

## پیش‌بینی قیمت نفت با روش‌های RFIMA\_EGARCH و منطق فازی

شهرام گلستانی\*

استادیار دانشکده‌ی اقتصاد و مدیریت دانشگاه باهنر کرمان، shahram\_golestan@yahoo.com

محمد صالح انصاری لاری

دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه باهنر کرمان، saleh.ansari.lari@gmail.com

رضا عباس پور

دانشجوی کارشناسی ارشد کنترل دانشگاه باهنر کرمان، r.abbaspour@hotmail.com

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۱/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۶

### چکیده

نفت مهم‌ترین کالای مبادلاتی جهان محسوب می‌شود و تغییرات شدید یا شوک قیمت آن می‌تواند اقتصاد جهان را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. ایران یکی از دارندگان بزرگ منابع نفت در جهان محسوب می‌شود. نفت پراهمیت‌ترین کالای صادراتی کشور است و بخش بزرگی از منابع درآمدی کشور از صادرات نفت تأمین می‌شود. و وابسته بودن کشور به درآمد نفت، آسیب‌پذیری اقتصاد کشور را افزایش داده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ایران در سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۱ به همراه ونزوئلا و نیجریه بیش‌ترین ضریب خطا را در پیش‌بینی قیمت نفت در بودجه‌ی سالانه داشته است. امروزه استفاده از روش‌های جدید مانند منطق فازی برای پیش‌بینی، کیفیت تصمیمات مالی را بهبود چشم‌گیری بخشیده است. این مقاله به مقایسه دو روش منطق فازی و ARFIMA برای پیش‌بینی قیمت نفت برنت دریای شمال طی دوره‌ی ۲۰۱۱-۱۹۹۸ پرداخته است. برای بهینه‌سازی روش فازی ابتدا توابع عضویت ورودی و سپس توابع عضویت خروجی بهینه می‌شود. بعد از بهینه شدن توابع عضویت خروجی خطا به حداقل میزان خود رسیده است. نتایج، برتری قابل ملاحظه منطق فازی بر روش ARFIMA\_EGARCH را نشان می‌دهد.

طبقه‌بندی JEL: G13, P28, Q41

کلید واژه: قیمت نفت، ARFIMA\_EGARCH، منطق فازی، پیش‌بینی، سری زمانی،

حافظه‌ی بلندمدت

## ۱- مقدمه

نفت به‌عنوان مهم‌ترین و بزرگ‌ترین کالای تجاری در تمام جهان شناسایی می‌شود که ۱۰٪ تجارت جهانی را شامل می‌شود. از سویی نفت رابطه‌ی اساسی با اقتصاد کشورها دارد و یکی از عوامل اصلی رکود و رونق اقتصادی در کشورهای صادرکننده‌ی این محصول می‌باشد. قیمت نفت یکی از عوامل حیاتی است که دارای تأثیراتی روی اقتصاد داخلی و جهانی می‌باشد. در دوره‌ی ۱۳۳۸-۱۳۶۹، به جز در سال ۵۹، همواره بیش از ۸۰٪ درآمد ارزی کشور از طریق نفت تأمین شده است. (رحمت آبادی، محمدی و فرج زاده، ۱۳۸۹) اتکای بالای کشور به درآمدهای نفتی آسیب‌پذیری کشور از نوسانات قیمت نفت را بالا برده است. هر چند وجود نوسان در بازار نفت امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد، اما برنامه‌ریزی برای کاهش اثرات آن اهمیت زیادی دارد. تعیین الگوی مناسب برای پیش‌بینی قیمت نفت می‌تواند تصمیم‌گذاران کشور را بهبود بخشد. تعیین الگوی مناسب برای پیش‌بینی قیمت نفت می‌تواند فرآیندهای تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری را تسهیل کند. این نوسانات سبب بروز رفتار غیر خطی در سری زمانی قیمت نفت شده است. رفتار غیر خطی موجب شده قیمت نفت رفتار تصادفی داشته باشد، اما این رفتار به ظاهر تصادفی ممکن است از فرآیند معینی پیروی کند. در صورت کشف این فرآیند غیر خطی معین، می‌توان به نتایج حاصل از پیش‌بینی تا حد زیادی امیدوار بود.

یکی از چالش‌های موجود آن است که بیش‌تر سری‌های زمانی مالی و اقتصادی نظیر قیمت نفت رفتار پیچیده و غیر خطی داشته و مدل‌های اقتصادسنجی نظیر  $ARIMA^1$  کارایی لازم جهت برازش و پیش‌بینی قیمت نفت ندارند. استفاده از الگوهای جدید برای پیش‌بینی انواع حامل‌های انرژی و از جمله قیمت نفت خام بیانگر اهمیت قابل ملاحظه‌ی پیش‌بینی قیمت انرژی است. در مورد پیش‌بینی نفت خام به‌طور خاص استفاده از دو گروه از الگوها مشهود است. در برخی از آن‌ها تلاش شده است تا رفتار نوسانات نفت خام با استفاده از الگوهای رگرسیونی، شناسایی و از این طریق پیش‌بینی‌ها انجام شود.

در ادبیات مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی اقتصادی علاوه بر مدل‌های مذکور مدل‌های دیگری نیز وجود دارند. مدل‌های حافظه‌ی بلندمدت خودرگرسیونی انباشته‌ی جزئی میانگین متحرک (ARFIMA)<sup>2</sup> از جمله‌ی این روش‌هاست. نتایج تحقیقات نشان‌دهنده‌ی برتری این مدل‌ها بر مدل‌های سری زمانی GARCH و

1- Autoregressive Integrate Moving average

2- Autoregressive Fractional Integrate Moving average

ARIMA است. (عرفانی، ۱۳۸۸) همچنین پرکاربردترین روش‌های هوشمند، تاکنون روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)<sup>۱</sup> بوده است. بسیار سخت است که بتوان رفتار پیچیده‌ی مجموعه‌ای نظیر بازار نفت را در یک مجموعه‌ی معادلات خطی نشان داد.

در این مقاله از روش‌های جدیدتری برای پیش‌بینی استفاده می‌شود. در این جا دو روش منطق فازی ممدانی و ARFIMA برای پیش‌بینی قیمت نفت استفاده می‌شود. لازم به ذکر است مدل ARFIMA دقت بالاتری از مدل‌های ARIMA دارد. همچنین با ترکیب مدل‌های ARFIMA و GARCH سعی می‌شود نوسانات قیمت نفت مدل سازی و پیش‌بینی شود. همچنین در این مطالعه از سری زمانی قیمت نفت برنت دریای شمال<sup>۲</sup> به صورت روزانه و از ۲۵ سپتامبر سال ۱۹۹۸ تا آخر ۲۰۱۱ (حدود ۱۳ سال) استفاده شده است. همچنین داده‌ها از سایت اداره‌ی اطلاعات انرژی ایالات متحده‌ی آمریکا<sup>۳</sup> گرفته شده است.

## ۲- مروری بر نتایج مطالعات تجربی

هاردواج و اسوانسون<sup>۴</sup> (۲۰۰۵)، به پیش‌بینی سری زمانی مالی پرداخته‌اند که نتایج از برتری مدل‌های ARFIMA بر مدل‌های AR، MA، ARIMA و GARCH حکایت دارد.

یو و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۸)، با روش شبکه‌ی عصبی قیمت نفت وست تگزاس اینترمدیت و برنت دریای شمال را پیش‌بینی کرده‌اند.

