین چنین مدل‌هایی بود. در حوزه تئوریکی، (دورنیک و اوومس[8]، ۲۰۰۳) رویه پایه راست نمایی[9] را بهبود بخشیدند و سپس آنها در سال ۲۰۰۴ با تست این روش بهبود یافته، تورم را در انگلیس و آمریکا مدلسازی کرده و نتیجه موفقیت‌آمیزی را به دست آوردند. از نظر چشم‌انداز تجربی هم به مطالعاتی چون (دایبولد و رودبوسچ[10]، ۱۹۹۱)، (هاسلر و والترس[11]، ۱۹۹۵)، (هیونگ و فرانسس[12]، ۲۰۰۱)، (چیو و ذیوت[13]، ۲۰۰۲)، می‌توان اشاره کرد. «مدل‌های میانگین متحرک انباشته جزئی خودهمبسته» در ابعاد گوناگونی از بازارهای پولی و مالی بررسی شده است.

از جمله می‌توان به تحقیق‌های انجام شده در زمینه بررسی وجود حافظه بلندمدت در سری‌های زمانی نرخ ارز، نرخ بهره، نرخ تورم، قیمت‌ها و بازده سهام در کشورهای مختلف اشاره کرد. لیکن این موضوع در بازار بین‌المللی نفت و مشتقات آن که یکی از بازارهای مالی مهم است تاکنون به طور گسترده بررسی نشده است. در این زمینه تنها می‌توان به مطالعه‌های صورت گرفته توسط (الوارز، رمایرز و همکاران ۲۰۰۲)، (الدر و سرلتیس[14]، ۲۰۰۸)، اشاره کرد. (الوارز، رمایرز و همکاران، ۲۰۰۲)، قیمت‌های روزانه نفت خام برنت، قیمت نفت WTI و نفت خام دبی را در دوره‌های زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۲ بررسی نمودند.

پیش‌بینی قیمت، تکنیکی است که توسط تحلیل‌های رگرسیونی یا میانگین متحرک انجام می‌شود. برای یک سری زمانی نیز می‌توان از مدل‌های «خود توضیح جمعی میانگین

1. Lo
2. Sowell
3. Cheung & Diebold
4. Robinson
5. Engle & Smith.
6. Diebold & Inoue
7. Dittman & Garanger
8. Doornik & Ooms.
9. likelihood based
10. Diebold & Rudebusch
11. Hassler & Wolter
12. Hyung & Franses
13. Chio & Zivot
14. Elder and Serletis

متحرک»[1] و «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» استفاده کرد. از آن جایی که فرآیندهای حافظه بلندمدت، مانا هستند این امکان وجود دارد که با بیشتر اجزای مدل میانگین متحرک خودهمبسته[2] بتوان فرآیند را تخمین زد، اما مدل‌هایی که این‌گونه تخمین زده شده‌اند به سختی با مقادیر واقعی تطبیق پیدا می‌کنند و تفسیرشان دشوار است. دلیل این دشواری، وجود ذات کوتاه‌مدت در پارامترهای فرآیند مدل میانگین متحرک خودهمبسته می‌باشد، اما در مقابل، مدل‌های «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» از پارامتر d برای وابستگی بلندمدت و از پارامترهای مدل میانگین متحرک خودهمبسته برای وابستگی کوتاه‌مدت بهره می‌برد. همان‌طور که (سوول، ۱۹۹۲) بیان کرده است، استفاده از پارامترهای متنوع برای گونه‌های مختلف وابستگی، تخمین و تفسیر مدل‌ها را آسان می‌کند. برای داده‌هایی که دارای مشکل واریانس ناهمسانی وابسته به زمان هستند، این نوع واریانس ناهمسانی دارای ویژگی از نوع مدل‌های گارچ در نظر گرفته می‌شود. این مدل الگوی نوینی به منظور تحلیل رابطه بین میانگین و واریانس شرطی یک فرآیند با حافظه بلندمدت و دارای روند نزولی در سطح فراهم می‌کند. این در حالی است که نوسانات در طول زمان متغیر هستند (بیلی و چانگ وتسلا[3]، ۱۹۹۶).

اصولاً مدل «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» به بررسی حافظه بلند در سری کمک می‌کند اما توجه، تنها به حافظه بلند و در نظر نگرفتن نوسانات کوتاه در واریانس از خطاهای رایج چنین برآوردهایی است. مدل «واریانس ناهمسانی شرطی اتورگرسیو» که نخستین بار توسط انگل[4] (۱۹۸۲) مطرح و بعدها توسط بولرسو[5] (۱۹۸۶) تعمیم داده شد، از جمله مدل‌هایی است که برای تبیین نوسانات یک سری به کار می‌روند. پس از آن، انواع مختلف مدل‌های واریانس ناهمسانی شرطی معرفی شده‌اند که به طور کلی آنها را می‌توان به دو دستهٔ مدل‌های خطی (مدل‌های گارچ وای گارچ) و مدل‌های غیرخطی (شامل مدل‌های فی گارچ، پی گارچ، تی گارچ،ای گارچ) تقسیم کرد. استخراج نوسانات واریانس در رفتار کوتاه‌مدت هر سری تکمیل‌کننده رفتار بلندمدت هر متغیر بر پایه حافظه بلند است و این هر دو هستند که مدلسازی رفتار یک متغیر در طول زمان را تکمیل

1. Auto Regressive Integrated Moving Average (ARIMA)
2. ARMA
3. Baillie, Chung & Tieslau
4. Engel
5. Borlerslev

می‌کنند و در نظر نگرفتن هریک از این دو رفتار، پیش‌بینی‌های سیاست‌گذار و تصمیم‌ساز اقتصادی را دچار انحراف نموده و از کارایی سیاست خواهد کاست.

البته مطالعات متعددی در این زمینه در داخل و خارج از کشور صورت گرفته که هریک سعی نموده‌اند از زاویه‌ای، مباحث فوق را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دهند لذا در ادامه به مروری بر برخی مطالعات صورت گرفته در این زمینه پرداخته خواهد شد.

بهاردواج و سوانسون (۲۰۰۴)، نتیجه گرفتند که مدل «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» برای دوره‌های زمانی طولانی مدت معمولاً بسیار بهتر از مدل‌های مدل میانگین متحرک خودهمبسته، مدل میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه[1]، گام تصادفی در تخمین فرآیند تولید داده‌های مورد بررسی عمل می‌کند. یافته دیگر پژوهش آنها آن بود که برخلاف پژوهش‌های پیشین که می‌گفتند مدل ساده میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه در پیش‌بینی سری زمانی نتایج بهتری نسبت به مدل با پارامترهای زیاد «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» ارائه می‌کند، نتایج پژوهش‌های آنها خلاف این موضوع را بیان می‌کرد.

ون جی تسای (۲۰۰۸)، با استفاده از یک مدل «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» به ساخت یک مدل مارکوف ـ سوییچینگ کسری در پارامترها برای شوک‌های نفتی آمریکا پرداخت. در این تحقیق، وی به این نتیجه رسید که شوک‌های ناگهانی نفتی در شکل‌دهی به تورم آمریکا بسیار مهم هستند. همچنین نتایج وی نشان‌دهنده آن بود که تورم آمریکا به صورت میانگین بازگشتی دارای حافظه بلندمدت است.

محمدی و سو (۲۰۰۸)، در مقاله خود با استفاده از چندین مدل میانگین متحرک انباشته جزئی خودهمبسته،ای گارچ برای پیش‌بینی قیمت نفت طی سال‌های ۲۰۰۹ـ۱۹۹۷ استفاده کرده‌اند. چهار مدل‌ای پی گارچ،ای گارچ، گارچ، فی گارچ، به کار برده شد و نتایج نشان از برتری مدل‌های واریانس استاندارد شرطی بر مدل‌های متداول واریانس شرطی دارد.

چوی و حموده (۲۰۰۹)، به بررسی حافظهٔ بلندمدت بازار نفت و محصولات تصفیه‌شدهٔ آن با مدل «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» پرداخته‌اند. آنها نشان داده‌اند که مدل‌های غیر خطی «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» قیمت نفت را بهتر مدل‌سازی می‌کنند و در مورد تداوم بازده قیمت نفت به مقدار جزئی شکست ساختاری را کاهش می‌دهند.

1. ARIMA

وی و همکاران (۲۰۱۰)، با استفاده از مدل‌های خطی و مدل‌های خانواده گارچ به پیش‌بینی نوسانات قیمت نفت پرداختند و نتیجه حاصل از پژوهش آنها نشان داد که مدل‌های خانواده گارچ از دقت زیادتری در پیش‌بینی نوسانات قیمت نفت نسبت به مدل‌های خطی برخوردار است و ویژگی حافظه بلند مدت و نوسانات نامتقارن را پوشش می‌دهد.

وانگ و همکاران (۲۰۱۱) و پرادو (۲۰۱۱)، در تحقیقی، به مقایسهٔ دقت برآورد مدل‌های مختلف گارچ در مدل‌سازی ویژگی حافظهٔ بلندمدت نوسانات بازده قیمت نفت پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در سری‌های زمانی‌ای که دارای ویژگی حافظهٔ بلندمدت می‌باشد، مدل فی گارچ نسبت به مدل گارچ، از دقت بالاتری برخوردار است. همچنین آنها بیان می‌دارند، اگرچه مدل‌های غیرخطی در رابطه با حافظهٔ بلندمدت می‌باشند، ولی با روابط کوتاه مدت نیز، سازگاری دارند.

