مدل‌سازی و پیش‌بینی قیمت نفت‌خام WTI

مهرزاد زمانی[1]

چکیده

قیمت‌های آینده نفت یکی از عوامل مهمی است که سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌های دولت‌ها، سازمان‌های بین‌المللی و شرکت‌ها را تحت تأثیر قرارمی‌دهد. مدل‌سازی قیمت نفت جهت پیش‌بینی قیمت آینده نفت از طریق روش‌های اقتصادسنجی می‌تواند راهگشای مهم در این راستا باشد به طوری که متخصصان توانسته‌اند به تجربیات ارزنده‌ای در این امر دست یابند. در این مقاله عملکرد بازار بین‌المللی نفت در جهت شناسایی متغیرهای لازم برای الگوسازی بررسی شده است. سپس داده‌ها از لحاظ خواص آماری بررسی و روابط بلندمدت بین قیمت نفت WTI و دیگر متغیرها برآورد شده‌است. سپس مدل‌های خودرگرسیو، تصحیح خطا (ECM) و خودرگرسیو با وقفه‌های توزیعی (ARDL) در جهت پیش‌بینی قیمت نفت WTI تخمین زده شده‌اند. در نهایت از معیارهای اندازه‌گیری دقت پیش‌بینی جهت شناسایی مدل مورد نظر با کمترین خطا استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوی خودرگرسیو با وقفه‌های توزیعی، بهترین دقت پیش‌بینی را ارایه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: قیمت نفت، WTI ، پیش‌بینی، تصحیح خطا، خودرگرسیو با وقفه‌های توزیعی.

۱. کارشناس ارشد گروه مدل‌سازی و پایگاه آماری موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی. m-zamaani@iies.net

۱. مقدمه

گرچه پیش‌بینی قیمت نفت در بازار بین‌المللی نفت امری مشکل است اما محققان توسط مدل‌سازی توانسته‌اند به نتایج قابل توجهی دست‌یابند. دشواری پیش‌بینی قیمت بدون در نظر گرفتن عوامل غیربنیادی از آنجا ناشی می‌شود که وابسته به پیش‌بینی عوامل بنیادی بازار نظیر تقاضا و عرضه است که به نوبه خود به عوامل دیگری از جمله رشد اقتصادی و عوامل فنی ـ تکنولوژیکی وابسته‌اند.

اهمیت پیش‌بینی قیمت نفت از آنجا ناشی می‌شود که به‌عنوان یکی از عوامل مهم در برنامه‌ریزی‌های دولت‌ها، سازمان‌ها و شرکت‌های خصوصی دخیل است. سازمان اوپک که به عنوان مهم‌ترین محور و ابزار کنترل قیمت نفت شناخته شده است برای تأثیرگذاری مناسب بر قیمت از طریق تعیین سهمیه‌های تولید نفت، نیازمند پیش‌بینی قابل اطمینانی از شرایط بازار و قیمت نفت است.

پیش‌بینی قیمت نفت می‌تواند بر مبنای الگوهای اقتصاد سنجی در قالب مدل‌های ساختاری صورت پذیرد. از خصوصیات برجسته این مدل‌ها توانایی تفکیک تأثیر عوامل مختلف بر قیمت نفت است. قراردادهای آتی‌ها [1] و استفاده از مدل‌های ناهمسانی واریانس خودهمبسته [2] در بازارهای بورس نیز از الگوهای پیش‌بینی قیمت در دوره‌های ماهانه هستند. این مدل‌ها به بررسی کارایی و ناکارایی قراردادها در پیش‌بینی قیمت‌های نقدی آینده و همچنین بررسی رفتار صرف ریسک [3] می‌پردازند، این در حالی است که نمی‌توان به اجماع نظر در تحقیقات انجام شده در مورد کارایی مدل‌ها دست یافت. از نقاط ضعف این الگوها می‌توان به عدم شناسایی و تفکیک اثر عوامل بنیادی بر قیمت نفت اشاره کرد. از طرف دیگر مدل‌های شبکه‌های عصبی [4] که در یک دهه گذشته گسترش یافته‌اند از لحاظ تکنیکی می‌توانند رقیب مدل‌های اقتصادسنجی ساختاری در نظر گرفته شوند.

1. Futures
2. Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
3. Risk Premium
4. Neural Network

مطالعات مهمی که در زمینه مدل‌سازی قیمت نفت در ادبیات اقتصاد سنجی انجام شده‌اند را می‌توان بدین شرح بیان نمود. کافمن(۱۹۹۱) قیمت نفت را تابعی از متغیرهای بنیادی بازار نفت شامل عرضه اوپک، تعداد روزهای پوشش سطح ذخیره‌سازی‌ها[1] و درصد تولید به کل ظرفیت تولیدی اوپک، در نظر گرفته است. مایکل ی(۲۰۰۲)[2] با استفاده از داده‌های سطح ذخیره‌سازی‌ها به مدل سازی قیمت نفت پرداخته است. این الگو مبنای پیش‌بینی دفتر اطلاعات انرژی وزارت انرژی آمریکا قرار گرفته است. در این مدل پیش‌بینی مناسبی در داخل نمونه حاصل آمده است. مدل لالوندا(۲۰۰۳)[3] متغیرهای تولید ناخالص داخلی و نرخ ارز مؤثر دلار را شامل می‌شود.

