فصل‌نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی/ سال هشتم / شماره‌ی ۳۱/ زمستان ۱۳۹۰/ صفحات ۲۳-۱

برآورد نااطمینانی در قیمت نفت سنگین ایران و سبد اوپک: کاربرد معادلات دیفرانسیل تصادفی•

سید کمیل طیبی
استاد دانشکده اقتصاد دانشگاه اصفهان، Komail@econ.ui.ac.ir

رحمان خوش اخلاق
استاد دانشکده اقتصاد دانشگاه اصفهان، rahmankh44@yahoo.com

مریم فراهانی*
دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه اصفهان، Farahani009@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۰/۵/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۱

چکیده

رفتار قیمت نفت در الگوهای مختلفی مانند الگوهای هتلینگی و ساختاری، ارزیابی شده، اما در آن‌ها، نااطمینانی نادیده گرفته شده است. الگوهای تصادفی در قالب معادلات دیفرانسیل تصادفی، قابلیت الگوسازی نااطمینانی را دارند. معادلات دیفرانسیل تصادفی شامل حرکت وینری هستند که ماهیتی مشتق ناپذیر داشته و با استفاده از تکنیک‌های پیچیده گسسته سازی قابل حل می‌شوند. حرکت متغیر به دست آمده از حل این معادلات، حاوی اطلاعاتی است که می‌تواند نااطمینانی را الگوسازی کند.

هدف این مقاله، تحلیل نااطمینانی سالانه در قیمت نفت سنگین ایران و سبد اوپک، با استفاده از داده‌های روزانه طی دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰-۱۹۹۰ است. در این خصوص، پس از معرفی معادلات دیفرانسیل تصادفی مناسب برای ارزیابی قیمت نفت، الگوی حرکت براونی، با استفاده از برنامه نویسی در نرم افزار MATLAB الگوسازی شده و مقادیر σ که نشان‌دهنده‌ی نااطمینانی رفتار متغیر است، برآورد می‌شوند. نتایج مقایسه‌ای الگوسازی در قیمت نفت سنگین ایران و سبد اوپک نشان می‌دهد که نااطمینانی سالانه‌ی قیمت نفت سنگین ایران در مقایسه با سبد نفتی اوپک در بیش‌تر سال‌ها کم‌تر بوده است. با استفاده از این تحقیق، دامنه‌ی تغییرات عدم اطمینان در دوره‌ی مورد ارزیابی نیز مشخص می‌شود.

طبقه‌بندی JEL: Q47, D81

کلید واژه: نااطمینانی، الگوسازی قیمت نفت، معادلات دیفرانسیل تصادفی

• این مقاله بخشی از پایان نامه‌ی دکترای خانم مریم فراهانی با عنوان" ریسک و نااطمینانی در جذب سرمایه گذاری مستقیم خارجی در ایران" است، که به راهنمایی آقای دکتر سید کمیل طیبی و مشاوره‌ی آقای دکتر رحمان خوش اخلاق، در دانشگاه اصفهان به انجام رسیده است.

*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

الگوهای سنتی توضیح دهنده‌ی تغییرات قیمت نفت، شامل الگوهای هتلیتگی[۱] و الگوهای ساختاری[۲] هستند. بر اساس نظریه‌ی هتلینگ، در یک بازار رقابتی یا انحصاری، قیمت‌های واقعی، متناسب با افزایش و یا کاهش هزینه‌های نهایی تغییر می‌کنند و اصولا افزایش و یا کاهش شدید قیمت‌ها، دور از انتظار است، اما ارزیابی روند قیمت نفت طی سال‌های مختلف، نشان دهنده‌ی فراز و نشیب‌های زیادی است. آیا نظریه‌ی هتلینگی قادر به توضیح تغییرات قیمت نفت و به عبارت دقیق‌تر نااطمینانی[۳] قیمت نفت است؟ از سویی در الگوهای ساختاری، شرایط عرضه و تقاضا، ارزیابی و براساس آن، قیمت‌ها تعیین و پیش بینی می‌شوند. در دنیای واقعی عوامل مؤثر بر عرضه هم‌چون سرمایه‌گذاری و ظرفیت‌های تولید، سطح ذخائر و هم‌چنین تعیین کننده‌های تقاضا، علاوه بر تنوع و تعداد نسبتا زیاد، واجد نااطمینانی نیز هستند که این نااطمینانی‌ها، موجب تغییر مسیر قیمت‌های نفت می‌شوند. ایده‌آل‌ترین روش برای ارزیابی قیمت نفت، شناسایی عوامل مؤثر بر عرضه و تقاضاست، اما آیا می‌توان تمامی عوامل مؤثر بر عرضه و تقاضا و نااطمینانی‌های موجود در آن‌ها را شناسایی کرد؟ به علت تنوع و پیچیدگی عوامل مؤثر بر عرضه و تقاضای نفت، یک راه حل جایگزین و مناسب، استفاده از فرایندهای تصادفی[۴] است که اثرات نااطمینانی را نیز در نظر می‌گیرد. الگوی مورد استفاده دراین مطالعه برای ارزیابی رفتار قیمت نفت، معادلات دیفرانسیل تصادفی[۵] است، همان‌طورکه ارقام مشخص است، برای الگوسازی متغیرهای تصادفی به کار می‌روند و از آن‌جا که شامل جزئی هستند که مشتق ناپذیر است، تصادفی بودن متغیر را به خوبی الگوسازی می‌کنند. در این چارچوب، ضریب جزء تصادفی معادلات، نشان‌دهنده‌ی نااطمینانی در رفتار متغیر است.

بر این اساس، این مطالعه به دنبال برآورد نااطمینانی در قیمت نفت، در بازارهای جهانی است. به این منظور در بخش ۲، بحث نظری مطالعه که شامل مفاهیم و فرایند نااطمینانی، الگوهای توضیح دهنده‌ی قیمت نفت و الگوهای تصادفی است، ارائه می‌شود.

1- Hotelling.
2- Fundamental .
3- Uncertainty.
4- Stochastic Process .
5- Stochastic Differential Equations .

در بخش ۳ به عنوان مطالعه‌ی موردی، نااطمینانی نفت سنگین ایران و سبد نفتی اوپک[۱] با استفاده از داده‌های روزانه‌ی نفت برای هر سال، از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰، از طریق نرم‌افزار MATLAB برآورد می‌شود. بخش ۴ به نتیجه‌گیری و پیشنهادهای مبتنی بر یافته‌ها اختصاص دارد.

۲- مبانی نظری

در این بخش، مفاهیم و فرآیند نااطمینانی و ریسک، مروری بر الگوهای توضیح دهنده‌ی قیمت نفت و الگوهای تصادفی قیمت نفت را بررسی می نمائیم.

مفاهیم و فرآیند نااطمینانی و ریسک

اختلاف نظرهای بسیاری بین ریسک و نااطمینانی وجود دارد. در یک طبقه‌بندی کامل، سامسون و همکاران[۲] (۲۰۰۹)، نظرات مختلف درباره‌ی ریسک و نااطمینانی را به ۳ گروه ذیل طبقه‌بندی کرده‌اند؛

۱- نااطمینانی و ریسک موضوعاتی یکسان و مشابهند

۲- نااطمینانی و ریسک از هم متفاوت و مستقلند

۳- نااطمینانی و ریسک از هم متفاوت، ولی به هم وابسته‌اند، گروهی معتقدند ریسک، وابسته به نااطمینانی است و گروهی دیگر نااطمینانی را وابسته به ریسک می‌دانند.

