



پژوهشنامه‌ی اقتصاد کلان

علمی - پژوهشی

سال نهم، شماره‌ی ۱۷، نیمه‌ی اول ۱۳۹۳

پیش بینی قیمت نفت با استفاده از سامانه خبره تلفیقی

* حمید ابریشمی

** علی معینی

*** مهدی احراری

**** ویدا ورهرامی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۲/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۶/۱۰

چکیده

در تحقیق حاضر سامانه خبره تلفیقی به عنوان روشی جدید و کارآمد جهت پیش بینی قیمت نفت معرفی می‌گردد. این روش، تلفیقی از داده کاوی صفحات وب، سامانه مبتنی بر پایگاه قواعد و شبکه عصبی GMDH مبتنی بر الگوریتم ژنتیک می‌باشد. در داده کاوی صفحات وب، اطلاعات پیرامون عوامل موثر بر قیمت از سایت‌های مختلف به دست آمده و میزان تاثیر گذاری این عوامل در قالب قوانینی در سامانه مبتنی بر پایگاه قواعد ذخیره می‌گردد، این قوانین همراه با میانگین‌های متحرک کوتاه مدت و بلندمدت قیمت نفت، به عنوان ورودی شبکه عصبی جهت الگو سازی و پیش بینی قیمت نفت لحاظ می‌گردند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که به کارگیری سامانه خبره تلفیقی عملکرد پیش بینی را نسبت به مدل شبکه عصبی در حد معنی‌داری افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: سامانه خبره تلفیقی، شبکه عصبی GMDH، سامانه مبتنی بر پایگاه

قواعد، داده کاوی صفحات وب، پیش بینی قیمت نفت

طبقه بندی JEL: Q47 , C45 , C67

* نویسنده ی مسئول - استاد دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران (Email: abrihami@ut.ac.ir)

** دانشیار، مرکز انفورماتیک دانشگاه تهران و دانشکده فنی دانشگاه تهران (Email: moeini@ut.ac.ir)

*** پژوهشگر اقتصادی، دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران (Email: ahrari@ut.ac.ir)

**** کارشناس ارشد اقتصاد، دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران (Email: vida7892000@yahoo.com)

۱-مقدمه

نوسانات نامتقارن قیمت، حضور مقطعی، متراکم و غیر سیستماتیک معامله گران، بروز بحران‌هایی که دارای اثرات مستقیم و غیر مستقیم بر قیمت بوده‌اند و نیز بسیاری از عوامل برون‌زا و درون‌زای موثر بر بازارهای مختلف مالی و به ویژه بازار نفت، پیش بینی قیمت را با مشکلات زیادی مواجه کرده است. این مشکلات در دو سطح قابل بررسی است. سطح اول مربوط به پیچیدگی‌های موجود در بازار نفت به دلیل تعدد و تنوع متغیرهای موثر برون‌زا است که قدرت پیش‌بینی را تا حد بسیار پائینی (و در بعضی مواقع، حتی غیر قابل پیش بینی) تنزل می‌دهد. به عبارت دیگر همچنانکه وجود پارامترهای جامع می‌تواند ما را در ارائه تحلیل‌های بهتر و در نتیجه پیش‌بینی‌های دقیق تر یاری کند، ولی منجر به ایجاد پیچیدگی‌های سیستمی گردیده و در نتیجه عملکرد پیش‌بینی را به شدت کاهش می‌دهد. در سطح دوم ما با یک مشکل سیستماتیک که دارای رفتارهای آشوبناک می‌باشد مواجه هستیم. در حقیقت، اگرچه رفتارهای درون بازار، که برآیند عوامل درون‌زا و برون‌زا است، به طور نمادین در قیمت نوسانی و آشوبناک متجلی است، ولی در واقع یک فرآیند سیستماتیک قابل تحلیل و پیش‌بینی می‌باشد. بنابراین روش شناسی این سطوح باید به گونه ای طراحی شود که اولاً؛ بتواند پیچیدگی‌های این سیستم را الگو سازی و تحلیل کند و ثانیاً قابلیت پیش‌بینی فرآیند های پویای غیرخطی (آشوبناک) را داشته باشد.

گرچه هوش مصنوعی و شبکه‌های عصبی توانایی‌های زیادی در کشف روابط میان متغیرها، پردازش مجموعه‌های پیچیده و الگوسازی رفتارهای آشوبناک را دارند؛ ولی به تنهایی قادر به تحلیل بخش قابل ملاحظه‌ای از تغییرات و نوسانات غیر سیستماتیک عوامل برون‌زا نیستند. از طرف دیگر، سیستم‌های خبره که در استخراج قواعد و قوانین تحلیلی از داده‌های تاریخی، به خوبی عمل می‌کنند، فاقد ابزارهای پردازش و شبیه سازی در حد روش‌های هوشمند می‌باشند. براین اساس می‌توان گفت که به کارگیری ترکیبی از روش‌های مذکور می‌تواند مشکلات سطوح مورد اشاره را تا حد زیادی کاهش داده و عملکرد پیش‌بینی را به طور معنی‌داری بهبود دهد. بدین منظور در اکثر الگوسازی‌های جدید ترکیبی از روش‌های هوشمند، هوش مصنوعی و سامانه خبره استفاده گردیده، تا علاوه بر اعمال اثرات عوامل متعدد و متنوع برون‌زای موثر بر قیمت

نفت در فرآیند شبیه سازی، تأثیر همزمان عوامل درون زا و برون زا نیز در مدل سازی و پیش بینی لحاظ گردد.

در این تحقیق از سامانه خبره تلفیقی^۱ به عنوان روشی جدید استفاده شده است، که در آن عوامل موثر بر نوسانات قیمت نفت و میزان تأثیر گذاری آنها با استفاده از داده کاوی صفحات وب^۲ و استفاده از سایت های مختلف اینترنتی شناسایی شده و با توجه به روابط موجود بین عوامل کلیدی اقتصادی و سیاسی موثر بر نوسانات قیمت و میزان تأثیر گذاری آنها قواعدی در سامانه مبتنی بر پایگاه قواعد^۳ حاصل می آید، این قواعد و الگوها در قالب ورودی های شبکه عصبی وارد جریان مدل سازی می گردند و نتایج به صورت مرحله ای (معادلات لایه های پنهان) تحت یک معادله غیر خطی که با واقعیت رفتاری و ساختاری خروجی شبکه انطباق بیشتری دارد، بیان می گردند.