کریستیانپولر و مینوتولو[1] (۲۰۱۶) در مطالعه خود به پیش‌بینی قیمت نفت و مدل‌سازی نوسانات آن پرداخته‌اند. آنها در این راستا یک مدل شبکه عصبی را با مدل گارچ ترکیب نموده و نشان دادند این مدل ترکیبی گارچ و شبکه عصبی[2] می‌تواند نوسانات قیمت نفت خام را بهتر مدل‌سازی نماید. برتری این الگو در نظر گرفتن هم‌زمان یک الگوریتم یادگیرنده و همچنین بررسی واریانس نوسانات قیمت نفت است.

چن، ژو، ژوآ و ژانگ[3] (۲۰۱۶) در مطالعه خود با استفاده از یک مدل موج خاکستری به پیش‌بینی قیمت نفت خام در بازارهای جهانی پرداختند. آنها از داده‌های نفت خام برنت و قیمت نفت اینترمدیت وست تگزاس از ژانویه ۲۰۰۵ تا اکتبر ۲۰۱۵ استفاده نموده و با استفاده از مدل پیش‌بینی موج خاکستری سعی در ارائه الگویی بهینه جهت پیش‌بینی قیمت نفت خام نمودند. نتایج آنها حاکی از آن است که این الگو در مقایسه با روش ARMA(۱,۱) نتایج بهتری داشته و از دقت بالاتری برخوردار است.

هررا، هو و پاستور[4] (۲۰۱۸) در پژوهشی سعی در پیش‌بینی تلاطم‌های قیمت نفت خام نموده‌اند. آنها با استفاده از مدل خودرگرسیونی واریانس ناهمسانی شرطی تعمیم یافته، حافظه بلندمدت الگوی از مدل انباشتگی کسری و الگوی مارکوف ـ سوئیچینگ به پیش‌بینی قیمت نفت اینترمدیت وست تگزاس از ۳ ژانویه ۲۰۰۷ تا ۲ آوریل ۲۰۱۵

1. Kristjanpollera & Minutolo
2. ANN-GARCH
3. Chen, Zou, Zhoua & Zhang
4. Herreraa, Hu & Pastorc

پرداخته‌اند. نتای آنها نشان داد که مدل GARCH (۱,۱) برای دوره با افق کوتاه مدت، مدل EGARCH (۱,۱) برای دوره با افق متوسط و مدل مارکوف ـ سوئیچینگ برای دوره با افق بلندمدت پیش‌بینی‌های دقیق‌تری را ارئه می‌نمایند.

بریستونه، پراساد و ابوبکر[1] (۲۰۱۹) در مقاله‌ای به پیش‌بینی قیمت نفت خام پرداخته‌اند. آنها داده‌های سبد نفت اوپک برای دوره زمانی ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۸ را به صورت ماهانه استخراج نموده ابتدا با استفاده از آنالیز شبکه پیچیده و استخراج حافظه بلندمدت داده‌های قیمت نفت اوپک سعی در ارائه الگویی جهت پیش‌بینی قیمت نفت داشته و در ادامه با ترکیب این روش با الگوریتم یادگیری عمیق به استخراج ویژگی‌های غیرخطی این سری زمانی پرداخته‌اند. نتایج آنها نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌های حاصل از این مدل ترکیبی، از دقیق به مراتب بالاتری در مقایسه با مطالعات قبلی برخوردار است.

گوپتا و نیگام[2] (۲۰۲۰) در مقاله‌ای با عنوان «پیش‌بینی قیمت نفت خام با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی» سعی نمودند مدل نوآورانه و قابل اعتمادی برای پیش‌بینی قیمت نفت در دوره زمانی ژانویه ۲۰۱۴ تا سپتامبر ۲۰۱۹ ارائه نمایند. آنها با کمک گرفتن از شبکه عصبی مصنوعی سعی در یافتن تعداد تأخیر و وقفه‌های بهینه در یک دوره زمانی نمایند که بهترین و نزدیکترین جواب را جهت پیش‌بینی قیمت نفت خام داشته باشد که بررسی معیار حداقل مربعات خطا نشان‌دهنده قدرت مدل مورد نظر داشته است.

ابریشمی و همکاران (۱۳۸۶)، از مدل‌های اتورگرسیو ناهمسانی شرطی با استفاده از معیارهای عملکرد به پیش‌بینی بی‌ثباتی قیمت نفت پرداختند، آنها نتیجه گرفتند که مدل‌های تی‌گارچ و گارچ عملکرد مناسب‌تری نسبت به سایر مدل‌های واریانس شرطی در رابطه با پیش‌بینی بی‌ثباتی قیمت نفت خام دارند. به علاوه پدیده موسوم به اثرات اهرمی در بازار نفت مشاهده می‌شود.

محمودی و محمدی (۱۳۸۹)، به بررسی روند حافظه بلند مدت در بازارهای جهانی نفت با استفاده از مدل «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» پرداختند. آنها با استفاده از روش‌های مختلف نشان دادند بازار نفت برنت و قیمت نفت اینترمدیت وست تگزاس دارای حافظه بلندمدت نیست. همچنین در تحقیقی دیگر محمدی و چیت‌سازان (۱۳۹۰) با استفاده از مدل «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی»، حافظه بلندمدت بورس اوراق

1. Bristonea, Prasad & Abubakara
2. Gupta & Nigam

بهادار تهران را بررسی کردند. آنها نشان دادند بورس اوراق بهادار تهران دارای حافظه بلندمدت می‌باشد و برای پیش‌بینی در این بازار می‌توان از مدل «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» استفاده کرد.

مهرآرا و همکاران (۱۳۸۹)، پیش‌بینی قیمت نفت برنت و وست ـ تگزاس را به کمک مدل‌های شبکهٔ عصبی انجام داده‌اند. در این مطالعه برای پیش‌بینی، از چهار مدل الگوی اقتصادسنجی گارچ، دو الگوی مبتنی بر شبکه عصبی و الگوی ترکیبی شبکه عصبی و گارچ استفاده شده است. نتایج این تحقیق، برتری الگوی شبکه عصبی و گارچ را براساس معیارهای خوبی برازش اعلام کرده است.

اکبر کمیجانی و همکاران (۱۳۹۱)، به مقایسه انواع مدل‌های واریانس ناهمسان شرطی در مدل‌سازی و پیش‌بینی نوسانات قیمت نفت با مدل‌های مختلف پرداخته‌اند. بر این اساس، وجود ویژگی حافظهٔ بلندمدت در معادلات میانگین و واریانس سری بازده قیمت نفت خام، مورد ارزیابی و مدل‌سازی قرار گرفته است و نتایج این تحقیق، مؤید وجود این ویژگی در هر دو معادلهٔ میانگین و واریانس سری مذکور می‌باشد و مدل‌های مدل میانگین متحرک انباشته جزئی خودهمبسته و گارچ ترتیب به عنوان بهترین مدل، به جهت مدل سازی و پیش‌بینی نوسانات قیمت نفت خام سنگین ایران در دورهٔ مورد بررسی، انتخاب شده است.

شهبازی و همکاران (۱۳۹۲)، مقاله‌ای تحت عنوان تأثیر شوک‌های قیمت نفت بر بازدهی سهام در بورس اوراق بهادار تهران: مدل خودرگرسیون برداری ساختاری[1] منتشر نمودند. هدف این مقاله بررسی تأثیر شوک‌های قیمت نفت ناشی از عرضه و تقاضای نفت خام بر بازدهی سهام در بورس اوراق بهادار تهران می‌باشد. نتایج حاکی از آن بود که شوک عرضه نفت اثر معنی داری بر روی قیمت نفت ندارد و تنها شوک‌های تقاضای نفت و تقاضای کل، از عوامل مؤثر بر بازدهی سهام در بورس اوراق بهادار تهران محسوب می‌شوند.

آماده و همکاران (۱۳۹۳)، با استفاده از مدل‌های مدل میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه و مدل میانگین متحرک انباشته جزئی خودهمبسته به پیش‌بینی قیمت هفتگی بنزین پرداخته‌اند و از داده‌های سری‌زمانی قیمت بنزین فوب خلیج فارس از ابتدای سال ۲۰۰۹ تا

1. SVAR

هفته ۲۶ سال۲۰۱۲ به صورت هفتگی استفاده شده و نتایج تحقیق نشان داد که مدل میانگین متحرک انباشته جزئی خودهمبسته (۶، ۰/۲۲، ۶) نسبت به مدل میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه (۰، ۱، ۱) مدل مناسب‌تری برای پیش‌بینی قیمت بنزین است و میزان خطای کمتری دارد.

جوانمرد و فقیدیان (۱۳۹۴) در پژوهشی با عنوان «مقایسه عملکرد مدل‌های پیش‌بینی خاکستری با هدف پیش‌بینی قیمت نفت خام» به معرفی معرفی و استفاده از مدل‌های پیش‌بینی خاکستری برای پیش‌بینی قیمت نفت خام اوپک و مقایسه دقت این مدل‌ها در پیش‌بینی قیمت نفت خام پرداخته‌اند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که مدل چرخشی خاکستری (۱، ۱) و مدل متداول خاکستری (۱، ۱)، مدل‌های مناسبی برای پیش‌بینی قیمت نفت محسوب می‌شود و از دقت بالایی برخوردار است.

