-- Iranian Energy Economics------
Summer 2023, 45(12), 145-169
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2023.67848.1916

ATU PRESS

Original Research
Received: 8/May/2022
Accepted: 4/Mar/2023
ISSN: 2423-5954
eISSN: 2476-6437

Calculation of Crude Oil Price Risk Using HM-GARCH and MRS-GARCH Model

Moslem Nilchi Ph.D. in Financial Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

Ali Farhadian* Assistant Professor, Department of Management, Kashan University, Kashan, Iran

Abstract

Crude oil is the main source of energy and accounts for about a third of world energy production. Turmoil in this market will have far-reaching economic and financial consequences. Because of this, investors attach great importance to predicting volatility when investing in crude oil markets to hedge risk and portfolio diversification. However, their investment strategies are often strongly influenced by volatility because, in different periods of crude oil markets, there are high and low fluctuations that are attributed to the movement of economic cycles. Accordingly, the present study compares the Markov Regime Switching (MRS) and Hidden Markov (HM) volatility models with the GJR-GARCH asymmetric model on their forecasting capabilities in the WTI and Brent crude oil markets. Empirical results show that the MRS-GJRGARCH model performs better than the HM_GJRGARCH model in predicting volatility in both markets. Accordingly, using the two criteria of value at risk and the expected deficit, the minimum loss and the expected loss for December 2021 were predicted. The results show that the expected shortfall from investing in the WTI market is greater than the Brent oil market.

Keywords: Crude Oil, Volatility Forecast, Market Risk, HM-GJRGARCH.

JEL Classification: G1 , G17 , C58

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

* Corresponding Author: farhadian@kashanu.ac.ir
How to Cite: Nilchi, M., Farhadian, A. (2023). Calculation of crude oil price risk using HM-GARCH and MRS-GARCH model. Iranian Energy Economics, 45 (12), 145-169.

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۳
ISSN: ۲۴۲۳-۵۹۵۴
eISSN: ۲۴۷۶-۶۴۳۷

-- پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ---------
دوره ۱۲، شماره ۴۵، زمستان ۱۴۰۱، ۱۴۵-۱۶۹
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2023.67848.1916

محاسبه ریسک قیمت نفت خام با استفاده از الگوی HM-GARCH و MRS-GARCH

مسلم نیلچی | دکتری مهندسی مالی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
علی فرهادیان * | استادیار گروه مدیریت، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

چکیده

نفت خام منبع اصلی انرژی است و تقریباً یک سوم تولید جهانی انرژی را تشکیل می‌دهد. تلاطم در این بازار پیامدهای اقتصادی و مالی گسترده‌ای در پی خواهد داشت. به این دلیل، سرمایه‌گذاران هنگام سرمایه‌گذاری مالی در بازارهای نفت خام به منظور پوشش ریسک و تنوع پرتفوی، اهمیت زیادی برای پیش‌بینی تلاطم قائل هستند. استراتژی‌های سرمایه‌گذاری آن‌ها اغلب به شدت تحت تأثیر رژیم‌های تلاطمی قرار می‌گیرد. زیرا، در دوره‌های زمانی مختلف بازارهای نفت خام، تلاطم‌های شدید و ملایم وجود دارد که به حرکت چرخه‌های اقتصادی نسبت داده می‌شود. پژوهش حاضر به مقایسه توانایی‌های پیش‌بینی مدل‌های تغییر رژیم مارکفی و مارکفی پنهان تلاطمی با مدل نامتقارن جی ژی آر ـ گارچ در بازارهای نفت خام وست تگزاس اینترمیدیت و برنت پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که مدل جی ژی آرگارچ ـ تغییر رژیم مارکوفی از مدل جی ژی آر- گارچ مارکوفی پنهان در پیش‌بینی تلاطم در هر دو بازار بهتر عمل کرده است. درنتیجه، براساس مدل منتخب با استفاده دو معیار ارزش در معرض ریسک و کسری مورد انتظار به پیش‌بینی حداقل زیان و زیان مورد انتظار ماه دسامبر سال ۲۰۲۱ پرداخته شده است که نتایج نشان داده است، زیان مورد انتظار حاصل از سرمایه‌گذاری در بازار وست تگزاس اینترمیدیت بیشتر از بازار نفت برنت است.

کلیدواژه‌ها: نفت خام، پیش‌بینی تلاطم، ریسک بازار، جی ژی آر گارچ ـ مارکوفی پنهان

طبقه‌بندی JEL: C58, G17, G1

* نویسنده مسئول: farhadian@kashanu.ac.ir

۱. مقدمه

تلاطم قیمت‌های نفت و فرآورده‌های نفتی دارای پیامدهای اقتصادی و مالی گسترده‌ای است. برای کشورهای وابسته به درآمد نفت [مانند ایران] تلاطم قیمت‌های نفت مستلزم ضرر و زیان زیاد و درآمد کمتر یا بیشتر و درنتیجه رسیدن به اهداف توسعه‌ای است (ناکاجیما[1]، ۲۰۰۹). بنابراین با توجه به اهمیت تلاطم قیمت نفت برای اقتصاد (بیشتر برای آن‌هایی که بودجه و سیاست مالی آن‌ها به تولید و درآمدهای نفتی بستگی دارد) مدلسازی و پیش‌بینی تلاطم قیمت‌های این کالای استراتژیک یکی از دغدغه‌های اصلی است.

سرمایه‌گذاران هنگام سرمایه‌گذاری مالی در بازارهای نفت خام به منظور پوشش ریسک و تنوع بخشیدن پرتفوی، اهمیت زیادی برای پیش‌بینی تلاطم قائل هستند. به دلیل چرخه‌های اقتصادی و سیاسی، استراتژی‌های سرمایه‌گذاری سرمایه‌گذاران اغلب به شدت تحت تأثیر دوره‌های تلاطمی شدید و ملایم مختلف بازارهای نفت خام قرار می‌گیرد. بنابراین شناسایی دقیق رژیم‌های مختلف تلاطم برای پیش‌بینی‌کنندگان تلاطم، بخش‌های مدیریت ریسک و سرمایه‌گذاران به منظور تصمیم‌گیری مرتبط با رژیم‌های تلاطم خوشه‌ای[2] مهم است.[3] نتایج ایگلسیاس و ریوار ـ الونسو[4] (۲۰۲۲) نشان دهنده آن است که پایداری تلاطم در بازارهای نفت خام به نوع بحران (اقتصادی یا سیاسی) بستگی دارد.

مطالعات جدید در بازار نفت، شواهدی قوی از وجود شکست‌های ساختاری در تلاطم و اثرات قابل‌توجه آن‌ها بر مدل‌سازی تلاطم قیمت نفت خام ارائه می‌کنند. در این زمینه، دلایل پیچیدهٔ زیادی برای شکست‌های ساختاری در بازارهای نفت خام وجود دارد، اما بیشتر آن‌ها به ریسک‌های مالی، سیاست‌های اقتصادی شکست خورده، افزایش سریع فعالیت‌های سوداگرانه و مالی‌سازی بازارهای نفت اشاره دارند (بافس و هانیوتیس[5] (۲۰۱۰) و ساری[6] و همکاران (۲۰۱۱) و کیاروچی[7] و همکاران (۲۰۱۷)). به‌طور معناداری، یافته‌های اصلی این پژوهش‌ها حاکی از آن است که مدل‌های با انتقال ساختاری متفاوت، نتایج

---

1. Nakajima
2. Clustering Volatility
۳. تلاطم شدید و ملایم به رژیم بستگی دارد که با توجه به تخمین پارامترهای مدل منتخب مشخص می‌شوند. تلاطم شدید مشخصه دوران‌های استرس بازار و تلاطم ملایم مشخصه دوران‌های آرامش بازار است.
4. Iglesias and Rivera-Alonso
5. Baffes and Haniotis
6. Sari et al
7. Chiarucci et al

پیش‌بینی را نسبت به سایر مدل‌هایی که این ویژگی را لحاظ نمی‌کنند بهبود بخشیده است (کانگ[1] و همکاران، (۲۰۰۹) و چئونگ[2]، (۲۰۰۹) و محمدی و سو[3]، (۲۰۱۰)).

درنتیجه، نوآوری پژوهش حاضر بررسی کارایی مدل‌های تغییر رژیم تلاطمی در بازار دو نوع نفت خام WTI و برنت و مقایسه قدرت پیش‌بینی تلاطم و ریسک این مدل‌ها در حضور رژیم‌های تلاطمی ناشی از چرخه‌های سیاسی و اقتصادی است.