در این مقاله ابتدا به شناخت عوامل و متغیرهای مؤثر بر قیمت نفت پرداخته می‌شود شناسایی ساختار بازار سبب شناخت عوامل مؤثر بر قیمت و نحوه عکس‌العمل آنها با یکدیگر می‌شود. مهم‌ترین عوامل بنیادی شناسایی شده، تقاضای منطقه OECD، منطقه غیر OECD، عرضه غیر اوپک، اوپک ، میزان ظرفیت مازاد اوپک و ذخیره‌سازی‌های نفت کشورهای OECD را در بر می‌گیرد. در مرحله دوم خواص داده‌های آماری از لحاظ ایستایی و همتجمعی بررسی و سپس روابط بلندمدت برآورد شده‌است. در قسمت بعدی روابط و معادلات اقتصادسنجی در جهت‌شناسایی‌الگوی مناسب‌برای‌پیش‌بینی باحداقل خطا تدوین شده است. در این راستا مدل‌های تصحیح خطا (ECM[4]) و خودرگرسیو با وقفه توزیعی(ARDL[5]) مورد استفاده قرار گرفته و نتایج پیش‌بینی‌ها با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

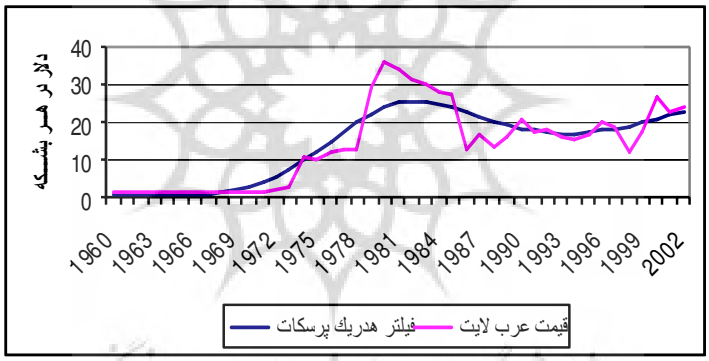
۲. بازار بین‌المللی نفت

نمودار ۲ روند قیمت نفت عرب لایت همراه با فیلتر هدریک پریسکات را برای دوره ۱۹۶۰تا ۲۰۰۳ نشان می‌دهد. همان‌طور که از روند قیمت مشاهده می‌شود می‌توان سه دوره تغییر ساختار را مشاهده کرد. دوره اول تا اوایل دهه ۱۹۷۰ است که با تسلط شرکت‌های

1. Days of forward demand
2. Michael YE
3. Lalonda
4. Error Correction Model.
5. Autoregressive Distributed Lag Regression.

نفتی بر بازار نفت همراه بود و قیمت‌ها توسط آنها تعیین می‌شد در حالی‌که از شفافیت چندانی نیز برخوردار نبودند. در طی این دوره روند همواری مشاهده می‌شود. دوره دوم شامل دهه ۱۹۷۰ و اوایل ۱۹۸۰ است. در این دوره سازمان اوپک نقش مهمی در تغییر ساختار بازار به‌عهده داشت به طوری‌که کنترل تولید به تدریج در دست اعضا این سازمان قرارگرفت. دوره سوم که از اواسط دهه ۱۹۸۰ آغاز شد با تشکیل بورس نفت همراه شد. در این دوره با گسترش تولید در مناطق غیر اوپک، نقش کنترلی اوپک به شدت کاهش یافت؛ تا آنجا که اوپک برای کنترل قیمت مجبور به کاهش تولید از طریق سهمیه‌بندی شد. لالوندا (۲۰۰۳) با استفاده از روش بای و پرون [1] از طریق تحلیل آماری این سه دوره را شناسایی نموده است.

نمودار ۱. روند قیمت نفت عرب لایت



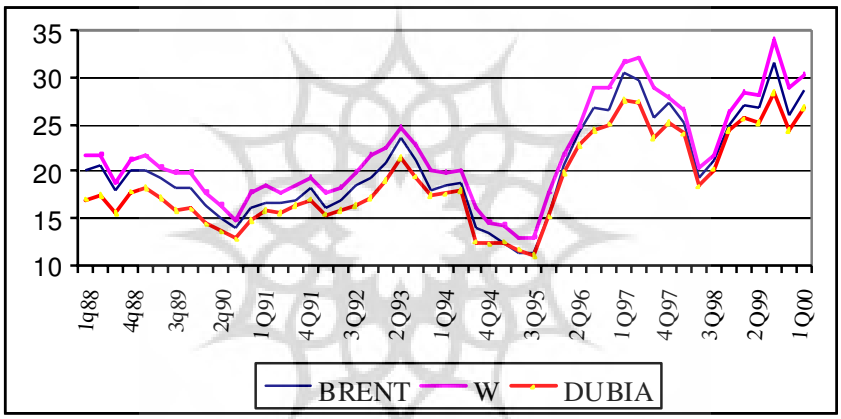
با پیدایش بازارهای بورس نفت از سال ۱۹۸۲ میلادی، قیمت‌های نفت در سرتاسر جهان بر مبنای شاخص‌های بورس یعنی وست تگزاس اینترمدیت (WTI) و برنت ارزش‌گذاری می‌شوند. البته کشورهای مختلف همواره از یک فرمول ثابت برای قیمت‌گذاری نفت بر مبنای این شاخص‌ها استفاده نمی‌کنند بلکه با توجه به شرایط بازار، تعدیل لازم را به‌کار می‌برند. شفافیت حاکم بر بازار به گونه‌ای است که هرگونه تغییر در عوامل بنیادی و غیر بنیادی در هر نقطه از جهان به سرعت بر شاخص‌ها و به‌طورغیر مستقیم بر قیمت‌های نفت اثر می‌گذارد.

1. Bai & Perron.

نمـودار ۲ رونـد قیمـت‌هـای اسـمی نفـت وسـت تگـزاس اینترمـدیت (WTI)، برنت(BRENT) و دوبی(DUBIA) را نشان می‌دهد.نمودارها حاکی از روند تقریبا مشابهی است. ضریب همبستگی بین WTI بـا BRENT در حـدود ۰/۹۵۵ و بـا DUBIA در حـدود ۰/۹۸۶ است.