فیروزی و دهقانی (۱۳۹۵) در پژوهشی با عنوان «کاربرد الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی معماری شبکه عصبی[1] و پیش‌بینی قیمت نفت» به بررسی عملکرد مدل شبکه عصبی اصلاح شده با الگوریتم ژنتیک جهت پیش‌بینی قیمت نفت اینترمدیت وست تگزاس در سال ۲۰۱۲ تا انتهای ۲۰۱۵ پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان‌دهنده عملکرد بهتر و دقت بیشتر مدل پیشنهادی پژوهش حاضر در مقایسه با سایر مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی قیمت نفت است.

فرنوش، نباتی و عزیزی (۱۳۹۵) در پژوهشی با عنوان «شبیه‌سازی و پیش‌بینی قیمت نفت اوپک با استفاده از معادلات دیفرانسیل تصادفی» به آنالیز کمی جهت بررسی رفتار قیمن نفت اوپک پرداختند. آنها ابتدا کارایی مدل‌های مختلف معادلات دیفرانسیل تصادفی را جهت شبیه‌سازی قیمت نفت اوپک مورد بررسی قرار داده، سپس با استفاده از قیمت‌های روزانه نفت اوپک در سال ۲۰۱۶ـ۲۰۰۳ و با توجه به نوسانات زیاد قیمت نفت در این بازه زمانی، داده‌ها را به چهار قسمت تقسیم کرده و با استفاده از روش برآورد گشتاوری تعمیم‌یافته، در این بازه‌های زمانی پارامترهای مجهول معادلات را برآورد نموده و بهترین مدل جهت پیش‌بینی قیمت نفت اوپک پرداختند.

حاجی کرم و دارابی (۱۳۹۶) در پژوهش خود با عنوان «پیش‌بینی قیمت روزانه نفت خام برنت با ترکیب روش‌های آنالیز مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون بردار پشتیبان» به

1. GADDN

پیش‌بینی قیمت روزانه نفت خام برنت با یک مدل ترکیبی از ژوئیه سال ۲۰۰۸ تا ژوئیه سال ۲۰۱۶ با استفاده از ترکیب روش‌های آماری و هوش مصنوعی پرداختند. نتیجه پژوهش آنها نشان داد که پیش‌پردازش اولیه به وسیله آنالیز مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌ها باعث کاهش خطای مدل پیشنهادی خواهد شد.

لاری و خلیلی (۱۳۹۷) در پژوهشی خود با عنوان «تخمین قیمت نفت خام اوپک با استفاده از روش‌های درخت دوتایی، سری زمانی و شبکه‌های عصبی مصنوعی» با استفاده از داده‌های هفتگی قیمت نفت خام اوپک برای سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ و با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، توابع سری زمانی و درخت دوتایی مدل‌هایی برای تخمین آن ارائه نمودند. مقایسه نتایج به دست آمده از مدل‌سازی روند تغییرات قیمت نفت نشان داد که برآورد صورت گرفته توسط روش شبکه عصبی به واقعیت نزدیکتر است. مقایسه نتایج به دست آمده آنها نشان می‌دهد که روش شبکه عصبی مصنوعی بهترین تخمین را از داده‌های نفت ارائه کرده است و پس از آن روش‌های درخت دوتایی و سری زمانی در رده‌های بعدی قرار دارند.

انصاری‌نسب و منظری توکلی (۱۳۹۹) در پژوهش خود به مدل‌سازی رفتاری مصرف بنزین به عنوان یکی از فرآورده‌های نفتی برای دوره زمانی ۱۳۹۶ـ۱۳۰۶ با استفاده از بررسی ویژگی حافظه بلندمدت «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» و مدل تغییر رژیم مارکوف ـ سوئیچینگ پرداخته‌اند. یافته‌های آنها نشان داد برای مدل‌سازی مصرف بنزین در ایران با مدل مارکوف ـ سوئچینگ، از میان مدل‌های مختلف، مدل مارکوف ناهمسانی در واریانس با ۳ رژیم و ۲ وقفه بهترین مدل است و از بین الگوهای اتورگرسیو میانگین متحرک انباشته کسری و مدل مارکوف ـ سوئچینگ براساس معیارهای مختلف حاکی از بهتر بودن نتایج مارکوف ـ سوئچینگ در مقایسه با مدل «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» جهت مدل‌سازی مصرف بنزین در ایران است.

همان‌طورکه مشخص است مدل‌های مختلفی جهت مدل‌سازی رفتار قیمت نفت در پژوهش‌های مختلف مورد استفاده شده است. اول آنکه هیچ مطالعه‌ای به بررسی حافظه بلندمدت و مدل‌سازی قیمت روزانه نفت اوپک به ویژه در دهه اخیر از این زاویه نپرداخته است که با توجه به حجم این سبد از کل بازار نفت جهانی، بررسی قیمت این سبد نفتی بسیار حائز اهمیت است. استفاده از حافظه بلندمدت و مدل‌های تعیین رفتار غیرخطی

واریانس قیمت نفت خام اگرچه در چند مورد به طور جداگانه استفاده شده است اما تاکنون از ترکیب این دو روش الگوی میانگین متحرک انباشته جزئی خودهمبسته و الگوی واریانس ناهمسانی شرطی نمایی جهت بررسی رفتار غیرخطی نمایی واریانس به دست آمده از حافظه بلندمدت قیمت نفت اوپک استفاده نشده است و با توجه به مزایای ترکیب این دو روش، پژوهش حاضر سعی در رفع این نقصان در ادبیات اقتصادی و معرفی مدلی نوین جهت مدل‌سازی رفتار قیمت نفت دارد.

۳. معرفی الگو

۱-۳. مدل رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی[1]

نخستین مطالعه در زمینه وجود فرآیندهای با حافظه بلندمدت توسط هارست[2] (۱۹۵۱)، مدل‌سازی شد. در الگوهای سری زمانی، ارزش و مقادیر آتی سری زمانی می‌تواند براساس مقادیر گذشته آن سری پیش‌بینی شود. تحلیل سری‌های زمانی مبتنی بر این فرض است که الگو مانا باشد و یا اگر مانا نباشد بتوان با تفاضل‌گیری آن را به الگویی مانا تبدیل کرد. بعد از مطالعات انجام شده در مورد وجود ریشه واحد و هم‌انباشتگی در سری‌های زمانی که از اواسط دهه ۱۹۸۰ آغاز شد، اقتصاددانان از وجود زیرگونه‌ها و انواع دیگری از الگوهای نامانایی و مانایی آگاه شدند که در بسیاری از سری‌های زمانی در بازارهای مالی و اقتصادی دیده می‌شد. یکی از شناخته‌شده‌ترین و انعطاف‌پذیرترین این الگوها در زمینه اقتصادسنجی، الگوی خود رگرسیون انباشته کسری میانگین متحرک «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» است. در این مدل، درجه انباشتگی کسری d را حافظه بلندمدت می‌نامند، زیرا ناظر بر ویژگی‌های بلندمدت سری است. (محمدی و طالبلو، ۱۳۸۹).

مدل‌های حافظه بلندمدت نشان‌دهنده ساختار ناخطی بازارهای سرمایه‌اند و درنتیجه نشان می‌دهند که الگوهای خطی در توصیف ماهیت واقعی این بازارها ناکارآمد هستند. ساختار ناخطی بازار سرمایه موجب می‌شود تا پیش‌بینی آن مشکل شود. مزیت مدل «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» صرفه‌جویی در پارامترها در مدل‌سازی حافظهٔ بلندمدت است و فرآیند آن بدون مشکلات تخمین مدل‌های تقریباً نامانا می‌باشد. شهرام گلستانی (۱۳۹۳).

1. ARFIMA
2. Hurst

الگو ARFIMA (p, d, q) با میانگین μ به صورت کلی زیر نمایش داده می‌شود.

$$\varphi(L)(1-L)^d(y_t-\mu_t)=\theta(L)\ t=1,2,3,\dots,T \qquad (۱)$$

p و q اعداد صحیح هستند و d پارامتر تفاضل‌گیری می‌باشد. φ(L): چند جمله‌ای خود همبستگی، θ(L): چند جمله‌ای میانگین متحرک، L: عملگر وقفه، μ_t: میانگین و $(1-L)^d y_t$: معرف عملگر تفاضل کسری که با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$(1-L)^d=\sum_{j=0}^{\infty}\delta_j\ L_j=\sum_{j=0}^{\infty}(d)(-L) \qquad (۲)$$

حال اگر d <۰/۵ باشد کوواریانس مدل ثابت بوده و اگر d > ۰ باشد، دارای ویژگی حافظهٔ بلندمدت خواهد بود، زمانی که ۰/۵> d >۰ باشد، تابع خودهمبستگی به صورت هیپربولیکی کاهش می‌یابد و زمانی که ۰> d >۰/۵- باشد، فرایند حافظهٔ کوتاه‌مدت پیش می‌آید. فرآیند حافظهٔ کوتاه‌مدت نشان‌دهنده این است که از متغیر مورد بررسی بیش از حد تفاضل‌گیری شده و خودهمبستگی افزایش می‌یابد (اکبر کمیجانی و همکاران، ۱۳۹۱).

در یک مدل «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» مشکل اصلی، تخمین پارامتر حافظه (d) است و روش‌های مختلفی نیز برای تخمین این پارامتر پیشنهاد شده است. برخی از این روش‌ها عبارتند از: تحلیل کلاسیک R/S، تحلیل R/S تعدیل شده، حداقل مربعات غیرخطی، حداکثر درستنمایی دقیق، حداکثر درستنمایی تعدیل شده، تخمین زن حداقل مربعات تعمیم یافته. تکنیک‌هایی از قبیل روش چگالی طیفی، روش تخمین زن موجک.