در ادامه ساختار این پژوهش به صورت زیر خواهد بود:

در بخش(۲) به مرور پیشینه پژوهش پرداخته و در بخش(۳) روش شناسی پژوهش ارائه گردید. در بخش (۴) نتایج و پیش‌بینی خارج از نمونه تبیین و در نهایت در بخش(۵) نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲. پیشینه پژوهش

با توجه به انتقال ساختاری تلاطم در طول چرخه‌های اقتصادی، برخی از محققان مدل‌های تغییر رژیم را در سری‌های زمانی مالی ارائه کردند که پیش‌بینی نوسانات در آن‌ها از مدل‌های معمولی خانواده گارچ تک رژیمی، قوی‌تر است (گری[4]،(۱۹۹۶) و مارکوچی[5] (۲۰۰۵)). در عین حال، شواهدی قوی مبنی بر اینکه وجود تغییر رژیم مطابق با حقایق تلطیف شده[6] مالی تأثیرات زیادی بر پیش‌بینی عملکرد تلاطم دارد.[7] بر این اساس، یک مدل آرچ[8] با تغییر رژیم مارکوفی[9] توسط کای[10] (۱۹۹۴) و همیلتون و سوسمل[11] (۱۹۹۴) برای بررسی تلاطم در وضعیت‌هایی که تغییر رژیم‌های معناداری در بازارهای مالی وجود دارد، معرفی شد. دوکر[12] (۱۹۹۷) مدل تغییر رژیم مارکوفی همیلتون (۱۹۹۴) را به

1. Kang
2. Cheong
3. Mohammadi and Su
4. Gray
5. Marcucci
6. Stylized Facts

۷. حقایق تلطیف شده مالی به برخی ویژگی‌های توزیع بازده دارایی همچون خوشه‌ای بودن تلاطم، چولگی، دم سنگین بودن توزیع بازده و اثر اهرمی اشاره دارد.

8. ARCH
9. Markovian
10. Cai
11. Hamilton and Susmel
12. Dueker

چارچوب‌های مختلف گارچ ـ تغییر رژیم مارکوفی[1] گسترش داد. کلاسن[2] (۲۰۰۲) مدل گارچ ـ تغییر رژیم مارکوفی مورد استفاده توسط گری (۱۹۹۶) را اصلاح نمود و استدلال کرد که قابلیت‌های پیش‌بینی مدل‌های گارچ ـ تغییر رژیم مارکوفی اصلاح شده او بسیار بهبود یافته است. این تحقیقات بر روی تعیین رژیم تلاطم کم و زیاد توسط برخی از مدل‌های تغییر رژیم متمرکز شدند، آن‌ها دریافتند که مدل‌های تغییر رژیم در برازش سری‌های زمانی مالی غیرخطی بهتر از مدل‌های معمولی نوع گارچ عمل می‌کنند. علاوه بر این، مارکوچی (۲۰۰۵) به مقایسه توانایی پیش‌بینی گروهی از مدل‌های گارچ ـ تغییر رژیم مارکوفی با مدل‌های گارچ تک رژیمی پرداخت. یافته‌های او ثابت می‌کند که مدل‌های گارچ ـ تغییر رژیم مارکوفی به‌طور قابل‌توجهی نسبت به مدل‌های گروه دوم برتری دارند. چانگ[3] (۲۰۱۲) یک مدل گارچ نمایی[4] با رژیم‌های متغیر را برای پیش‌بینی قیمت‌های آتی نفت خام به‌کار گرفته می‌گیرد. او دریافت که این مدل‌ها می‌توانند به خوبی حقایق تلطیف شده در بازارهای مالی را به تصویر بکشند. همچنین هررا[5] و همکاران (۲۰۱۸) تأیید نمودند که مدل تغییر رژیم مارکفی ـ گارچ پیش‌بینی‌های دقیق‌تری نسبت به مدل‌های ساده نوع گارچ برای پیش‌بینی تلاطم نفت خام ارائه می‌دهد. دی سانزو[6] (۲۰۱۸) نشان داد مدل‌های نوع گارچ زمانی که به‌طور همزمان با حافظه طولانی و تغییر رژیم‌های پویا ترکیب می‌شوند، عملکرد کارایی برای پیش‌بینی تلاطم نفت خام خواهند داشت. مدل‌های تغییر رژیم که تأثیر تغییرات ساختاری در شرایط اقتصادی را در بر می‌گیرد، توانایی مدلسازی ویژگی‌های سری‌های زمانی مالی را بهبود می‌بخشند. با این حال، پژوهش‌های کمی در مورد مدل‌های نوع گارچ با تغییر رژیم‌های مارکوفی پنهان وجود دارد. این نوع از مدل‌ها که توسط الیوت[7] و همکاران (۱۹۹۸) ساخته شده است نشان می‌دهد که تلاطم ممکن است مقادیر متفاوتی را در رژیم‌های مختلف به تبعیت از یک فرآیند پنهان مارکوفی بگیرد. روسی[8] و همکاران (۲۰۰۶) پیشنهاد می‌کنند که حالت‌های تلاطم در یک مدل تغییر رژیمی توسط یک زنجیره مارکوف پنهان کنترل شود.

1. MRS-GARCH
2. Klaassen
3. Chang
4. EGARCH
5. Herrera
6. Di Sanzo
7. Elliott
8. Rossi

برای اهداف پژوهش حاضر ترسیم صحیح دینامیک شوک‌های تلاطمی در طول زمان از لحاظ اثرگذاری اخبار به شکل متقارن یا نامتقارن علاوه بر موضوع تغییر رژیم نیز اهمیت اساسی دارد. در سال‌های اخیر، در این زمینه تعداد مناسبی از ادبیات به بررسی نامتقارنی تلاطم در بازار نفت خام پرداخته‌اند (فان[1] و همکاران، (۲۰۰۸) و نومیکوس و آدریوسوپولوس[2] (۲۰۱۲) و سالیسو و فسانیا[3]،(۲۰۱۳) و چکیلی[4] و همکاران،(۲۰۱۴) کریستوفک[5]،(۲۰۱۴) و دی سانزو،(۲۰۱۸) و لین[6] و همکاران،(۲۰۲۰)). ادبیات اخیر تأیید می‌کند که مدل‌های گارچ نمایی[7] و جی ژی آر- گارچ[8] به دلیل در نظر گرفتن نامتقارتی شوک‌های تلاطمی آن‌ها، ویژگی‌های سری زمانی داده‌های نفت خام را بهتر مدلسازی می‌کنند. بنابراین در این پژوهش به منظور ارزیابی قدرت پیش‌بینی تلاطم بازار نفت خام WTI و برنت، مدل‌های تغییر رژیم مارکفی و مارکفی پنهان با الگوی جی ژی آر- گارچ ترکیب شده است تا کارایی این دو مدل در ارزیابی و پیش‌بینی ریسک بررسی شود. در نتیجه، نوآوری پژوهش حاضر بررسی کارایی مدل‌های تغییر رژیم تلاطمی در بازار دو نوع نفت خام WTI و برنت و مقایسه قدرت پیش‌بینی تلاطم و ریسک این مدل‌ها در حضور رژیم‌های تلاطمی ناشی از چرخه‌های سیاسی و اقتصادی است.

در ادامه ساختار این پژوهش به صورت زیر خواهد بود:

در بخش(۲) پیشینه پژوهش و بخش(۳) روش شناسی پژوهش ارائه گردید. در بخش(۴) نتایج تخمین مدل‌ها و نتایج پیش‌بینی خارج از نمونه تبیین و در نهایت در بخش(۵) نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۳. روش‌شناسی

۳-۱. مدل مارکف پنهان

یک مدل مارکف پنهان از یک فرآیند تصادفی مضاعف تشکیل شده است که یکی از آن‌ها یک زنجیره مارکوف پنهان برای بیان رفتار حالت‌های پنهان می‌باشد و دیگری یک

1. Fan
2. Nomikos and Adriosopoulos
3. Salisu and Fasanya
4. Chkili
5. Kristoufek
6. Lin
7. EGARCH
8. GJRGARCH

دنباله از مشاهدات است که توسط حالت‌های پنهان فعلی یک زنجیره مارکف مشخص شده است (رابینر و جوانگ[1]،۱۹۸۶). به‌طور ویژه یک مدل مارکف پنهان به صورت زیر قابل بیان است:

توزیع احتمال حالت یا وضعیت اولیه:

$$\pi = \{\pi(i)\} : \pi(i) = p[z_1 = s_i], 1 \le i \le N \quad (۱)$$

احتمال انتقال بین وضعیت‌ها:

$$T = \{\tau_{ij}\} : \tau_{ij} = p[z_t = s_j | z_{t-1} = s_i], 1 \le i, j \le N \quad (۲)$$

توزیع مشاهدات (سیگنال‌ها) به شرط حالت یا وضعیت‌ها:

$$O = \{o_j(k)\} : o_j(k) = p[Y_k | z_t = s_i], 1 \le i \le N, 1 \le k \le M \quad (۳)$$