در بخش دوم پژوهش به معرفی پیشینه تحقیق و در بخش سوم نیز؛ به معرفی سامانه خبره تلفیقی شامل: سامانه مبتنی بر پایگاه قواعد، داده کاوی صفحات وب و شبکه عصبی پرداخته می شود. نتایج تجربی در بخش چهارم و نتیجه گیری که پایان بخش این مقاله است، در بخش پنج بیان می گردد.

۲- پیشینه تحقیق

در سال های اخیر مطالعات گسترده ای پیرامون استفاده از شبکه عصبی و سیستم خبره (به خصوص در سطح جهان)، جهت پیش بینی قیمت نفت صورت گرفته است که در اینجا به ذکر برخی از آنها می پردازیم.

کابودان و همکاران^۴ (۲۰۰۱)، در یک دوره کوتاه مدت ماهانه به پیش بینی قیمت نفت با روشهای برنامه نویسی ژنتیک^۵ و استفاده از شبکه عصبی^۶ پرداخته و با استفاده از گام تصادفی تخمین هایی به دست آوردند و نشان دادند که برنامه نویسی ژنتیک

¹ Hybrid Intelligent System

² Web-based Text Mining

³ Rule-based Expert System

⁴ Kaboudan et al, 2001

⁵ Genetic Programming

⁶ Artificial Neural Network

دارای نتایج بهتری نسبت به روش شبکه عصبی^۱ است. وانگ و همکاران^۲ (۲۰۰۴)، از سیستم تلفیقی AI جهت تلفیق شبکه عصبی، پایگاه قواعد و WTM به منظور پیش‌بینی قیمت نفت استفاده کرده و نشان دادند که این سیستم روشی موثر و منعطف جهت پیش‌بینی می‌باشد.

وانگ و همکاران (۲۰۰۵)، روش جدید TEI@I را مطرح نمودند. آنها از ترکیب روش‌های داده کاوی^۳ و روشهای هوشمند جهت پیش‌بینی قیمت نفت استفاده کرده و اثر حوادث مختلف را روی قیمت نفت بررسی نمودند و یک روش غیرخطی جهت بهبود روند پیش‌بینی قیمت نفت مطرح کردند. ناصری و احمدی (۲۰۰۶)، از یک مدل هوشمند، تلفیقی از شبکه عصبی والگوریتم ژنتیک برای پیش‌بینی ماهانه قیمت نفت استفاده کردند و نتایج رضایت بخشی به دست آوردند. مشیری و فروتن (۲۰۰۶)، قیمت‌های روزانه آتی‌های نفت خام را از ۱۹۸۳ تا ۲۰۰۳ با استفاده از روش‌های GARCH، ARIMA و با مدل منعطف و غیرخطی ANN پیش‌بینی نمودند. آنها نشان دادند که قیمت آتی نفت خام یک جریان پویای غیر خطی داشته و استفاده از شبکه عصبی مصنوعی نتایج پیش‌بینی را بهبود داده است. یو و همکاران^۴ (۲۰۰۷)، از یک شبکه عصبی با چند مرحله یادگیری جهت پیش‌بینی قیمت نفت استفاده کردند؛ که نتایج پیش‌بینی با این روش بسیار رضایت بخش بود. مهر آرا و همکاران (۲۰۰۸)، عایدی حاصل از پیش‌بینی در بازارهای آتی نفت را با روش تلفیقی شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک برآورد کرده و نشان دادند که این روش در مقایسه با الگوهای معیار از قابلیت پیش‌بینی بهتری برخوردار است. سرینی واسان^۵ (۲۰۰۸)، تقاضای انرژی را با دو نوع شبکه عصبی پیش‌بینی کرده که نتایج نشان از برتری شبکه عصبی GMDH^۶ نسبت به شبکه‌های عصبی بازگشتی دارد. ابریشمی و همکاران (۲۰۰۸)، در تحقیقی از شبکه عصبی GMDH مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای پیش‌بینی قیمت بنزین با دو روش قیاسی و قواعد تحلیل تکنیکی، استفاده کردند. متغیرهای ورودی در روش قیاسی

^۱ Artificial Neural Network

^۲ Wang et al, 2004

^۳ Text Mining

^۴ Yu et al, 2007

^۵ Srinivasan, 2008

^۶ GMDH neural network

شامل کلیه عوامل مؤثر (درون و برون سیستمی) بر قیمت بنزین و در روش تحلیل تکنیکی شامل میانگین‌های متحرک کوتاه مدت و بلند مدت بود. نتایج نشان از دقت بیش از ۹۶٪ پیش بینی و پایداری روش قیاسی و بیش از ۹۹٪ تحلیل تکنیکی داشت. همچنین در مقایسه معیارهای خطا، دقت پیش‌بینی‌های شبکه عصبی GMDH به طور معنی‌داری از الگوی رگرسیونی بهتر بود.

۳- سامانه خبره تلفیقی

سامانه خبره تلفیقی شامل مجموعه‌ای از داده کاوی صفحات وب، سامانه مبتنی بر پایگاه قواعد و شبکه عصبی می‌باشد که جهت پیش‌بینی قیمت نفت در این مقاله مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا در این قسمت به معرفی هر یک از بخش‌های سامانه خبره تلفیقی می‌پردازیم.

۳-۱) داده کاوی صفحات وب

از آنجا که بازار نفت دارای نوسانات زیادی بوده و قیمت نفت از عوامل زیادی متأثر می‌باشد، ضروری است که اطلاعات پیرامون عوامل مؤثر بر قیمت نفت و میزان اثر گذاری آنها از اینترنت جمع آوری گردد. بدین منظور روش داده کاوی صفحات وب جهت جمع آوری اطلاعات از اینترنت و طبقه‌بندی آنها جهت استفاده در سامانه مبتنی بر پایگاه قواعد مورد استفاده قرار می‌گیرد (راجمن^۱، ۱۹۹۸) عملکرد این داده کاوی مشتمل بر مراحل زیر است:

۱) اخذ ویژگی‌ها^۲

در این مرحله با استفاده از موتورهای جستجو، اطلاعات از اینترنت جمع آوری شده و در پایگاه اطلاعات ذخیره می‌گردد.

۲) تحلیل اطلاعات^۳

در این مرحله اطلاعات جمع آوری شده در مرحله قبل، خلاصه سازی شده و مورد تحلیل قرار می‌گیرند.