بازار بین‌المللی نفت را می‌توان از دو بعد عرضه و تقاضا مورد بررسی قرار داد.این بازار از بعد تقاضا به مناطق OECD و غیر OECD و از بعد عرضه به اوپک و غیـر اوپـک

نمودار ۲ . روند قیمت‌های شاخص نفت



Source: ENERGY & PRICES, IEA (2003)

قابل تفکیک و بررسی است. در تحلیل شرایط بازار نخست باید به طور مجزا به اثرگذاری هر یک از عوامل در مناطق ذکر شده پرداخت و در نهایت اثر متقابل آنها را مورد بررسی قرارداد.

در منطقه OECD، سطح کل ذخیره‌سازی‌ها[1] معیار مناسبی است که تراز و یا عدم تراز عرضه و تقاضا در این منطقه را نشان می‌دهد. تقاضای نفت از دو منبع عرضه داخلی منطقه، واردات و ذخیره‌سازی‌ها تأمین می‌شود. هرگاه عرضه، تقاضـا را تـأمین ننمایـد از سطح ذخیره‌سازی‌ها کاسته و در حالتی که عرضه بیشتر از تقاضا باشد به این سطح افزوده

1. Stocks (Commercial and government Inventories)

می‌شود. بنابراین برآیند تغییر در بنیادهای بازار یعنی عرضه و تقاضا از طریق تغییر درسطح ذخیره‌سازی‌ها قابل مشاهده است. روابط تراز عرضه، تقاضا و تغییر در ذخیره‌سازی‌ها را می‌توان به شکل زیر بیان نمود:

تغییر ذخیره‌سازی‌ها ـ عرضه = تقاضا

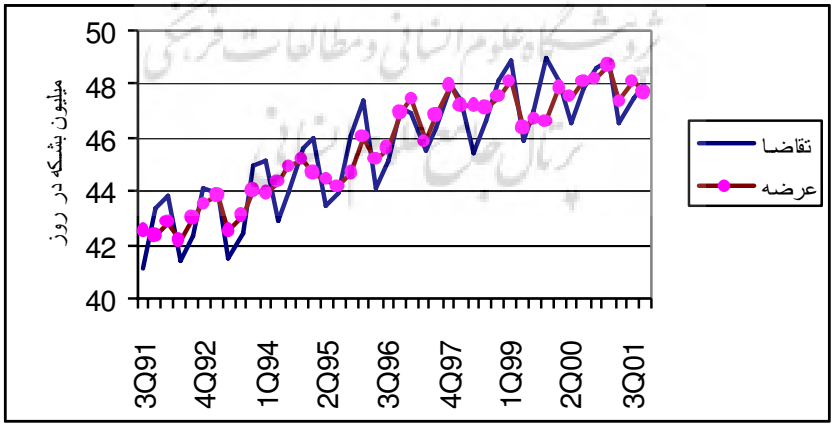
ذخیره‌سازی دوره قبل ـ ذخیره‌سازی = تغییر ذخیره‌سازی‌ها

(عرضه ـ تقاضا) ـ ذخیره‌سازی دوره قبل = ذخیره‌سازی

نوسانات ذخیره‌سازی‌ها هنگامی که از حد مطلوب خود خارج شود نشان‌دهنده تفاوت غیرعادی در تراز عرضه و تقاضاست و این امر تأثیر زیادی برای قیمت نفت دارد. سطح مطلوب ذخیره‌سازی‌ها حجمی است که به‌طور نرمال می‌بایست وجود داشته باشد تا تعداد روزهای مشخصی (۹۰ روز) مصرف نفت کشورهای عضو آژانس بین‌المللی انرژی را بدون نیاز به واردات در هر دوره زمانی مشخص تأمین نماید.

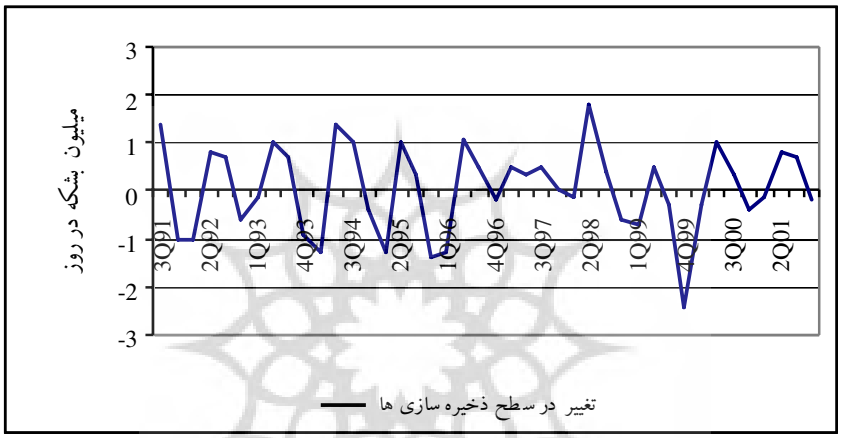
نمودار ۳ روند عرضه و تقاضای نفت منطقه OECD را به‌صورت فصلی نشان می‌دهد. روندها به طور آشکاری از نوسانات فصلی برخوردار هستند، در حالی که نوسانات تقاضا بیشتر از عرضه است. بنابراین تقاضای افزون‌تر و یا کمتر از عرضه، جذب سطح ذخیره‌سازی‌ها می‌شود.