در روابط فوق N تعداد وضعیت‌هاست که در زمان t با z_t نشان داده شده است. بنابراین یک مدل مارکف پنهان یک سه گانه به شکل $\lambda = (T, O, \pi)$است که محدودیت‌های زیر را برآورده سازد:

$$\sum_{i=1}^{N} \pi(i) = 1, \tau_{ij} \ge 0, \sum_{j=1}^{N} \tau_{ij} = 1 \quad (۴)$$

&

$$o_j(k) \ge 0, \sum_{k=1}^{m} o_j(k) = 1$$

۲-۳. مدل‌های کلاس گارچ

فرم عمومی یک مدل آرچ را که با عنوان کلی گارچ شناخته می‌شود و توسط بولرسلیف (۱۹۸۶) معرفی شد به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^{q} \beta_j \sigma_{t-j}^2 \quad (۵)$$

به منظور اظمینان از مثبت شدن واریانس شرطی محدودیتی که بر ضرایب این مدل وضع شود به صورت $\alpha_0 > 0, \alpha_i \ge 0 : i = 1,2,\dots p, \beta_j \ge 0 : j = 1,2,\dots,q$ می‌باشد. همچنین شرط کافی برای مانایی فرآیند GARCH عبارت است از:

$$\sum_{i=1}^{p} \alpha_i + \sum_{j=1}^{q} \beta_j < 1$$

1. Rabiner and Juang

به نظر می‌رسد که اثرگذاری عدم قطعیت بر تصمیمات سرمایه‌گذاران در بازارهای مالی متقارن نباشد. بدین معنی که سرمایه‌گذاران بازارهای مالی در هنگام تصمیم‌گیری‌های خود در خرید و فروش دارایی‌های مالی وزن بیشتری به وقوع یک زیان بالقوهٔ آتی نسبت به یک سود بالقوهٔ یکسان و هم احتمال درآینده خواهند داد. واقعیت‌های مشاهده شده در بازارهای سهام نشان دهنده آن است که شوک‌های منفی و مثبت بازده اثر یکسانی بر تلاطم ندارند که به معنای وجود اثر نامتقارن عدم قطعیت بر تصمیمات سرمایه‌گذاران است. این عدم تقارن برخی اوقات تحت عنوان اثر اهرمی[۱] و برخی اوقات دیگر تحت عنوان صرف ریسک[۲] توصیف می‌شود. نلسون[۳] (۱۹۹۱)، گلستن، جاناتان و رانکل[۴] (۱۹۹۳) و انگل و ان جی[۵] (۱۹۹۳) شواهدی از وجود اثر اهرمی در بازده را ارائه کرده‌اند. به منظور انتخاب یک مدل مناسب برای اندازه‌گیری و ارزیابی تلاطم در بازار سهام نیاز است که وجود اثر اهرمی نیز بررسی گردد. زیرا نادیده انگاشتن اثر اهرمی دربازار سهام (در صورت وجود) منجر به اریب اساسی در پیش‌بینی قیمت‌های آتی سهام می‌شود (هال و وایت، ۱۹۸۷). در این رابطه می‌توان از تعمیم‌هایی همچون مدل گارچ نمایی توسط نلسون (۱۹۹۱)، جی ژی آر- گارچ توسط گلستن و دیگران (۱۹۹۳) یا مدل TGARCH توسط زاکوئن[۶] (۱۹۹۴) که رابطه نامتقارن بازده سهام و تغییرات در واریانس را لحاظ می‌کنند، نام برد. در این پژوهش به منظور بررسی وجود اثر اهرمی از الگوی جی ژی آر- گارچ استفاده شده است که در زیر توضیح داده شده‌اند:

جی ژی آر- گارچ : این مدل توسط گلستن و دیگران (۱۹۹۳) معرفی شد. فرم عمومی آن به صورت زیر است:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \lambda \varepsilon_{t-1}^2 I_{t-1} + \sum_{j=1}^{q} \beta_j \sigma_{t-j}^2 \qquad (۶)$$

در این رابطه I_{t-1} متغیر نشانگر است که به‌صورت زیر (در رابطه با علامت شوک‌های وارد آمده بر بازده) تعریف می‌شود:

$$1 - I_{t-1} = \begin{cases} 1: & \varepsilon_{t-1} \geq 0 \\ 0: & \varepsilon_{t-1} < 0 \end{cases}$$

1. Leverage Effect
2. Risk Premium Effect
3. Nelson
4. Glosten, Jagannathan and Runkle
5. Engle and Ng
6. Zakoian

اگر $\hat{\lambda} > 0$ آنگاه اخبار منفی نسبت به اخبار مثبت اثر بزرگتری بر واریانس شرطی دارد. اثرات اهرمی در بازار سهام دال بر آن است که در این بازار باید انتظار داشته باشیم که $\hat{\lambda} > 0$ باشد که به معنای تفوق اثر اخبار منفی نسبت به اخبار مثبت بر واریانس شرطی است.

۳-۳. مدل‌های نوع مارکف ـ سوییچینگ گارچ

رفتار نامتقارنی که در نرخ بازده دارایی‌های مالی یا در نرخ بازده قیمت‌های نفت خام دیده می‌شود نشان دهنده آن است که تأثیرات یک شوک معین بستگی به رژیم غالب در انتشار اخبار دارد. براساس آنچه در مقدمه گفته شد دینامیک رفتار بازده به این موضوع که واریانس در چه رژیمی قرار می‌گیرد بستگی دارد. بعبارت دیگر از آنجا که در هر رژیمی واریانس رفتار منحصربفردی دارد دینامیک رفتار بازده دارایی نیز به این مسئله بستگی خواهد داشت. به منظور توضیح دقیق تر این پدیده، نرخ بازده دارایی به صورت $r_t = \frac{\Delta p_t}{p_{t-1}}$ تعریف و فرض می‌شود که r_t به‌طور تقریبی دارای میانگینی نزدیک به صفر است (فرض برقراری فرضیه ضعیف بازارهای کارا). اینکه در هر نقطهٔ از زمان واریانس در چه رژیمی قرار می‌گیرد بسته به اطلاعات محققین می‌تواند امری تصادفی یا قطعی تلقی شود. در روش مارکف سوییچینگ فرض می‌شود که نمی‌توان به‌طور قطعی تعیین کرد که در هر نقطه از زمان واریانس در چه رژیمی قرار می‌گیرد. در چنین وضعیتی توزیع شرطی r_t را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$r_t|(R_t = k, \Xi_{t-1}) \sim D\left(0, \sigma_{k,t}^2, \gamma_k\right) \quad (۸)$$

در رابطه فوق $D\left(0, \sigma_{k,t}^2, \gamma_k\right)$ توزیع بازده r_tمشروط به اینکه در رژیم k قرار گرفته باشد را توصیف می‌کند. در این رابطه واریانس در طول زمان متغیر و وابسته به رژیم k تعریف شده است. همچنین γ_k پارامتر شکل توزیع است. متغیر حالت R_t یک متغیر پنهان است که مقادیرش را از میان مجموعه رژیم‌های غیر هم پوشان $\{1,2,\dots,k\}$ انتخاب می‌کند فرض می‌شود که متغیر R_t از یک فرآیند مارکفی (به‌عنوان یک الگوی تصادفی) مرتبه اول همگن تبعیت می‌کند. ماتریس انتقال وضعیت‌های مارکفی برای یک وضعیت دو رژیمی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix} \quad (۹)$$

در این رابطه $p_{ij} = P(R_t = j|R_{t-1} = i)$ احتمال شرطی انتقال از وضعیت $s_{t-1} = i$ به وضعیت $s_t = j$ است. به دلیل آنکه این مقادیر احتمال وقوع یک رخداد هستند لذا لازم است که محدودیت $0 < p_{ij} < 1$ برای تمامی $i,j \in \{1,2,,\dots,k\}$ برقرار باشد. همچنین خاصیت مارکفی $\sum_{j=1}^{K} p_{ij} = 1$ به ازای تمامی $i \in \{1,2,,\dots,k\}$ برقرار باشد.

بعد از معرفی دینامیک رفتار بازده و نحوه ارتباط آن به واریانس متغیر در زمان و در رژیم‌های مختلف به تبعیت از هاس، میتنیک و پاوللا (۲۰۰۴)، واریانس شرطی، $\sigma_{k,t}^2$، بازده r_t از یک مدل تغییر رژیمی گارچ مشروط به آنکه متغیر s_k در رژیم k قرار گیرد را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\sigma_{k,t}^2 = f\left(r_{t-1}^q, \sigma_{k,t-1}^2, \varphi_k\right) \qquad (۱۰)$$

در رابطه(۸) فرم $f(.)$ تابعی واریانس شرطی است و بسته به تصریح مدل گارچ و بردار پارامترهای مشخص‌سازی رژیم φ_k متغیر q می‌تواند برابر با یک یا دو باشد.