گروه اول، که معتقد به یکسان بودن ریسک و نااطمینانی هستند، درصد زیادی از محققان را تشکیل می‌دهند، اما همان‌طور که آدرن[۳] (۱۹۶۹) یادآوری می‌کند، اگر ریسک و نااطمینانی یکسان باشند، پس باید با تکنیک‌های تحلیل ریسکی که در ادبیات

---

۱ - سبد اوپک تا قبل از ژوئن ۲۰۰۵، شامل ۷ نوع نفت Arab Light (عربستان)، Bonny Light (نیجریه)، Fateh (دبی)، Isthmus (مکزیک)، Minas (اندونزی)، Saharan Blend (الجزایر) و Tia Juana Light (ونزوئلا) بوده است، پس از ژوئن ۲۰۰۵ و به دنبال تصمیم در صد و سی و پنجمین نشست اوپک در اصفهان، سبد مرجع شامل۱۱ نوع نفت Saharan Blend (الجزایر)، Minas (اندونزی)، Iran Heavy (ایران)، Basra Light (عراق)، Kuwait Export (کویت)، Es Sider (لیبی)، Bonny Light (نیجریه)، Qatar Marine (قطر)، Arab Light (عربستان)، Murban (امارات) و BCF 17 (ونزوئلا) شده است. از سال ۲۰۰۷ نفت‌های Girassol (آنگولا) و oriente (اکوادور) به سبد مرجع اضافه شده و از سال ۲۰۰۹، Minas (اندونزی) از سبد حذف شده است (www.opec.org).

2- Samson et al.

3- Athearn.

موجود است، بتواند نااطمینانی را نیز تحلیل کرد در حالی‌که مشخص است تحلیل ریسک به تنهایی برای حل نااطمینانی کافی نیست.

گروهی که معتقد به متفاوت بودن ریسک از نااطمینانی و مستقل بودن آن هستند، ریسک را زمانی تعریف می‌کنند که صور (حالت‌های ممکن برای یک پدیده) قابل وقوع برای یک واقعه در زمان آتی، مشخص و احتمال بروز آن نیز مشخص باشد، اما نااطمینانی زمانی است که صور مشخص و احتمال نامشخص و یا صور و احتمال نامشخص باشند (دیکشنری پالگریو[1]، ۱۹۸۷). معمولا حالتی که صور نامشخص و احتمال هم نامشخص باشد را به افتخار معرفی کننده آن، نااطمینانی نایتی[2] می‌نامند.

گروه سوم که معتقد به متفاوت بودن ریسک از نااطمینانی و در عین حال وابسته بودن آن‌ها به هم هستند شامل دو دسته می‌باشند؛ دسته‌ی اول معتقدند که نااطمینانی به ریسک وابسته است، این گروه معمولا نااطمینانی را وضعیتی در ذهن و ریسک را وضعیتی در جهان خارج معرفی می‌کنند. کرو و هرن[3](۱۹۶۷)، بیان کرده‌اند که چون نااطمینانی ذهنی و ریسک در دنیای واقعی است، افزایش ریسک، نااطمینانی فرد را نسبت به تصمیمی که می‌گیرد، افزایش می‌دهد، اما از آن جا که افزایش نااطمینانی از آن جا که ذهنی است، ریسک را افزایش نمی‌دهد. دسته‌ی دوم که ریسک را وابسته به نااطمینانی می‌دانند، ریسک را به عنوان واریانس تعریف کرده و معتقدند که نااطمینانی واریانس متغیر مورد بررسی را افزایش می‌دهد و افزایش واریانس به معنای افزایش ریسک است (سامسون و همکاران، ۲۰۰۹).

در این میان، محققان ایرانی، هیچ گونه اشاره‌ای به تفاوت یا تشابه این دو موضوع نکرده و عموما نااطمینانی را در مطالعات خود نادیده گرفته‌اند، هدف این مطالعه در درجه‌ی اول بازشناسی و تفکیک مفاهیم ریسک و نااطمینانی بوده است. در این مطالعه ریسک و نااطمینانی از هم متفاوت و مستقل در نظر گرفته شده‌اند، در صورتی که اثبات شود متغیری واجد نااطمینانی است، (چنان چه در مورد قیمت نفت با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد بازارهای نفت، اثبات شده است)، تحلیل‌های ریسکی قادر به توضیح رفتار متغیر نخواهند بود. در این مطالعه رفتار متغیر نااطمینان، یعنی قیمت

1- Palgrave Dictionary.
2- Knightian Uncertainty .
3- Crow and Horn .

نفت، با معادلات دیفرانسیل تصادفی الگوسازی شده است، به طوری کـه نااطمینـانی بـا استفاده از جزئی تغییرپذیر با ویژگی‌هایی خاص، به عنوان بخشی از الگـوی دیفرانسـیل تصادفی آمده است. در نهایت بخشی از خروجی این الگوها، بررسی رفتـار متغیـر واجـد نااطمینانی است، به طوری که با رفتار واقعی متغیر سازگاری بیش‌تری داشته باشد.

مروری بر الگوهای توضیح دهنده‌ی قیمت نفت

الگوهای توضیح دهنده‌ی تغییرات قیمت نفت، شامل الگوهـای هتلیتگـی، الگـوهـای ساختاری و الگوهای تصادفی هستند. هتلینـگ، بـا فـرض ثابـت بـودن هزینـه‌ی نهـایی استخراج (MC) و با در نظر گرفتن نرخ تنزیل (i)، درآمد نهایی در زمـان t ($MR(t)$)، قیمت منابع طبیعی در زمان t ($P(t)$) و ضریب لاگرانژ (λ)، استدلال می‌کند که:

الف) در شرایط رقابت کامل لازم است تفاضل قیمت منابع طبیعی و هزینه‌ی نهـایی استخراج، متناسب با نرخ تنزیل(i) افزایش یابد، به طوری که:

$$P(t) - MC = \lambda e^{it} \qquad (۱)$$

ب) در شرایط انحصاری لازم است تفاضل درآمـد نهـایی منـابع طبیعـی و هزینـه‌ی نهایی استخراج متناسب با نرخ تنزیل(i) افزایش یابد، به طوری که:

$$MR(t) - MC = \lambda e^{it} \qquad (۲)$$

(هتلینـگ[1]، ۱۹۳۱). روبینسـون[2] (۱۹۷۵) و اولـف[3] (۱۹۸۴) بـر مبنـای نظریـه‌ی هتلینگ، الگوی قیمت- نرخ تنزیل (نرخ بهره) را ارائه کرده‌اند. بر اساس نظر آن‌ها قیمت واقعی نفت خام بر اساس تصمیم تولید کننده برای استخراج یا عدم استخراج نفت تغییر می‌کند. تولید در هر دوره‌ی خـاص بـه دو متغیـر عمـده، یعنـی انتظـارات تولیدکننـده درباره‌ی نرخ بهره و تغییرات قیمت انتظاری بستگی دارد. اگر تغییـرات قیمـت انتظـاری کم‌تر از نرخ بهره باشد، به منظور حداکثر کردن ارزش حال ذخائر، تولید کننده، منابع را در دوره‌ی جاری استخراج می‌کند و برعکس اگر تغییرات قیمت‌های انتظاری بیش‌تـر از نرخ بهره باشد، تولید منبع، تا دوره‌ی آتی به تعویق خواهد افتاد (امامی میبدی، ۱۳۸۵).

1- Hotelling .
2- Robinson.
3- Ulph.

ایرادی که به این الگوها گرفته می‌شود این است که در دنیای واقعی، بعید است که تنها هدف تولیدکنندگان نفت خام حداکثرکردن خالص ارزش حال ذخایرشان باشد، زیرا آن‌ها اهداف پیچیده‌تر و غیر مدونی نیز دارند (گودت[1]، ۲۰۰۷). به علاوه در الگوهای هتلینگی نقش طرف تقاضا برای تعیین قیمت‌های نفت نادیده گرفته شده است. بر این اساس الگوهای ساختاری، در چارچوب عوامل مؤثر بر عرضه و تقاضای بازار، رفتار قیمت نفت را الگوسازی می‌کنند.