^۱ Rajman

^۲ Feature Extraction

^۳ Structure Analyzing

۳) طبقه‌بندی اطلاعات^۱

طبقه‌بندی اطلاعات مهمترین فعالیت در داده کاوی صفحات وب است و مهمترین هدف طبقه‌بندی اطلاعات افزایش کارایی و سرعت بخشیدن به نتیجه گیری می‌باشد. لذا در این مرحله داده‌های طبقه بندی شده جهت انجام سایر بررسی‌ها به دست آمده و بدین روش عوامل موثر بر نوسانات قیمت نفت و میزان تاثیر گذاری آنها مشخص می‌شود (شای^۲، ۲۰۰۲؛ سالتن^۳، ۱۹۹۷)

۳-۲) سامانه مبتنی بر پایگاه قواعد

در یک سامانه هوشمند پایگاه دانش^۴ ساخته می‌شود که دربرگیرنده تمامی قوانین خلاصه‌سازی و طبقه‌بندی شده مطابق با اطلاعات گذشته می‌باشد. بدین صورت مهمترین کار سامانه مبتنی بر پایگاه قواعد جمع آوری و خلاصه‌سازی قوانین در پایگاه دانش است. عوامل موثر بر قیمت نفت و میزان تاثیر گذاری آنها تعیین شده و با توجه به میزان تاثیر گذاری هریک از عوامل بر قیمت نفت در پایگاه دانش، قوانینی که معمولاً به صورت ساختار، اگر- آنگاه^۵ است، ساخته شده و در پایگاه دانش ذخیره می‌گردند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۴) یک نمونه از این قوانین در شکل (۱)، نشان داده شده است.

اگر وضعیت A روی دهد
انگاه قیمت نفت افزایش خواهد یافت،
در غیر این صورت قیمت نفت تغییری نمی‌کند.

شکل ۱. نمونه ای از قوانین ساخته شده در پایگاه دانش

بدین گونه ساختار یک سامانه مبتنی بر پایگاه قواعد به شرح زیر می‌باشد:

(۱) پایگاه دانش:

این قسمت شامل اطلاعات مفید جهت حل یک مشکل می‌باشد، که دانش یا اطلاعات به صورت قواعد مطرح می‌شوند. هر قانون یک رابطه است که به صورت ساختار "اگر-

¹ Text Classification

² Shi

³ Salton

⁴ Knowledge Base

⁵ IF-THEN

آنگاه " بیان می گردد. بدین سان هنگامی که شرایط یک قانون برقرار باشد، قانون، اتفاقی را که باید بیفتد، بیان می دارد.

(۲) پایگاه داده^۱:

این پایگاه شامل حقایق و در برگیرنده قسمت "اگر" قوانین می باشد.

(۳) پایگاه استنباط^۲:

این قسمت قوانین داده شده در پایگاه دانش و حقایق موجود در پایگاه داده را با یکدیگر مربوط می سازد.

(۴) توانایی توضیح دهی^۳:

در این قسمت باید تعریف گردد که هر نتیجه خاصی با توجه به چه ورودی و حقیقتی حاصل می آید.

(۵) استفاده از نتایج استنتاج^۴:

در این قسمت با توجه به ورودی ها و خروجی های موجود استنباط و نتیجه گیری صورت گرفته و باید با برقراری ارتباط بین حقایق و قوانین برای مشکل راه حلی ارائه گردد.

همچنین؛ مزایای سامانه مبتنی بر پایگاه قواعد به شرح زیر است (نگنویسکی^۵، ۲۰۰۵):

(۱) این سامانه با داده های ناقص و نامطمئن نیز می تواند کار کند.

(۲) در این سامانه، تولید قوانین کار ساده ای است.

(۳) ساختن قوانین در این سامانه روش خاصی را دنبال می نماید.

(۴) قوانین براساس حقایق موجود در عالم واقع حاصل می آیند.

(۵) این سامانه با دقت خوبی می تواند از روی قوانین استنباط و قوانین جدیدی را به پایگاه دانش بیفزاید.

یک سامانه مبتنی بر پایگاه قواعد با توجه به تمامی مزیت های ذکر شده در بالا، معایبی نیز دارد که می توان به موارد زیر اشاره نمود:

¹ Data Base

² Inference Engine

³ Explanation Facilities

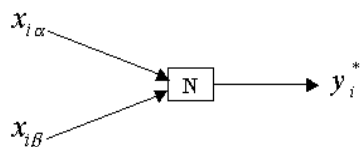
⁴ User Interface

⁵ Negnevitsky

- (۱) این سامانه با تعداد زیاد قوانین مثلاً بیش از ۱۰۰ قانون نمی تواند به درستی عمل نماید و در این حالت ناکارآمد و کند عمل می کند.
- (۲) این سامانه توانایی به روز کردن سریع دانش خود را ندارد.
- (۳) در این سامانه به علت محدودیت هایی که وجود دارد معمولاً قوانین به صورت کلی بیان می گردند و برخی از این قوانین نمی توانند همه حالات را پوشش دهند (نگنویسکی، ۲۰۰۵)

۳-۳) شبکه عصبی GMDH

شبکه ای خود سازمانده و یک سوپه می باشد که از چندین لایه و هر لایه نیز از چندین نرون تشکیل یافته است. تمامی نرون ها از ساختار مشابهی برخوردار می باشند به طوریکه دارای دو ورودی و یک خروجی است و هر نرون با ۵ وزن و یک بایاس، عمل پردازش را میان داده های ورودی و خروجی را بر اساس شکل (۲) و رابطه (۱) برقرار می کند.



شکل ۲. معرفی ساختار نرون ها

$$y_{ik}^* = N(x_{i\alpha}, x_{i\beta}) = b^k + w_1^k x_{i\alpha} + w_2^k x_{i\beta} + w_3^k x_{i\alpha}^2 + w_4^k x_{i\beta}^2 + w_5^k x_{i\alpha} x_{i\beta} \quad (1)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, N$$

کجه در آن N داده های ورودی و خروجی و $(K = 1, 2, 3, \dots, C_m^2)$ و $\alpha, \beta \in \{1, 2, 3, \dots, m\}$ می باشد و m تعداد نرونهای لایه قبلی است.

وزنها بر اساس روشهای کمترین مربعات خطا محاسبه شده و سپس بعنوان مقادیر مشخص و ثابت در داخل هر نرون جایگذاری می شود. ویژگی بارز این نوع شبکه آن است که نرونهای مرحله قبلی و یا لایه قبلی، عامل و مولد تولید نرون های جدید به تعداد $C_m^2 = \frac{m(m-1)}{2}$ می باشند و از میان نرونهای تولید شده، لزوماً تعدادی از آنها

حذف گشته تا بدین وسیله از واگرایی شبکه جلوگیری بعمل آید. (فارلو^۱، ۱۹۸۴)، نرون هایی که برای ادامه و گسترش شبکه باقی می ماندند، امکان دارد برای ایجاد فرم همگرایی شبکه و عدم ارتباط آنها با نرون لایه آخر حذف گردند، که اصطلاحاً به آنها نرون غیر فعال می گویند. معیار گزینش و حذف مجموعه ای از نرون ها در یک لایه، نسبت مجموع مربعات خطا (r_j^2) بین مقادیر خروجی واقعی (y_i) و خروجی نرون j ام (y_{ij}^*) بصورت رابطه (۲) می باشد.