٤-۳. روش ارزیابی ریسک و معیارهای اندازه‌گیری ریسک

در زمینهٔ اندازه‌گیری ریسک در ادبیات اقتصادسنجی به‌طورکلی سه روش اندازه‌گیری رایج است که به ترتیب استفاده در تحقیقات عبارتند از: تلاطم، ارزش در معرض ریسک[۱] و کسری مورد انتظار[۲] که معیار اخیر ارزش مورد انتظار شرطی[۳] نیز نامیده می‌شود. در بین معیارهای یاد شده، تلاطم معیاری برای اندازه‌گیری عدم قطعیت‌های محاسبه‌پذیر است و هرچند با ریسک در ارتباط است اما با ریسک یکی نیست. زیرا، ریسک با پیامدهای نامطلوب آتی در ارتباط است اما تلاطم علاوه بر چنین پیامدهایی با پیامدهای مثبت نیز مرتبط است. با این حال کسانی مانند شارپ[۴] (۱۹۶۶) در تعریف نسبت شارپ[۵]، از تلاطم به‌عنوان متغیر نماینده[۶] مناسب به منظور اندازه‌گیری ریسک استفاده کرده است. نتیجهٔ مطالعات نویسنده این پژوهش نشان‌دهنده آن است که انگل و بالرسیلو تفاوتی میان تلاطم

1. Value-at-Risk
2. Expected Shortfall
3. Conditional Value at Risk
4. Sharpe

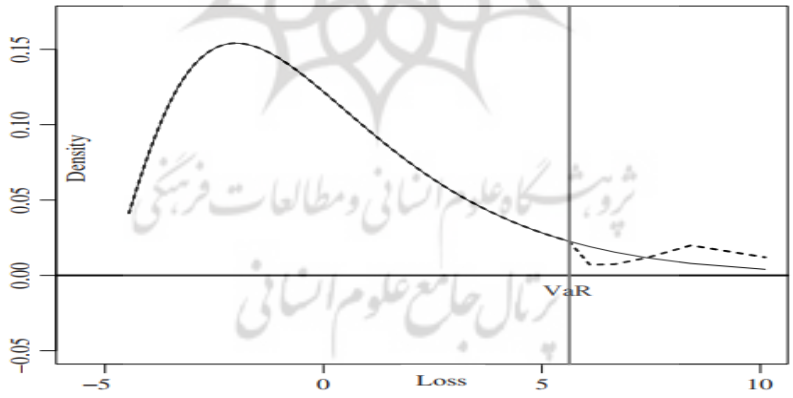
۵. نسبت شارپ میزان بازده یک دارایی را به ازای میزان ریسک پذیرفته شده توسط یک سرمایه‌گذار را نشان می‌دهد. براساس معیار شارپ از میان دو دارایی آن دارایی برتر است که نسبت شارپ بالاتری داشته باشد.

6. roxy

و ریسک قائل نبوده‌اند و مکرر از ریسک به جای نااطمینانی استفاده کرده‌اند. همچنین مارکویتز[1] (۱۹۵۲) و توبین[2] (۱۹۵۸) ریسک را با استفاده از واریانس تعریف کرده‌اند. این شیوه اندازه‌گیری ریسک زمانی درست است زمانی که توزیع احتمال بازده نرمال باشد. در این صورت تفاوتی میان ریسک و تلاطم نیست (پون[3]، ۲۰۰۵).

روش اندازه‌گیری ارزش در معرض ریسک، اولین‌بار توسط جی. پی. مورگان[4] (۱۹۹۴) ارائه شد، به عنوان یکی از رایج‌ترین رویکردها در بازارهای مالی برای مدیریت ریسک بازار توسعه یافته است. ارزش در معرض ریسک، حداکثر زیان‌هایی را که یک سرمایه‌گذار می‌تواند برای یک سطح تحمل معین در طی یک افق زمانی خاص با آن روبرو شود، تعریف می‌کند. اگرچه ارزش در معرض ریسک توسط بازل II و III توصیه می‌شود و مورد استقبال گسترده موسسات مالی قرار گرفته است، اما از سوی کمیته بانکی تسویه حساب بین‌المللی[5] مورد اعتراض قرار گرفته است، چرا که ارزش در معرض ریسک نمی‌تواند پیشامدهای نادر در دم‌های توزیع بازده را خوب بازتاب دهد. (چن و همکاران[6]، ۲۰۱۲). این موضوع به خوبی در نمودار(۱) نشان داده شده است.

نمودار ۱. ناتوانی معیار ارزش در معرض ریسک در محاسبه دم‌های دو توزیع متفاوت (تسای[7]، ۲۰۱٤)



1. Markowitz
2. Tobin
3. Poon
4. J.P. Morgan
5. International Settlements (BIS) Committee
6. Chen et al.
7. Tsay

این نمودار دو نوع تابع چگالی زیان را نشان می‌دهد. براساس تعریف مقدار ارزش در معرض ریسک این دو تابع یکسان است اما همانگونه که این نمودار نشان می‌دهد رفتار حدی این دو نوع تابع زیان همانند نیست. علاوه بر این، آرتزنر[1] و همکاران (۱۹۹۹) استدلال می‌کنند که ارزش در معرض ریسک الزام زیر جمع‌پذیری را رعایت نمی‌کند و بنابراین یک معیار منسجم از خطر نیست. معیار کسری مورد انتظار هرچند به شکلی محافظه‌کارانه و منسجم ریسک را اندازه می‌گیرد. تحقیقات مالی که از ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی برای اندازه‌گیری ریسک استفاده می‌کنند، عموماً روی سناریوی کاهش قیمت دارایی (یعنی خطر نزولی) متمرکزند. اما، بازار نفت، ویژگی‌های خاص خود را دارد که کاملاً متفاوت از دارایی‌های مالی است. به‌طور خاص، هنگامی که قیمت نفت به دلیل خبرهای ناگهانی منفی سقوط می‌کند، کشورهایی که صادرکننده نفت یا تولیدکننده‌های نفت هستند به ناچار ضرر می‌کنند در حالی که مصرف‌کنندگان نفت از آن رویدادهای شدید منفی بهره‌مند می‌شوند. از طرف دیگر، اگر قیمت نفت ناگهان افزایش یابد، مصرف‌کنندگان نفت ضرر مالی را متحمل می‌شوند. بنابراین در مورد کشورهای صادرکننده و واردکننده نفت تعریف ارزش در معرض ریسک یا ارزش در معرض ریسک شرطی فرق خواهد کرد و متناسب با ساختار آن‌ها باید این معیارها را تعریف نمود.

٤. یافته‌ها

داده‌های پژوهش حاضر، داده‌های ماهانه نفت خام برنت و نفت خام WTI به دلار در بازه زمانی ماه مه ۱۹۸۷ تا نوامبر ۲۰۲۱ می‌باشد.

جدول (۱) آماره توصیفی مربوط به قیمت‌های این دو نفت خام را نشان می‌دهد. براساس نتایج این جدول میانگین قیمت هر بشکه نفت برنت و WTI در این بازه زمانی برابر با ۴۷ و ۴۵/۷ دلار بوده است. همچنین کمترین و بیشترین قیمت تحقق‌یافته در این بازه برای این دو نفت خام به ترتیب برابر با ۹/۸ و ۱۱/۳۵ دلار است. با انحراف استاندارد قیمت‌های نفت خام نسبت به قیمت‌ها نفت خام WTI به‌طور متوسط ۱۳/۶ دلار کمتر است (این آماره برای نفت خام برت و WTI به ترتیب برابر است با ۳۲ و ۴۵/۷ دلار است).

1. Artzner et al.

همچنین قیمت‌های نفت برنت و WTI چولگی به سمت راست دارند که به معنای آن است که وقوع مقادیر بیشتر از میانگین محتمل‌تر از مقادیر بیشتر از میانگین است. در نهایت آماره جارکیو ـ برا نشان می‌دهد که فرض نرمال بودن توزیع داده‌های تحقق یافته قیمت نفت غیرمنطقی است.