نمودار ۳. روند عرضه و تقاضای نفت منطقه OECD



نمودار ۴ روند تغییر در سطح ذخیره‌سازی‌ها را به میلیون بشکه در روز نشان می‌دهد. اختلال در روند فصلی سال‌های ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ به خوبی قابل مشاهده است همان‌طور که این شکاف بین عرضه و تقاضا در نمودار ۳ نمایان است.

نمودار ۴. روند تغییر در سطح ذخیره‌سازی‌های نفت منطقه OECD



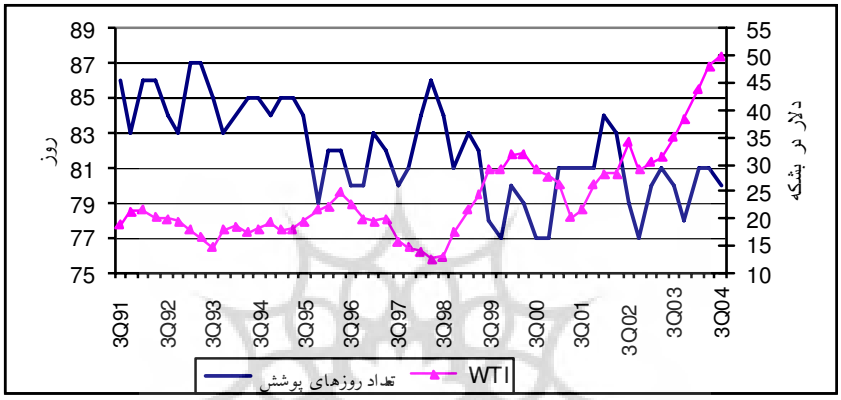
تعداد روزهای پوشش تقاضای نفت توسط ذخیره‌سازی‌ها[1] معیار مناسبی است که تأثیر سطح ذخیره‌سازی را بر قیمت نشان می‌دهد. طبق دستور آژانس بین‌المللی انرژی کشورهای عضو می‌بایست به میزان ۹۰ روز مصرف، نفت را ذخیره داشته باشند. هر گاه این میزان کاهش یابد امنیت عرضه آینده مورد تهدید قرار گرفته و فشار افزایشی بر قیمت نفت وارد می‌آید. همچنین در صورت افزایش تعداد روزهای پوشش فشار کاهشی بر قیمت‌ها وارد می‌شود.

نمودار ۵ روند تعداد روزها و قیمت نفت WTI را نشان می‌دهد. تعداد روزها در حالی‌که از روند فصلی پیروی می‌نماید در طی‌دوره ۲۰۰۴-۱۹۹۲ کاهشی بوده است. تعداد روزهای پوشش در سال ۱۹۹۸ از افزایش قابل ملاحظه‌ای برخوردار و در مقابل قیمت نفت

1. Days of Forward Demand

WTI شاهد کاهش زیادی تا حدود ۱۰ دلار در بشکه بوده است. بر خلاف منطقه OECD، منطقه غیر OECD از ذخیره‌سازی‌های نفت برخوردار نیستند. بنابراین تقاضای این منطقه نماگر مناسبی برای وضعیت بازار این منطقه است.

نمودار ۵. تعداد روزهای پوشش تقاضای نفت OECD توسط ذخیره‌سازی‌ها و قیمت WTI



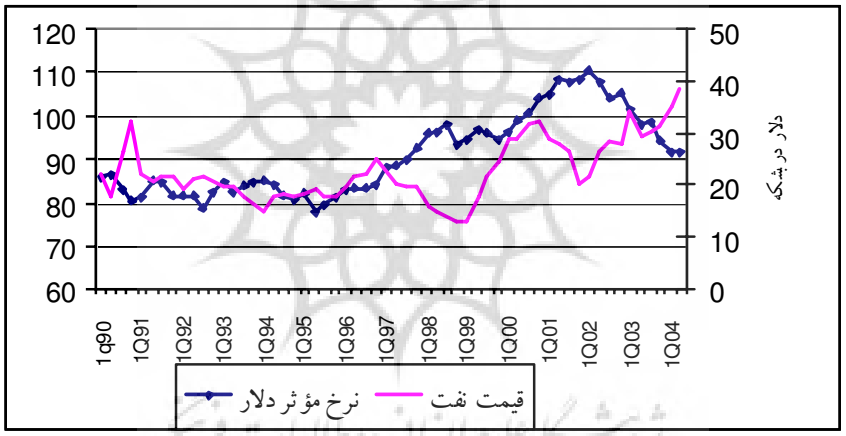
از بعد عرضه نفت، تولید کنندگان اوپک و غیر اوپک قابل تفکیک هستند. تولید اوپک در حالی‌که توسط تعیین سهمیه اعضا کنترل می‌شود، تولید غیر اوپک بدون محدودیت و کنترل دستوری صورت می‌پذیرد. سهمیه‌های تولیدی توسط سازمان‌اوپک به نحوی تعیین می‌شود که قیمت نفت در محدوده مورد نظر کنترل شود. از آنجا که پیش‌بینی شرایط حاکم بر بازار دشوار است تعیین میزان مطلوب سهمیه‌ها با وجود تخلف‌ها دشوار است. بنابراین به‌دلیل کارکرد دستوری، تولید اوپک عامل مهمی در ایجاد تغییرات قابل‌توجه در قیمت به شمار می‌آید.

ظرفیت مازاد تولید اوپک، یکی از عوامل اثرگذار بر قیمت نفت ارزیابی می‌شود. اهمیت این عامل از ایجاد اطمینان خاطر از عرضه مداوم به خصوص در شرایط بحرانی بازار که تقاضا به شدت افزایش می‌یابد، ناشی می‌شود. تا سال ۲۰۰۴ به استثنای دوره کوتاه جنگ عراق در سال ۱۹۹۰ میزان ظرفیت مازاد اوپک همواره بیش از یک میلیون بشکه در روز و به طور متوسط ۳ میلیون بشکه بوده است که این امر سبب شده قیمت‌های نفت

چندان تحت تأثیر این عامل نباشد.