تخمین‌زن موجک شامل رویه تخمین دو مرحله‌ای می‌باشد که در گام اول پارامتر تفاضل‌گیری را تخمین می‌زنند و در گام بعدی پارامتر تفاضل‌گیری تخمین زده به یک سری‌زمانی که احتمالاً از مدل آرما تبعیت می‌کند، منتقل می‌شود. از محدودیت چنین مدل‌هایی این است که اطلاعات را در فرکانس‌های پایین به کار می‌برند به طوری که هنگام تخمین پارامتر d خصوصیات کوتاه‌مدت سری را بررسی نمی‌کنند. برای رفع محدودیت این نوع تکنیک‌ها، بررسی سری‌های زمانی تحت فرآیند «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» معرفی شده‌اند و شامل رویه تخمین یک مرحله‌ایی هستند انجام می‌دهیم. این نوع فرآیند پویای بلندمدت را به واسطهٔ پارامتر انباشته کسری d بررسی می‌کند در حالی که اجزای سنتی AR و MA پویایی‌های کوتاه‌مدت سری زمانی را دربر

می‌گیرند که فرآیند تخمین d، AR و MA به صورت همزمان صورت می‌گیرد. از جمله تکنیک‌های برآوردشده به این روش شامل حداکثر درست نمایی دقیق[1]، حداکثر درست نمایی تعدیل شده[2]، حداقل مربعات خطی[3] است. با توجه به تعریف دو روش حداکثر درستنمایی دقیق و حداکثر درستنمایی تعدیل شده مقدار درجه انباشتگی را بین صفر و یک تخمین می‌زنند. اگر الگو از مشاهدات کمتری برخوردار باشد، الگوی حداکثر درستنمایی تعدیل شده بر الگوی حداکثر درستنمایی دقیق، ترجیح دارد. الگوی دیگر، درجه انباشتگی را بزرگتر از ۰/۰۵ به دست می‌آورد. (بیلی و دیگران[4]، ۱۹۹۶). در این پژوهش، به منظور تخمین درجه انباشتگی و پیش‌بینی قیمت نفت از دو روش حداکثر درستنمایی دقیق (سول، ۱۹۹۲) و حداکثر درستنمایی تعدیل شده استفاده می‌شود.

۲-۳. تفاضل‌گیری کسری و رابطهٔ آن با حافظه بلند

بیشتر سری‌های زمانی اقتصادی و مالی، نامانا هستند و بنابراین لازم است قبل از به‌کارگیری آنها در تحلیل‌های سری زمانی، مانا شوند. یکی از روش‌های مرسوم و متداول مانا کردن یک سری، روش تفاضل‌گیری است که البته با این روش، احتمال از دست رفتن بخشی از اطلاعات مهم موجود در سری زمانی وجود دارد. از سوی دیگر، اگر از یک سری بیش از حد لازم تفاضل‌گیری شود (عمل بیش تفاضل‌گیری) رفتار واریانس سری تحت تأثیر قرار خواهد گرفت، به‌طوری‌که قبل از دستیابی به مانایی سری زمانی، واریانس سری روند کاهشی خواهد داشت و زمانی که بیش تفاضل‌گیری انجام شد، واریانس سری دوباره افزایش خواهد یافت، (ایکسیو و جین[5]، ۲۰۰۷). به دلیل مشکل بودن آن معمولاً اقتصاددانان در تحلیل‌های تجربی خود از تفاضل‌گیری مرتبه اول استفاده می‌کنند. بدون شک چنین جایگزینی‌ای منجر به بیش تفاضل‌گیری و در پی آن از دست رفتن بخشی از اطلاعات موجود در سری زمانی خواهد شد. عرفانی (۱۳۸۷). بر این اساس، چنانچه بخواهیم هم مانایی سری را داشته باشیم و هم دچار مشکلات ناشی از بیش تفاضل‌گیری نشویم، لازم است تفاضل‌گیری کسری انجام دهیم.

---

1. EML
2. MPL
3. NLS
4. Baillie et al.
5. Xiu Jin & Yao Jin.

اگر d پارامتر تفاضل‌گیری کسری باشد، سری زمانی غیرمانای X_t را با روش زیر می‌توان مانا کرد.

$$w_t = (1-L)^d X_t \qquad (۳)$$

که در آن L عملگر وقفه و W_t سری زمانی مانا شده است. بسط دوجمله‌ای $(1-L)^d$ عبارت است از:

$$(1-L)^d = 1 - dL + \frac{d(d-1)}{2!} L^2 \qquad (۴)$$

برای هر عدد واقعی d > -1 عبارت بالا را می‌توان براساس یک تابع فوق هندسی (مثل تابع گاما) نوشت:

$$(1-L)^d = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\Gamma(k-d)}{\Gamma(k+1)\Gamma(-d)} L^k \qquad (۵)$$

اگر d = ۰ باشد سری X_t نوفهٔ سفید بوده و تابع خودهمبستگی آن به سرعت به صفر میل خواهد کرد. چنان چه d = 1 باشد سری تحت بررسی گام تصادفی خواهد بود و مقدار تابع خود همبستگی آن یک بوده و با اولین تفاضل‌گیری مانا می‌شود. اما اگر پارامتر تفاضل‌گیری d عددی غیرصحیح باشد، هرکدام از عناصر سری تفاضل‌گیری کسری شده W_t درواقع مجموع وزنی عناصر سری اولیه، یعنی X_t خواهد بود. این ویژگی همان ویژگی حافظهٔ بلند سری است.

۳-۳. روش‌های تشخیص ویژگی حافظه بلند و محاسبهٔ پارامتر تفاضل‌گیری تحلیل دامنه استاندارد شده

این روش که اولین‌بار توسط هنری هورست در سال ۱۹۵۱ معرفی و توسعه یافت تکنیکی است که به منظور آزمون وجود همبستگی سری‌های زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مجموعهٔ معینی از مشاهدات $(X_t , t \geq 0)$ با میانگین $\bar{X}_n = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} X_t$ و واریانس نمونه‌ای S_n^2 = $\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(X_t - \bar{X}n)2$ برای دورهٔ n آمارهٔ R/S به صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$R/S(n) = \frac{\left[\underset{0 \leq k \leq n}{Max} \sum_{t=1}^{k} (X_t - \bar{X}_n) - \underset{0 \leq k \leq n}{\text{Min}} \sum_{t=1}^{k} (X_t - \bar{X}_n) \right]}{S(n)} \qquad (۶)$$

برای هر n متفاوت یک R/S(n) متفاوت وجود دارد. بعد از آنکه برای nهای مختلف، R/S(n) را محاسبه کردیم، مقدار H را با برآورد شیب معادلهٔ رگرسیونی زیر با روش کمترین توان‌های دوم به دست می‌آوریم:

$$\text{Log R/S(n)} = \text{LogC} + \text{H.Logn} \qquad (۷)$$

اگر $۰/۵ \leq H \leq ۱$ باشد می‌توان نتیجه گرفت سری تحت بررسی ویژگی حافظهٔ بلندمدت دارد.

تحلیل دامنه استاندارد شدهٔ تغییریافته[1]

لو در سال ۱۹۹۱، آزمونی پیشنهاد کرد که به دامنهٔ استاندارد شدهٔ تغییر یافته شهرت یافت. آمارهٔ تحلیل دامنه استاندارد شدهٔ تغییر یافته به صورت ذیل است:

$$\acute{R}/\text{S(n)} = \frac{\left[\begin{matrix} Max\sum_{t=1}^{k}(X_t-\bar{X}_n) & - & \text{Min}\sum_{t=1}^{k}(X_t-\bar{X}_n) \\ 0\leq k\leq n & & 0\leq k\leq n \end{matrix}\right]}{\sigma(n)} \qquad (۸)$$

$$\sigma_n^2(q) = \sigma_x^2(q) + \frac{2}{n}\sum_{j=1}^{q} W_j(q)\left[\sum_{i=j+1}^{n}(X_{i-}\bar{X}_n)(X_{i-j}-\bar{X}_n)\right] \qquad (۹)$$

$$W_j(q) = 1 - \frac{j}{q+1} \qquad q < n$$

q: مرتبه وقفه است و ضابطه آماری خاصی برای آن وجود ندارد. برای q = 0 مقدار آمارهٔ MRS همان آمارهٔ دامنهٔ استاندارد شده است. زیرا با جای‌گذاری q = 0، $\sum_{j=1}^{q} W_j(q) = 0$ شده و درنتیجه $\sigma_n^2(q) = \sigma_x^2(q)$ می‌شود. بعد از محاسبه R′/S(n) برای nهای مختلف، آمارهٔ H را از طریق برآورد رابطهٔ $\text{Log}(R'/S(n)) = \text{Logc} + \text{H.Log(n)}$ به روش حداقل مربعات خطا، به دست می‌آوریم.