الگوهای ساختاری شامل طیف وسیعی از الگوها با فروض مختلف هستند. در برخی الگوها با فرض بازار رقابت کامل در سمت عرضه و در برخی الگوها با فرض انحصار چند جانبه یا الگوهای تولیدکننده‌ی مسلط در بازار رفتار قیمت نفت را ارزیابی می‌کنند (وریل[2]،۲۰۰۸، کیلیان[3]، ۲۰۰۹). در این الگوها، نااطمینانی، نادیده گرفته شده است، در حالی که نااطمینانی در متغیرهای مؤثر بر سمت تقاضا هم‌چون نااطمینانی در رشد اقتصادی کشورهای تقاضاکننده‌ی نفت خام، وضعیت آب وهوا، اقدامات احتیاطی تقاضاکنندگان، شایعات مؤثر بر رفتار تقاضاکنندگان و ... و هم‌چنین نااطمینانی در متغیرهای مؤثر بر عرضه هم‌چون نااطمینانی در سطح ذخائر، ظرفیت تولید و ...، موجب نااطمینانی در قیمت نفت می‌شود، به‌طوری‌که پیش‌بینی دقیق از قیمت نفت را با چالش مواجه می‌کند (کیلیان، ۲۰۰۶). بر این اساس، وجود متغیرهای زیاد مؤثر بر قیمت نفت و هم‌چنین نااطمینانی‌های موجود در متغیرهای مؤثر بر عرضه و تقاضا، ارزیابی رفتار قیمت نفت را با استفاده از الگوهای ساختاری غیر معتبر می‌کند.

دسته‌ی سوم الگوهایی که رفتار قیمتی نفت را توضیح می‌دهند، الگوهای تصادفی هستند. این الگوها وقتی به کار می‌روند که تکمیل و ارائه‌ی الگوهای ساختاری با استفاده از متغیرهای توضیحی، مشکل و هم‌چنین به علت تعداد زیاد متغیرهای توضیحی پیچیده باشد. به عبارت دقیق‌تر، پیش بینی متغیر از سویی وابسته به پیش بینی متغیرهای توضیحی آن باشد و از سوی دیگر پیش بینی متغیرهای توضیحی به دلیل پیچیدگی به راحتی امکان‌پذیر نباشد.

1- Gaudet .
2- Wril.
3 - Kilian.

بحث درباره‌ی مناسب‌ترین الگوی تصادفی برای ارزیابی قیمت نفت، بسیار گسترده است. برخی مطالعات در این حوزه، فرض می‌کنند که قیمت نفت، به شکل گام تصادفی است و آن را با حرکت براونی نشان می‌دهند (پندایک[1]،۱۹۹۹؛ پستالی و پیچتی[2]، ۲۰۰۶)، در این الگوها، انتظار می‌رود که قیمت‌ها با نرخ ثابتی رشد کنند، به‌طوری‌که واریانس قیمت‌های نقدی آتی، با افزایش زمان، به همان نسبت افزایش یابد. اگر قیمتی کم‌تر (بیش‌تر) از مقدار انتظاری افزایش یابد، تمامی پیش بینی‌های آتی نیز به همان نسبت کاهش (افزایش) می‌یابد. در برخی دیگر از مطالعات (شوارتز[3]۱۹۹۷، سرکار، ۲۰۰۳؛ مید[4]،۲۰۱۰) الگوهای برگشت به میانگین[5] مورد ارزیابی قرار گرفته است. این مطالعه به دنبال معرفی و تصریح الگوهای تصادفی و ارزیابی رفتار سبد نفتی اوپک و هم‌چنین نفت سنگین ایران در قالب الگوهای حرکت براونی و هم‌چنین برآورد نااطمینانی قیمت نفت با استفاده از این الگوهاست.

الگوهای تصادفی قیمت نفت

تابعی مانند x از ω با مقادیر عددی و با حوزه‌ی تعریف Ω که در آن

$$\omega \in \Omega : \omega \to x(\omega) \qquad (۳)$$

یک متغیر تصادفی نامیده می‌شود. صفت تصادفی، فقط برای یادآوری آن است که با یک فضای نمونه، پدیده‌های معینی، توصیف شود که معمولا" پیشامدهای تصادفی یا پدیده‌های احتمالی نامیده می‌شوند. عنصر تصادف موجود در $x(\omega)$، نقطه‌ی نمونه‌ای ω است که به تصادف برگزیده می‌شود (چانگ، ۱۳۸۸، ص ۹۵).

فرض اولیه در الگوهای تصادفی قیمت آن است که تغییر قیمت در طول زمان، شامل جزئی تصادفی می‌شود که از فرایند وینر[6](حرکت براونی) تبعیت می‌کند. فرایند وینر، یک فرایند تصادفی مارکفی زمان پیوسته است. در یک فرایند مارکف، تحرکات

1- Pindyck .
2- Postalli & Picchetti .
3- Schwartz .
4 - Meade.
5- Mean Reverting Model
6- Weiner Process

آتی یک متغیر تصادفی مانند قیمت، تنها بستگی به موقعیت کنونی متغیر دارد و به گذشته‌ی متغیر وچگونگی رسیدن آن به موقعیت کنونی بستگی ندارد.

فرایند تصادفی مارکفی: فرض کنید $\{P_n : n = ۰,۱,۲ \}$ فرایندی تصادفی با زمان گسسته باشد، منظور از پیش بینی آن است که فرایند، مثلا" تا زمان m مشاهده شده است که می‌توان مقدار متغیر $(n > m)P_n$ را برآورد کرد. به عبارت دیگر مقدار متغیرهای $P_۰, P_۱...P_m$ معلوم است که براساس آن می‌توان توزیع P_n را به دست آورد. در اصل به منظور محاسبه‌ی احتمال

$$P\{P_n = y|P_۰ = p_۰,..., p_m = p_m \} \quad (۴)$$

میزان مؤفقیت در یافتن توزیع شرطی بالا تا حد زیادی بستگی به نوع رابطه‌ای دارد که از نظر احتمالاتی بین متغیرها برقرار است. مثلا" اگر متغیرهای تصادفی $P_۰ , P_۱ , ...$ با هم برابر باشند، یعنی $P_۱ = P_۲ = ...$، در این صورت پیش بینی به طور کامل انجام می‌شود، زیرا در این حالت فقط با مشاهده‌ی $P_۰ = p_۰$، بی‌درنگ مقدار تمام متغیرها معلوم می‌شود، یعنی به ازای هر $n \geq ۱$، $P_۰ = p_۰$ می‌شود و بالعکس اگر P_nها مستقل باشند، آن‌گاه اطلاعات $P_۰ = p_۰,...P_m = p_m$ هیچ گونه کمکی در یافتن توزیع شرطی بالا نخواهند کرد. در این بین سیستم‌هایی وجود دارند که الگوهای آن‌ها نه از بستگی کامل مثال اول و نه از عدم وابستگی کامل مثال دوم پیروی می‌کنند. و اطلاعات گذشته تا حدودی و به صورتی در رفتار آینده‌ی فرایند مؤثرند. از جمله ساده‌ترین این وابستگی‌ها، ویژگی مارکف است.

فرض می‌شود $\{P_n : n = ۰,۱,۲,...\}$ فرایندی تصادفی با زمان گسسته و فضای حالت شمارا باشد. این فرایند یک زنجیر مارکف است اگر به ازای هر $n \geq ۱$ و هر $p_۰, p_۱,...p_{n-۱}$ برابری ذیل برقرار باشد:

$$P\{P_{n+۱} = y|P_۰ = p_۰, P_۱ = p_۱,...P_n = p_n\} = P\{P_{n+۱} = y|P_n = p_n\} \quad (۵)$$

یعنی فقط آگاهی از حالت فرایند در مرحله‌ی n برای تعیین توزیع حالت فرایند در مرحله‌ی n+1 کفایت می‌کند و اطلاعات قبل از آن مؤثر نخواهد بود (پاشا،۱۳۸۶، ص ۷۹).