محمدی و سو<sup>۶</sup> (۲۰۰۸) در مقاله خود با استفاده از چندین مدل RFIMA\_EGARCH برای پیش‌بینی قیمت نفت طی سال‌های ۱۹۹۷-۲۰۰۹ استفاده کرده‌اند. چهار مدل GARCH، EGARCH، APGARCH و FIGARCH به کار برده شد و نتایج نشان از برتری مدل‌های واریانس استاندارد شرطی بر مدل‌های متداول واریانس شرطی دارد.

1- Artificial Neural Network

2- Europ Brent Spot Price

3- www. eia. gov

4- Bhardwaj & Swanson

5- Yu et al

6- Mohammadi & Su

مینگ‌مینگ و جینلیانگ<sup>۱</sup> (۲۰۱۲)، با مدل شبکه‌ی عصبی موجک‌های بازگشتی قیمت نفت خام را پیش‌بینی کرده‌اند. میانگین خطای دوره‌ی پیش‌بینی ۰.۶٪ و میانگین خطای دوره‌ی آموزشی ۳/۸۸٪ به‌دست آمده است. هاو و ساوردی<sup>۲</sup> (۲۰۱۲)، قیمت نفت وست تگزاس اینترمدیت و برنت دریای شمال را با مدل‌های GARCH پیش‌بینی کرده‌اند. نتایج حاکی از برتری مدل غیرپارامتریک GARCH، بر مدل پارامتریک GARCH است. هم‌چنین در حالی که مدل غیرپارامتریک با دقت بالاتری پیش‌بینی می‌کند، اما هنوز مدل پارامتریک را قابل کاربرد می‌داند.

ابریشمی و همکاران (۱۳۸۵)، به ارزیابی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی بی‌ثباتی قیمت نفت خام پرداخته‌اند. براساس یافته‌ی آنان مدل‌های GARCH<sup>۳</sup> و TGARCH<sup>۴</sup> عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌های واریانس شرطی در رابطه‌ی پیش‌بینی بی‌ثباتی قیمت نفت خام دارند.

اصفهانیان و امین ناصری (۱۳۸۷)، یک مدل شبه عصبی برای پیش‌بینی کوتاه مدت قیمت نفت خام ارائه داده‌اند.

رحمت آبادی و همکاران (۱۳۸۹)، الگوی شبکه‌ی عصبی و خودرگرسیون میانگین متحرک را برای پیش‌بینی نفت خام به کار برده‌اند. بر اساس نتایج به‌دست آمده به‌طور نسبی با افزایش داده‌های مورد بررسی، دقت پیش‌بینی خودرگرسیون میانگین متحرک از شبکه‌ی عصبی پایین‌تر ارزیابی شده است. ارشدی (۱۳۹۰)، بر اساس یک مدل ARFIMA\_EGARCH به مدل سازی نوسانات قیمت نفت ایران پرداخته است. براساس این مقاله وجود یک ساختار واریانس شرطی برای قیمت نفت ایران تأیید می‌شود.

1- Mingming & Jingliang

2- Hou & Suardi

3- Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (EGARCH)

4- Thershold Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (TGARCH)

### ۳- روش شناسی تحقیق

در این بخش روش‌های منطق فازی و الگوی خود رگرسیون میانگین متحرک ARFIMA\_EGARCH معرفی و نحوه انتخاب بهترین مدل، پیش‌بینی کننده‌ی تشریح می‌شود.

#### رویکرد منطق فازی

در دنیایی که ما زندگی می‌کنیم، بیش‌تر چیزهای که درست به نظر می‌رسند، نسبتاً درست هستند و در مورد درستی و نادرستی پدیده‌های واقعی، همواره درجاتی از عدم قطعیت صدق می‌کند. نظریه‌ی مجموعه‌های فازی، نظریه‌ای است که در شرایط ابهام و عدم اطمینان کاربرد دارد. نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی در سال ۱۹۶۵ توسط پروفیسور لطفی زاده معرفی شده است. مجموعه‌های فازی به متغیرهای «زبانی» و «مفاهیم» تقسیم می‌شوند. برای مثال، «قیمت» یک مفهوم است و «قیمت نسبتاً بالا» یک متغیر زبانی است. یک مجموعه فازی از یک مجموعه منظم به یک مجموعه {۰ و ۱} نگاشت می‌شود، که اعضای مجموعه فازی منعطف هستند. در منطق فازی به طور معمول عبارت‌ها و گزاره‌ها به صورت «اگر... آن‌گاه...» بیان می‌شود.

به عنوان مثال می‌توان قاعده‌ی زیر را برای یک سیستم اقتصادی تبیین کرده است: «اگر قیمت بالا باشد، آن‌گاه مقدار کم است». چنانچه به جای عبارت گفتاری از یک تابع خطی به شکل  $q^d = a + bp$  استفاده شود، سیستم فازی ایجاد شده را سیستم فازی تاکاگی-سوگنو-کانگ<sup>۱</sup> می‌نامند. سیستم‌های فازی که در آن عبارت‌های گفتاری به جای توابع خطی استفاده می‌شود را سیستم فازی ممدانی<sup>۲</sup> می‌نامند.

با دقت در زندگی روزمره و گزاره‌هایی که روزانه در زبان گفتاری بیان می‌کنیم، خواهیم دید که طریقه‌ی ارزش‌گذاری گزاره‌ها در مغز انسان و بیش‌تر جملات را که در زبان گفتاری به کار می‌بریم، ذاتاً مبهم و فازی هستند.

به کارگیری منطق فازی دو مزیت دارد: نخست این‌که می‌توان از محاسبات پیچیده مدل‌های سنجی اجتناب کرد؛ دوم قواعد فازی با الفاظ وابسته به زبان شناسی برای فهمیدن درک انسان‌ها آسان‌تر می‌باشد. مدل‌سازی فازی همانند مدل‌سازی اقتصادسنجی دارای محدودیت‌هایی می‌باشد؛ به عبارتی با افزایش تعداد متغیرها، مدل دچار مشکل درجه‌ی آزادی می‌شود. آن‌چه در مدل‌سازی فازی مهم است، اجماع بر سر معنی‌دار بودن متغیرهای تعیین کننده‌ی پدیده مورد بررسی است.

1- Takagi & Sugeno & Kang

2- Mamdani

اگر بخواهیم یک دسته‌بندی برای نظریه‌ی فازی در نظر بگیریم می‌توان آن را به پنج قسمت اصلی تقسیم کرد:

- ۱- ریاضیات فازی
- ۲- سیستم فازی<sup>۱</sup>
- ۳- تصمیم‌گیری فازی
- ۴- اطلاعات و عدم قطعیت
- ۵- منطق فازی<sup>۲</sup>

#### سیستم‌های استنتاج فازی

تمام مطالبی که تا کنون ارائه شده است، یعنی توابع عضویت فازی، عملگرهای منطق فازی و قوانین اگر-آن‌گاه فازی، در یک سیستم استنتاج فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک فرآیند فازی شامل چند مرحله به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- فازی سازی<sup>۳</sup> متغیرهای ورودی
- ۲- اعمال عملگرهای فازی به گزاره‌ی مقدم
- ۳- استلزام از گزاره مقدم به نتیجه
- ۴- تجمیع نتایج
- ۵- غیر فازی سازی<sup>۴</sup>

#### فازی سازی متغیر ورودی

اولین مرحله‌ی فازی سازی مشخص کردن ورودی‌ها و تعیین درجه‌ی عضویت هر ورودی نسبت به توابع عضویت<sup>۵</sup> موجود برای آن‌ها می‌باشد. ورودی همیشه یک مقدار عددی صحیح می‌باشد که توسط مجموعه‌ی مرجع متغیرهای ورودی محدود می‌شود و خروجی آن درجه‌ی عضویت فازی می‌باشد که در محدوده‌ی صفر و یک قرار دارد سه معیار در طراحی فازی وجود دارد. اول این‌که فازی ساز باید این حقیقت را نظر بگیرد که ورودی در نقطه‌ی بزرگی قرار داشته باشد. دوم این‌که، اگر ورودی سیستم فازی به‌وسیله‌ی نویز<sup>۶</sup> خراب شود، فازی ساز باید بتواند تأثیر نویز را کاهش داده و حذف کند و بالاخره سوم این‌که فازی ساز باید بتواند در ساده کردن محاسبات مربوط به موتور