۳-٤. انواع مدل‌های واریانس ناهمسان شرطی

مدل واریانس ناهمسانی شرطی اتورگرسیو که نخستین‌بار توسط انگل[2] (۱۹۸۲) مطرح و بعدها توسط بولرسو[3] (۱۹۸۶) تعمیم داده شد، ازجمله مدل‌هایی است که برای تبیین نوسانات

1. MRS
2. Engel
3. Borlerslev

یک سری به کار می‌روند. پس از آن، انواع مختلف مدل‌های واریانس ناهمسانی شرطی معرفی شده‌اند که به‌طورکلی آنها را می‌توان به دو دستهٔ مدل‌های خطی (مثلاً مدل‌های گارچ وای گارچ) و مدل‌های غیرخطی (مثلاً مدل‌های تی گارچ،ای گارچ) تقسیم کرد.

فرآیند گارچ: این مدل‌ها برای توصیف تلاطم خوشه‌ای ساخته شده‌اند و حتی با اینکه شوک‌های تصادفی به طور نرمال توزیع شده‌اند، بازده را به همراه دنبالهٔ ضخیم‌تر از نرمال ایجاد می‌نماید (دوود[1]، ۲۰۰۳). در تخمین فرآیند گارچ مدل میانگین به صورت زیر است:

$$yt = E(yt \mid \Omega t - 1) + \varepsilon t \qquad (۱۰)$$

$$yt = xt\,\beta + \varepsilon t \qquad (۱۱)$$

بولرسلف (۱۹۸۶) به وسیلهٔ به‌کارگیری تکنیکی که به موجب آن واریانس شرطی دارای فرآیند ARMA بود، کار اصلی انگل بر روی مدل‌های واریانس ناهمسانی شرطی اتورگرسیو را توسعه داد که به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$\sigma_t^2 = \alpha 0 + \sum_{i=1}^{q} \alpha_i\, \varepsilon_i - i_2 + \sum_{i=1}^{p} \beta_i\, \sigma_t^2 - i \qquad (۱۲)$$

مدل تی گارچ: مدل‌های گارچ به گونه‌ای توسعه داده شده‌اند تا بتوانند اثرات شوک‌های مثبت و منفی را به صورت نامتقارن نیز در نظر بگیرند. که به طور کلی به شکل ذیل فرمول‌بندی می‌شود:

$$\sigma_i^2 = \alpha_0 + \alpha_1\, u_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 + \gamma u_{t-1}^2 I_{t-1} \qquad (۱۳)$$

در این مدل اگر γ معنی‌دار نباشد بدین معنی است که اثر شوک‌ها بر تغییرپذیری، کاملاً متقارن است.

مدل‌ای گارچ: این مدل توسط نلسون (۱۹۹۱) پیشنهاد گردید و به صورت زیر فرمول‌بندی می‌شود:

$$\mathrm{Ln}\,\sigma_t^2 = \omega + \beta\,\mathrm{Ln}\sigma_{t-1}^2 + \gamma \frac{u_{t-1}}{\sqrt{\sigma_{t-1}^2}} + \alpha \left[\frac{|u_{t-1}|}{\sqrt{\sigma_{t-1}^2}} - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right] \qquad (۱۴)$$

این مدل دارای چند مزیت است. اولاً در این مدل، متغیر وابسته یعنی σ_t^2 به صورت لگاریتمی است و لذا ضرایب متغیرهای سمت راست می‌توانند مثبت یا منفی باشد که در

1. Dowd.

هر حالت σ_t^2 مثبت خواهد بود. بدین ترتیب نیاری به اعمال محدودیت غیر منفی بر روی ضرایب نیست. ثانیاً در این مدل اثر شوک‌های نامتقارن نیز در نظر گرفته می‌شود. زیرا γ ضریب u_{t-1} است که u_{t-1} می‌تواند مثبت یا منفی باشد.

٤. یافته‌های تحقیق

شاخص‌های بازارهای مالی، دارای تناوب، و تلاطم بسیار زیادی بوده‌اند که این امر سبب شکل‌گیری نوع خاصی از ناماناییی با عنوان ناماناییی کسری شده است. این ویژگی موجبات شکل‌گیری حافظهٔ بلندمدت در این نوع از سری‌های زمانی را فراهم آورده، لذا در این تحقیق، به منظور بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌های سری زمانی قیمت نفت خام اپک، از روش‌های اقتصادسنجی پارامتریک مانند مدل‌های مبتنی بر حافظه بلندمدت استفاده شده است. به همین منظور، ابتدا وجود ویژگی حافظه بلندمدت در سری مذکور به کمک آزمون تابع خودهمبستگی[1] بررسی و پس از آن بر مبنای نتایج این آزمون‌ها، مدل‌سازی معادلهٔ میانگین قیمت نفت ارائه می‌شود. درگام بعدی، وجود اثرات واریانس ناهمسانی در میان اجزاء اخلال معادلهٔ میانگین برآورد شده، آزمون شده و در صورت تأیید وجود این اثرات با به‌کارگیری انواع مختلف مدل‌های واریانس ناهمسان شرطی، برای برطرف کردن آن اقدام می‌شود. نظر به اینکه عملکرد مدل‌های مختلف سری زمانی، با توجه به داده‌های مختلف می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، قیمت سبد نفت خام کشورهای عضو اوپک برای دوره زمانی ۱۹۸۶/۰۱/۰۲ الی ۲۰۱۷/۰۲/۱۳ مستخرج از سایت رسمی اوپک را شامل می‌شوند. در گام نخست به بررسی آماره‌های توصیفی سری قیمت نفت خام در قالب جدول (۱) پرداخته می‌شود:

جدول ۱. آماره‌های توصیفی قیمت نفت خام

سری قیمت نفت خام اوپک	آماره	سری قیمت نفت خام اوپک	آماره
-۱/٤٦٢٤	ADF	۷۸٤۰	تعداد مشاهدات
-۱/٥۹۲۱	PP	۳۱/۱۹٤۰	Mean
٤۲٥/۳٦۹۱(۰/۰۰۰)	ARCH(4) = F(٤،٥۸۳۹)	۱۱۸۰۳/۱۸	Jarque - Bra

منبع:یافته‌های تحقیق

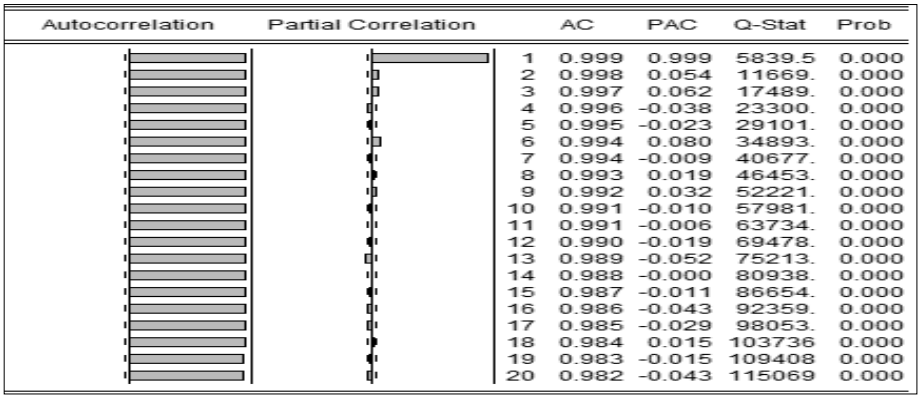
1. ACF

نتایج جدول فوق، وجود ریشه واحد در سری قیمت نفت خام را با آماره‌های دیکی فولر ـ تعمیم‌یافته و فیلیپس ـ پرون مورد تأیید قرار داد درنتیجه این امر می‌تواند وجود ویژگی حافظهٔ بلندمدت در سری مورد بررسی را تأیید کند. همچنین، با مشاهدهٔ نتایج دیگر ارائه شده در جدول فوق نیز می‌توان دریافت که میانگین سری قیمت نفت خام در دورهٔ مورد بررسی معادل ۳۱/۱۹ است و سری مورد بررسی طی این دوره دارای نوسانات زیادی است. همچنین آزمون نرمال بودن توزیع سری مذکور نیز، غیرنرمال بودن این سری را نشان می‌دهد.گفتنی است که نتایج آزمون آرچِ انگل (آزمون وجود اثرات واریانس ناهمسانی شرطی اتورگرسیو)، یعنی وجود واریانس ناهمسان را تأیید می‌کند.