(۲)

$$r_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y_{ij}^*)^2}{\sum_{i=1}^N y_i^2}$$

$$j \in \{1, 2, 3, \dots, C_m^2\}$$

نگاشتی که بین متغیرهای ورودی و خروجی توسط این نوع از شبکه های عصبی برقرار می شود به شکل تابع غیر خطی و لترا^۲ به صورت رابطه زیر می باشد (ایواخنکو^۳، ۱۹۷۱)

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m a_{ijk} x_i x_j x_k + \dots \quad (3)$$

ساختاری را که برای نرونها در نظر گرفته شده، بصورت فرم خلاصه شده دو متغیره درجه دوم زیر است:

$$\hat{y}_i = f(x_{ip}, x_{iq}) = a_0 + a_1 x_{ip} + a_2 x_{iq} + a_3 x_{ip} x_{iq} + a_4 x_{ip}^2 + a_5 x_{iq}^2 \quad (4)$$

تابع f دارای شش ضریب مجهول است که به ازای تمام زوج های دو متغیر وابسته به

¹ Farlow

² Volterra

³ Ivakhnenko

سیستم $\{(x_{ip}, x_{iq}), i = 1, 2, \dots, N\}$ ، خروجی مطلوب $\{(y_i), i = 1, 2, \dots, N\}$ را برآورد می‌کند. حال عبارت زیر را بر اساس قاعده کمترین مربعات خطا حداقل می‌کنیم:

$$\text{Min} \sum_{k=1}^N \left[(f(x_{ki}, x_{kj}) - y_i)^2 \right] \quad (\Delta)$$

براین اساس دستگاه معادله‌ای را که دارای شش مجهول و N معادله می‌باشد را حل می‌کنیم.

[illegible]

دستگاه معادله فوق را می‌توان به فرم ماتریسی زیر نمایش داد:

$$Aa=Y \tag{V}$$

که در آن

$$\mathbf{a} = \{a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}^T \quad (\text{A})$$

$$\mathbf{Y} = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_N\} \quad (9)$$

برای حل معادله لازم است که شبه معکوس ماتریس غیر مربع A محاسبه گردد.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_{1p} & x_{2q} & x_{1p}x_{1q} & x_{1p}^2 & x_{1q}^2 \\ 1 & x_{2p} & x_{2q} & x_{2p}x_{2q} & x_{2p}^2 & x_{2q}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{Np} & x_{Nq} & x_{Np}x_{Nq} & x_{Np}^2 & x_{Nq}^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

روشهای تکاملی^۱ مانند الگوریتم ژنتیک کاربرد وسیعی در مراحل مختلف طراحی شبکه های عصبی به علت قابلیت های منحصر به فرد در پیدا کردن مقادیر بهینه و امکان جستجو در فضاهای غیر قابل پیش بینی، دارند (سانچز و همکاران^۲، ۱۹۹۷؛ ایبا و همکاران^۳، ۱۹۹۶). در تحقیق حاضر، برای طراحی شکل شبکه عصبی و تعیین ضرایب آن، از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است (نریمان زاده و همکاران، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳)

۳-۴) پایگاهها و الگوی مدیریت پایگاهها^۴

الگوی مدیریت پایگاهها به علت آنکه بین قسمت های مختلف یک سامانه خبره ارتباط برقرار می کند، از اهمیت زیادی برخوردار است. به طور مثال شبکه عصبی از پایگاههای مدل^۵ و داده استفاده می کند ولی سامانه مبتنی بر پایگاه قواعد از پایگاههای دانش و داده استفاده می نماید. در الگوی مدیریت پایگاهها، پایگاه دانش شامل قوانینی که منتج از داده های موجود در پایگاه داده بوده و می تواند عوامل موثر بر نوسانات قیمت را بیان کند. الگوی مدیریت پایگاهها قوانین جدیدی را در پایگاه دانش ایجاد کرده، قوانین موجود را اصلاح می نماید و به ترکیب الگوریتم ها والگوهای سایر مدل ها می پردازد. الگوی مورد نظر در این مقاله، ترکیبی از شبکه عصبی، داده کاوی صفحات وب و سامانه مبتنی بر پایگاه قواعد را در بر می گیرد (یو و همکاران، ۲۰۰۳)

۴) نتایج

در این قسمت ابتدا به معرفی ورودی های سامانه خبره تلفیقی می پردازیم، سپس

¹ Evolutionary

² Sanchez et al

³ Iba et al

⁴ Bases and bases Management Module

⁵ Model Bases

نتایج بررسی های تجربی را با معیارهای خطا مورد بررسی قرار داده و در نهایت نتایج پیش بینی قیمت نفت خام توسط سامانه خبره تلفیقی را با شبکه عصبی مقایسه می کنیم.

۴-۱) ورودی ها (متغیرهای مدل)

در تحقیق حاضر از داده های روزانه قیمت نفت خام تک محموله (نقدی)^۱ وست تگزاس اینتر مدیت^۲ مربوط به اول ژانویه ۲۰۰۴ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۸ که از سایت EIA^۳ حاصل آمده، استفاده شده و از میانگین های متحرک ساده^۴، ۵ و ۵۰ روزه و وقفه های اول و دوم هر یک از آنها به عنوان ورودی های شبکه عصبی استفاده می شود^۵ شود^۶ (جن کی و همکاران^۷، ۱۹۹۶) قیمت های نفت مربوط به ژانویه ۲۰۰۴ تا جولای ۲۰۰۷ به عنوان داده های آموزش^۸ و بقیه داده ها برای آزمون^۹ استفاده می گردند. در این تحقیق برای مقایسه قدرت پیش بینی روش سامانه خبره تلفیقی و روش شبکه عصبی GMDH از دو معیار مهم جذر میانگین مجذور خطا (RMSE)^{۱۰} و معیار^{۱۱} Dstat استفاده می شود. معیار RMSE که توسط کاسلا ولمن (۱۹۹۹)^{۱۱} مورد بررسی قرار گرفته، مطابق رابطه (۱۱) می باشد:

^۱ Spot

^۲ West Texas Intermediate

^۳ www.eia.doe.gov

^۴ یک میانگین متحرک ساده در برگزیده مجموع قیمت های n روزه و تقسیم آنها بر n است که n می تواند از ۱ تا ۲۰۰ باشد و از این میانگین های متحرک می توان جهت تصمیم گیری های کوتاه مدت و بلندمدت استفاده نمود. معمولاً میانگین های متحرک به عنوان سیگنال های خرید و فروش مطرح می شوند و در اکثر مطالعاتی که با استفاده از سامانه خبره و شبکه عصبی برای پیش بینی صورت می گیرد، از میانگین های متحرک استفاده می گردد.