جدول ۱. آمار توصیفی داده‌های روزانه قیمت‌های نفت خام

الف) نفت خام برنت			
کمینه	بیشینه	میانه	میانگین
۹/۸۲	۱۳۲/۷۲	۳٤/۹	٤۷/۰۲۱۹٥
آماره جارکیو-برا	کشیدگی	چولگی	انحراف استاندارد.
٥۱/۳٥۰۳۳	۲/٥۳۹۷۳۳	۰/۸۳۰۳۳۹	۳۲/۱۰۷۳۹
ب) نفت خام WTI			
کمینه	بیشینه	میانه	میانگین
۱۱/۳٥	۱۳۳/۸۸	۳٦/۷٤	٤٥/۷٤۸۳٦
آماره جارکیو ـ برا	کشیدگی	چولگی	انحراف استاندارد.
٤٦/۳٤۰۰٤	۲/٥۳۹۰۰۸	۰/۷۸٥۳۹۷	۲۸/٦٦٦۳۲

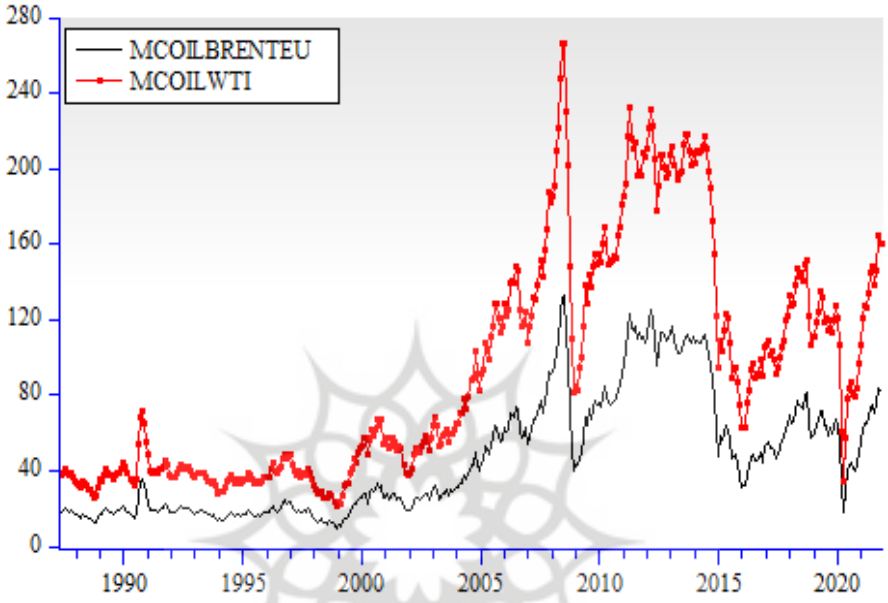
منبع: یافته‌های پژوهش

با استفاده از داده‌های این جدول مقادیر پیشین مربوط به پارامتر آستانه C را با استفاده از مقادیر کمینه و بیشینه داده‌ها به شکلی که در بخش ۳-۱ توضیح داده شد انتخاب می‌کنیم.

در نمودار (۲) حرکت قیمت‌های فوب نفت برنت به دلار و WTI نشان داده شده است. براساس اطلاعات این نمودار بیشترین تحولات در قیمت‌های نفت خام برنت و WTI مربوط به پس از سال ۲۰۰۵ است. به‌طوری‌که در این سال‌ها قیمت WTI و برنت به ترتیب سقف ۱۳۳/۸۸ و ۱۳۲/۷۱ دلار را به ازای هر بشکه در ماه‌های ژوئن و ژوییه سال ۲۰۰۸ بدست آوردند. همچنین در این سال‌ها این دو نوع نفت خام سه سقوط شدید را تجربه کرده‌اند که عدم قطعیت بالای بازار نفت خام را پس از شروع قرن جدید میلادی را نشان می‌دهد و می‌تواند با رشد بازارهای مشتقات نفتی و معاملات سوآپ نفت و اختیار معامله در دو دهه اخیر در ارتباط باشد. کمترین قیمت‌های ماهانه این دو نوع نفت (در دامنه زمانی که این پژوهش در بر می‌گیرد) مربوط به سال‌های قبل از ۲۰۰۰ است، اما در ماه آوریل سال ۲۰۲۰ قیمت‌های ماهانه نفت خام برنت و WTI به ترتیب به ۱۸/۳۸ و ۱۶/۵۵ دلار به ازای هر بشکه سقوط کردد که نمی‌توان سوابقی ماهانه از این چنین قیمتی پس از شروع

قرن جدید میلادی یافت (شایان ذکر است که اواخر سال ۲۰۰۱ و اوایل سال ۲۰۰۲ تنها برای چند ماه نفت خام چنین سقوطی را تجربه کرده بود).

نمودار۲. مسیر زمانی قیمت‌های نفت برنت و WTI (به دلار) در دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰



منبع: یافته‌های پژوهش

تحولات در قیمت‌های ماهانه برنت و WTI، نمود خود را در بازده این دو نوع نفت خام نشان داده است. به‌طورکلی در دامنهٔ زمانی اطلاعات استفاده شده در این پژوهش متوسط بازده قیمت‌های برنت و WTI برابر با ۰/۳۵درصد و ۰/۳۴درصد است. همچنین انحراف استاندارد بازده دو نوع نفت خام نامبرده به ترتیب برابر با ۹/۹درصد و ۹/۵درصد می‌باشد که در مقایسه با داده‌های میانگینشان نسبتا بالاست و پراکندگی بالای تحولات در داده‌های بازده را نشان می‌دهد (این اطلاعات در جدول (۲) قابل مشاهده است). بدیهی است که این پراکندگی بالا در بازده قیمت نفت را می‌توان به نمونه‌های برجسته‌ای از دوره‌های حرکت ناگهانی و چشمگیر قیمت نفت شامل:

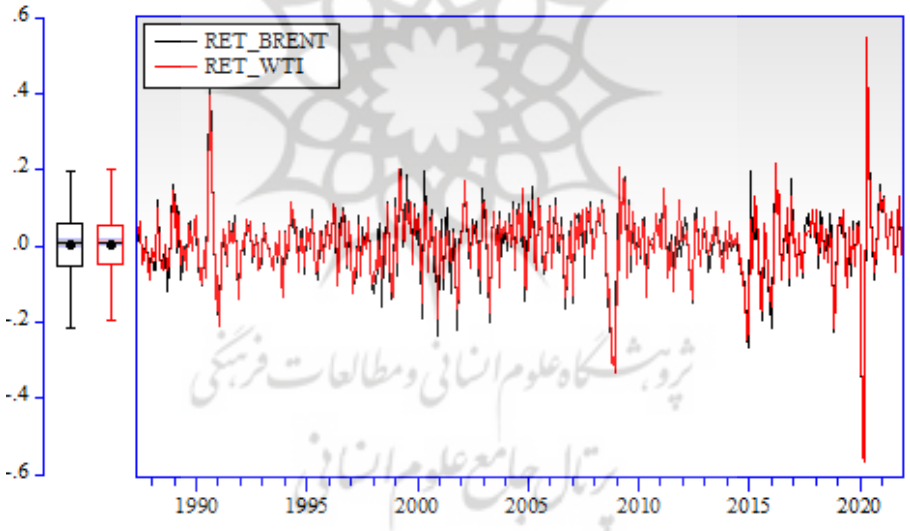
تنش بازار ناشی از حمله عراق به کویت و جنگ خلیج پس از آن در ۱۹۹۰-۱۹۹۱، بحران در بازارهای آسیایی و روسیه در ۱۹۹۷-۱۹۹۸، بحران مالی در سال ۲۰۰۸ و بحران جهان در سال ۲۰۲۰ ناشی از همه‌گیری کووید ـ ۱۹ نسبت داد.

جدول ۲. آمار توصیفی داده‌های روزانه بازده قیمت‌های نفت خام

الف) بازده نفت خام برنت			
کمینه	بیشینه	میانه	میانگین
۰/۵۵٤۷۸۵-	۰/٤٦۹۰۵۱	۰/۰۱۰٦۸۲	۰/۰۰۳۵۵۸
آماره جارکیو-برا	کشیدگی	چولگی	انحراف استاندارد.
۷۱٤/۷٤۸٦	۹/۳۰۲٤٦۱	۰/٦۵٤۵٤-	۰/۰۹۹۷۲۳
ب) بازده نفت خام WTI			
کمینه	بیشینه	میانه	میانگین
۰/۵٦۸۱۲۵-	۰/۵٤۵٦۲۱	۰/۰۱۱۸۸۱	۰/۰۰۳۳۹۱
آماره جارکیو-برا	کشیدگی	چولگی	انحراف استاندارد.
۱۱۸٦/۹٦٤	۱۱/۱۸۸۰۱	۰/٦٦٤٤٦۲-	۰/۰۹۵۸۵۲

منبع: یافته‌های پژوهش

نمودار ۳. تحولات در بازده قیمت‌های اسپات نفت برنت و WTI (به دلار)