۱-٤. بررسی ویژگی حافظهٔ بلندمدت

همان‌طور که در بخش قبل نشان داده شد، آزمون‌های مانایی مختلف نتایج متفاوتی در زمینهٔ مانایی قیمت نفت خام ارائه داده‌اند، که یکی از علائم وجود ویژگی حافظهٔ بلندمدت در سری مذکور می‌باشد. اما بهتر آن است که برای اطمینان از وجود این ویژگی در سری زمانی قیمت نفت خام از روش‌های مرسوم تشخیص وجود ویژگی حافظهٔ بلندمدت استفاده شود. این روش‌ها به دو دستهٔ گرافیکی و غیرگرافیکی تقسیم می‌شوند. در روش گرافیکی، به رسم نمودار تابع خودهمبستگی متغیر مذکور پرداخته می‌شود، که شکل (۱) نشانگر آن است: در روش گرافیکی، به رسم نمودار تابع خودهمبستگی متغیر مذکور پرداخته می‌شود، که شکل (۱) نشانگر آن است:

شکل ۱. نمودار تابع خودهمبستگی قیمت نفت‌خام



Autocorrelation	Partial Correlation		AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1	0.999	0.999	5839.5	0.000
		2	0.998	0.054	11669.	0.000
		3	0.997	0.062	17489.	0.000
		4	0.996	-0.038	23300.	0.000
		5	0.995	-0.023	29101.	0.000
		6	0.994	0.080	34893.	0.000
		7	0.994	-0.009	40677.	0.000
		8	0.993	0.019	46453.	0.000
		9	0.992	0.032	52221.	0.000
		10	0.991	-0.010	57981.	0.000
		11	0.991	-0.006	63734.	0.000
		12	0.990	-0.019	69478.	0.000
		13	0.989	-0.052	75213.	0.000
		14	0.988	-0.000	80938.	0.000
		15	0.987	-0.011	86654.	0.000
		16	0.986	-0.043	92359.	0.000
		17	0.985	-0.029	98053.	0.000
		18	0.984	0.015	103736	0.000
		19	0.983	-0.015	109408	0.000
		20	0.982	-0.043	115069	0.000

منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار تابع خودهمبستگی به خوبی وجود ویژگی حافظهٔ بلندمدت را نشان می‌دهد زیرا پس از گذشت ۲۰ دوره هنوز به صفر هم‌گرا نشده است. در ادامه به بررسی این نکته پرداخته می‌شود که آیا ویژگی حافظهٔ بلندمدت در معادلهٔ میانگین این سری وجود دارد یا در معادله واریانس آن، یا در هر دوی این معادلات. به همین منظور ابتدا معادلهٔ میانگین مبتنی بر حافظه بلندمدت برآورد می‌شود. نتایج تخمین انواع مدل‌های «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» به صورت زیر در قالب جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج تخمین انواع مدل‌های «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی»

مدل	AIC		Log likelihood	ARCH-TEST
	MPL	EML		
ARFIMA(۳ ،۰/۰۲ ،۳)	۳/۱۱۷۵	۳/۱۱۸۹	-۱۲۲۲۵/۹٤	F(۱،۷۸۳۹)-۱۳٦۹/۲ (۰/۰۰)
ARFIMA(۳ ،۰/۰۱ ،٤)	۳/۱۱۷۷	۳/۱۱۸٤	-۱۲۲۲/٤۸	F(۱،۷۸۳۸) -۱۳۸٤/۸ (۰/۰۰)
ARFIMA(٤ ،۰/۰۸ ،۳)	۳/۱۱۷۱	۳/۱۱۷۹	-۱۲۲۲۲۳/۲۸	F(۱،۷۸۳۸) -۱۳۵۷/۱ (۰/۰۰)
ARFIMA(٤ ،۰/۰۲ ،۲)	۳/۱۱۷٤	۳/۱۱۸۲	-۱۲۲۲۵/۵٤	F(۱،۷۸۳۹) -۱۳۵۷/۳ (۰/۰۰)

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج جدول فوق بیانگر آن است که اولاً در بین این مدل‌های برآورد شده، مدل میانگین متحرک انباشته جزئی خودهمبسته (۳، ۰/۰۸، ۴) براساس معیارهای آکائیک و تابع درستنمایی، دارای بهترین عملکرد است. به عبارت دیگر سری دارای وقفه بهینه ۴ برای خودرگرسیونی، مقدار ۰/۰۸ انباشت جزیی و وقفه بهینه ۳ برای میانگین متحرک است. ثانیاً در تمامی این مدل‌ها آزمون آرچ مبنی بر عدم وجود واریانس ناهمسانی شرطی رد شده که این نکته ما را بر آن داشته است تا به بررسی وجود الگوی حافظهٔ بلندمدت در معادلهٔ واریانس این سری نیز پرداخته شود. بنابراین، انواع مدل‌های گارچ، تی گارچ،ای گارچ براساس معادلات میانگین‌های مختلف مبتنی بر حافظهٔ بلندمدت تخمین زده می‌شود، که نتایج آن در جدول زیر ارائه شده است:

جدول ۳. انواع مدل‌های گارچ با معادلهٔ میانگین‌های غیر خطی آرفیما

انواع مدل‌ها	ARFIMA(۳،۳)	ARFIMA(۳،۴)	ARFIMA(۴،۳)	ARFIMA(۴،۲)
	AIC	AIC	AIC	AIC
GARCH	۳/۱۲۳۰	۳/۱۲۷۱	۳/۱۲۵۰	۳/۱۲۹۵
TGARCH	۳/۱۲۷۰	۳/۱۲۶۳	۳/۱۲۵۸	۳/۱۲۹۰
EGARCH	۳/۱۲۶۶	۳/۱۲۵۹	۳/۱۲۵۰	۳/۱۲۸۸

منبع: یافته‌های تحقیق

با مقایسه نتایج جدول فوق می‌توان دریافت که، براساس معیار آکائیک، مدل ترکیبی EGARCH-ARFIMA(۱,۱) دارای بهترین عملکرد، برای توضیح رفتار ناهمسانی‌های شرطی موجود در سری قیمت نفت خام اپک است، چرا که از کمترین مقدار معیار اطلاعات برخوردار می‌باشد. همچنین، لازم به ذکر است که اگرچه در بررسی‌های انجام گرفته، گشتاور مرتبهٔ دوم این متغیر (معادلهٔ واریانس این سری) وجود ویژگی حافظهٔ بلندمدت تأیید شده است، ولی معیارهای اطلاعات این مدل‌ها بیانگر ضعیف‌تر بودن این مدل‌ها، در قیاس با مدل EGARCH – (۴,۳) ARFIMA است. در جدول زیر نتایج مربوط به تخمین مدل EGARCH(۱,۱) – (۴,۳) ARFIMA را می‌توان مشاهده نمود:

جدول ٤. نتایج تخمین مدل EGARCH(۱,۱) – (٤,۳) ARFIMA

نام متغیر	ضریب	خطای‌معیار	آمارهٔ t	Prob
معادلهٔ میانگین				
C	۱۳/۱٦۲	٦/۷۷۳	۱/۹٤۳	۰/۰٤۲۰
d-ARFIMA	۰/۰۹۳	۰/۲٤٤	۳/٦٦۱	۰/۰۰۰۳
AR(۱)	۱/۰۰۰	۰/۸٤۷	۱/۱۸۰	۰/۵۲۸۱
AR(۲)	۰/۳۳۲	۱/۰۷۹	۰/۳۰۷	۰/۰۳۸۱
AR(۳)	-۰/۳۹۷	۰/۲۸۵	-۱/۳۹٤	۰/۰۱٦۰
AR(٤)	۰/۰۳۰	۰/۰۲۲	۱/۳۵۳	۰/٦۳٦۲
MA(۱)	-۰/۹۲۰	۱/۰۸٤	-۰/۸٤۸۵	۰/۰٤٤۹
MA(۲)	-۰/۳۷۷	۰/۱۱۵	-۰/۳۳۸	۰/۰۰۷۱
MA(۳)	۰/۳٤٤	۰/۱۹۷	۲/٦۹۵	۰/۰۲۳۷
معادلهٔ واریانس				
C	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰٦	۲/۲٦۲	۰/۰۲۳
ARCH(Alpha1)	۰/۰۸۹۸	۰/۰۱۳	٦/٦۹۰	۰/۰۰۰
GARCH(Beta1)	۰/۹۲۹	۰/۰۱۰	۸۷/۹۲	۰/۰۰۰۰
EGARCH(Gamma1)	-۰/۰۹٤	۰/۰٤۷	-۲/۰۰٤	۰/۰٤۵۱
EGARCH(Delta1)	۱/۳۱۰	۰/۱۳٤	۹/۷۳۷	۰/۰۰۰۰

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج خروجی معادله میانگین در برآورد فوق حاکی از آن است که ضریب d در مدل «رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی» حدود ۰/۰۹است به عبارت دیگر درجه مانایی

متغیر بین صفر و یک است این بدان معناست که اولا مدل از نوع انباشت کسری است و دوماً مدل دارای حافظه بلند است یعنی می‌توان از این ویژگی برای پیش‌بینی آینده سری مذکور کمک گرفت. از سوی دیگر مدل دارای ۴ وقفه در خودتوضیحی ست و متغیر با چهار وقفه همچنان بر خود اثر بر جای می‌گذارد همچنین میانگین متحرک خطاها که نشانگر عوامل بیرونی مؤثر بر قیمت نفت است نیز با سه وقفه بر قیمت نفت اثرگذار هستند. لذا در مجموع از وجود ویژگی حافظهٔ بلندمدت در معادلهٔ میانگین تأیید می‌شود.