---

1- Fuzzy system  
 2- Fuzzy logic  
 3- Fuzzification  
 4- Defuzzification  
 5- Membership Function  
 6- Noise

استنتاج فازی<sup>۱</sup> نقش داشته باشد. چندین روش برای عمل فازی سازی وجود دارد. یکی از روش‌ها، روش تک مقدار فازی<sup>۲</sup> می‌باشد. در این روش تابع عضویت متغیر در ازای مقادیر خوانده شده‌ی متغیر، یک و در دیگر نقاط برابر صفر می‌باشد. این روش مباحث مربوط به موتور استنتاج فازی را ساده‌تر می‌کند. البته روش تک مقدار فازی نمی‌تواند مانع نویز ورودی شود. در روش دیگر، تابع عضویت را به صورت یک منحنی نشان می‌دهند. اگر فرض شود که انحراف معیار اندازه‌ی متغیر در حالت غیر فازی به علت وجود نویز و خطای اندازه‌گیری برابر  $\sigma$  باشد، در این صورت تابع عضویت فازی متغیر به صورت مثلث متساوی الساقین می‌باشد که طول قاعده‌ی آن  $2\sigma$  و ارتفاع آن یک می‌باشد. به جای مثلث از فرم‌های دیگر مانند گوسی، دوزنقه‌ای و غیره نیز می‌توان استفاده کرد.

### اعمال عملگر فازی

بعد از انجام مرحله‌ی فازی سازی و اختصاص درجه‌ی عضویت به همه‌ی ورودی‌ها، به مرحله‌ی اعمال عملگرهای فازی می‌رسیم. اگر گزاره‌ی مقدم قانون فازی بیش از یک قسمت باشد، از عملگر فازی برای به دست آوردن عددی که نشان دهنده‌ی گزاره‌ی مقدم آن قانون است، استفاده می‌شود. ورودی عملگر فازی دو یا چند تابع عضویت از مقادیر فازی شده‌ی متغیر ورودی می‌باشد. عملگر (AND و OR) را می‌توان به صورت‌های مختلفی می‌توان تفسیر کرد. برای مثال عملگر AND را مینیمم‌گیری یا ضرب و عملگر OR را ماکزیمم‌گیری یا جمع جبری می‌توان تفسیر کرد.

### اعمال استلزام فازی<sup>۳</sup>

پیش از استلزام فازی باید وزن قوانین را مورد توجه قرار داد. هر قانون فازی دارای وزن (عددی بین صفر و یک) است. روش استلزام عبارت است از شکل دهی قسمت نتیجه‌ی قانون بر اساس گزاره‌ی مقدم.

### تجمیع خروجی‌ها

در این مرحله‌ی تمام مجموعه‌های فازی که نشان دهنده‌ی خروجی قوانین فازی می‌باشند، جمع‌آوری شده و با ترکیب آن‌ها تک مجموعه‌ی فازی برای اعمال به مرحله‌ی آخر که غیر فازی سازی می‌باشد، آمده می‌شود.

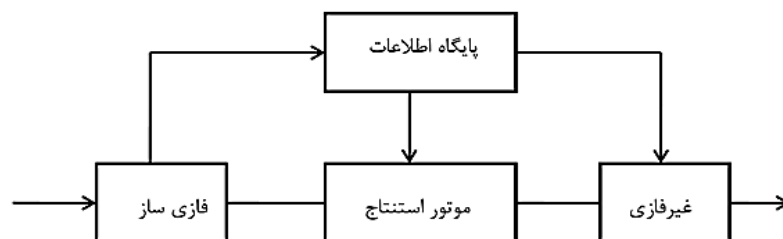
1- Fuzzy Inference Engine  
2- Singleton Fuzzifier  
3- Fuzzy Implication

### غیر فازی سازی

متغیر فازی ارائه شده از سوی بخش تصمیم‌گیری، در بیش‌تر حالت‌ها قابل استفاده در فرآیند نیست و باید به صورت متغیرهای غیر فازی درآید. در واقع غیر فازی سازی یک نگاشت از مجموعه فازی  $B'$  در  $V \subset R$  (که خروجی موتور استنتاج می‌باشد) به عدد غیر فازی  $V'$  می‌باشد. غیر فازی سازی، سعی دارد نقطه‌ای در  $V$  که بهترین تقریب از مجموعه‌ی  $B'$  باشد را بیابد. چون موتورهای استنتاج متفاوت نتایج متفاوتی دارند، بنابراین روش‌های گوناگونی هم برای غیر فازی سازی سازها پیشنهاد شده است.

### سیستم‌های کنترل فازی

یک سیستم کنترل فازی شامل چهار بخش می‌باشد. فازی سازی، پایگاه داده، موتور استنتاج فازی و غیر فازی سازی. مباحث مربوط به فازی سازی و غیر فازی سازی پیش از این مطرح شده است. پایگاه اطلاعات بخشی از کنترل کننده که داده‌های مربوط به کنترل کننده در آن نگهداری می‌شود. پایگاه اطلاعات شامل دو بخش است: پایگاه داده<sup>۱</sup> و پایگاه قوانین<sup>۲</sup>. در بخش پایگاه داده، داده‌های مربوط به توابع فازی، فازی سازی، غیر فازی سازی و تعریف روابط و چگونگی استنتاج نگهداری می‌شود. در پایگاه قوانین قواعدی که بر پایه‌ی آن‌ها و با توجه به ورودی کنترل کننده، خروجی آن به دست می‌آید نگهداری شده است. این قواعد به شکل قواعد زبانی "اگر... آن‌گاه..." می‌باشند. موتور استنتاج<sup>۳</sup> مشخص می‌کند که چه رابطه‌ای بین قوانین مختلفی که در پایگاه اطلاعات وجود دارد. در حقیقت مغز متفکر یک سیستم فازی موتور استنتاج آن می‌باشد. چون بیش‌تر سیستم‌های فازی دارای قوانین گوناگونی در پایگاه اطلاعات هستند، ایجاد یک رابطه‌ی منطقی صحیح بین قوانین جهت اتخاذ تصمیم درست بسیار حائز اهمیت است. در شکل ۱ دیاگرام کلی یک سیستم کنترل فازی در شکل زیر نشان داده است.



شکل ۱- دیاگرام کلی یک سیستم فازی

- 1- Data Base
- 2- Fuzzy rule base
- 3- Fuzzy inference engine



معمولا دو نوع سیستم کنترل فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش اول توسط ممدانی و روش دوم موسوم به روش تاکاگی - سوگنو-کانگ می‌باشد. در این مقاله از سیستم فازی ممدانی استفاده خواهد شد.

### سیستم فازی ممدانی

روش ممدانی یک اجرای خیلی مستقیم از منطق فازی لطفی زاده است. سیستم فازی ممدانی اولین بار در تلاش برای کنترل یک موتور و دیگ بخار با مجموعه‌ای از قوانین کنترلی زبانی به دست آمده از تجربیات اپراتورهای انسانی ارائه شده است. یک قانون فازی در یک سیستم ممدانی به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$I_i \quad (1)$$

که A و B مجموعه‌های فازی می‌باشند، بنابراین یک ورودی باید ابتدا به یک مجموعه فازی تبدیل شده و پس از انجام استنتاج فازی، خروجی که مجموعه فازی است توسط غیر فازی ساز به یک عدد صریح برای اعمال به فرآیند تبدیل شود، بنابراین در یک سیستم ممدانی به دلیل وجود بخش غیر فازی ساز، محاسبات زمان‌گیری وارد سیستم می‌شود و به همین دلیل دیگر سیستم‌های فازی که به غیر فازی سازی احتیاج ندارند ارائه می‌شود.