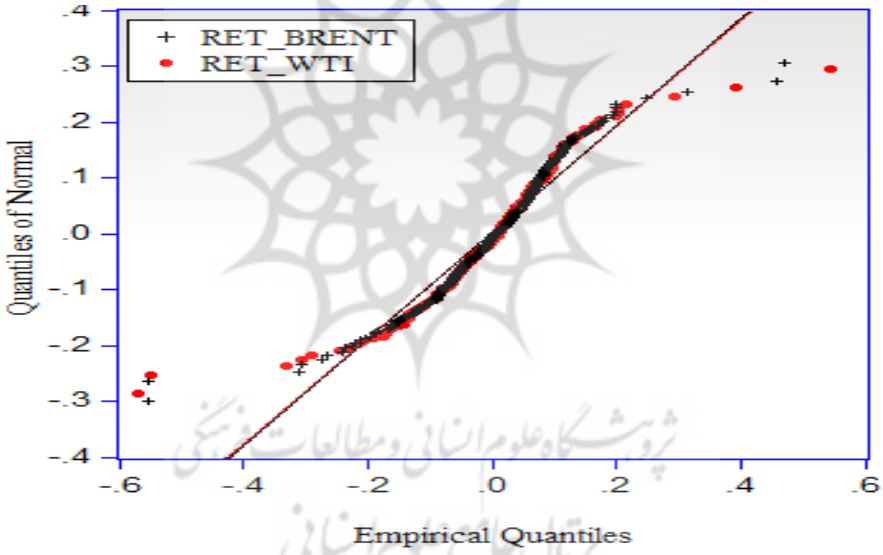


منبع: یافته‌های پژوهش

نمودار (۳) بازده نفت خام برنت و WTI را نشان می‌دهد. براساس این نمودار کوانتیل بازده نفت خام برنت و WTI (که به ترتیب در نمودار (۳) با بازده قیمت برنت و بازده قیمت WTI نشان داده شده است) در مقابل کوانتیل نرمال استاندارد در نمودار (۴) نشان داده شده است. نمودار (۴) به صورت محدب – مقعر می‌باشد که در داده‌های بازده بخاطر

وجود تلاطم خوشه‌ای روی می‌دهد. این موضوع منجر به کشیدگی بالای داده‌های بازده نسبت به توزیع نرمال شده است زیرا بازده‌های مثبت بزرگ یا منفی بزرگ بیش‌تر از آن چیزی روی می‌دهند که این دو توزیع پیش‌بینی می‌کنند. نمودار (۴) نشان می‌دهد که حجم بالایی از نقاط نمونه‌ای از خط کوانتیل نرمال دور افتاده است که موید این موضوع است که داده‌های تاریخینفت خام برنت و WTI نسبت به توزیع نرمال نقاط دور افتاده بسیار بیشتری دارند. همچنین، این نمودار نشان می‌دهد که رفتار حدی و دنباله‌ای نفت خام WTI نسبت به نفت خام برنت متفاوت است. به‌طوری‌که پراکندگی داده‌های WTI در دم‌ها نسبت به نفت خام برنت بیشتر است. این موضوع می‌تواند در محاسبه تلاطم و ریسک بسیار حیاتی باشد و در نتایج مدل‌سازی این دو نوع نفت خام تغییراتی ایجاد نماید.

نمودار ٤. چندک‌های بازده نفت خام برنت و WTI در مقابل چندک‌های توزیع نرمال



منبع: یافته‌های پژوهش

۱-٤. تخمین مدل‌ها

به منظور مدلسازی تلاطم با استفاده از مدل جی ژی آر گارچ ـ تغییر رژیم مارکوفی[1] و جی ژی آر گارچ ـ مارکفی پنهان[2] از معادله زیر استفاده شده است

1. MRS-GJRGARCH
2. HM-GJRGHARCH

$$r_t|(R_t = k, \Xi_{t-1}) \sim D\left(0, \sigma_{k,t}^2, \gamma_k\right) \qquad (۱۱)$$
$$\sigma_{k,t}^2 = \alpha_k + \alpha_k \varepsilon_{t-i}^2 + \lambda_k \varepsilon_{t-1}^2 I_{t-1} + \beta_k \sigma_{t-j}^2$$

در رابطه فوق فرض شده است که تنها دو رژیم تلاطمی وجود دارد که عبارت‌اند از رژیم متلاطم و رژیم ملایم. با استفاده از روش حداکثر درست‌نمایی[1] این رابطه برآورد و نتایج آن در جدول شماره (۳) و (۴) به ترتیب برای بازده قیمت‌های ماهانه نفت خام WTI و برنت نشان داده شده است:

جدول ۳. تخمین مدل‌های رژیمی برای بازده نفت خام WTI

پارامتر	MRS-GJRGARCH		HM-GJRGARCH	
	S_1	S_2	S_2	S_1
α_0	۰/۰۰۵۹ (۰/۰۰۲۲)	۰/٦۲۰۷ (۰/۱۵۲۸)	۰/۰۰۵٤ (۰/۰۰۱۹٤۸)	۰/۷٦۸۹ (۰/۳۷٤۱)
α_1	۰/۰۹٤۷ (۰/۱۰۳۱)	۰/۰۳۳۳۲ (۰/۰۲۳۷۱)	۰/۰۱۵٦۱ (۰/۰۱۰۳)	۰/۰۲۹۵۵ (۰/۰۲۰۵)
α_2	۰/٦۵۵۳ (۰/٤٦۵٤)	۰/۸۱۷۰ (۰/٤۷۷٤)	۰/۸۷٦۵ (۰/۷۲۵۸)	۰/٤۳۲۵ (۰/۳٤٦۷)
β	۰/۰۳۸۸ (۰/۰۵٤۸)	۰/۰۲۳۲ (۰/۰۵۲۷)	۰/۰٦٦۰٦ (۰/۰٤۷۸۳)	۰/۲٦٦۷ (۰/۲۲۰٦)
$p_{1,s}$	۰/۹۰٤٦	۰/۰۹۵٤	۰/٤۰۲۵	۰/۵۹۷۵
$p_{2,s}$	۰/۲۹۷۱	۰/۷۰۲۹	۰/۸۰٤۱	۰/۱۹۵۹

منبع: یافته‌های پژوهش

براساس نتایج جدول فوق، براساس مدل جی ژی آر گارچ ـ تغییر رژیم مارکفی میزان پایداری تلاطم بازده قیمت‌های نفت خام WTI در رژیم ۱ و رژیم ۲ به ترتیب برابر با ۰/۴۶۱۱۵ و ۰/۷۶۴۹ می‌باشد. همچنین میزان پایداری تلاطمی براساس مدل جی ژی آر گارچ ـ مارکفی پنهان در رژیم ۱ و رژیم ۲ به ترتیب برابر با ۰/۵۱۲۵ و ۰/۵۱۹۹ است.

به‌طور خلاصه ویژگی‌های رژیم ۱ عبارت است از:

تلاطم شرطی پایین در هر دو مدل پایداری کمتر تلاطمی در طول زمان واکنش به شوک‌های منفی ضعیف‌تر (که توسط ضریب α_2 بیان می‌شود)

1. Maximum Likelihood

ویژگی‌های رژیم ۲ عکس ویژگی‌های رژیم یک خواهد بود، بنابراین رژیم یک، رژیم تلاطم ملایم و رژیم دو، رژیم تلاطم شدید است.

جدول ٤. تخمین مدل‌های رژیمی برای بازده نفت خام برنت

پارامتر	MRS-GJRGARCH		HM-GJRGARCH	
	S_1	S_2	S_1	S_2
α_0	۰/۰۰٤۹ (۰/۰۰۱۲)	۰/۳۹۷۵ (۰/۲۷٦٦)	۰/۰۰۵۰۸۷ (۰/۰۰۱۲)	۰/۰۹۲۱۳ (۰/۰٤۵۹٦)
α_1	۰/۰۵۳۱ (۰/۰۷۲۸)	۰/۰۱٤۷ (۰/۰۳۳۷)	۰/۰۱٤۰۷ (۰/۰۱۳۰۳)	۰/۰۳٦۹۵ (۰/۰۲۲۹۵)
α_2	۰/۷۱۸۵ (۰/۰۳٤۹)	۰/۵۷۸۹ (۰/٤۱۷۷)	۰/۱۲۰۹ (۰/۰۷۰٤)	۰/۵۸۹۱ (۰/۲۰۱۲)
β	۰/۱۵۰٦ (۰/۰۸٦۸)	۰/٤۷۳۲ (۰/۲۲۸۳)	۰/۰۷۰۰۱ (۰/۰۵۸٤۸)	۰/٤۰۳۹ (۰/۲۲۵۷)
$p_{1,S}$	۰/۹۹۹٤	۰/۰۰۰٦	۰/۹۷٤۱	۰/۰۲۵۹
$p_{2,S}$	۰/۳٦۳۹	۰/٦۳٦۱	۰/٤۲۲۳	۰/۵۷۷۷

منبع: یافته‌های پژوهش

براساس نتایج جدول (۴)، براساس مدل جی ژی آر گارچ ـ تغییر رژیم مارکفی میزان پایداری تلاطم بازده قیمت‌های نفت خام برنت در رژیم ۱ و رژیم ۲ به ترتیب برابر با ۰/۵۶۳ و ۰/۷۸۳ می‌باشد. همچنین میزان پایداری تلاطمی براساس مدل جی ژی آر گارچ ـ مارکفی پنهان در رژیم ۱ و رژیم ۲ به ترتیب برابر با ۰/۱۴۴۵ و ۰/۷۳۵۴ است.