اهمیت اثر نرخ برابری دلار در مقابل سایر ارزها (به خصوص در اواخر دهه ۱۹۹۰ و در سال‌های اخیر که از روند کاهشی قابل توجهی برخوردار بوده است) به قیمت‌گذاری و معامله نفت بر مبنای این ارز استوار است. نمودار ۶ نشان‌دهنده نوسانات قیمت نفت وست تگزاس و شاخص نرخ واقعی مؤثر دلار در طی سال‌های ۱۹۹۰ الی ۲۰۰۴ است. کاهش ارزش دلار در مقابل پول‌های رایج و معتبر کشورهایی نظیر انگلیس، ژاپن و یورو در سال‌های اخیر باعث شده است که این متغیر نقش مهمی در تعیین قیمت نفت بازی نماید.

نمودار ٦. روند قیمت نفت و شاخص نرخ واقعی مؤثر دلار



۳. مدل‌سازی قیمت نفت

بررسی شرایط بازار و عوامل مؤثر بر قیمت نفت این امکان را فراهم آورد که متغیرهای لازم در جهت مدل‌سازی شناسایی شوند تا بتوان از طریق کاربرد روش‌های اقتصاد سنجی به مدل‌سازی قیمت نفت پرداخت. در این قسمت ابتدا متغیرها معرفی و سپس خواص داده‌های جمع‌آوری شده از لحاظ آماری بررسی و آنگاه مدل‌های مناسب برآورد شده‌اند

۳-۱. متغیرها و داده‌ها

متغیرهای وابسته و توضیح دهنده شناسایی شده در بازار نفت:

(WT): قیمت واقعی نفت؛

(DY): تعداد روزهای پوشش ؛

(SO): میزان عرضه نفت اوپک؛

(DN): میزان تقاضای نفت کشورهای غیر OECD؛

(USR): نرخ واقعی مؤثر دلار؛

Di i=2, 3, 4 متغیر فصلی.

قیمت اسمی نفت WTI بعد از رد احتمال وجود روند فصلی، توسط شاخص ضمنی تعدیل شده تولید ناخالص هفت کشور صنعتی به صورت واقعی تبدیل شده است.

دوره مورد نظر با توجه به داده‌های قابل دسترس و تغییرات ساختار بازار در نظر گرفته شده است و از فصل اول ۱۹۹۲ شروع و به فصل آخر ۲۰۰۴ ختم می‌شود. داده‌های ماهانه تقاضای نفت غیر OECD در دسترس نیست بنابراین تناوب داده‌ها به صورت فصلی در نظر گرفته شده است. طی این دوره عوامل تأثیرگذار بر قیمت نفت، از نوسانات لازم برخوردار بوده است بنابراین مدل می‌تواند به تخمین آثار تغییرات آنها بر قیمت بپردازد. طی این دوره زمانی می‌توان شرایط پس‌بهینگی [1] و پیش‌بهینگی [2] را به خوبی مشاهده کرد

داده‌های فوق از منابع معتبر اطلاعاتی شامل IEA[3]، OECD و IFS جمع‌آوری شده و به صورت لگاریتمی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از جمله مشکلات داده‌ها در بازار نفت به استثنای قیمت نفت می‌توان از نبود شفافیت در مورد داده‌های منتشر شده نام برد. قیمت نفت به طور روزانه از طریق بورس اعلام می‌شود در حالی‌که داده‌های دیگر از روش نمونه‌گیری و حداقل به صورت هفتگی اعلام می‌شوند و همواره بعد از گذشت چندین ماه مورد تجدید نظر قرار می‌گیرند. منابع مختلفی تولید نفت اوپک را به صورت ماهانه انتشار می‌دهند در حالی‌که تفاوت‌های آشکاری در ارقام منتشره مشاهده می‌شود. مشکلاتی نیز در ارتباط با داده‌های ذخیره‌سازی وجود دارد. ارقام مربوطه که از سازمان IEA برگرفته

1. Backwardation
2. Contango
3. International Energy Agency

شده همواره مورد تجدید نظر قرار می‌گیرد. این سازمان در اوایل دهه ۱۹۹۰ روش نمونه گیری را تغییر داده و در سال ۱۹۹۸ اعضای جدیدی را به لیست حجم ذخیره‌سازی‌ها در منطقه OECD افزوده است. این امر باعث افزایش حجم ذخیره‌سازی اما کاهش در تعداد روزهای پوشش شده است.

۳-۲. آزمون‌های یکپارچگی، همتجمعی و روابط بلندمدت

قبل از پرداختن به مدل‌سازی، خواص داده‌ها از لحاظ یکپارچگی [1] و همتجمعی [2] بررسی می‌شوند تا این‌که الگوی مناسب مورد شناسایی قرار گیرد.

از آنجا که داده‌ها به صورت فصلی(سه ماهه) هستند، لازم است که در ابتدا ماهیت فصلی متغیرها بررسی و سپس به آزمون یکپارچگی پرداخته شود. بدین منظور روش X-12 نشان از آن دارد که تنها متغیر تعداد روزهای پوشش (DY) به صورت لگاریتمی از روند فصلی برخوردار است. بنابراین از همان روش متغیر مذکور تعدیل فصلی شده است.

آزمون‌های ADF و PP جهت بررسی وجود ریشه واحد در متغیرها به‌کار گرفته شده‌اند و نتایج نشان می‌دهد متغیرها در سطح دارای ریشه واحد و در تفاضل مرتبه اول ایستا هستند.