### واریانس ناهمسان شرطی خودرگرسیون ARFIMA\_EGARCH

به‌طور کلی فرآیندی را ARIMA (p,q) می‌گویند که شامل P مرتبه‌ی جمله‌ی خودرگرسیون و q مرتبه‌ی جمله‌ی میانگین متحرک باشد. به عبارت دیگر شامل P مرتبه‌ی جمله با وقفه از متغیر وابسته و q مرتبه‌ی جمله با وقفه از جملات اخلاص می‌باشد. حال اگر یک سری زمانی پس از d مرتبه‌ی تفاضل‌گیری، ساکن شده و سپس توسط فرآیند ARIMA (p,q) مدل سازی شود، در این صورت سری زمانی اصلی، سری زمانی خودرگرسیون میانگین متحرک انباشته ARIMA (p,d,q) می‌باشد. (گجراتی، ۱۳۷۸)

یک مدل عمومی ARIMA (p,q) عبارت است از:

$$y_t = \mu + \phi_1 y_{t-2} + \dots + \theta_p y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_p \varepsilon_{t-p} \quad (2)$$

مدل‌های ARFIMA در شکل کلی جمعی کسری<sup>۱</sup> برای اولین بار توسط گرنجر و جویکس<sup>۱</sup> (۱۹۸۰) ارائه شده است. مدل‌های حافظه‌ی بلندمدت نشان دهنده‌ی ساختار

ناخطی بازارهای سرمایه‌اند و در نتیجه نشان می‌دهند که الگوهای خطی در توصیف ماهیت واقعی این بازارها ناکارآمد هستند. ساختار ناخطی بازار سرمایه موجب می‌شود تا پیش‌بینی آن مشکل شود. مزیت مدل ARFIMA صرفه‌جویی<sup>۲</sup> در پارامترها در مدل سازی حافظه‌ی بلندمدت است و فرآیند آن بدون مشکلات تخمین مدل‌های تقریباً نامانای می‌باشد. در ARFIMA (p,d,q) ، d پارامتر تفاضل کسری<sup>۳</sup> است و مقدار آن باید  $d \leq 0.5$  باشد؛  $\varepsilon_t$  جز خطا،  $y_t$  قیمت بازگشتی نفت در زمان t،  $\varnothing(t)$  نشان دهنده‌ی وقفه‌های خودرگرسیون و  $\Theta_t$  نشان دهنده‌ی وقفه‌های میانگین متحرک است. یک مدل ARFIMA (p,d,q) به صورت کلی زیر تعریف می‌شود.

$$\varnothing(t) (1 - L)^d y_t = \Theta_t \varepsilon_t \quad (۳)$$

الگوهای ARCH برای اولین بار توسط انگل<sup>۴</sup> (۱۹۸۲) ارائه و سپس توسط بولسلرو<sup>۵</sup> (۱۹۸۶) با عنوان GARCH یا ARCH تعمیم یافته بسط داده شده است. یکی از دلایل استفاده از مدل ARCH وجود خطاهای پیش‌بینی کوچک و بزرگ در خوشه‌های مختلف یک سری می‌باشد؛ به طوری که یک سری می‌تواند در طی سال‌های مختلف، رفتار متفاوتی از خود نشان دهد و به عبارتی در برخی از سال‌ها دارای نوسان کم و در سال‌های دیگر دارای نوسانات زیاد باشد. در چنین شرایطی انتظار بر این است که واریانس در طول زمان ثابت نبوده و تابعی از رفتار جملات خطا باشد.

معادلات برای یک الگوی GARCH (p,q) به صورت زیر تصریح می‌شود:

$$R_t = X' + \varepsilon_t \quad (۴)$$

$$h_t = \omega + \sum_{i=1}^p \alpha_i \varepsilon_{i-1}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j h_{t-j} \quad (۵)$$

که در آن  $\omega$ ،  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\gamma$  پارامترهای ثابت و  $X'$  متغیر مستقل می‌باشد. از آنجایی که واریانس  $h_t$  غیر منفی است، بایستی داشته باشیم:  $\omega > 0$ ،  $\beta_1 \dots \beta_q$ ،  $\alpha_1 \dots \alpha_q > 0$  است. ARCH(p) حالت خاصی از الگوی GARCH(p,q) زمانی که  $q=0$  است محسوب می‌شود. مدل دیگری که امکان محاسبه‌ی اثرات نامتقارن<sup>۶</sup> جملات خطای گذشته را روی واریانس خطای شرطی فراهم می‌کند، مدل GARCH مدل نمایشی EGARCH است. معادله‌ی (۶) یک مدل EGARCH است.

1- Granjer & Joyeux

2- Parsimonious

3- Fractional Integration Parameter (d)

4- Engle

5- Bollerslev

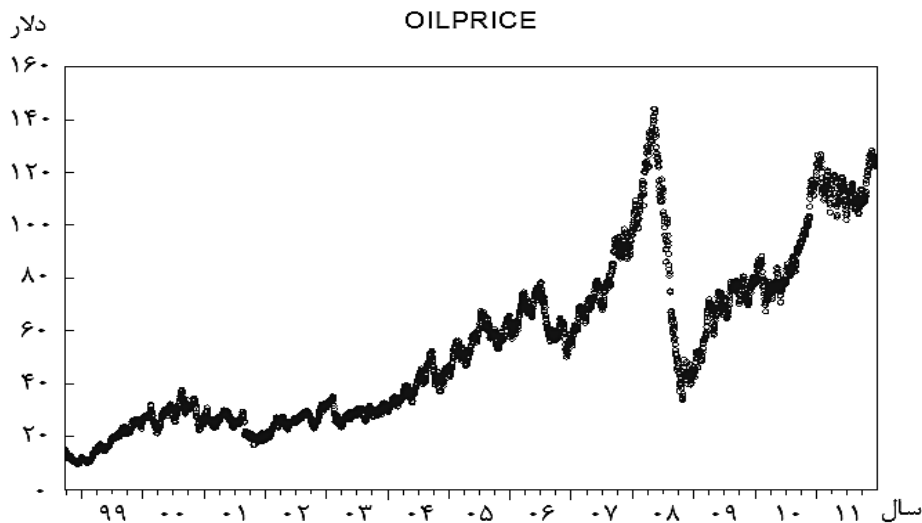
6- Asymmetric Effects

$$\ln(\delta_t^2) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\delta_{t-1}} \right| + \sum_{j=1}^q \beta_j \ln(\delta_{t-1}^2) + \sum_{i=1}^p \gamma_i \left[ \frac{\varepsilon_{t-1}}{\delta_{t-1}} \right] \quad (6)$$