به‌طور خلاصه ویژگی‌های رژیم یک عبارت است از:

- تلاطم شرطی ضعیف در هر دو مدل،
- پایداری کمتر تلاطمی در طول زمان در هر دو مدل،
- واکنش به شوک‌های منفی قوی‌تر در مدل جی ژی آر گارچ ـ تغییر رژیم مارکفی و ضعیف‌تر در مدل جی ژی آر گارچ ـ مارکفی پنهان.

ویژگی‌های رژیم دو عکس، ویژگی‌های رژیم یک خواهد بود، بنابراین رژیم یک، رژیم تلاطم ملایم و رژیم دو، رژیم واریانس متلاطم است.

براساس این نتایج، احتمال انتقال بین رژیم‌ها در مدل جی ژی آر گارچ ـ تغییر رژیم مارکفی وقتی در زمان t در رژیم ۱ قرار داریم به همان رژیم در زمان $t+1$ برابر با ۰/۹۹۹۴ و

به رژیم ۲ برابر با ۰/۰۰۰۶ است که پایداری بشدت بالای توقف در رژیم یک را وقتی در دوره قبل در همین رژیم قرار داریم نشان می‌دهد. همچنین انتقال وضعیت از رژیم ۲ به رژیم ۱ زمانی‌که در دوره قبل در رژیم ۲ قرار داشته‌ایم برابر با ۰/۳۶۳۹ است.

با این وجود، احتمال انتقال بین رژیم‌ها در مدل جی ژی آر گارچ ـ مارکفی پنهان وقتی در زمان t در رژیم ۱ قرار داریم به همان رژیم در زمان $t+1$ برابر با ۰/۹۷ و به رژیم ۲ برابر است با ۰/۰۳. همچنین انتقال وضعیت به رژیم ۲ زمانی‌که در دوره قبل در رژیم ۲ قرار داشته‌ایم برابر با ۰/۵۷ است.

بنابراین در هر دو الگوی تغییر رژیم مارکفی و مارکفی پنهان عدم قطعیت ناشی از ورود اخبار جدید به بازار نفت خام برنت در این بازار به‌طور عمده به‌طور ملایم بالا می‌رود.

جدول ۵. محاسبه احتمال توقف در هر رژیم

نوع نفت خام	MRS-GJRGARCH		HM-GJRGARCH	
	S_1	S_2	S_1	S_2
WTI	۰/۷۵۷	۰/۲۴۳	۰/٤٥٣٢	۰/٥٤٦٨
برنت	۰/٦٤٩٢	۰/۳۵۰۸	۰/٦٣٩	۰/۳٦۱

منبع: یافته‌های پژوهش

براساس نتایج ارائه‌شده در جدول (۵)، احتمال قرارگیری بازده هر دو نوع نفت خام در رژیم ملایم تلاطمی بیشتر از قرار گرفتن در رژیم تلاطمی شدید است. با این وجود، مدل تغییر رژیم مارکفی نسبت به مدل مارکفی پنهان این احتمال را به ویژه در مورد نفت خام WTI بیشتر ارزیابی می‌کند (همانگونه که در جدول (۵) نشان داده شده است احتمال قرار گرفتن در رژیم متلاطم یا S_1 در الگوی جی ژی آر گارچ ـ تغییر رژیم مارکفی برابر با ۰/۷۵۷ و در الگوی جی ژی آر گارچ ـ مارکفی پنهان برابر با ۰/۵۴۶۸ می‌باشد).

در جدول (۶) مقایسه عملکرد دو مدل‌جی ژی آر گارچ ـ مارکفی پنهان و جی ژی آر گارچ ـ تغییر رژیم مارکفی در پیش‌بینی خارج از نمونه‌ای[1] یک مرحله‌ای[2] براساس معیار ریشه مربعات خطا[3] ارائه شده است. هرچه مدلی ریشه مربعات خطا بالاتری نشان دهد به معنای داشتن خطاهای پیش‌بینی بزرگتر و عملکرد ضعیف‌تر در پیش‌بینی خارج از نمونه‌ای

1. Out of Sample
2. One Step ahead
3. RMSE

خواهد بود. براساس یافته‌های ارائه شده در این جدول، عملکرد مدل تغییر رژیم مارکفی برای پیش‌بینی تلاطم هر دو نوع نفت خام WTI و برنت برتر از عملکرد مدل تغییر رژیم مارکفی پنهان است.

جدول ٦. محاسبه معیار ریشه مربعات خطا برای پیش‌بینی یک مرحله‌ای تلاطم نفت خام

نوع نفت خام	MRS-GJRGARCH	HM-GJRGARCH
WTI	۰/٤٧٥٧	۰/٥٥٩٦
برنت	۰/٤٥٥٨١٨١	۰/٥٦٧٤

منبع: یافته‌های پژوهش

۲-٤. پیش‌بینی ریسک بر مبنای مدل جی ژی آر گارچ ـ تغییر رژیم مارکوفی

پس از اینکه مدل مناسب برای پیش‌بینی تلاطم در میان کلاس مدل‌هایی که تلاطم را به شکل یک متغیر پنهان برآورد می‌کنند، انتخاب شد، می‌توان از آن برای پیش‌بینی ارزش در معرض ریسک و کسری مورد انتظار استفاده کرد. در این پژوهش برمبنای مدل جی ژی آر گارچ ـ تغییر رژیم مارکوفی هر دو معیار ارزش در معرض ریسک و کسری مورد انتظار در دو چندک ۱درصد و ۵درصد برای ماه دسامبر ۲۰۲۱ به صورت زیر تخمین زده شده است:

جدول ۷. محاسبه ارزش در معرض ریسک و کسری مورد انتظار

زمان	چندک ۱درصد		چندک ۵درصد	
	VaR	ES	VaR	ES
ماه دسامبر ۲۰۲۱ (نفت خام WTI)	-۰/۲۱٤۰	-۰/۲۹۰۲	-۰/۱٤۱٥	-۰/۱۹۳۷
ماه دسامبر ۲۰۲۱ (نفت خام برنت)	-۰/۱۹٥۸	-۰/۱۷۱۹	-۰/۱۳۷۲	-۰/۱۷۱۹

منبع: یافته‌های پژوهش

براساس نتایج ارائه‌شده در جدول فوق، حداقل زیان ناشی از سرمایه‌گذاری یک دلار در خرید نفت WTI در ماه دسامبر با احتمال ۱درصد برابر با ۰/۲۱۴- و متوسط این زیان در همین سطح احتمال برابر با ۰/۲۹۰۲- است. همچنین براساس یافته‌های ارائه شده در جدول (۷) زیان احتمالی ناشی از سرمایه‌گذاری در ماه دسامبر ۲۰۲۱ در نفت خام WTI براساس هر دو معیار ارزش در معرض ریسک و کسری مورد انتظار در سطح احتمال ۱درصد و ۵درصد از نفت خام برنت بیشتر است. بنابراین ریسک مورد انتظار در بازار نفت WTI

بیشتر است و از آنجا که این بازار یکی از مهم‌ترین بازارهای نفت خام جهان است و بر بازارهای مالی همچون بازار نیویورک بسیار اثرگذار است این موضوع اهمیت زیادی دارد.

۵. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر اولین پژوهشی است که عملکرد مدل‌های تغییر رژیم‌های مارکفی و مارکفی پنهان را در پیش‌بینی ریسک بازار نفت خام WTI و برنت بررسی کرده است. به منظور آنکه واقعیت‌های شناخته شده در بازار نفت خام پوشش داده شود از مدل‌های نوع گارچ نامتقارن با تغییر رژیم مارکفی و مارکفی پنهان استفاده گردید. همچنین، برای ارزیابی عملکرد پیش‌بینی از تابع زیان درجه دوم و معیار ریشه مربعات خطا صورت استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان دهنده آن است که توانایی پیش‌بینی تلاطم در بازارهای تکامل‌یافته نفت خام WTI و برنت با مدل تغییر رژیم مارکفی نسبت به مدل تغییر مارکفی پنهان بیشتر است. این موضوع در مورد هر دو نوع نفت خام برنت و WTI که عمده‌ترین بازارهای تعیین‌کننده قیمت‌های جهانی نفت خام هستند برقرار است. در بین این دو نوع مدل تغییر رژیم، زمانی که آن‌ها را برای پیش‌بینی‌های خارج از نمونه مورد استفاده قرار می‌دهیم، مدل جی ژی آر گارچ ـ تغییر رژیم مارکفی از مدل جی ژی آر گارچ ـ مارکفی پنهان بهتر عمل می‌کند.