تحلیل‌های همتجمعی بین متغیرها از طریق رویکرد OLS، جوهانسون (Johansen 1988) و ARDL (Pesaran et al 1998) مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در رویکرد OLS قیمت نفت WTI در قالب الگوی خطی ـ لگاریتمی تابعی از عرضه اوپک، تقاضای غیر OECD، تعداد روزهای تعدیل شده و نرخ واقعی مؤثر دلار در نظر گرفته شده و نتایج تخمین در جدول شماره ۱ آمده است.

برای این‌که بررسی شود آیا مدل همتجمع است، جز اخلال مدل، مورد آزمون ریشه واحد قرار گرفته است. طبق آزمون ADF، ایستا نبودن جز اخلال در سطح احتمال ۹۵ درصد رد می‌شود.

1. Integration
2. Cointegration

روش جوهانسون بر مبنای کاربرد الگوی VAR ، تعداد روابط تعادلی بلند مدت بین متغیرها را شناسایی می‌کند. تعداد وقفه‌ها در مدل VAR بر مبنای معیار شوارتز [1] تعیین می‌شود. آزمون بر مبنای آماره‌های تریس حاکی از یک رابطه بلند مدت در سطح ۱ درصد است.

برای برآورد روابط بلند مدت همچنین از روش حداکثر درست نمایی با اطلاعات کامل [2] (FIML) از طریق معادله زیر بهره گرفته شده است.

$$\Delta LWT_t = \alpha(\alpha_1 LWT_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-1} + \alpha_3) + \sum_{i=1} \theta_{1i} \Delta LWT_{t-i} + \sum_{i=1} \theta_{2i} \Delta Y_{t-i}$$

Y بردار متغیرهای مستقل و α_1 و α_2 ضرایب رابطه بلند مدت بین قیمت و دیگر متغیرهاست. نتایج برآورد معادله فوق که تعداد وقفه‌ها بر مبنای معیار SBC تعیین شده است در جدول ۱ منعکس شده است.

جدول ۱. نتایج برآورد روابط بلند مدت

الگو	متغیر وابسته	متغیرهای مستقل			
		LDY	LDN	LSO	LUSR
OLS	LWT	-۳/۵	۲/۳	-۱/۵	-۱/۲۴
Johansen		-۴/۷	۳/۶	-۳/۶	-۲/۲
FIML		-۶	۴	-۳/۶	-۲/۳
ARDL		-۵/۸	۴/۲	-۴/۱	-۲/۵

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

الگوی ARDL (Pesaran et al 1998) نیز برای بررسی رابطه همتجمعی مورد بررسی قرار گرفته است. مزیت این مدل بر روش جوهانسون این است که الگو بدون توجه به ایستایی متغیرها در سطح و یا تفاضل، برآورد می‌شود و نیازی به آزمون‌های اولیه همتجمعی ندارد. رابطه تعادلی بلند مدت برآورد شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

1. Schwarz Baysian Criterion (SBC)
2. Full Information Maximum Likelihood

۴. مدل‌های پیش‌بینی

در قسمت قبل بعد از رد فرض ایستایی متغیرها با استفاده از الگوهای OLS ، FIML ، جوهانسون و ARDL روابط بلندمدت بین قیمت نفت WTI و متغیرهای توضیحی بیان شد با توجه به نکات بیان شده برای پیش‌بینی فصلی قیمت نفت WTI از مدل‌های خودرگرسیو، تصحیح خطا (ECM) و ARDL که روابط کوتاه مدت و بلند مدت را تفکیک می‌کنند، استفاده می‌شود.

الگوی تصحیح خطا و ARDL جهت پیش‌بینی به ترتیب زیر بیان می‌شوند:

$$\Delta LWT_t = \alpha_{11}+\alpha_{12}\mu_{1t-1} + \sum_{i=1} \theta_{11i}\Delta LWT_{t-i} + \sum_{j=1} \theta_{12j}\Delta Y_{t-j}$$

$$\Delta LWT_t = \alpha_{21}+\alpha_{22}\mu_{2t-1} + \sum_{i=1} \theta_{21i}\Delta LWT_{t-i} + \sum_{j=0} \theta_{22j}\Delta Y_{t-j}$$

μ_{1t-1} و μ_{2t-1} جز اخلال با وقفه به‌دست آمده از روابط بلند مدت بین قیمت نفت و متغیرهای مستقل و Y بردار متغیرهای مستقل است. بر مبنای نظر پسران (Pesaran 1996) معیار شوارتز برای انتخاب تعداد وقفه نسبت به دیگر معیارها برتر است. با این حال از آنجا که معیار آکایک بیشترین وقفه را در نظر می‌گیرد نیز مورد بررسی قرار گرفت و به دلیل ارایه کمترین خطای پیش‌بینی، انتخاب شد. آزمون ضریب لاگرانژ [1] دال بر وجود عدم همبستگی پیاپی ، آزمون رمزی نشان از عدم ناهمسانی واریانس در اجزا اخلال و همچنین آزمون‌های چولگی [2] و کشیدگی [3] حاکی از نرمالیتی جز اخلال‌ها در الگوها هستند.