الگوهای تصادفی قیمت، شامل جزء اخلالی (z) هستند که فرض می‌شود یک فرایند زمان پیوسته‌ی مارکفی است. برای توضیح فرایند زمان پیوسته، فرایندی با فرض $P_۰ = p_۰$، این فرایند، مدتی تصادفی مانند $T_۰$ در این حالت باقی می‌ماند و سپس به

حالت p_1 می‌رود و مدت تصادفی مانند T_1 در آن باقی می‌ماند و الی آخر. فرض می‌شود n امین حالتی که فرایند به آن وارد می‌شود p_n باشد. فرایندی که حالت‌های بالا را در هر زمان t مشخص می‌کند، فرایندی زمان پیوسته و با فضای حالت شماراست. این فرایند را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} &\circ \le t < T_\circ \\ &T_\circ \le t < T_\circ + T_1 \\ &T_\circ + T_1 \le t < T_\circ + T_1 + T_2 \\ &P_t = p_\circ \\ &P_t = p_1 \\ &P_t = p_2 \\ &\dots \end{aligned} \qquad (۶)$$

فرایند در زمان‌های $T_\circ, T_\circ + T_1, T_\circ + T_1 + T_2, \dots$ تغییر حالت می‌دهد و در فاصله‌های زمانی $\left[T_\circ + \dots + T_n, T_\circ + \dots + T_n + T_{n+1}\right)$ در حالت p_{n+1} ثابت باقی می‌ماند(پاشا، ۱۳۸۶، ص ۱۸۶).

یک متغیر تصادفی z را که به طور پیوسته تغییر کند و تغییر دریک بازه‌ی زمانی کوچک $\Delta t \underset{t\to\circ}{,}$ Δz باشد، را در نظر بگیرید، متغیرz از یک فرایند وینر تبعیت می‌کند، اگر:

۱- $\Delta z = \varepsilon_t \sqrt{\Delta t}$، به طوری که ε_t متغیری تصادفی با توزیع نرمال، میانگین صفر و انحراف معیار ۱ باشد.

۲- مقادیر Δz برای دو دوره‌ی متفاوت زمانی، از هم مستقل باشد. این شرط نشان دهنده‌ی خاصیت مارکفی z است، زیرا وقتی z_t فقط وابسته به z_{t-1} باشد و نه سابقه‌ی تاریخی z، آن گاه $\Delta z_t = z_t - z_{t-1}$ مستقل از $\Delta z_{t-1} = z_{t-1} - z_{t-2}$ است (چانگ، ۱۳۸۸، ص ۳۰۶).

تغییرات پیوسته‌ی متغیر در طول زمان را با معادلات دیفرانسیل نشان می‌دهند و معادله‌ای که با مجاز دانستن رفتار تصادفی در ضرایب یک معادله‌ی دیفرانسیل به دست می‌آید، یک معادله‌ی دیفرانسیل تصادفی نامیده می‌شود (رضایی، ۱۳۷۵). شکل کلی معادلات دیفرانسیل به صورت زیر است:

$$dp = a(p,t)dt + \sigma(p,t)dz \qquad (۷)$$

در این معادله نرخ نمو و فراریت (انحراف معیار) تابعی از مقدار جاری متغیر و زمان است. این فرایند تعمیم یافته‌ی وینر را، فرایند ایتو[1] می‌نامند که در حالت زمان گسسته و با شرط $t \to 0$ تبدیل به معادله‌ی ذیل می‌شود:

$$\Delta p = a(p,t)\Delta t + \sigma(p,t)\varepsilon\sqrt{\Delta t} \qquad (۸)$$

و با انتخاب توابع مختلفی از نمو و فراریت، فرایندهای تصادفی مختلفی ایجاد می‌شود (شیمکو[2]، ۱۹۹۲، ص ۲) بر این اساس، سه الگوی پایه‌ای از معادلات دیفرانسیل تصادفی که در ارزیابی رفتار قیمت نفت به کار می‌روند، به شرح زیرند:

۱- الگوی حرکت براونی با نمو[3]: به صورت $dp = \mu dt + \sigma dz$ تعریف می‌شود. متغیری راکه شامل جزئی تصادفی باشد، در نظر بگیرید، بخشی از تغییرات آن در طول زمان، تحت تأثیر میانگین انتظاری μdt و بخش دیگری از تغییرات آن، تصادفی σdz است؛ بنابراین، جزء اول، به این اشاره دارد که نرخ انتظاری نموP برای هر دوره‌ی زمانی، μ است، در حالی که جزء دوم به عنوان یک اغتشاش[4] اضافه شده به حرکت متغیر در نظرگرفته می‌شود. مقدار این اغتشاش، σ برابر فرایند وینر است، بنابراین در یک دوره‌ی زمانی کوچک، تغییر در مقدار p به صورت ذیل می‌باشد:

$$\Delta p = \mu\Delta t + \sigma\varepsilon\sqrt{\Delta t} \qquad (۹)$$

بنابراین Δp توزیع نرمالی با میانگین $\mu\Delta t$ و واریانس $\sigma^2\Delta t$ دارد (پندایک،۱۹۹۹؛ ماراته و ریان[5]،۲۰۰۵ ؛ پستالی و پیچتی، ۲۰۰۷).

۲- الگوی برگشت به میانگین[6]: به صورت $dp = \kappa(\bar{p} - p)dt + \sigma p^{\gamma} dz$ تعریف می‌شود. سرعت برگشت به مقدار میانگین بلندمدت ($\bar{p}$)، $\kappa > 0$ و $\bar{p}$، قیمت تعادلی بلندمدت است. فراریت در این الگو به σ و γ بستگی دارد (همان). دو تصریح از این الگو وجود دارد: اول، الگویی که به صورت $dp = \kappa(\bar{p} - p)dt + \sigma dz$ تعریف شده و به الگوی اورنشتاین- اولنبک معروف است و دوم، الگوی اورنشتاین – اولنبک هندسی است که توسط دیکسیت و پندایک در سال ۱۹۹۴، برای اجتناب از منفی شدن قیمت‌ها و به

1- Ito Process .
2- Shimko.
3- Brownian Motion with Drift .
4- Noise .
5 - Marathe and Ryan.
6- Mean Reverting .

صورت $dp = \kappa(\overline{p} - p)dt + \sigma pdz$ معرفی شده است (شوارتز، ۱۹۹۷؛ اندرسون[1]،۲۰۰۷؛ مید،۲۰۱۰).

الگوهای حرکت براونی، منجر به راه حل بسته‌ای[2] می‌شوند که کار با آن‌ها را ساده می‌کند. به‌ویژه این که معادلات دیفرانسیل تصادفی، به دلیل جزء وینر مشتق ناپذیر آن، راه حل‌های ریاضیاتی پیچیده‌ای را می‌طلبند. نرخ رشد انتظاری و انحراف معیار لحظه‌ای در الگوی حرکت براونی، ثابت است که نشان می‌دهد تغییرپذیری قیمت‌های انتظاری با افزایش بازه‌ی زمانی، افزایش می‌یابد در حقیقت حرکت براونی، بر درجه‌ی فراریت بالا در قیمت‌های پیش بینی شده دلالت دارد و بنابراین می‌تواند سطوح بالای نااطمینانی را الگوسازی کند (سرکار[3]،۲۰۰۳).