نتایج این پژوهش بیانگر آن است که با استفاده از مدل جی ژی آر گارچ ـ تغییر رژیم مارکفی، بخش‌های مدیریت ریسک سرمایه‌گذاران خصوصی مانند صندوق‌های کالایی و صندوق‌های تامینی به عنوان سفته باز و همچنین کشورهای وارد کننده و صادر کننده نفت خام مانند ایران به عنوان پوشش‌دهنده ریسک می‌توانند از چالش‌ها و فرصت‌های احتمالی ناشی سقوط ناگهانی یا افزایش شدید قیمت بازارهای نفت خام را با دقت بیشتری مدیریت کنند. این موضوع کمک می‌کند تا آنها به شکل کارآمدی استراتژی‌های پوشش ریسک خود را برای کاهش ضرر در دوره‌های آشفته تنظیم کنند. در واقع، این مدل کمک می‌کند تا قراردادهای آتی نفت هم برای سفته بازان و هم برای پوشش دهندگان ریسک با دقت بیشتری تنظیم گردد.

علاوه بر این، نتایج این پژوهش می‌تواند در سایر حوزه‌های اقتصاد همچون کنترل تورم، توزیع درآمدها و بخش کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال از آنجا که

تلاطم و بی‌ثباتی در قیمت‌های نفت خام با تورم و اثر آن بر هزینه‌های کالاهای مصرفی و تولیدات در بخش صنعت نیز مرتبط است طراحی استراتژی‌های مؤثر در برخورد با تحولات بازار نفت خام می‌تواند اثرات مخرب چنین تحولاتی را کاهش دهد.

در انتها باید توجه داشت که سرمایه‌گذاری‌های دنیای واقعی در حوزه نفت خام، در معرض ریسک‌های زیادی هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ریسک‌های مهندسی و ساخت و ساز،
- ریسک‌های مالی،
- ریسک‌های فنی در حین عملیات،
- ریسک‌های مشتری (مثلاً نکول پرداخت ها، کاهش تقاضا)،
- ریسک‌های تأمین‌کننده (به عنوان مثال وقفه در عرضه)،
- ریسک قیمت و نرخ ارز،
- ریسک‌های اجتماعی (به عنوان مثال اعتصاب)،
- ریسک‌های سیاسی (مداخلات در بازار).

سرمایه‌گذاران ممکن است سعی کنند با تعریف مجموعه‌ای از سناریوهای احتمالی، این ریسک‌ها را کمی سازی کنند. در این پژوهش تمرکز بر ریسک قیمت بوده است و سایر حوزه‌های ریسک در بازار نفت خام مورد بررسی قرار نگرفته است.

٦. تعارض منافع

تعارض منافعی ندارم

۷. سپاسگزاری

از اعضای محترم هیأت تحریریه نشریه کمال تشکر و قدردانی را دارد.

ORCID

Moslem Nilchi https://orcid.org/0000-0001-8946-4693
Ali Farhadian https://orcid.org/0000-0001-8803-101X

References

Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J. M. and Heath, D. (1999). Coherent measures of risk. *Mathematical finance*, 9(3), pp. 203- 228

Baffes, J. and Haniotis, T. (2010). Placing the recent commodity boom into perspective. *Food prices and rural poverty*, pp. 40-70.

Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of econometrics*, 31(3), pp. 307-327.

Cai, J. (1994). A Markov model of unconditional variance in ARCH. *Journal of Business and Economic Statistics*, 12(3), pp. 309-316.

Chang, K. L. (2012). Volatility regimes, asymmetric basis effects and forecasting performance: An empirical investigation of the WTI crude oil futures market. *Energy Economics*, 34(1), pp. 294-306.

Cheong, C. W. (2009). Modeling and forecasting crude oil markets using ARCH-type models. *Energy policy*, 37(6), pp. 2346-2355.

Chiarucci, R., Loffredo, M. I. and Ruzzenenti, F. (2017). Evidences for a structural change in the oil market before a financial crisis: the flat horizon effect. *Research in International Business and Finance*, *42*, pp. 912-921.

Chkili, W., Hammoudeh, S. and Nguyen, D. K. (2014). Volatility forecasting and risk management for commodity markets in the presence of asymmetry and long memory. *Energy Economics*, 41, pp.1-18.

Crisostomo, R. (2015). An analysis of the Heston stochastic volatility model: Implementation and calibration using MATLAB. arXiv Preprint. https://arxiv.org/abs/02963/1502.

Di Sanzo, S. (2018). A Markov switching long memory model of crude oil price return volatility. *Energy Economics*, 74, pp. 351-359.

Elliott, R. J., Hunter, W. C. and Jamieson, B. M. (1998). Drift and volatility estimation in discrete time. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 22(2), pp. 209-218.

Engle, R. F. (1982). Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica: Journal of the econometric society*, pp. 987-1007.

Fan, Y., Zhang, Y. J., Tsai, H. T. and Wei, Y. M. (2008). Estimating 'Value at Risk'of crude oil price and its spillover effect using the GED-GARCH approach. *Energy Economics*, 30(6), pp. 3156-3171.

Glosten LR, Jaganathan R, Runkle DE (1993). *On the Relation between the Expected Value and the Volatility of the Nominal Excess Return on Stocks.* Journal of Finance, 48(5), pp. 1779-1801.

Gray, S. F. (1996). Modeling the conditional distribution of interest rates as a regime-switching process. *Journal of Financial Economics*, 42(1), pp. 27-62.

Hamilton, J. D. and Susmel, R. (1994). Autoregressive conditional heteroskedasticity and changes in regime. *Journal of econometrics*, *64*(1-2), pp.307-333.

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

Hull, J. and White, A. (1987). The pricing of options on assets with stochastic volatilities. Journal of Finance, 42, pp.281-300.

Iglesias, E. M. and Rivera-Alonso, D. (2022). Brent and WTI oil prices volatility during major crises and Covid-19. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 110182.

Kang, S. H. and Yoon, S. M. (2013). Modeling and forecasting the volatility of petroleum futures prices. *Energy Economics*, 36, pp.354-362.

Klaassen, F. (2002). *Improving GARCH volatility forecasts with regime-switching GARCH* (pp. 223-254). Physica-Verlag HD.

Kristoufek, L. (2014). Leverage effect in energy futures. *Energy Economics*, 45, pp. 1-9.

Lin, Y., Xiao, Y. and Li, F. (2020). Forecasting crude oil price volatility via a HM- model. *Energy Economics*, *87*, 104693.

Marcucci, J. (2005). Forecasting stock market volatility with regime-switching GARCH models. *Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics*, 9(4).

Mohammadi, H. and Su, L. (2010). International evidence on crude oil price dynamics: Applications of ARIMA-GARCH models. *Energy Economics*, 32(5), pp. 1001-1008.

Nakajima, J. (2009). Bayesian analysis of GARCH and stochastic volatility: Modeling leverage, jumps and heavy-tails for financial time series [Technical report Mimeo]. Department of Statistical Science, Duke University.

Nelson, D.B. (1991). Conditional Heteroscedasticity in Asset Returns: A New Approach, *Econometrica*, 59, pp. 347-370.

Nelson, D.B. and Foster, D.P. (1994). Asymptotic Filtering Theory for Univariate ARCH Models, *Econometrica*, 62, pp.1-41.

Nomikos, N. and Andriosopoulos, K. (2012). Modelling energy spot prices: Empirical evidence from NYMEX. *Energy Economics*, 34(4), pp.1153-1169.

Poon, S. H. (2005). *A practical guide to forecasting financial market volatility*. John Wiley and Sons.

Rabiner, L., & Juang, B. (1986). An introduction to hidden Markov models. *ieee assp magazine*, 3(1), 4-16.

Rossi, A. and Gallo, G. M. (2006). Volatility estimation via hidden Markov models. *Journal of Empirical Finance*, 13(2), pp. 203-230.

Salisu, A. A. and Fasanya, I. O. (2013). Modelling oil price volatility with structural breaks. *Energy policy*, 52, pp.554-562.

Sari, R., Hammoudeh, S., Chang, C. L. and McAleer, M. (2012). Causality between market liquidity and depth for energy and grains. *Energy Economics*, 34(5), pp.1683-1692.

Tsay, R. S. (2014). *An introduction to analysis of financial data with R*. John Wiley and Sons.2nd edition.

Zakoian, J. M. (1994). Threshold heteroskedastic models. *Journal of Economic Dynamics and control*, 18(5), pp. 931-955.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

استناد به این مقاله: نیلچی، مسلم؛ فرهادیان، علی. (۱۴۰۱). محاسبه ریسک قیمت نفت خام با استفاده از الگوی HM-GARCH و MRS-GARCH، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۴۵ (۱۲)، ۱۴۵-۱۶۹.

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