^۵ وقفه های بهینه توسط شبکه عصبی تعیین شده اند چون شبکه عصبی GMDH قابلیت تشخیص متغیرهای موثر و زائد را دارد.

^۶ Gencay et al

^۷ Training

^۸ Testing

^۹ Root Mean Square Error

^{۱۰} Direction Statistics

^{۱۱} Caslla and Lehmann, 1999

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (11)$$

که e_i بیانگر اختلاف بین ارزش پیش بینی و مقدار واقعی متغیر و n بیانگر تعداد دوره ها می باشد.

از آنجایی که در پیش بینی قیمت نفت تغییر در روند متغیر از تغییر در مقدار متغیر مهم تر است، از معیار Dstat که به صورت رابطه (۱۲) تعریف می شود، استفاده می گردد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۴)

$$Dstat = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (12)$$

به طوری که برای e_i حالات زیر برقرار است:

$$\begin{cases} e_i = 1 & \text{اگر } (y_{i+1} - y_i)(\hat{y}_{i+1} - \hat{y}_i) \geq 0 \\ e_i = 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

در این مرحله عوامل موثر بر نوسانات قیمت نفت و میزان تاثیر گذاری آنها با استفاده از داده کاوی صفحات وب و بررسی سایت های اینترنتی حاصل آمدند^۱، این عوامل به طور مختصر در جدول (۱) ذکر گردیده و شرح آنها در زیر آمده است.

- مازاد تقاضا: کشورهای امریکا، چین، ژاپن، هند و کره جنوبی حدود ۴۵٪ از تقاضای جهانی نفت، که حدود ۸۲/۵ میلیون بشکه در هرروز است، را به خود اختصاص می دهند. بسیاری از صاحب نظران علت این افزایش تقاضا را ناشی از رشد اقتصادی فزاینده و جمعیت رو به فزونی این کشورها در سال های اخیر می دانند. به طور مثال در هند میزان مصرف نفت از ۸۲/۶ میلیون بشکه در روز در سال ۲۰۰۴ به ۸۵/۶ میلیون بشکه در سال ۲۰۰۷ رسید.

^۱ www.eia.gov, www.beology.com, www.bloomberg.com, www.iirenergy.com, www.treasurydirect.gov

- کاهش مازاد گنجایش نفت^۱: افزایش تقاضا برای نفت و عدم افزایش ذخایر می تواند منجر به کاهش مازاد عرضه گردد.
- فعالیت های سفته بازی^۲: طبق مطالعات موجود نشان داده شده که قیمت آتی نفت خام، قیمت جاری آن را تحت تاثیر قرار داده و بر عرضه و تقاضای نفت خام تا حدودی موثر می باشد. به گونه ای که تغییر قیمت آتی منجر به افزایش حجم خرید و فروش نفت و به تبع آن تغییرات کاذب قیمت را ایجاد می نماید. از طرفی ارتباط بین بازار نقدی و آتی به صورت ارتباط بین بازار مالی نفت و بازار واقعی نفت می باشد که باعث نوسانات غیر واقعی در عرضه، تقاضا و قیمت نفت می گردد.
- عملکرد اوپک: در سال های اخیر عملکرد کشورهای اوپک در جهت کاهش تولید نفت خام، در افزایش قیمت آن بسیار موثر بوده است. به طور مثال در سال ۲۰۰۸، اوپک میزان تولیدات نفتی را ۴/۲ میلیون بشکه در روز کاهش داد که منجر به افزایش چند درصدی قیمت نفت خام گردید.
- رخ دادن پدیده های طبیعی مثل تند باد، طوفان و زلزله و یا سایر سوانح طبیعی (هرچند اندک) به طور کوتاه مدت روی نوسانات قیمت نفت موثر هستند.
- وجود طرح های زیست محیطی تا حدود زیادی منجر به افزایش قیمت نفت گردیده است.
- وجود بحران مالی در آمریکا تا اندازه ای بر نوسانات قیمت نفت موثر بوده که آثار عمده آن مربوط به ماه های جون و جولای می باشد.
- انتخاب اوباما به عنوان ریاست جمهوری آمریکا تا حدودی بر نوسانات قیمت نفت موثر بوده است.
- کاهش ارزش دلار: در سال های اخیر ارزش دلار پایین آمده و بدین سان قیمت نفت برای خریداران امریکایی از اروپایی گران تر گردیده است. لذا این کاهش ارزش تا حدودی می تواند منجر به افزایش قیمت نفت گردد.

^۱ Excess Capacity

^۲ Speculation

پیش بینی قیمت نفت با استفاده از سامانه خبره تلفیقی ۲۷

- رخ دادن جنگ‌های بین ملل مختلف نیز تا اندازه‌ای روی قیمت نفت موثر بوده است.

جدول ۱. طبقه بندی عوامل موثر بر قیمت نفت

روز	ماه	سال	حوادث مهم موثر بر قیمت نفت
۱-۲۵	۱۱	۲۰۰۴	ارزش دلار کاهش یافته و روی قیمت نفت موثر بوده است.
۲-۲۸	۱۲		
۳-۷	۱	۲۰۰۵	تقاضای جهانی انرژی تقریباً در همه روزهای این ماه افزایش یافته است که بیشتر از جانب هند و چین و آمریکا بوده است.
۱۰-۱۴			
۱۸-۲۱			
۲۴-۲۸			
۲۶	۱	۲۰۰۵	زلزله
۲	۶	۲۰۰۵	انجام سیاست‌های زیست محیطی
۱۰-۱۳	۵	۲۰۰۶	مازاد عرضه نفت کاهش یافت
۱۷-۲۱			
۲۴-۲۸			
۱۴	۱۲	۲۰۰۶	طوفان
۲-۵	۱	۲۰۰۷	تقاضای جهانی انرژی تقریباً در همه روزهای این ماه افزایش یافته است که بیشتر از جانب هند و چین و آمریکا بوده است.
۸-۱۲			
۱۶-۱۹			
۲۲-۲۶			
۲۲-۲۶	۱	۲۰۰۷	قطع تولید اپک تقریباً روی قیمت نفت موثر بود.
۲۹-۳۱			