#### ۴- یافته‌های تحقیق

##### پیش‌بینی قیمت نفت با منطق فازی

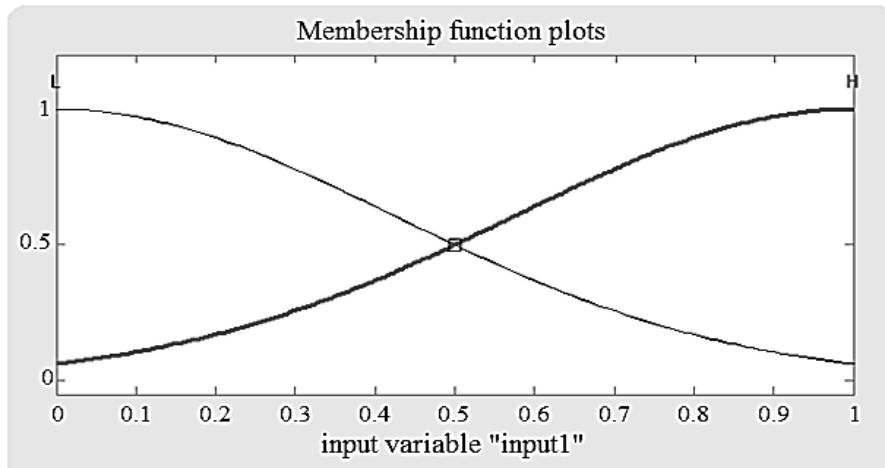
همان‌طور که در مقدمه گفته شد، در این مطالعه از سری زمانی قیمت نفت برنت دریای شمال<sup>۱</sup> به صورت روزانه استفاده می‌شود. تعداد داده‌ها برابر با ۳۴۵۶ است که از ۲۵ سپتامبر سال ۱۹۸۹ تا آخر سال ۲۰۱۱ می‌باشد.



نمودار ۱- روند سری زمانی روزانه قیمت نفت برنت دریای شمال، محور افقی نشان دهنده سال است و محور عمودی قیمت را برحسب دلار نشان می‌دهد ([www.eia.gov](http://www.eia.gov))

سیستم فازی مورد استفاده از نوع ممدانی بوده است که دارای ۵ ورودی شامل قیمت نفت در ۵ روز گذشته و یک خروجی که همان قیمت پیش‌بینی شده فرداست، می‌باشد. به طور حتم داشتن اطلاعات ۵ روز قبل برای پیش‌بینی کافی نخواهد بود و عوامل دیگری مانند: فصل‌های سال، میزان منابع، اوضاع اقتصادی و سیاسی جهان و هم‌چنین تأثیرات قیمت طلا بر قیمت نفت مؤثرند. اما در این‌جا قصد داریم ارتباط قیمت نفت را با مقادیر گذشته‌ی آن بررسی کنیم و این‌که آیا می‌توان با استفاده از منطق فازی به یک الگوی پیش‌بینی دقیق دست یافت یا خیر.

در مرحله‌ی بعد، با توجه به توابع عضویت ورودی، محدوده‌ای تعیین شده است؛ مقدار واقعی هر داده قیمت نفت باید یکی از دو تابع را انتخاب کند و به‌عنوان خروجی برای هر روز مشخص می‌شود. در شکل ۲ نمایی از تابع عضویت ورودی در نظر گرفته شده نشان داده شده است.



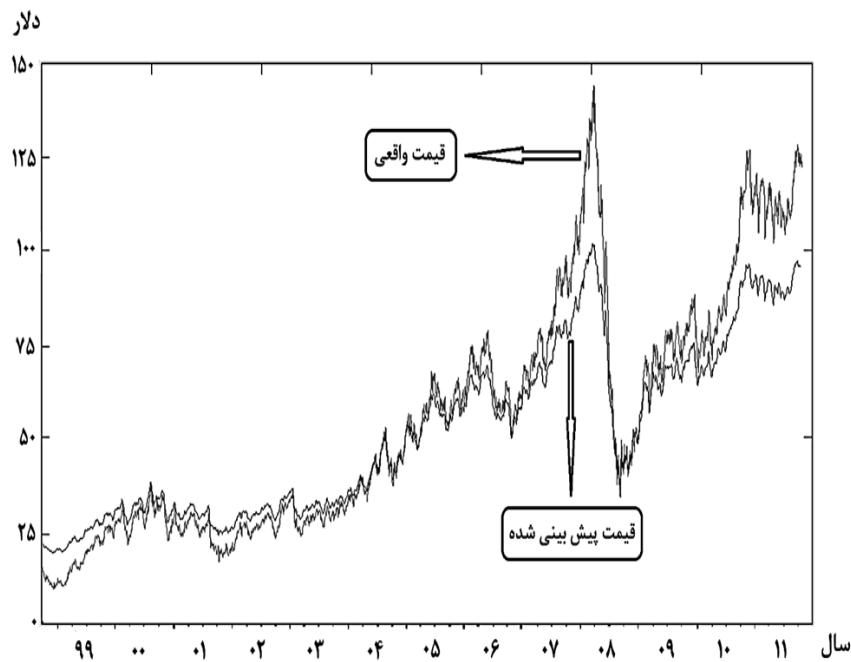
مأخذ: یافته‌های پژوهش

شکل ۲- تابع عضویت در نظر گرفته شده برای فازی سازی

همان‌طور که گفته شد ابتدا باید متغیرها را به‌وسیله‌ی تابع عضویت، فازی کرد، برای این کار همانند شکل بالا توابع عضویت را به صورت دو تابع گوسی شکل در نظر می‌گیریم.

قواعد تصمیم‌گیری<sup>۱</sup>: در این مرحله‌ی خروجی‌های مرحله‌ی قبل، ورودی‌های این مرحله می‌باشند. تعداد قواعد تصمیم‌گیری از رابطه  $n^t$  به دست می‌آید، که در آن  $n$  تعداد متغیرهای گفتاری و  $t$  عدد متغیرهای ورودی فازی است. با توجه به این‌که پیش‌بینی قیمت نفت در یک روز به ۵ روز قبلیش برمی‌گردد و همچنین این‌که برای هر روز ۲ تابع عضویت گوسی<sup>۲</sup> تعریف شده است، بنابراین حداکثر  $2^5 = 32$  قاعده‌ی تصمیم‌گیری برای سیستم فازی تعریف می‌شود. به‌عنوان مثال قاعده‌ی اول بیان می‌کند که:

- 1- Decision rules
- 2- Gaussian



منبع: یافته‌های پژوهش

نمودار ۲- مقایسه‌ی منحنی قیمت واقعی و منحنی قیمت پیش‌بینی شده (پیش‌بینی با حداقل کردن معیار خطای IEA)

اگر قیمت نفت در هر پنج روز گذشته پایینی باشد، قیمت روز ششم نیز پایین خواهد بود.

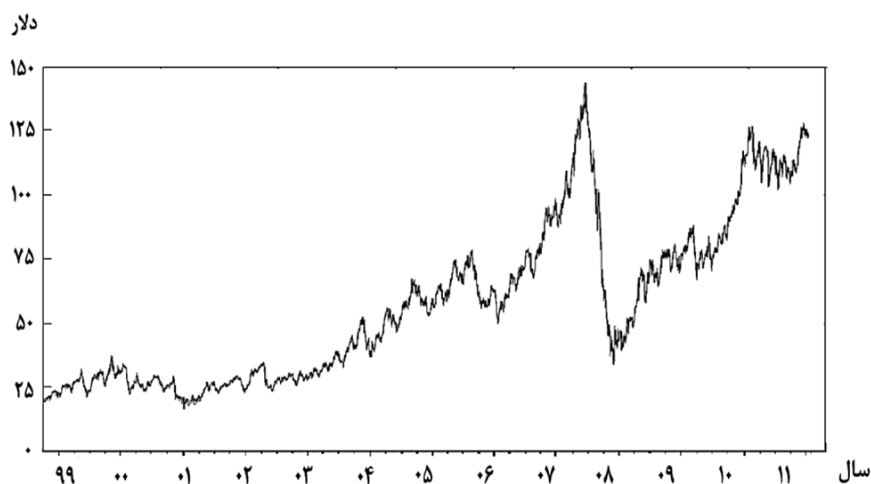
همان‌طور که مشاهده می‌شود، قاعده‌ی بالا برداشت منطقی فرد خبره از تأثیر گذشته‌ی متغیر بر اندازه‌ی آینده می‌شود. از این رو قواعد بر خلاف مدل‌سازی ریاضی دیگر به‌سادگی قابل کاربرد و درک هستند. برای تخمین از نرم افزار MATLAB استفاده می‌شود. از تابع بهینه ساز fmincon برای حداقل سازی خطا استفاده می‌شود. نخست با حداقل کردن انتگرال قدر مطلق خطا و سپس حداقل کردن انتگرال مربع خطا به همراه تأثیر زمانی بر روی توابع عضویت خروجی<sup>۱</sup>، نتایج بررسی می‌شود.