اما از سوی دیگر، نتایج خروجی معادله واریانس شرطی در برآورد فوق نشانگر مسئله مهمی ست زیرا رفتار غیرخطی نمایی مشاهده شده در معادله واریانس را بازگو می‌نماید به نحوی که براساس مدل بهینه، الگوی EGARCH(۱,۱) در نوسانات واریانس قیمت نفت خام قابل مشاهده و تأیید است. در نظر نگرفتن این رفتار نمایی واریانس سری مذکور، نادیده گرفتن اطلاعات مهم و تـأثیرگذاری را در پیش‌بینی نوسانات قیمت نفت اوپک را به دنبال خواهد داشت. با وجود آزمون‌های فوق، از آنجایی که انتخاب مدل بهینه برای مدل‌سازی و پیش‌بینی متغیر مهمی همچون قیمت نفت به ویژه برای کشورها متکی به درآمدهای نفتی، از اهیمت بالایی برخوردار است، استفاده از معیارهای تعیین مدل بهینه که کاربرد فراوانی یافته‌اند، می‌تواند بر دقت مدل‌سازی رفتار سری مورد نظر بیافزاید، از این رو، در ادامه به دقت، عملکرد مدل‌های به کار گرفته شده در این تحقیق، براساس معیار درصد میانگین مطلق خطا در قالب جدول ۵ مقایسه شده است:

جدول۵. مقایسه عملکرد انواع مدل‌های GARCH با معادلات میانگین ARFIMA

مدل‌ها	GARCH	TGARCH	EGARCH
ARFIMA (۳و۳)	۰/۰۰۸۸۰	۰/۰۰۸۹۸	۰/۰۰۸۷۶
ARFIMA (۳و٤)	۰/۰۰۸۹٤	۰/۰۰۸۹۹	۰/۰۰۸۹۰
*ARFIMA (٤و۳)	۰/۰۰۸۳۳	۰/۰۰۸٤۰	۰/۰۰۸۳۰
ARFIMA (٤و۲)	۰/۰۰۸۳۹	۰/۰۰۸۵۰	۰/۰۰۸٤۵

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج جدول فوق نشان می‌دهد که، مدل(۳,۴) ARFIMA با انواع معادلهٔ واریانس شرطی اعم ازای گارچ، گارچ، فی گارچ براساس معیار معیار درصد میانگین مطلق خطا دارای عملکرد بهتری نسب به سایر مدل‌ها بوده‌اند که در این میان مدل ترکیبی از دو روش

ARFIMA(۳,۴) و EGARCH با توجه به معیار معیار درصد میانگین مطلق خطا دارای بهترین عملکرد و مدل بهینه برای مدل‌سازی سری روزانه قیمت نفت خام اوپک انتخاب شده است.

پس از برآورد مدل‌های مختلف و انتخاب مدل بهینه جهت مدل‌سازی رفتار روزانه قیمت نفت خام اوپک در انتها سعی می‌شود موارد سیاستی مستخرج از نتایج ارائه شود. با توجه به اهمیت پیش‌بینی قیمت نفت در کشورهای متکی به درآمدهای نفتی، که متغیرهای مهمی همچون درآمدهای نفتی و مخارج دولت و به‌ویژه سیاست‌های مالی و از سوی دیگر تعیین سیاست‌های پولی و تیین نرخ ارز توسط ارزهای نفتی رادر برمی‌گیرد، لذا توصیه‌های سیاستی زیر پیشنهاد می‌شود.

۵. نتیجه‌گیری

اهمیت و جایگاه ویژه نفت، توجه بسیاری از محققان را به سوی خود جلب کرده و به همین علت در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در زمینهٔ آن انجام پذیرفته است. نتایج این پژوهش، وجود ویژگی حافظهٔ بلندمدت در معادلهٔ میانگین و معادلهٔ واریانس شرطی قیمت نفت خام را تأیید کرده، این در حالی است که براساس معیار اطلاعات (آکائیک)، بهترین مدل از میان تمامی مدل‌های مورد بررسی جهت تخمین نوسانات قیمت نفت خام، مدل ARFIMA (۴,۳) – EGARCH(۱,۱) بوده است. گفتنی است که در این مدل، میزان پارامتر تفاضل‌کسری d برابر با ۰/۹ بوده است، بدین معنی که قیمت نفت خام به طور کامل با یک بار تفاضل‌گیری مانا نشده و نیاز به تفاضل‌گیری به صورت کسری دارد. از سوی دیگر مدل دارای ۴ وقفه در خودتوضیحی ست و متغیر با چهار وقفه همچنان بر خود اثر بر جای می‌گذارد همچنین میانگین متحرک خطاها که نشانگر عوامل بیرونی مؤثر بر قیمت نفت است نیز با ۳ وقفه بر قیمت نفت اثرگذار هستند. لذا در مجموع از وجود ویژگی حافظهٔ بلندمدت در معادلهٔ میانگین تأیید می‌شود. وجود ویژگی حافظهٔ بلندمدت در معادلهٔ میانگین بیانگر این امر است که اگر شوکی به سری قیمت نفت خام وارد شود، اثر این شوک تا دوره‌های زیادی در آن باقی خواهد ماند. از سوی دیگر، نتایج خروجی معادله واریانس شرطی در برآورد فوق نشانگر مسئله مهمی ست زیرا رفتار غیرخطی نمایی مشاهده شده در معادله واریانس را بازگو می‌نماید به نحوی که براساس مدل بهینه، الگوی EGARCH(۱و۱) در نوسانات واریانس قیمت نفت خام قابل مشاهده

و تأیید است. در نظر نگرفتن این رفتار نمایی واریانس سری مذکور، نادیده گرفتن اطلاعات مهم و تأثیرگذاری را در پیش‌بینی نوسانات قیمت نفت اوپک را به دنبال خواهد داشت. در مجموع توصیه می‌شود:

ـ نخست آنکه تصمیم‌سازان برای پیش‌بینی قیمت نفت تا جای ممکن از قیمت‌های روزانه نفت خام استفاده نمایند زیرا اطلاعات فراوانی در داده‌های روزانه و سری‌های بلندتر مستتر است که می‌تواند کمک شایانی به پیش‌بینی‌های دقیق‌تر نماید.

ـ دوم آنکه براساس نتایج به دست آمده می‌توان دریافت خصوصیت سری زمانی قیمت نفت از لحاظ وجود حافظه بلند به نحوی‌ست که سیاست‌گذار را در پیش‌بینی آینده این سری براساس رفتار گذشته آن کمک می‌نماید.

ـ سوم اینکه اثر عوامل بیرونی مؤثر بر قیمت نفت اعم از شوک‌های سیاسی و اجتماعی مستتر در میانگین متحرک سری به هیچ وجه نباید دست‌کم انگاشته شوند.

ـ چهارم اینکه بررسی نوسانات موجود در واریانس قیمت نفت از اهمیت والایی برخوردار است به نحوی که نادیده گرفتن آنها، تغییرات کوتاه‌مدت را حذف نموده و اتکای صرف به حافظه بلندمدت خطا در پیش‌بینی این سری را به شدت افزایش می‌دهد.

ـ پنجم اینکه اثر تکانه‌های قیمت نفت در دوره حال اگرچه قسمتی از آثار خود را در همان دوره برجای گذارد اما بخش قابل توجهی از این آثار بر قیمت نفت در دوره‌های آتی باقی خواهد ماند.

ـ ششم آنکه رفتار کوتاه‌مدت واریانس قیمت نفت باید با دقت و وسواس فراوان تجزیه و تحلیل شود زیرا اتکا به رفتارهای خطی و نادیده گرفتن رفتارهای غیرخطی و نمایی کوتاه‌مدت در نوسانات سری قیمت نفت به شدت از دقت پیش‌بینی خواهد کاست و سیاست‌گذار و تصمیم‌ساز اقتصادی را با خطای بزرگی مواجه خواهد ساخت.

٦. تعارض منافع

تعارض منافع وجود ندارد.

ORCID

Moslem Ansarinasab https://orcid.org/0000-0002-3491-7461

Shabnam Rahimi https://orcid.org/0000-0003-4449-6346

۷. منابع

ابریشمی، حمید؛ مهرآرا، محسن و آریانا، یاسمین. (۲۰۰۷). ارزیابی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی بی‌ثباتی قیمت نفت. مجله تحقیقات اقتصادی، ۷۸؛ ۲۱-۱.

انصاری‌نسب، مسلم و منظری توکلی، زهرا. (۱۳۹۹). مدل‌سازی رفتار مصرف بنزین در ایران مبتنی بر حافظه بلند و تغییر رژیم. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، شماره ۱۶(۶۴)، صفحات ۱۴۹-۱۲۵.

جوانمرد، حبیب‌اله و فقیدیان، فاطمه. (۱۳۹۴). مقایسه عملکرد مدل‌های پیش‌بینی خاکستری با هدف پیش‌بینی قیمت نفت خام. *تحقیق در عملیات در کاربردهای آن*، شماره ۴۷(۴)، صفحات ۹۷-۸۳.

حاجی‌کرم، الهام و دارابی، رویا. (۱۳۹۶). پیش‌بینی قیمت روزانه نفت خام برنت با ترکیب روش‌های آنالیز مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون بردار پشتیبان. *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، شماره ۶۰(۲۵)، صفحات ۴۱-۷.

رحمان، فرنوش؛ نباتی، پریسا و عزیزی، معصومه. (۱۳۹۵). شبیه‌سازی و پیش‌بینی قیمت نفت اوپک با استفاده از معادلات دیفرانسیل تصادفی. *پژوهش‌های نوین در ریاضی*، شماره ۷(۲)، صفحات ۲۹-۲۱.

شهبازی، کیومرث؛ رضایی، ابراهیم و صالحی، یاور. (۱۳۹۲). تأثیر شوک‌های قیمت نفت بر بازدهی سهام در بورس اوراق بهادار تهران: رهیافت SVAR. *فصلنامهٔ مطالعات انرژی*، شماره ۲۵، صفحات ۱۱۲-۸۹.

عرفانی، علیرضا. (۱۳۸۸). پیش‌بینی شاخص کل، بورس اوراق بهادار تهران با مدل ARFIMA. *تحقیقات اقتصادی دانشگاه تهران*، شماره ۸۶، ۱۸۰-۱۶۳.

کمیجانی، اکبر و نادری، اسماعیل. (۱۳۹۱). مقایسه قابلیت‌های مدل‌های مبتنی بر حافظه بلندمدت و مدل‌های شبکه عصبی پویا در پیش‌بینی بازدهی بورس اوراق بهادار تهران. *دانش مالی تحلیل اوراق بهادار*، شماره ۱۵، صفحات ۱۳۰-۱۱۵.