۵-۹ ۱۲-۱۶ ۲۶-۲۸	۲	۲۰۰۷	تقاضای جهانی انرژی تقریباً در همه روزهای این ماه افزایش یافته است که بیشتر از جانب هند و چین و آمریکا بوده است
۱۲-۱۶ ۲۰-۲۳	۲	۲۰۰۷	قطع تولید اپک تقریباً روی قیمت نفت موثر بود.
۳-۳۰	۱۱	۲۰۰۷	ارزش دلار کاهش یافته و روی قیمت نفت موثر بوده است.
۲۶	۱۲	۲۰۰۷	طوفان
۲-۴ ۲۳-۲۵ ۳۱-۲۸	۱	۲۰۰۸	بحران مالی در آمریکا و کشورهای اروپایی روی قیمت نفت تقریباً در همه روزهای این ماه موثر بوده است.
۵	۲	۲۰۰۸	قطع تولید اپک تقریباً روی قیمت نفت موثر بود.
۲۴	۳	۲۰۰۸	گردباد
۱۵	۴	۲۰۰۸	انجام سیاست های زیست محیطی
۳	۵	۲۰۰۸	طوفان
۱۱	۵	۲۰۰۸	گردباد
۱۲ ۴-۶ ۱۰-۱۲ ۲۶-۳۰	۵ ۶	۲۰۰۸ ۲۰۰۸	زلزله سفته بازی در بازار آتی ها در برخی از روزهای این ماه افزایش یافته و روی قیمت نفت موثر بوده است.
۱-۳	۷	۲۰۰۸	سفته بازی در بازار آتی ها در برخی از روزهای این ماه افزایش

پیش بینی قیمت نفت با استفاده از سامانه خبره تلفیقی ۲۹

۹-۱۱			یافته و روی قیمت نفت موثر بوده است. ^۱
۲۹-۳۱			
۱۰-۱۴	۷	۲۰۰۸	بحران مالی در آمریکا و کشورهای اروپایی روی قیمت نفت تقریباً در همه روزهای این ماه موثر بوده است.
۱۸-۲۱			
۲۵-۲۸			
۱۱	۸	۲۰۰۸	وقوع جنگ بین روسیه و گرجستان
۱۶	۱۰	۲۰۰۸	انجام سیاست های زیست محیطی
۱۰-۱۳	۱۰	۲۰۰۸	بحران مالی در آمریکا و کشورهای اروپایی روی قیمت نفت تقریباً در همه روزهای این ماه موثر بوده است.
۱۷-۲۰			
۲۸-۳۱			
۴	۱۱	۲۰۰۸	انتخاب اوباما به عنوان ریاست جمهوری آمریکا
۱۲	۱۱	۲۰۰۸	زلزله
۳،۱۸	۱۲	۲۰۰۸	قطع تولید اپک تقریباً روی قیمت نفت موثر بود.

مهمترین قوانینی که بیانگر میزان تغییرات قیمت نفت در مقابل حوادث ذکر شده در جدول (۱) می باشد، در جدول (۲) مطرح شده اند. این قوانین با توجه به متوسط میزان تاثیرگذاری هر عامل مشخص در زمان های مختلف در فاصله سال های مورد بررسی به دست آمده اند.

^۱ www.engdehl.oil.geopolitics.net

جدول ۲. قوانین در سامانه مبتنی بر پایگاه قواعد

ردیف	اتفاق	جهت تغییرات قیمت نفت	درصد تغییرات
۱	افزایش تقاضای جهانی نفت	افزایش	۲۴-۴۹/۶
۲	کاهش مازاد گنجایش	افزایش	۱۱-۱۸/۳
۳	فعالیت سفته بازی در بازار آتی ها	افزایش	۶-۱۰/۷
۴	کاهش ارزش دلار بحران مالی در آمریکا و اروپا	افزایش	۳۴-۷۰/۶
۵	جنگ در گرجستان انتخاب باراک اوباما به عنوان رئیس جمهوری آمریکا	افزایش	۰/۵-۲/۴
۶		کاهش	۱۴-۲۷/۵
۷	سیاست های زیست محیطی کاهش عرضه نفت اوپک	کاهش	۴-۷/۳
۸	گردباد	افزایش	۰/۱-۰/۵
۹	طوفان	افزایش	۳/۹-۷/۲
۱۰	زلزله	کاهش	۰/۳-۰/۹
۱۱		افزایش	۰/۲-۰/۵
۱۲		افزایش	۱۰/۸-۱۶/۹

مطابق جدول (۲)، اغلب حوادث مهم و موثر در فاصله سال های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ و دامنه تاثیر گذاری آنها بر قیمت نفت بیان گردیده اند. بیشترین تغییرات قیمت نفت مربوط به کاهش ارزش دلار، افزایش تقاضای جهانی نفت، جنگ در گرجستان و کاهش مازاد گنجایش بوده است. کمترین دامنه تغییرات نیز مربوط به وقوع حوادث غیر مترقبه از جمله گردباد و طوفان و سیاستهای زیست محیطی می باشد. به طور نمونه افزایش تقاضای جهانی نفت در سالهای مورد بررسی منجر به افزایش قیمت در دامنه ۲۴ تا ۴۹/۶ درصد شد و انتخاب اوباما به عنوان ریاست جمهوری آمریکا منجر به کاهش ۴ تا ۷/۳ درصدی قیمت نفت گردید. بدین صورت هنگامی که حوادث مذکور روی می دهند، میزان تغییرات قیمت نفت توسط سامانه خبره مبتنی بر قواعد در پایگاه دانش ذخیره گردیده و با استفاده از این اطلاعات سامانه می تواند آثار سایر حوادث آتی مشابه را

پیش بینی قیمت نفت با استفاده از سامانه خبره تلفیقی ۳۱

بررسی نماید. در زیر به چند الگوی ساخته شده در سامانه مبتنی بر قواعد اشاره می گردد :

اگر تقاضای جهانی نفت افزایش یابد، آنگاه قیمت نفت در بازار به طور متوسط درفاصله ۲۴-۴۹/۶ درصد افزایش می یابد، وگرنه کاهش یافته و یا تغییری نمی کند.	اگر انجام فعالیت سفته بازی در بازار آتی ها افزایش یابد، آنگاه قیمت نفت در دامنه ۱۰/۷-۶ درصد ی افزایش می یابد، در غیر این صورت کاهش یافته و یا بدون تغییر می ماند.
--	--