$$IEA = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (7)$$

همان‌طور که در شکل قابل مشاهده می‌شود، بعد از شوک قیمتی سال ۲۰۰۸ خطا به میزان محسوسی افزایش می‌یابد. این مسئله به این دلیل است که سیستم فازی

بیهوده خود را درگیر قیمت‌های گذشته‌های دورتر کرده است. درحالی‌که به علت تفاوت چشمگیر در قیمت‌ها، قیمت‌های خیلی قدیمی ارزش زیادی ندارند. برای بهبود خطای پیش‌بینی تصمیم به بهینه کردن توابع عضویت خروجی گرفته شده است، این کار موجب کاهش بیش‌تر خطا خواهد شد. در شکل ۳، نمایی از تابع عضویت خروجی بهینه شده مشاهده می‌شود.

نمودار پیش‌بینی قیمت نفت پس از بهینه کردن نهایی به شکل زیر در می‌آید:



منبع: یافته‌های پژوهش

نمودار ۳- مقایسه‌ی منحنی پیش‌بینی بهینه شده‌ی نهایی با مقادیر واقعی قیمت نفت (حداقل کردن معیار خطای IEA) قابل توجه است که بر هم منطبق شده اند.

در نمودار ۳ قیمت پیش‌بینی شده‌ی نهایی تقریباً بر نمودار قیمت واقعی منطبق شده و خطا به حداقل میزان خود رسیده است.

### پیش‌بینی با روش ARFIMA\_EGARCH

یک سری زمانی، دنباله‌ای از مشاهدات یک متغیر بر حسب زمان است. در مدل‌های سری زمانی، ارزش و مقادیر آتی سری زمانی بر اساس مقادیر گذشته سری پیش‌بینی می‌شود. تحلیل‌های سری زمانی مبتنی بر این فرض است که سری مانا باشد و اگر مانا نباشد بتوان با تفاضل‌گیری آن را به مدلی مانا تبدیل کرد.

هرست<sup>۱</sup> (۱۹۵۱) برای اولین بار به وجود فرآیندهای داری حافظه‌ی بلندمدت پی‌برد، معروف‌ترین و انعطاف‌پذیرترین مدل در اقتصادسنجی، مدل خودرگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی (ARFIMA) نامیده می‌شود. درجه‌ی هم‌انباشتگی کسری (d) را حافظه‌ی بلندمدت می‌نامند.

ابتدا به‌وسیله‌ی آزمون ریشه‌ی واحد مانایی سری زمانی قیمت نفت مورد بررسی قرار می‌گیرد. فرضیه‌ی  $H_0$  این آزمون مبنی بر نامانایی متغیر تأیید شده است. یکی از روش‌های مرسوم و متداول مانا کردن یک سری، روش تفاضل‌گیری است، که البته احتمال از دست رفتن بخشی از اطلاعات موجود در سری زمانی وجود دارد. از سوی دیگر، اگر از یک سری بیش از حد لازم تفاضل‌گیری شود (عمل بیش از حد تفاضل‌گیری<sup>۲</sup>)، رفتار واریانس سری تحت تأثیر قرار خواهد گرفت، به طوری که قبل از دست‌یابی به مانایی سری زمانی، واریانس سری روند کاهشی خواهد داشت و زمانی که بیش تفاضل‌گیری انجام شود، واریانس سری دوباره افزایش خواهد داشت. (اکسیو و جین<sup>۳</sup> ۲۰۰۶) بر این اساس، چنان‌چه بخواهیم هم مانایی سری را داشته باشیم و هم دچار مشکلات ناشی از بیش تفاضل‌گیری نشویم، لازم است تفاضل‌گیری کسری انجام دهیم.

اگر d پارامتر تفاضل‌گیری کسری باشد، سری زمانی غیر مانای  $X_t$  را با روش زیر می‌توان مانا کرد:

$$w_t = (1 - L)^d X_t \quad (8)$$

که در آن L، عملگر وقفه‌ی  $w_t$  و سری زمانی مانا شده است. بسط دو جمله‌ای  $(1 - L)^d$  عبارت است از:

$$(1 - L)^d = 1 - dL + \frac{d(d-1)}{2!} L^2 - \dots \quad (9)$$

برای هر عدد واقعی  $-1 < d$ ، عبارت بالا را می‌توان بر اساس یک تابع فوق هندسی نوشت:

$$(1 - L)^d = \int_{k=0}^{\infty} \frac{\delta \Gamma(k-d)}{\Gamma(k+1)\Gamma(-d)} \quad (10)$$

اگر  $0 < d < 0.5$  باشد، این فرآیند دارای حافظه‌ی بلندمدت است، به عبارت دیگر، این فرآیندها پایداری بیش‌تری از خود نشان می‌دهد و تابع همبستگی آن‌ها بسیار

1- Hurst (1951)

2- Over-differencing

3- Jin Xiu & Yau Jin (2006)

آهسته‌تر از تابع خود همبستگی ARIMA، میرا می‌شوند. به این نوع از فرآیندها فرآیندهای نویز سیاه<sup>۱</sup> می‌گویند. اگر  $0.5 < d < 1$  باشد، به علت این‌که دارای واریانس محدود نیستند، مانا نمی‌باشد. همچنین اگر  $d=1$  شود، سری تحت بررسی دارای فرآیند گام تصادفی<sup>۲</sup> خواهد بود و مقدار تابع خود همبستگی یک بوده و با اولین تفاضل‌گیری مانا می‌شود. قابل توجه است که پارامتر تفاضل‌گیری کسری شده  $w_t$ ، در واقع مجموع وزنی عناصر سری اولیه، یعنی  $X_t$ ، خواهد بود. مثلاً  $i$  امین عنصر سری تفاضل‌گیری کسری شده نه فقط به وسیله‌ی  $X_t$  و  $X_{t-1}$  تعیین می‌شود، بلکه تحت تأثیر تمامی مقادیر قبل از  $i$  سری  $X$  خواهد داشت. این ویژگی همان ویژگی حافظه‌ی بلندمدت سری<sup>۳</sup> است. همان‌طور که گفته شد، مدل  $ARIMA(p,d,q)$  به صورت کلی زیر تعریف می‌شود:

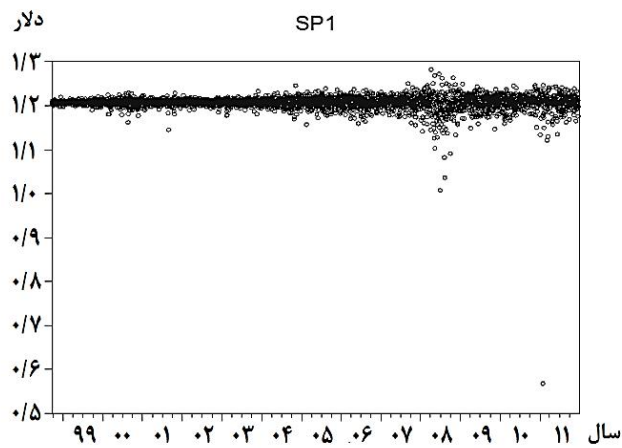
$$\Phi(t)(1-L)^d y_t = \Theta(L)\varepsilon_t \quad (11)$$

$L$ ، عملگر وقفه و  $(1-L)^d$ ، عملگر تفاضل‌گیری کسری است.  $\Theta(L)$  و  $\Phi(t)$  به ترتیب نشان دهنده‌ی مرتبه‌ی خود رگرسیونی و میانگین متحرک است. به منظور برقراری مدل ARFIMA، لازم است سه مرحله طی شود. در مرحله‌ی اول ویژگی حافظه‌ی بلندمدت بودن سری مورد بررسی قرار گرفته و پارامتر تفاضل‌گیری برآورد می‌شود. در مرحله‌ی دوم سری اولیه‌ی تفاضل‌گیری کسری می‌شود، تا فرآیند (ARFIMA) به دست آید و در پایان پارامترهای  $p$  و  $q$  با روش‌های مرسوم اقتصادسنجی برآورد می‌شوند.