۳- یافته های تحقیق

تمامی مطالعات داخلی در زمینه‌ی نااطمینانی، معطوف به استفاده از روش‌های GARCH [4] شده است. ابریشمی و همکاران (۱۳۸۶ و ۱۳۸۷)، بهبودی و همکاران (۱۳۸۸) و ابونوری و خانعلی پور(۱۳۸۹)، با عناوین مختلف به بررسی نوسانات، فراریت و نااطمینانی قیمت نفت پرداخته‌اند. ابریشمی و همکاران (۱۳۸۶)، در عین حال که اشاره می‌کنند " شواهد نشان می‌دهد که قیمت نفت خام یک گام تصادفی است به طوری که بهترین پیش بینی از قیمت در هر زمان، مقدار آن در دوره‌ی قبل می‌باشد"، بی‌ثباتی قیمت نفت را با استفاده از الگوهایGARCH به دست آورده‌اند، به عبارت دیگر، گرچه وجود خاصیت مارکفی در رفتار قیمت نفت را پذیرفته‌اند، اما در عمل از معادلات دیفرانسیل تصادفی که ویژگی مارکفی را به عنوان بخشی از رفتار متغیر در نظر می‌گیرد، استفاده نکرده‌اند.

الگوهای خانواده‌ی GARCH ، تغییر پذیری واریانس را نشان می‌دهند که معیاری از ریسک است، در حالی که نااطمینانی با معادلات دیفرانسیل تصادفی الگوسازی می‌شود،

1- Anderson.
2- Closed Form .
3- Sakar.
4- Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity.

اگر اثبات شود متغیری واجد نااطمینانی است، الگوهای ریسکی توضیح درستی از رفتار متغیر را ارائه نمی‌دهند.

در مقابل، مطالعات خارجی گسترده‌ای در مورد استفاده از معادلات دیفرانسیل تصادفی در بررسی رفتار قیمت نفت وجود دارد. پیندایک (۱۹۸۰)، نااطمینانی تقاضا و ذخائر را برای یک تولید کننده منابع پایان پذیر بررسی کرده است، تأثیر این نااطمینانی که ضریب جزء وینری در معادلات دیفرانسیل تصادفی تقاضا و ذخائر می‌باشد، بر میزان تولید منبع پایان پذیر، با استفاده از فرمول‌های ریاضی اثبات شده است، پندایک، در این مقاله تخمینی از پارامترهای مذکور ارائه نکرده است، اما شوارتز (۱۹۹۷)، با استفاده از رهیافت فیلتر کالمن، پارامترهای ۳ الگوی مختلف از معادلات دیفرانسیل را برای قیمت‌های جهانی مس، طلا و نفت برآورد کرده است. هم‌چنین پندایک (۱۹۹۹)، σ را برای قیمت‌های نفت، زغال سنگ و گاز طبیعی طی سال‌های ۱۹۹۶-۱۸۷۰ به دست آورده است. σ برآوردی برای دوره‌ی مذکور، ۰/۲۰۷۲ بوده است. پستالی و پیچتی(۲۰۰۵)، پس از معرفی الگوهای مختلف از معادلات دیفرانسیل تصادفی که برای قیمت نفت به کار می‌روند و انجام آزمون‌های ریشه‌ی واحد و شکست‌های ساختاری، اثبات کرده‌اند که الگوی حرکت براونی، بهترین الگو برای بررسی قیمت نفت است. هم‌چنین، شفیعی و توپال[1](۲۰۱۰)، قیمت‌های جهانی زغال سنگ، نفت و گاز را با الگوهای متنوعی از معادلات دیفرانسیل تصادفی طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۵۰ ارزیابی و برای سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۰۹ پیش بینی کرده‌اند. پیش بینی آن‌ها نشان می‌دهد که یک جهش قیمت در فاصله‌ی بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ رخ می‌دهد و سپس قیمت تا سال ۲۰۱۸ به مقدار میانگین خود برمی‌گردد.

این مطالعه از طریق معادلات دیفرانسیل تصادفی، نااطمینانی را برآورد می‌کند. برای برآورد نااطمینانی قیمت نفت سنگین ایران و سبد اوپک، داده‌های روزانه طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ به صورت زیر نمونه برای هر سال تفکیک شده است. میانگین متوسط روزانه‌ی قیمت نفت سنگین ایران ۴۴/۶ دلار و سبد نفتی اوپک، ۴۵/۹ دلار و انحراف معیار روزانه در دوره‌ی مورد ارزیابی به ترتیب، ۲۶ و ۲۶/۶ است. بالاترین قیمت نفت سنگین ایران مربوط به ۴ ژولای ۲۰۰۸ با ۱۳۶/۱ و سبد اوپک مربوط به ۳ ژولای ۲۰۰۸ با قیمت ۱۴۰/۷ دلار بوده است.

1- Shafiee and Topal.

جدول ۱- ارزیابی آماری قیمت نفت سنگین ایران و سبد اوپک

	قیمت نفت سنگین ایران	قیمت سبد نفتی اوپک
تعداد داده‌ها	۵۴۰۵	۵۳۹۳
میانگین	۴۴/۶	۴۵/۹
انحراف معیار	۲۶/۶	۲۶
حداکثر قیمت (دلار)	۱۳۶/۱۹	۱۴۰/۷
حد اقل قیمت (دلار)	۸/۹۸	۹/۱

منبع: پایگاه داده‌های اوپک[۱]

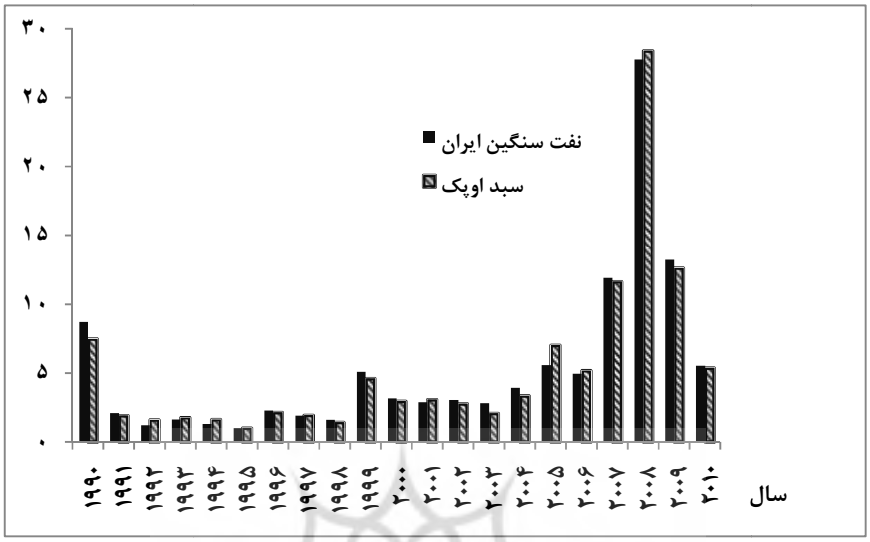
انحراف معیار سالانه‌ی قیمت‌های نفت، در جدول و نمودار ۲ آمده است. همان‌طورکه در این جدول مشاهده می‌شود، انحراف معیار نفت سنگین ایران و سبد