شکل ۳. الگوی های ذخیره شده در سامانه مبتنی بر قواعد

۴-۲) نتایج پیش بینی

در این مقاله از سامانه خبره تلفیقی جهت پیش بینی قیمت نفت استفاده شده است. در سامانه خبره تلفیقی قوانین حاصل از سامانه مبتنی بر پایگاه قواعد و میانگین های متحرک قیمت نفت به عنوان ورودی های شبکه عصبی وارد جریان مدل سازی شدند و برای ۵ زیر دوره در برگیرنده ۵ سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ و کل دوره، پیش بینی صورت گرفت که نتایج آن در جدول (۳) ذکر گردیده است. از طرفی جهت بررسی نتایج پیش بینی حاصل از سامانه خبره تلفیقی، مقایسه ای بین نتایج این سامانه با نتایج حاصل از پیش بینی با شبکه عصبی GMDH و ARIMA انجام شد. معیار خوبی پیش بینی کمینه RMSE و بیشینه Dstat می باشد.

در اینجا ذکر این نکته لازم است که قبل از استفاده از معیارهای RMSE و Dstat ابتدا به بررسی آزمون های تشخیصی در خصوص جملات خطا مثل خودهمبستگی، نرمالیتی و بررسی وجود اثرات ARCH پرداخته شد. لذا دیده شد که علاوه بر عدم وجود خودهمبستگی و اثرات ARCH، جملات خطا نرمال می باشند.

در این جدول Dstat برای سامانه خبره تلفیقی، برای هر یک از زیر دوره ها و کل دوره از ۷۰٪ بیشتر بوده و RMSE برای سامانه خبره تلفیقی در همه زیر دوره ها و کل دوره مورد بررسی از شبکه عصبی کمتر می باشد که بیانگر برتری این روش جهت پیش بینی قیمت نفت خام است. از طرفی همان طور که در جدول (۲) ذکر گردید، در سال

۲۰۰۸ حوادث بیشتری روی داده که مطابق با جدول (۳) برای سامانه خبره تلفیقی در این سال RMSE کمتر از سایر سال ها و Dstat از بقیه بیشتر است، در صورتی که در مورد شبکه عصبی GMDH در سال ۲۰۰۷، RMSE کمتر از سایر سال ها است. لذا نتایج سامانه خبره تلفیقی با واقعیات تطابق بیشتری دارد. همانطور که در جدول (۳) مشاهده می شود، نتایج پیش بینی حاصل از شبکه عصبی GMDH از ARIMA در همه دوره ها بهتر است و نتایج سامانه خبره تلفیقی در همه دوره ها از دو روش GMDH و ARIMA بهتر می باشد.

جدول ۳. نتایج پیش بینی قیمت نفت با استفاده از روش های سامانه خبره تلفیقی

روش	کل دوره (۲۰۰۴-۲۰۰۸)	زیر دوره ۱ ۲۰۰۴	زیر دوره ۲ ۲۰۰۵	زیر دوره ۳ ۲۰۰۶	زیر دوره ۴ ۲۰۰۷	زیر دوره ۵ ۲۰۰۸
شبکه عصبی GMDH						
معیار جذر میانگین مجذور خطا	۳.۵۲۲	۳.۵۰۶	۳.۵۱۸	۳.۲۵۹	۳.۰۱۱	۳.۲۳۳
معیار Dstat	۵۹.۲۸	۵۰.۳۸	۵۴.۲۱	۵۸.۳۴	۶۵.۷۱	۶۸.۲۴
(٪)						
سامانه خبره تلفیقی						
معیار جذر میانگین مجذور خطا	۲.۴۹۵	۲.۹۴۲	۲.۸۶۶	۲.۸۳۰	۲.۱۷۱	۱.۹۴۸
معیار Dstat	۸۱.۳۷	۷۳.۴۹	۷۵.۸۱	۷۹.۰۰	۸۵.۴۴	۹۲.۲۶
(٪)						
ARIMA						
معیار میانگین مجذور خطا	۳.۶۴۱	۳.۵۹۲	۳.۵۲۴	۳.۲۸۱	۳.۶۰۲	۳.۵۵۶
معیار Dstat	۵۴.۵۷	۴۹.۶۷	۵۳.۳۱	۵۷.۴۲	۵۴.۷۳	۵۱.۹۱
(٪)						

شبکه عصبی GMDH و ARIMA

در این جا ذکر این نکته ضروری است که لزوماً RMSE کمینه به معنای داشتن Dstat بیشینه نیست، به طور مثال در سال های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ همچنان که RMSE مربوط به شبکه عصبی نسبت (۳.۵۱۸ و ۳.۵۰۶) به کل دوره (۳.۵۲۲) کمینه است،

Dstat این سال ها (۵۰.۳۸ و ۵۴.۲۱) نیز نسبت به کل دوره (۵۹.۲۸) کمینه می باشد (بیشینه نیست)

مطابق نتایج جدول (۳)، در سال های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ (سال های آزمون) RMSE و Dstat مربوط به شبکه عصبی و سامانه خبره بهبود یافته اند. به گونه ای که برای شبکه عصبی در این سال ها با کمینه RMSE (۳.۰۱۱ و ۳.۳۳) و بیشینه Dstat (۶۵.۷۱ و ۶۸.۲۴) مواجه هستیم و در مورد سامانه خبره در این سال ها RMSE (۲.۱۷۱ و ۱.۹۴۸) و Dstat (۸۵.۴۴ و ۹۲.۲۶) می باشد که نسبت به سایر سال ها بهتر است. لذا این نتایج حاکی از خوبی پیش بینی توسط شبکه عصبی و سامانه خبره در سال های مورد بررسی هست که برای ARIMA به این صورت نمی باشد. در قیاس بین شبکه عصبی و سامانه خبره تلفیقی، ملاحظه می گردد که در سال ۲۰۰۸ RMSE مربوط به سامانه خبره تلفیقی (۱.۹۴۸) نسبت به سال ۲۰۰۷ (۲.۱۷۱) معادل ۱۲ درصد کاهش یافته است. این در حالی است که RMSE برای شبکه عصبی از (۳.۰۱۱) در سال ۲۰۰۷ به (۳.۲۳۳) در سال ۲۰۰۸، یعنی معادل ۷ درصد افزایش یافته است. در مقایسه معیار Dstat، برای سامانه خبره تلفیقی، سال ۲۰۰۸ (۹۲.۲۶) نسبت به سال ۲۰۰۷ (۸۵.۴۴) حدود ۸ درصد افزایش داشته است. در حالی که Dstat شبکه عصبی از (۶۵.۷۱) سال ۲۰۰۷ به (۶۸.۲۴) سال ۲۰۰۸، تنها ۴ درصد افزایش یافته است، ولی با استفاده از ARIMA گویی نتایج پیش بینی بدتر شده است. بنابراین می توان گفت که به کارگیری روش های ترکیبی و سامانه خبره، عملکرد پیش بینی را بهبود داده و نتایج دقیق تر و مطمئن تری را به دنبال خواهد داشت.