لاری سمنانی، بهروز و خلیلی، سیمین. (۱۳۹۷). تخمین قیمت نفت خام اوپک با استفاده از روش‌های درخت دوتایی، سری زمانی و شبکه‌های عصبی مصنوعی. *مهندسی منابع معدنی*، شماره ۳(۳)، صفحات ۴۱-۳۱.

محمدی و دیگران. (۱۳۸۹). بررسی روند حافظه بلندمدت در بازارهای جهانی نفت، فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، شماره ۱، صفحات ۴۸-۲۹.

محمدی، تیمور و طالبلو، رضا. (۱۳۸۹). پویایی‌های تورم و رابطه تورم و عدم اطمینان اسمی با استفاده از الگوی ARFIMA-GARCH . *پژوهشنامه اقتصادی*، شماره ۳۶، صفحات ۱۷۰-۱۳۷.

محمدی، شاپور و چیت‌سازیان، هستی. (زمستان ۱۳۹۰). بررسی حافظه بلندمدت بورس اوراق بهادار تهران، *نشریه تحقیقات اقتصادی دانشگاه تهران*، شماره ۹۷، صفحات ۲۲۱-۲۰۲.

مهرآرا، محسن؛ بهرادمهر، نفیسه؛ احراری، مهدی و محقق، محسن. (۱۳۸۹). پیش‌بینی بی‌ثباتی قیمت نفت با استفاده از شبکه عصبی GMDH. *فصلنامه مطالعات انرژی*، شماره ۲۵، صفحات ۸۹-۱۱۲.

همتی، عبدالناصر. (۱۳۸۴). اقتصاد نفت، چاپ اول، انتشارات سروش، تهران.

References

Alvarez-Ramirez, J. and Alvarez, J. and Rodriguez, E (2008). Short-term predictability of crude oil markets: a detrended fluctuation analysis approach. *Energy Economics*, Vol. 30(5), pp. 2645-2656.

Alvarez-Ramirez, J. and Cisneros, M. and Ibarra-Valdez, C. and Soriano, A. (2002). Multifractal Hurst analysis of crude oil prices. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 313(3-4), pp. 651-670.

Baillie, R. and Chung, C. and Tieslau, M. (1996). Analyzing inflation by the fractionally integrated ARFIMA-GARCH model. *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 11, pp. 23-40.

Barsky, R. B. and Kilian, L. (2001). Do we really know that oil caused the great stagflation? A monetary alternative. *NBER Macroeconomics annual*, Vol. 16, pp. 137-183.

Bernanke, B. S. and Gertler, M. and Watson, M. and Sims, C. A. and Friedman, B. M. (1997). Systematic monetary policy and the effects of oil price shocks. *Brookings papers on economic activity*, Vol. 1997(1), pp. 91-157.

Bhardwaj, G. and Swanson, N. R. (2006). An empirical investigation of the usefulness of ARFIMA models for predicting macroeconomic and financial time series. *Journal of Econometrics*, Vol. 131(1-2), pp. 539-578.

Bollerslev, T. (1986). Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity. *Journal of Econometric*, Vol. 31(3), pp. 307-327.

Bristone, M., Prasad, R., & Abubakar, A. A. (2020). CPPCNDL: Crude oil price prediction using complex network and deep learning algorithms. Petroleum, 6(4), 353-361.

Chen, Y. and Zou, Y. and Zhou, Y. and Zhang, C. (2016). Multi-step-ahead crude oil price forecasting based on grey wave forecasting method. *Procedia Computer Science*, Vol. 91, pp. 1050-1056.

Cheung, Y. W. and Diebold, F. X. (1994). On maximum likelihood estimation of the differencing parameter of fractionally-integrated noise with unknown mean. *Journal of econometrics*, Vol. 62(2), pp. 301-316.

Choi, K. and Zivot, E. (2007). Long memory and structural changes in the forward discount: An empirical investigation. *Journal of International Money and Finance*, Vol. 26(3), pp. 342-363.

Diebold, F. X. and Inoue, A. (2001). Long memory and regime switching. Journal of econometrics, Vol. 105(1), pp. 131-159.

Diebold, F. X. and Rudebusch, G. D. (1989). Long memory and persistence in aggregate output. *Journal of monetary economics*, Vol. 24(2), pp. 189-209.

Dittmann, I. and Granger, C. W. (2002). Properties of nonlinear transformations of fractionally integrated processes. *Journal of Econometrics*, Vol. 110(2), pp. 113-133.

Doornik, J. A. and Ooms, M. (2003). Computational aspects of maximum likelihood estimation of autoregressive fractionally integrated moving average models. *Computational Statistics and Data Analysis*, Vol. 42(3), pp.333-348.

Dowd, K. (2003). An introduction to market risk measurement. John Wiley and Sons.

Elder, J. and Serletis, A. (2008). Long memory in energy futures prices. *Review of Financial Economics*, Vol. 17(2), pp. 146-155.

Engle, R. F. and Smith, A. D. (1999). Stochastic permanent breaks. *Review of Economics and statistics*, Vol. 81(4), pp. 553-574.

Erbil, M. N. (2011). Is fiscal policy procyclical in developing oil-producing countries?. *International Monetary Fund*, (No. 11-171).

Finn, M. G. (2000). Perfect competition and the effects of energy price increases on economic activity. *Journal of Money, Credit and banking*, Vol (32), 400-416.

Geweke, J. and Porter-Hudak, S. (1983). The estimation and application of long memory time series models. *Journal of time series analysis*, Vol. 4(4), pp. 221-238.

Granger, C. W. and Joyeux, R. (1980). An introduction to long-memory time series models and fractional differencing. *Journal of time series analysis*, Vol. 1(1), pp. 15-29.

Gupta, N. and Nigam, S. (2020). Crude Oil Price Prediction using Artificial Neural Network. *Procedia Computer Science*, Vol. 170, pp. 642-647.

Hamilton, J. D. (1994). Time series analysis, Princeton. *NJ: Princeton university press*, Vol. 2, pp. 690-696.

Hassler, U. and Wolters, J. (1995). Long memory in inflation rates: International evidence. *Journal of Business and Economic Statistics*, Vol. 13(1), pp. 37-45.

Herrera, A. M. Hu, L. and Pastor, D. (2018). Forecasting crude oil price volatility. *International Journal of Forecasting*, Vol. 34(4), pp. 622-635.

Hosking, J. R. (1981). Fractional differencing. *Biometrika*, Vol. 68(1), pp. 165-176.

Hurst, H. E. (1951). Long-term storage capacity of reservoirs. *Trans, Amer, Soc, Civil Eng.*, Vol. 116, pp. 770-799.

Hyung, N., Franses, P. H., & Penm, J. (2006). Structural breaks and long memory in US inflation rates: Do they matter for forecasting? *Research in International Business and Finance*, 20(1), 95-110.

Kim, I. M. and Loungani, P. (1992). The role of energy in real business cycle models. *Journal of Monetary Economics*, Vol. 29(2), pp. 173-189.

Kristjanpoller, W. and Minutolo, M. C. (2016). Forecasting volatility of oil price using an artificial neural network-GARCH model. *Expert Systems with Applications*, Vol. 65, pp. 233-241.

Lo, A. W. (1989). Long-term memory in stock market prices. *National Bureau of Economic Research*, (No. w2984*)*

Mandelbrot, B. B. and Wallis, J. R. (1969), Computer experiments with fractional Gaussian noises: Part 1, averages and variances. *Water resources research*, Vol. 5(1), pp. 228-241.

Obstfeld, M. and Rogoff, K. (1995). Exchange rate dynamics redux. *Journal of political economy*, Vol. 103(3), pp. 624-660.

Robinson, P. M. (1995). Log-periodogram regression of time series with long range dependence. *The annals of Statistics*, pp. 1048-1072.

Rotemberg, J. J. and Woodford, M. (1996). Imperfect competition and the effects of energy price increases on economic activity. *National Bureau of Economic Research*, (No. w5634).

Sowell, F. (1992). Maximum likelihood estimation of stationary univariate fractionally integrated time series models. *Journal of econometrics*, Vol. 53(1-3), pp. 165-188.

Tsay, W. J. (2008). Analysing inflation by the ARFIMA model with Markov-switching fractional differencing parameter. The Institute of Economics.

Vo, M. (2011). Oil and stock market volatility: A multivariate stochastic volatility perspective. *Energy Economics*, Vol. 33(5), pp. 956-965.

Wang, Y. Wu, C. and Wei, Y. (2011). Can GARCH-class models capture long memory in WTI crude oil markets?. *Economic Modelling*, Vol. 28(3), pp. 921-927.

Wei, Y. Wang, Y. and Huang, D. (2010). Forecasting crude oil market volatility: Further evidence using GARCH-class models. *Energy Economics*, Vol. 32(6), pp. 1477-1484.

Xiu, J. and Jin, Y. (2007). Empirical study of ARFIMA model based on fractional differencing. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 377(1), pp. 138-154.

استناد به این مقاله: انصاری‌نسب، مسلم؛ رحیمی، شبنم. (۱۴۰۰). مدل‌سازی قیمت روزانه نفت‌خام اوپک با استخراج رفتار غیرخطی نمایی واریانس از حافظه بلندمدت، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۳۸ (۱۰)، ۹۷-۱۲۶.

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