جدول ۲- انحراف معیار سالانه برای قیمت‌های روزانه نفت سنگین ایران و سبد نفتی اوپک

سال	نفت سنگین ایران	سبد نفتی اوپک
۱۹۹۰	۸/۷۱۴	۷/۴۸۴
۱۹۹۱	۲/۰۷۳	۱/۹۱۸
۱۹۹۲	۱/۱۹۰	۱/۶۱۲
۱۹۹۳	۱/۶۲۳	۱/۷۶۲
۱۹۹۴	۱/۳۱۲	۱/۶۴
۱۹۹۵	۱	۱/۰۱۲
۱۹۹۶	۲/۲۹۶	۲/۱۵۳
۱۹۹۷	۱/۸۹۲	۱/۹۵۶
۱۹۹۸	۱/۵۹۷	۱/۴۲۵
۱۹۹۹	۵/۱	۴/۶۱۴
۲۰۰۰	۳/۱۶۳	۲/۹۶۱
۲۰۰۱	۲/۸۷۲	۳/۰۸۷
۲۰۰۲	۳/۰۶۱	۲/۷۷۵
۲۰۰۳	۲/۸۱۳	۲/۰۹۱
۲۰۰۴	۳/۹۲۶	۳/۳۳۸
۲۰۰۵	۵/۵۷۸	۷/۰۴۱
۲۰۰۶	۴/۹۶۱	۵/۱۸۶
۲۰۰۷	۱۱/۹۲۴	۱۱/۶۴۳
۲۰۰۸	۲۷/۷۸۸	۲۸/۴۲۱
۲۰۰۹	۱۳/۲۴۸	۱۲/۶۴۶
۲۰۱۰	۵/۵۱۹	۵/۳۸۱

منبع: یافته‌های تحقیق با استفاده از قیمت‌های روزانه نفت در پایگاه داده‌های اوپک

۱ - منابع مورد استفاده مربوطه به پایگاه داده‌های اوپک است که از طریق مکاتبه با کارشناسان مؤسسه‌ی مطالعات بین المللی انرژی به دست آمده است



منبع: یافته‌های تحقیق با استفاده از قیمت‌های روزانه‌ی نفت در پایگاه داده‌های اوپک

نمودار ۱- روند انحراف معیار قیمت‌های نفت سنگین ایران و سبد نفتی اوپک

اوپک در بیش‌تر سال‌ها تقریبا شبیه به هم بوده و بالاترین انحراف معیار سالانه، مربوط به سال ۲۰۰۸، با مقدار ۲۷/۸ برای نفت سنگین ایران و۲۸/۴ برای سبد اوپک بوده است. برای برآورد نااطمینانی قیمت نفت در هر سال، معادلات دیفرانسیل تصادفی در نرم افزار مطلب الگوسازی شده و سپس مقادیر برآوردی σ برای هر سال به دست آمده است.[۱]

همان‌طورکه گفته شد، ضریب بخش تصادفی در معادلات دیفرانسیل تصادفی (σ)، نشان‌دهنده‌ی نااطمینانی متغیر است. این ضرایب تخمینی برای قیمت نفت سنگین ایران و سبد اوپک درجدول ۳ گزارش شده‌اند. برای تخمین نااطمینانی از معادلات دیفرانسل تصادفی استفاده شده است. در این معادلات، تغییر قیمت در طول زمان، شامل جزء تصادفی می‌شود که از فرایند وینر تبعیت می‌کند و فرایند وینر، یک فرایند تصادفی مارکفی زمان پیوسته است. در زنجیره‌های مارکف، تمامی اطلاعات متغیر تا

۱ - برنامه‌ی نرم افزاری MATLAB برای الگوسازی حرکت براونی و تخمین σ در ضمیمه ۱ آمده است. هم‌چنین شبیه سازی قیمت‌های نفت سنگین ایران و سبد اوپک برای سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۹۰ ، در صورت درخواست، قابل ارائه است.

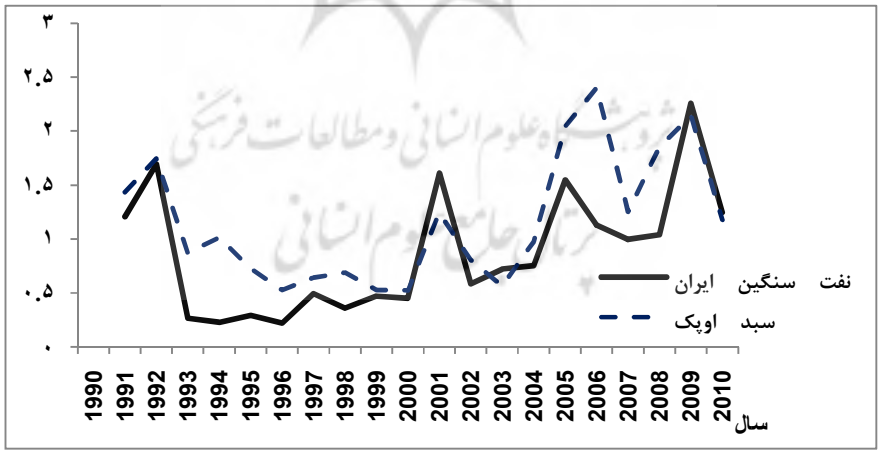
قبل از دوره‌ی $t-1$ در قیمت t ذخیره شده و برای پیش بینی $t+1$، داده‌های دوره‌ی t تمامی اطلاعات لازم و از جمله تغییرات ساختاری رخ داده در روند متغیر را ارائه می‌کند، بنابراین، در این مطالعه به منظور لحاظ تغییرات ساختاری و بلندمدت در تخمین نااطمینانی در سال‌های مورد بررسی، از داده‌ها با یک وقفه استفاده شده است. به عبارت دیگر، در این مطالعه از داده‌های t برای تخمین نااطمینانی در $t+1$ استفاده شده است. جدول ۳، نتایج حاصل از تخمین نااطمینانی، با استفاده از معادلات دیفرانسیل تصادفی ذکر شده را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مقادیر محاسبه شده‌ی σ به روش حل معادله‌ی حرکت براونی برای قیمت نفت سنگین ایران و سبد نفت اوپک

سال	نفت سنگین ایران	سبد نفت اوپک
۱۹۹۰	-	-
۱۹۹۱	۱/۲۰۶	۱/۴۳۲
۱۹۹۲	۱/۶۹۴	۱/۷۴۴
۱۹۹۳	۰/۲۶۵	۰/۸۷۱
۱۹۹۴	۰/۲۲۹	۱/۰۱۵
۱۹۹۵	۰/۲۹۳	۰/۷۲۸
۱۹۹۶	۰/۲۲۰	۰/۵۲۶
۱۹۹۷	۰/۴۹۴	۰/۶۴۱
۱۹۹۸	۰/۳۵۹	۰/۶۸۹
۱۹۹۹	۰/۴۷۱	۰/۵۲۸
۲۰۰۰	۰/۴۵۱	۰/۵۲۵
۲۰۰۱	۱/۶۱۲	۱/۲۴۳
۲۰۰۲	۰/۵۸۳	۰/۸۰۶
۲۰۰۳	۰/۷۲۳	۰/۵۶۵
۲۰۰۴	۰/۷۵۵	۰/۹۷۴
۲۰۰۵	۱/۵۴۹	۲/۰۴۳
۲۰۰۶	۱/۱۲۹	۲/۴۰۲
۲۰۰۷	۰/۹۹۵	۱/۲۵۲
۲۰۰۸	۱/۰۴	۱/۸۷۵
۲۰۰۹	۲/۲۵۹	۲/۱۴۱
۲۰۱۰	۱/۲۴۸	۱/۱۷۷

منبع: یافته‌های تحقیق با استفاده از قیمت‌های روزانه‌ی نفت در پایگاه داده‌های اوپک

طبق نتایج گزارش شده در جدول ۳، نااطمینانی قیمت نفت در سال ۲۰۰۱ و همچنین از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹، افزایش یافته است. از منظر تقاضا، نااطمینانی قیمت نفت در سال ۲۰۰۱ به علت بحران کشورهای آسیای شرقی و در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹، به دنبال شروع بحران‌های مالی و تعمیق آن، افزایش پیدا کرده است. همچنین در سمت عرضه، لازم به یادآوری است که در سمت عرضه سبد اوپک متشکل از ۱۳ نوع نفت خام اعضای تشکیل دهنده‌ی آن است که تمامی آن‌ها کشورهای در حال توسعه و وابسته به نفت هستند. بی‌ثباتی در این کشورها بر تصمیم گیری در میزان سهمیه و حتی عدم رعایت میزان سهمیه‌های توافق شده در عمل، مؤثر است و در نتیجه نااطمینانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به عنوان مثال اشغال عراق توسط امریکا بر قیمت‌های جهانی نفت در سال‌های پس از ۲۰۰۲ مؤثر بوده است. روند نااطمینانی در قیمت نفت سنگین ایران در دوره‌ی زمانی مورد نظر همانند سبد نفتی اوپک بوده، اما شدت کم‌تری داشته است، که حاکی از نوسان پذیری بیش‌تر سبد اوپک در مقایسه با نفت سنگین ایران می‌باشد. بدون شک وجود این نوسان‌ها که در چارجوب نااطمینانی قیمت نفت سنگین ایران در روند زمانی و به صورت پویا و تصادفی اتفاق افتاده، برمتغیرهای حساسی همچون سرمایه‌گذاری و رشد اقتصادی ایران بدون تأثیر نبوده است.