پارامتر تفاضل‌گیری  $d$  حدوداً 0.0825 برابر شده و مقدار پارامتر تفاضل‌گیری  $d$  با روش Hurst به دست آمده است. روند حرکت متغیر قیمت نفت را در نمودار زیر مشاهده خواهید کرد. در دو نمودار ۷ و ۸ سری تفاضل‌گیری شده مرتبه‌ی اول و تفاضل‌گیری شده کسری مشاهده می‌شود.

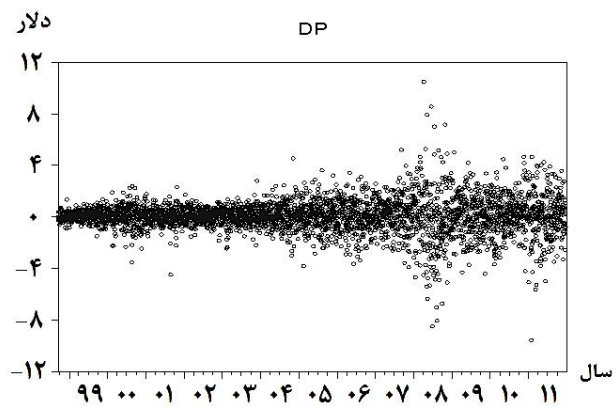
1- Black noise  
2- Random walk  
3- Long memory model





مأخذ: یافته‌های پژوهش

نمودار ۷- سری تفاضل‌گیری شده کسری



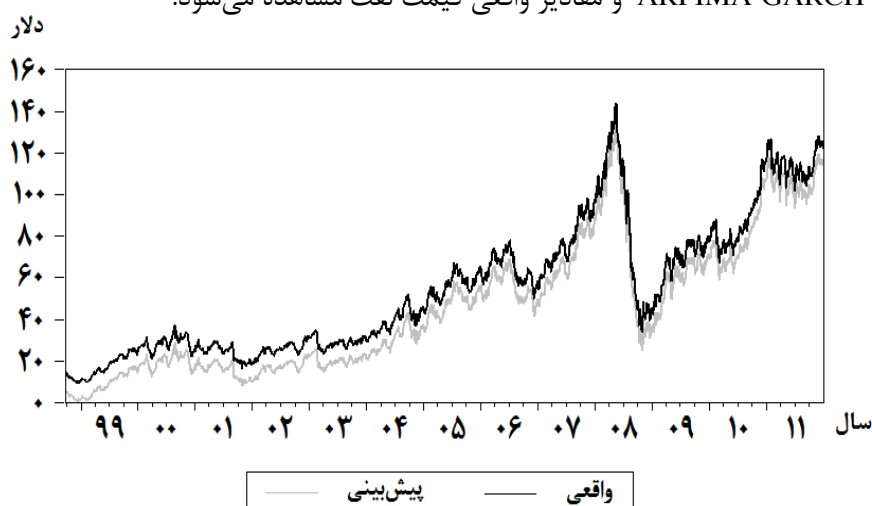
مأخذ: یافته‌های پژوهش

نمودار ۸- سری تفاضل‌گیری شده مرتبه‌ی اول

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نوسانات سری تفاضل‌گیری شده مرتبه‌ی اول در اطراف صفر دارای تغییرات نسبتاً زیاد است، اما نوسانات سری تفاضل‌گیری کسری قدری بالاتر از صفر و با تغییرات کمتر است. ضمناً هر دو سری مذکور مانا هستند. مارسلینو<sup>۱</sup> (۲۰۰۶)، به منظور انتخاب وقفه در پیش‌بینی سری‌های ماهانه‌ی متغیرهای اقتصاد کلان آمریکا با استفاده از الگوی اتورگرسیو از چهار معیار استفاده

1- Marcellinio (2006)

کرده است، که شامل انتخاب وقفه‌ی ثابت ۴، انتخاب وقفه‌ی ثابت ۱۲، معیار آکائیک<sup>۱</sup> و معیار شواترز<sup>۲</sup> بوده است. در این مقاله برای انتخاب وقفه‌ی بهینه از معیار معیار شوار-بیزین استفاده و وقفه‌ی بهینه  $p$  و  $q$  به ترتیب ۷ و ۶ تعیین و برای محاسبه‌ی پارامتر تفاضل‌گیری از روش Hurst استفاده می‌شود. در نهایت فرم کلی به‌صورت ARFIMA (6,0, 0.0825,7) تعیین می‌شود. هم‌چنین EGARCH بهینه (1,1) از درجه به‌دست آمد. در نمودار زیر نتایج نهایی قیمت نفت تخمین زده شده (Predict) با روش ARFIMA-GARCH و مقادیر واقعی قیمت نفت مشاهده می‌شود.



نمودار ۹- مقایسه‌ی مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی قیمت نفت با روش

مأخذ: یافته‌های پژوهش

### انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی

برای انتخاب بهترین روش پیش‌بینی از معیارهای خطای زیر استفاده می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، روش منطق فازی دارای خطای کم‌تری نسبت به روش شده است. لازم به یادآوری است که اختلاف شدید خطای ARFIMA-GARCH نسبت به منطق فازی (با معیار خطای توان دوم یا MSE) به دلیل تأکیدات نامناسب و غیرمعقولی است که این معیار بر خطاهای بزرگی که با احتمال بسیار کم رخ می‌دهند؛ دارد. هم‌چنین به دلیل به توان دوم رسیدن عدد خطای برآورد، این معیار خطا را به

1- Akaike Criterion

2- Schwarz Criterion

صورت تصاعدی محاسبه و در صورت بزرگ‌تر بودن خطای پیش‌بینی از عدد یک، با بزرگ‌نمایی زیادی خطا را برآورد خواهد کرد.

$$MSE = \frac{1}{T} \sum (P - A)^2 \quad (12)$$

$$NRMSE = \left( \frac{RMSE}{(A_{\max} - A_{\min})} \right) \quad (13)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum (P - A)^2} \quad (14)$$

$$MAE = \frac{1}{T} \sum |P - A| \quad (15)$$

جدول ۱- نتایج مقایسه خطای دو مدل مورد استفاده

روش برآورد				
ARFIMA-GARCH	76.176	8.648	8.727	0.064
منطق فازی	2.166	1.024	1.471	0.011

مأخذ: یافته‌های پژوهش

## ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نفت مهم‌ترین کالای تجاری جهان محسوب می‌شود. یکی از دلایل اصلی ایجاد رکود و رونق در اقتصاد جهانی قیمت نفت است. بیش‌تر کشورهای صادرکننده نفت بخش زیادی از درآمد نفتی خود را از صادرات نفت به‌دست می‌آورند. ایران به‌عنوان دومین تولیدکننده نفت اوپک، وابستگی زیادی به درآمد نفتی خود دارد، بنابراین یافتن الگوی مناسبی که بتواند قیمت نفت را پیش‌بینی کند، می‌تواند از بسیاری از آسیب‌های اقتصادی جلوگیری کند.