۵) نتیجه گیری

در این تحقیق از سامانه خبره تلفیقی که شامل داده کاوی صفحات وب، سامانه مبتنی بر پایگاه قواعد و شبکه عصبی GMDH است، جهت پیش بینی قیمت نفت استفاده شد. بدین منظور ابتدا به بررسی عوامل موثر بر قیمت نفت با استفاده از روش داده کاوی صفحات وب پرداخته و سپس با استفاده از سامانه مبتنی بر پایگاه قواعد، با توجه به میزان اثر گذاری هر یک از عوامل موثر بر نوسانات قیمت نفت، قوانینی حاصل آمد که همراه با میانگین های متحرک ۵ و ۵۰ روزه قیمت نفت و دو وقفه هر یک از

آنها، به عنوان ورودی شبکه عصبی وارد جریان مدل سازی گردیدند. بدین سان نشان داده شد که سامانه خبره تلفیقی به ویژه در سال ۲۰۰۸ که بازارهای مالی اروپا و آمریکا با بحران شدید مواجه بودند، بهتر از شبکه عصبی و ARIMA قادر به پیش بینی قیمت نفت خام بوده، دلیل آن را نیز می توان اعمال اثرات عوامل برونزا، در قالب قوانینی به عنوان ورودی های شبکه عصبی ذکر کرد.

منابع و مآخذ:

- Abrishami H, Moeini A, Mehrara M, Ahrari M, Soleimanikia F. 2008, Forecasting Gasoline Price Using GMDH Neural Network Based on GA. Journal of Quarterly Iranian Economic Research, Allameh Tabatabaai University; 37-59.
- Amanifard N, Nariman-Zadeh N, Borji M, Khalkhali A, Habibdoust A, 2008, Modeling and Pareto optimization of heat transfer and flow coefficients in micro channels using GMDH type neural networks and genetic algorithms, Energy Conversion and Management, Volume 49; Issue 2; 311-325.
- Atashkari K, Nariman-Zadeh N, Gölcü M, Khalkhali A, Jamali A, 2007, modeling and multi-objective optimization of a variable valve-timing spark-ignition engine using polynomial neural networks and evolutionary algorithms. Journal of Energy Conversion and Management; 48; 1029-1041.
- Casella G, Lehmann E.L, 1999, Theory of Point Estimation, Springer.
- Farlow S.J, 1984, Self-organizing Method in Modeling, GMDH type algorithm; Marcel Dekker Inc.
- Gencay, Ramazan, 1996, Non-linear prediction of security returns with moving average rules. Journal of Forecasting; 15; 165-174.
- Gencay, Ramazan, Stengos, Thanasis, 1998, Moving average rules, volume and the predictability of security returns with feed forward networks. Journal of Forecasting; 17; 401-414.
- Gencay, Ramazan, 1998a, The predictability of security returns with simple technical trading rules. Journal of Empirical Finance; 5; 347-359.
- Gencay, Ramazan, 1999, Linear, non-linear and essential foreign exchange rate prediction with simple technical trading rules. Journal of International Economics; 47; 91-107.

- Iba H, deGaris H, Sato T, 1996, A numerical Approach to Genetic Programming for System Identifications. *Journal of Evolutionary Computation*; 3; 417-452.
- Ivakhnenko A.G, 1971, Polynomial Theory of Complex Systems. *IEEE Trans. Syst, Man and Cybern*; 364-378.
- Kaboudan, Penn State, Fagelsville, 2001, *Evolutionary Computation. Roceedings of the 2001 Congress*; 1; 283-287.
- Mehrara M, Moeini A, Ahrari M, Erfanifard A, 2008, Investigating the efficiency in oil futures market based on GMDH approach. *Journal of Expert Systems with Applications*; Elsevier Science.
- Moshiri S, Foroutan F, 2006, Forecasting nonlinear Crude Oil Prices *Journal of Energy*; 27; 81-95.
- Nariman-zadeh N, Darvizeh A, Darvizeh M, Gharababaei H, 2003, Modeling of explosive cutting process of plates using GMDH-type neural network and singular value decomposition. *Journal of Materials Processing Technology*; 128; 80-87.
- Naseri M, Ahmadi E, 2006, A Hybrid Artificial Intelligence Approach to Monthly Forecasting of Crude Oil Price Time series, *Journal of Engineering Application 's of Neural Network*; 284.
- Negnevitsky M, 2005, *A Guide to Intelligent Systems. Second Edition*.
- Rajman M, Besanon R, 1998, Text mining –knowledge extraction from unstructured textual data. In *The 6th Conference of International Federation of Classification Societies. Rome*.
- Salton G. Wong A. Yang C. A vector space model for automatic indexing. *Communications of the ACM*. 1971; 18; 613–620.
- Sanchez E, Shibata T, Zadeh L.A, 1997, *Genetic Algorithms and Fuzzy Logic Systems. World Scientific*.
- Shi Z, 2002, *Knowledge Discovery, Beijing, Tsinghua University Press*.
- Srinivasan D, 2008, Energy demand prediction using GMDH networks, *Neurocomputing*, 72; 625–629
- Wang S, Yu L, Lai K.K, 2004, A Novel Hybrid AI System Framework for Crude Oil Price Forecasting. *Springer –Verlag Heidelberg*; 233-242.
- Wang S, Yu L, Lai K.K, 2005, Crude Oil Price Forecasting with TEI@I Methodology. *Journal of Systems Science and Complexity*; 18.

- Yu L, Wang S.Y, Lai K.K, 2003, A hybrid AI system for forex forecasting and trading decision through integration of artificial neural network and rule-based expert system, Expert System with Applications.
- Yu L, Lai K.K, Wang S, He K, 2007, Oil Price Forecasting with an EMD –BASED Multistage Neural Network Learning Paradigm. Lecture Notes in computer science; 4489; 925-932.
<http://www.eia.doe.gov>
- www.beology.com
- www.bloomberg.com
- www.iirenergy.com
- www.treasurydirect.gov
- www.engdehl.oil geopolitics.net