منبع: یافته‌های تحقیق با استفاده از قیمت‌های روزانه‌ی نفت در پایگاه داده‌های اوپک

نمودار ۲- روند مقادیر تخمینی σ برای قیمت‌های نفت سنگین ایران و سبد نفتی اوپک

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

الگوهای خانواده‌ی GARCH تغییر پذیری واریانس را نشان می‌دهند که معیاری از ریسک است، در حالی که نااطمینانی با معادلات دیفرانسیل تصادفی الگوسازی می‌شود، اگر اثبات شود متغیری واجد نااطمینانی است، الگوهای ریسکی توضیح درستی از رفتار متغیر را ارائه نمی‌دهند. معادلات دیفرانسیل تصادفی شامل دو بخش است؛ بخش اول نمو و بخش دوم انتشار است که شامل جزء وینری $dz = \varepsilon\sqrt{dt}$ می‌شود که ویژگی‌های خاصی دارد. جزء وینری پیوسته است، اما مشتق پذیر نیست، به عبارت دیگر حد چپ و راست آن با هم برابر نیست. وجود این ویژگی‌های منحصر به فرد، به الگوسازی نااطمینانی کمک می‌کند.

هدف این مقاله، الگوسازی نااطمینانی قیمت نفت سنگین ایران و سبد نفتی اوپک در قالب معادلات دیفرانسیل تصادفی بوده است. بر این اساس ابتدا معادلات دیفرانسیل تصادفی مناسب برای رفتار قیمت نفت معرفی شده و سپس با برنامه نویسی در نرم افزار Matlab، مقادیر تخمینی σ به عنوان مقادیر برآوردی نااطمینانی به دست آمده است، در حقیقت، معادلات دیفرانسیل تصادفی شامل جزء وینری هستند که به دلیل مشتق ناپذیری قادر به الگوسازی نااطمینانی در قالب یکی از معادلات تصادفی مناسب، یعنی حرکت براونی می‌باشند. ضریب جزء وینر در این معادلات یعنی σ، نااطمینانی را نشان می‌دهد. پس از برآورد σ برای داده‌های قیمت روزانه‌ی نفت سنگین ایران و سبد نفتی اوپک در دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰-۱۹۹۰، مشاهده می‌شود که نااطمینانی در قیمت نفت سنگین ایران در بیش‌تر سال‌ها از سبد نفتی اوپک کم‌تر است که حاکی نوسان پذیری بیش‌تر سبد اوپک نسبت به نفت سنگین ایران می‌باشد.

بررسی تغییرات نامطمئن قیمت نفت برای کشور وابسته به نفتی هم‌چون ایران با وجود اختلاف نظر در نحوه و میزان برداشت از صندوق ذخیره‌ی ارزی، بسیار حائز اهمیت است. افزون بر آن، یکی از کاربردهای اساسی این الگوها در الگوسازی سرمایه‌گذاری است، به عنوان مثال روش‌های حق اختیار طبیعی، روش‌هایی هستند که بر اساس آن‌ها تصمیم برای سرمایه‌گذاری در پروژه‌ای که جریان نقد آن به صورت یک معادله‌ی دیفرانسیل تصادفی باشد را الگوسازی می‌کنند. اهمیت در نظر گرفتن جریان نقد آتی به صورت یک معادله‌ی دیفرانسیل تصادفی (که با رفتار متغیرها سازگاری

بیش‌تری دارد) برای سرمایه‌گذاری در حوزه‌ی نفت و گاز که میزان سرمایه بری آن بسیار بالاست، اهمیت فوق العاده‌ای دارد. در نهایت این‌که، برای حل معادله‌ی دیفرانسیل تصادفی، ابتدا باید پارامترهای آن تخمین زده شود، پس از تخمین پارامترها و حل معادله با روش‌های پچیده‌ی ریاضی، حرکت متغیر در طول زمان شبیه‌سازی می‌شود و پس از همگرا کردن روندهای شبیه‌سازی شده، محتمل‌تر، حرکت متغیر برای پیش بینی‌های آتی به دست خواهد آمد.

تریدی نیست که روند نااطمینانی در قیمت نفت، شاخص‌های اقتصادی مثل رشد اقتصادی، سرمایه‌گذاری و اشتغال را در هر یک از کشورهای نفت خیز مانند ایران متأثر می‌کند. بنابراین، دستاورد این مطالعه اجتناب ناپذیری تعمیق همکاری‌ها در چارچوب اوپک و ایجاد یکپارگی در سیاست‌های نفتی و افزایش کارایی این سازمان است.

همان طور که ملاحظه می‌شود، این مقاله روند نااطمینانی در قیمت نفت را از طریق یکی از معادلات تصادفی یعنی حرکت براونی محاسبه و ارزیابی می‌کند. الگوی رقیب دیگر، معادلات برگشت به مقدار میانگین است. این معادلات، رفتار برگشت به میانگین نفت را توضیح می‌دهند، به‌این معنا که وقتی قیمت یک کالا (نفت) بالاتر از قیمت میانگین بلندمدت یا قیمت تعادلی باشد، عرضه‌ی آن در بازار جهانی نفت امکان پذیر است. اگرچه برآورد پارامتر σ در این معادلات، به دلیل شبه پارامتری بودن آن در مقایسه با حرکت براونی، با مشکلات بیش‌تری مواجه است، اما از آن جا که مبنای الگوسازی برگشت به میانگین است، برخی از محققان اعتقاد دارند رفتار قیمت نفت را می‌توان بر اساس آن بهتر توضیح داد، چرا که در این الگو، رفتار قیمتی به گونه‌ای است که حول یک روند بلندمدت به طور تصادفی حرکت می‌کند، به‌طوری‌که روند بلندمدت بر اساس عوامل ساختاری (میزان ذخائر، سطح تکنولوژی و ...) تعیین می‌شود و در کوتاه مدت رفتار تصادفی قیمت با حرکتی تصادفی و در قالب معادله‌ی حرکت براونی، نشان داده می‌شود. بنابراین، الگوسازی نااطمینانی قیمت نفت با استفاده از معادلات برگشت به میانگین و سپس ترکیب این دو معادله در قالب الگوهای کوتاه‌مدت - بلندمدت (شوارتز- اسمیت[1]، ۲۰۰۰؛ شلوتر[2]، ۲۰۱۰)، می‌تواند موضوعی برای مطالعات آتی باشد.

1 - Schuartz and Smith
2 - Schluter

فهرست منابع

ابریشمی حمید، مهرآرا محسن و آریانا یاسمین (۱۳۸۶)، ارزیابی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی بی‌ثباتی قیمت نفت، *مجله‌ی تحقیقات اقتصادی*، ۷۸، ۲۱-۱.

ابریشمی حمید، مهرآرا محسن و غنیمی فرد حجت الله (۱۳۸۷)، اثر نوسانات قیمت نفت بر رشد اقتصادی برخی کشورهای OECD به وسیله‌ی تصریح غیرخطی قیمت نفت، *مجله‌ی دانش و توسعه*، ۲۲، ۲۲-۷.