در این پژوهش، برای پیش‌بینی قیمت نفت از دو روش منطق فازی و خودرگرسیون برداری میانگین متحرک انباشته‌ی جزئی (ARFIMA-GARCH) استفاده شده است. داده‌های قیمت نفت به‌صورت روزانه و از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۱ به‌کاربرده شده و هم‌چنین از قیمت نفت برنت دریای شمال برای تخمین استفاده شده است.

برای از بین بردن نوسان خوشه‌ای قیمت نفت، روش EGARCH نیز با ARFIMA ترکیب شده است، تا از نوسان خوشه‌ای در قیمت نفت کاهش پیدا کند. روش منطق فازی، تا قبل از شوک نفتی ۲۰۰۸ با خطای بسیار کمی قیمت نفت را برآورد کرده، اما بعد از آن کمی خطا بالا رفته است. در نهایت از دو راه حل برای کاهش خطا استفاده شده است تا این مشکل حل شود. در مقایسه‌ی نهایی دو روش، منطق فازی با برتری قابل ملاحظه‌ای نسبت به ARFIMA\_GARCH قیمت نفت را پیش‌بینی کرده است.

### فهرست منابع

- گجراتی، دامودار (۱۹۹۵). مبانی اقتصاد سنجی، ترجمه‌ی حمید ابریشمی، مؤسسه‌ی انتشارات دانشگاه تهران. تهران، فصل ۲۲، جلد دوم.
- لی، وانگ (۱۹۹۴). سیستم‌های فازی و کنترل فازی، ترجمه‌ی محمد تشنه لب و نیما صفارپور و داریوش افیونی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.
- ابریشمی، حمید و مهرآرا، محسن و آریانا، یاسمین (۱۳۸۶). ارزیابی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی بی‌ثباتی نفت خام. مجله‌ی تحقیقات اقتصادی، شماره‌ی ۷۸، صص ۲۱-۱.
- ارشدی، علی (۱۳۹۰). مدل سازی نوسانات قیمت نفت قالبی برای اندازه‌گیری شاخص نااطمینانی بر اساس یک مدل ARIMA\_GARCH. فصلنامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی، شماره‌ی ۲۹، صص ۲۲۰-۲۰۵.
- اصفهانیان، مجید و امین ناصری، محمد رضا (۱۳۸۷). ارائه‌ی یک مدل شبکه‌ی عصبی جهت پیش‌بینی کوتاه مدت نفت خام. نشریه‌ی بین‌الملل علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، شماره‌ی ۱، صص ۳۵-۲۷.
- پورکاظمی، محمدحسین و سوزنده، محمد (۱۳۸۸). تعیین سب غذایی برای گروه‌های درآمدی مختلف با استفاده از منطق فازی. مجله‌ی تحقیقات اقتصادی، شماره‌ی ۲، صص ۹۲-۶۷.
- دشتی رحمت آبادی، سید ابراهیم و محمدی، حمید و فرج زاده، زکریا (۱۳۹۰). ارزیابی عملکرد الگوهای شبکه‌ی عصبی و خودرگرسیون میانگین متحرک در پیش‌بینی قیمت نفت خام ایران. فصلنامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی، شماره‌ی ۲۸، صص ۱۱۸-۹۷.

صادقی، حسین و وفایی یگانه، رضا و محمد غفاری، حسن و مسائلی، ارشک (۱۳۸۹) برآورد روند هزینه‌ی مبادله در اقتصاد ایران با رویکرد منطق فازی. شماره‌ی ۳، صص ۱۴۹-۱۲۵.

صادقی، حسین و وفایی یگانه، رضا و محمد غفاری، حسن و مسائلی، ارشک (۱۳۸۹) برآورد روند هزینه‌ی مبادله در اقتصاد ایران با رویکرد منطق فازی. شماره‌ی ۳، صص ۱۴۹-۱۲۵.

صادقی، حسین و مسائلی، ارشک (۱۳۸۷). رابطه‌ی رشد اقتصادی و توزیع درآمد با روند فقر در ایران با استفاده از رویکرد فازی. فصلنامه‌ی علمی پژوهش رفاه اجتماعی، شماره‌ی ۲۸، صص ۱۷۲-۱۵۱.

محمودی، وحید و محمدی، شاپور و چیت‌سازان، هستی (۱۳۸۹). بررسی روند بلندمدت در بازارهای جهانی نفت. فصلنامه‌ی تحقیقات مدل سازی اقتصادی دانشگاه علوم اقتصادی، شماره‌ی ۱، صص ۴۹-۲۹.

محمودی، تیمور و طالبلو، رضا. (۱۳۸۷). پویایی‌های تورم و رابطه‌ی تورم و عدم اطمینان اسمی با استفاده از ARFIMA-GARCH، پژوهشنامه‌ی اقتصادی، شماره‌ی ۱، صص ۱۳۷-۱۷۰.

عرفانی، علیرضا (۱۳۸۸). پیش‌بینی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران با مدل AFRIMA. تحلیل علیت بر اساس روش تودا و یاماموتو. تحقیقات اقتصادی دانشگاه تهران، شماره‌ی ۸۶، صص ۱۸۸-۱۶۳.

Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-Making in a Fuzzy Environment. *Management Science*, 17(4), B-141-B-164 .

Bhardwaj, G., & Swanson, N. R. (2006). An Empirical Investigation of the Usefulness of ARFIMA Models For Predicting Macroeconomic and Financial Time Series. *Journal of Econometrics*, 131(1), 539-578 .

Bollerslev, T. (1986). Generalized Autoregressive Conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31(3), 307-327 .

Bollerslev, T. (1987). A Conditionally Heteroskedastic Time Series Model for Speculative Prices and Rates of Return. *The Review of Economics and Statistics*, 542-547 .

Davies, R. B., & Harte, D. (1987). Tests for Hurst effect. *Biometrika*, 74(1), 95-101 .

Granger, C. W., & Joyeux, R. (1980). An Introduction to Long-Memory Time Series Models and Fractional Differencing. *Journal of Time Series Analysis*, 1(1), 15-29 .

Hou, A., & Suardi, S. (2012). A Nonparametric GARCH Model of Crude Oil Price Return Volatility. *Energy Economics*, 34(2), 618-626 .

Marcellino, M., Stock, J. H., & Watson, M. W. (2006). A Comparison of Direct and Iterated Multistep AR Methods for Forecasting Macroeconomic Time Series. *Journal of Econometrics*, 135(1), 499-526 .

Mingming, T., & Jinliang, Z. (2012). A Multiple Adaptive Wavelet Recurrent Neural Network Model to Analyze Crude Oil Prices. *Journal of Economics and Business* .

Mohammadi, H., & Su, L. (2010). International Evidence on Crude Oil Price Dynamics: Applications of ARIMA-GARCH Models. *Energy Economics*, 32(5), 1001-1008 .

Xiu, J., & Jin, Y. (2007). Empirical Study of ARFIMA Model Based on Fractional Differencing. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 377(1), 138-154 .

Yu, L., Wang, S., & Lai, K. K. (2008). Forecasting Crude Oil Price with an EMD-Based Neural Network Ensemble Learning Paradigm. *Energy Economics*, 30(5), 2623-2635 .

Zadeh, L. A. (1997). Toward a Theory of Fuzzy Information Granulation and its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems*, 90(2), 111-127 .

[www.eia.gov](http://www.eia.gov)