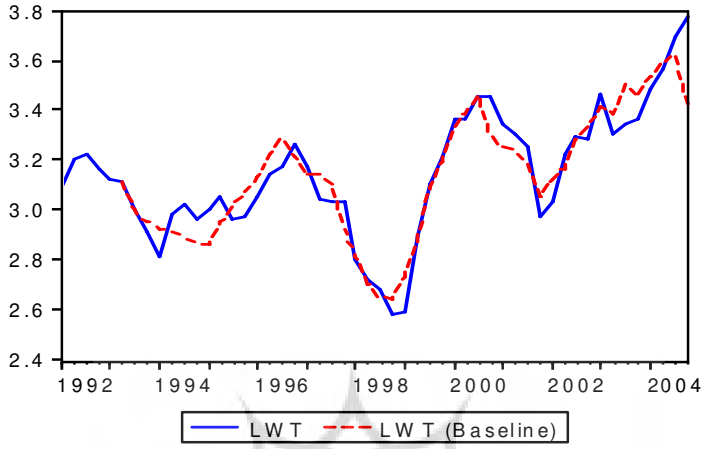
نمودارهای ۷، ۸ و ۹ به ترتیب روند قیمت تحقق یافته و پیش‌بینی‌های به دست آمده از طریق الگوهای فوق را در داخل و خارج نمونه نشان می‌دهد.

۵. ارزیابی پیش‌بینی‌ها

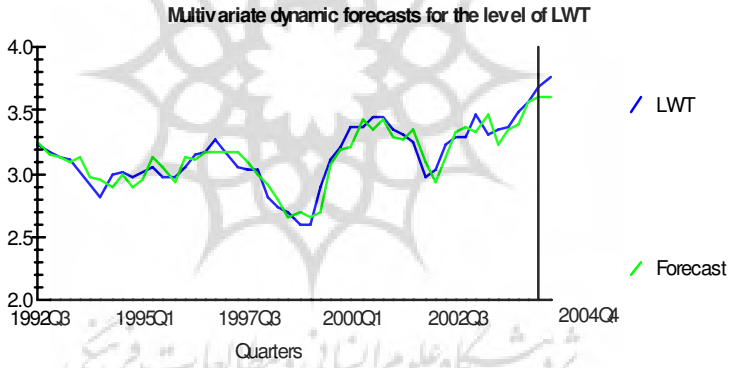
به‌منظور بررسی و ارزیابی پیش‌بینی‌های الگوهای ذکر شده از معیار دقت پیش‌بینی RMSE [4] برای پیش‌بینی داخل نمونه و برای خارج نمونه از میزان خطا و همچنین از آزمون مجموع

1. Lagrange Multiplier Test
2. Skewness
3. Kurtosis
4. Root Mean Squared Error

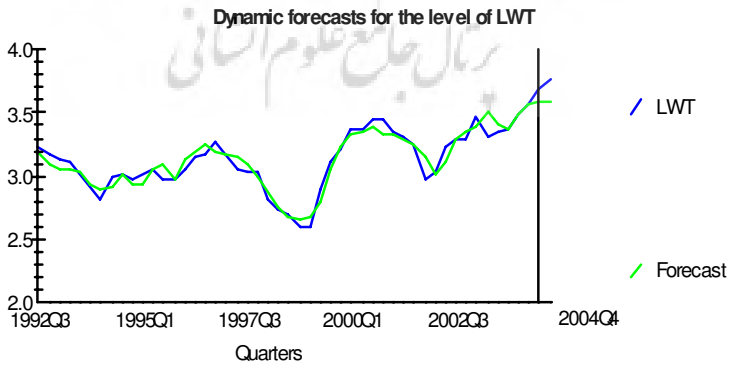
نمودار ۷. پیش‌بینی داخل و خارج نمونه توسط الگوی خودرگرسیو



نمودار ۸. پیش‌بینی داخل و خارج نمونه توسط الگوی تصحیح خطا



نمودار ۹. پیش‌بینی داخل و خارج نمونه توسط مدل ARDL



تجمعی مربعات باقی‌مانده بازگشتی (CUSUMSQ) بهره گرفته شده است. جدول ۲ معیار RMSE را برای پیش‌بینی داخل نمونه نشان‌می‌دهد. بر مبنای این معیار الگوی ARDL نسبت به ECM و ECM نسبت به OLS از خطای پیش‌بینی کمتری برخوردار است. جدول ۳ خطای پیش‌بینی را برای خارج نمونه (فصل چهارم ۲۰۰۴) نشان می‌دهد. میزان خطا نشان می‌دهد که برای خارج نمونه نیز الگوی ARDL از خطای کمتری نسبت به دو الگوی دیگر برخوردار است.

جدول ۲. معیار RMSE برای پیش‌بینی داخل نمونه

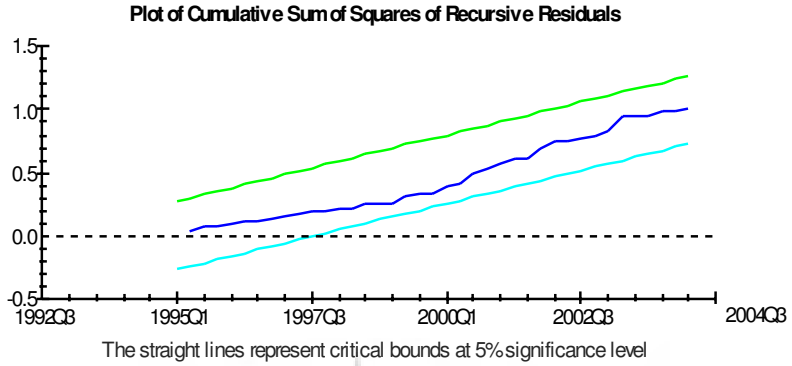
الگو	RSME
OLS	۰/۰۷۸
ECM	۰/۰۶۸
ARDL	۰/۰۶۴

جدول ۳. خطای پیش‌بینی خارج نمونه (فصل چهارم ۲۰۰٤)

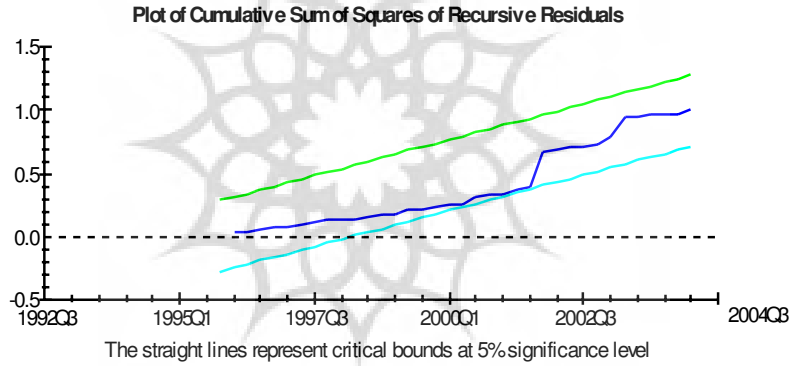
الگو	قیمت واقعی تحقق‌یافته WTI (به‌صورت لگاریتمی)	قیمت واقعی پیش‌بینی WTI (به‌صورت لگاریتمی)	خطای پیش‌بینی
OLS	۳/۷۷۷	۳/۴۲	۰/۳۵
ECM	۳/۷۷۷	۳/۶۰۹	۰/۱۴
ARDL	۳/۷۷۷	۳/۶۵	۰/۱۲

ثبات الگوها از طریق آزمون CUSUMSQ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این آزمون تغییرات ساختاری تدریجی در مدل را مورد آزمون قرار می‌دهد و می‌تواند به عنوان ارزیابی عملکرد پیش‌بینی‌ها نیز مد نظر قرار گیرد. نمودار CUSUMSQ جهت ثبات ضرایب برآورد شده الگوها که در نمودارهای ۱۰،۱۱ و ۱۲ ترسیم شده‌اند در محدوده بحرانی ۹۵ درصد قرار داشته و بر ثبات ساختاری ضرایب در دوره برآورد دلالت دارد.

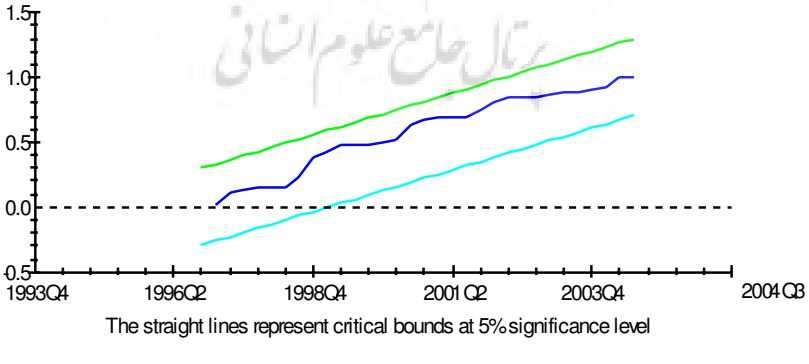
نمودار ۱۰. آزمون CUSUMSQ برای مدل ECM



نمودار ۱۱. آزمون CUSUMSQ برای مدل ARDL



نمودار ۱۲. آزمون CUSUMSQ برای مدل OLS



۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله، نخست عملکرد بازار بین‌المللی نفت تشریح و عواملی که در نهایت قیمت نفت از آنها متاثر می‌شوند بررسی و متغیرهای مهم شناسایی شدند. مهم‌ترین این عوامل ذخیره‌سازی‌های نفت منطقه OECD ، عرضه اوپک ، تقاضای نفت منطقه غیر OECD و نرخ مؤثر ارز دلار را شامل می‌شوند. بعد از بررسی خواص آماری داده‌ها، مدل‌های اقتصاد سنجی در قالب الگوی پویای باوقفه، تصحیح خطا و خودرگرسیو با وقفه‌های توزیعی، جهت انجام پیش‌بینی انتخاب شده و برآورد زده شدند. مقایسه نتایج از طریق معیار دقت پیش‌بینی RMSE برای داخل نمونه و میزان خطا برای خارج نمونه حاکی است که الگوی خودرگرسیو با وقفه‌های توزیعی نتایج بهتری ارایه داده و دارای بهترین دقت پیش‌بینی است.

منابع و مآخذ:

1. Enders, Walter. (1995). "Applied Econometric Time Series", Wiley.
2. Kaufmann, R.K. (1991), "Oil Production in The Lower 48 States: Reconciling Curve Fitting and Econometric Models", Resources and Energy, 13, p121-127.
3. Lalonde, René., Zhu, Zhenhua., and Demers, Frédérick., (2003), "Forecasting and Analyzing World Commodity Prices", Bank of Canada.
4. Michael Ye, John Zyren, And Joanne Shore (2002), "Forecasting Crude Oil Spot Price Using OECD Petroleum Inventory Levels", International Advances in Economic Research.
5. Pesaran, M.H., Y. Shin and R.J. Smith (1996). "Testing for the Existence of a Long-Run Relationship." Department of Applied Economics Working Paper No. 9622, Department of Applied Economics, University of Cambridge.
6. Pesaran, M.H., Yongcheol, S,. (1998). "An Autoregressive Distributed_Lag Modelling Approuch to Cointegration Analysis." Econometrrics and economic theory in the twentieth century: The Ragnar Frishch Centennial Symposium. Strom, Steinar, Cambridge; New York and Melbourne: Cambridge University Press.
7. Pindyck, R. S., (1994), "Inventories and The Short-Run Dynamics of Commodity Prices", Rand Journal of Economics, 25, 1.
8. Pindyck, R. S., (2001), "The Dynamics of Commodity Spot and Futures Markets: A Primer", The Energy Journal, 22, 3.
9. Zamani, Mehrzad, (2004), "An Econometrics Forecasting Model of Short Term Oil Spot Price", 6th IAEE European Conference, Switzerland.