ابونوری اسمعیل و خانعلی پور امیر(۱۳۸۹)، آیا نااطمینانی حاصل از نوسانات قیمت نفت خام بر عرضه‌ی آن مؤثر است؟ کاربردی از GARCH و ARDL، *مجله‌ی تحقیقات اقتصادی*، ۹۱، ۲۴۷-۲۱۹.

امامی میبدی علی (۱۳۸۵)، تحلیل عوامل مؤثر بر قیمت نفت خام، *فصل‌نامه‌ی پژوهش‌های اقتصادی ایران*، ۲۸، ۱۲۲-۱۰۷.

بهبودی داود و متفکر آزاد محمد علی و رضا زاده علی (۱۳۸۸)، اثرات بی‌ثباتی قیمت نفت بر تولید ناخالص داخلی در ایران، *فصل نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی*، ۲۰، ۳۳-۱.

پاشا عین الله (۱۳۸۸)، *فرایندهای تصادفی*، انتشارات دانشگاه پیام نور.

چانک کای لای و فرید ایت سهلیه؛ وحیدی اصل محمد قاسم و میامئی ابوالقاسم (۱۳۸۸)، *نظریه‌ی مقدماتی احتمال و فرایندهای تصادفی*، مرکز نشر دانشگاهی.

Anderson Henrik (2007), Are Commodity Prices Mean Reverting, *Applied Financial Economics*, 7, 769–783.

Conrad Jon M and K Konati (2005), When to Drill? Trigger Pricess for The Arctic National Wildlife Refuge, *Resource and Energy Economics,* 27, 237-286.

Dixit Avanish and Pindyck Robert (1994), *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press.

Gaudet Grard (2007), Natural Resource Economics under The Rule of Hoteling, *Canadian Journal of Economics,* 40, No. 4, 1033-1059.

Hoteling, H. (1931), The Economics of Exhaustible Resources , *Journal of Political Economy*, 39, 137-175.

Kalian Luts (2009), Not All Oil Prices Shocks Are Alike: Disentangling Demand and Supply Shocks in The Crude Oil Market, *American Economic Review*, 99 :3, 053-1069.

Marathe R and S Ryan (2005), on The Validity of The Geometric Brownian Motion Assumption, *The Engineering Economist*, 50, 159-192.

Meade Nigel (2010), Oil prices Brownian Motion or Mean Reversion? A Study Using a One Year Ahead Density Forecast Criterion, *Energy Economics*, Accepted Manuscript.

Murry John and Newman Peter (1987), *a New Palgrave Dictionary*, Macmillan.

Pindyck Robert (1980), Uncertainty and Exhaustible Resource Markets, *Journal of Political Economy*, 88, 1203-1225.

Pindyck Robert (1999), Long run Evaluation of Energy Price, *The Energy Journal*, 20, 1-27.

Postali Fernando & P Picchetti (2007), Geometric Brownian Motion and Structural Breaks in Oil Prices: a Quantitative Analysis, *Energy Economics*, 28, 506-522.

Samson Sundeep and Reneke James and Wiecek Margaret (2009), a Review of Different Perspectives on Uncertainty and Risk and an Alternative Modeling Paradigm, *Riability Engineering and System Safety*, 94, 558-567.

Sarker Sudipto (2003), The Effect of Mean Reversion on Investment Under Uncertainty, *Journal of Economic Dynamics & Control*, 28, 377-396.

Schueter Stephan (2010), a Long Term/Short Term Model for Daily Electricity Price with Dynamic Volatility, *Energy Economics*, 1-8.

Schwartz Eduwardo and Smith James (2000), Short Term Variation and Long Term Dynamics in Commodity Pprices, *Management Science*, 46, No. 7, 893-911.

Schwartz Eduardo (1997), The Stochastic Behavior of Commodity Prices: Implication for Valuation and Hedging, *The Journal of Finance*, 52, No. 3, 923-973.

Shafiee Shariar and Topal Erkan (2010), a Long Term View of Worldwide Fossil Fuel Prices, *Applied Energy*, 87, 988-1000.

Shimko David (1992), *Finance in Continuous Time*, Kolb Publishing Company.

Ugur Mohmet (2005), Risk, Uncertainty and Probability Decision Making in an Increasingly Volatile, *World Handbook of Business Strategy*, Emerald Group Publishing Limited, 19-24.

Wril Franz (2008), Why Do Oil Price Jump (or Fall)? Energy Policy, 36, 1029-1043.

www.opec.org (2011)

sdetoolbox.sourceforge.net (2011)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

ضمیمه‌ی ۱- برنامه‌ی برآورد مقدار σ در MATLAB

برای برآورد مقدار σ از SDE toolbox نوشته شده توسط پیچینی[1](۲۰۰۷) استفاده شده است که در ذیل برنامه‌ی آن آمده است.

```
function [out1,out2,out3] =
M1_sdefile(t,x,flag,bigtheta,SDETYPE,NUMDEPVARS,NUMSIM)
% [out1,out2,out3] =
M1_sdefile(t,x,flag,bigtheta,SDETYPE,NUMDEPVARS,NUMSIM)
% IN:    t. working value of independent variable (time)
%        x. working value of dependent variable
%        flag. a switch, with values 'init' or otherwise
%        bigtheta. complete structural parameter vector
%              SDETYPE. the SDE definition: can be 'Ito' or 'Strat'
(Stratonovich)
%         NUMDEPVARS. the number of dependent variables, i.e. the
SDE dimension
%          NUMSIM. the number of desired simulations for the SDE
numerical integration
% OUT:   out1. in case of flag='init' is just the initial time, otherwise it is
the (vector of) SDE drift(s)
%         out2. in case of flag='init' is the initial value of the dependent
variables. Otherwise it is the SDE diffusion(s)
%        out3. in case of flag='init' it is nothing. Otherwise it is the SDE's
partial derivative(s) of the diffusion term
 % Parameters
Xzero    = bigtheta(1).
a        = bigtheta(2).
sigma    = bigtheta(3).
if nargin < 3 || isempty(flag)
   xsplitted =  SDE_split_sdeinput(x,NUMDEPVARS).

   %::::::::::::::::::::  DEFINE HERE THE SDE  ::::::::::::::::::::::::::::::
  %::::: (define the initial conditions at the bottom of the page) ::::::::::::::
   x = xsplitted{1}. % e.g. for a three-dimensional SDE write X1 =
xsplitted{1}. X2 = xsplitted{2}. X3 = xsplitted{3}.
    switch upper(SDETYPE)
   case 'ITO'
      driftX = a.          % the Ito SDE drift
      diffusionX = sigma.      % the Ito SDE diffusion
```

1- Picchini

```
    derivativeX = 0.        % the diffusion derivative w.r.t. x
  case 'STRAT'
    driftX = a.          % the Stratonovich SDE drift
    diffusionX = sigma.     % the Stratonovich SDE diffusion
    derivativeX = 0.        % the diffusion derivative w.r.t. x
  end

  out1 = zeros(1,NUMDEPVARS*NUMSIM).
  out1(1:NUMDEPVARS:end) = driftX.
  out2 = zeros(1,NUMDEPVARS*NUMSIM).
  out2(1:NUMDEPVARS:end) = diffusionX.
  out3 = zeros(1,NUMDEPVARS*NUMSIM).
  out3(1:NUMDEPVARS:end) = derivativeX.
else
    switch(flag)
   case 'init'
      out1 = t. DEFINE HERE THE SDE INITAL CONDITIONS
      out2 = Xzero.  % write here the SDE initial condition(s)
      out3 = [].
         otherwise
      error(['Unknown flag ''' flag '''.']).
   end
end
```

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی