پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت نفت با استفاده از شبکه‌های عصبی

محمدحسین مدیرشانه‌چی[1] ـ ارغوان علیزاده[2]

چکیده

پیش‌بینی‌های مختلف سیستمهای اقتصادی غالباً متکی به روشهای اقتصادسنجی می‌باشد و توان بالای این مدلها در برآورد معادلات خاص منجر به استفاده وسیعی از این مدلها شده است. در دهه‌های اخیر، ظهور روشهای نوین پیش‌بینی از قبیل روش شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم‌های فازی و ژنتیکی، روشهای ترکیبی و ... چالشها و راهکارهای جدیدی در علم پیش‌بینی به دنبال آورده است. در این مقاله با استفاده از شبکه عصبی رگرسیون عمومی[3] مدل هوشمندی برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت نفت ایران (پیش‌بینی برای یک ماه آینده) ارائه می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی گواه آن است که سیستم طراحی شده کارآیی مناسبی در بازه‌های زمانی مختلف از خود نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: روشهای اقتصاد سنجی، شبکه عصبی رگرسیون عمومی (GRNN).

۱. دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد hasan_shanechi@yahoo.ca

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد برق ـ کنترل دانشگاه فردوسی مشهد arghavanalizzadeh@yahoo.com

3. Generalized Regression Neural Network

۱. مقدمه

شناخت بازار نفت و توانایی ارائه پیش‌بینی صحیح از وضعیت قیمت نفت یکی از چالشهای مهم علمی در سرتاسر جهان است. خصوصاً این مساله در کشورهایی که اقتصاد آنها وابستگی بیشتری به صنعت نفت دارد (نظیر ایران) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است چرا که پیش‌بینی صحیح قیمت، تاثیرات مهمی در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های اقتصاد کلان کشور خواهد داشت. البته بر خلاف بسیاری از بازارهای مهم انرژی نظیر بازار برق که از زوایای مختلف توسط محققان مورد کندوکاو قرار گرفته‌اند، بازار نفت به‌دلیل عجین بودن با مسائل سیاسی، اجتماعی، مصالح اقتصادی و ... ، بسیار از عرصه تحقیقات و علوم نوین پیش‌بینی به دور مانده است به گونه‌ای که همان تعداد معدود مطالعات انجام شده نیز غالباً بر پایه روشهای اقتصادسنجی استوار است. از جمله افرادی که تحقیق در زمینه پیش‌بینی قیمت نفت با استفاده از سری‌های زمانی خطی و غیرخطی را تجربه نموده‌اند می‌توان به Pindyck [۱]، Morana [۲] و Sadorsky [۳] اشاره نمود. نتایج این تحقیقات حاکی از پیش‌بینی نسبتاً مطلوب قیمت نفت بوده است اما تحقیقات Kuan و White [۴]، Swanson و White [۵]، Moshiri و Cameron [۶] حاکی از آن بود که به دلیل ماهیت پیچیده و آشوبی بودن سریهای زمانی اقتصادی از جمله داده‌های مربوط به بازار نفت، استفاده از یک شبکه قابل انعطاف غیرخطی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، به‌مراتب نتایج بهتری در مقایسه با مدل‌های خطی و غیرخطی کلاسیک در اختیار می‌گذارد. در واقع همانطور که Zhang و همکارانش در تحقیق خود در سال ۲۰۰۱ به آن اشاره کرده اند [۷]، مدل‌های خطی و غیرخطی موجود که برای پیش‌بینی سری‌های زمانی غیرخطی استفاده می‌شوند ممکن است برای یک مسئله خاص یا داده خاص خوب عمل نمایند اما نمی‌توان از این ابزارها به‌عنوان یک راه‌حل کلی برای برخورد با کلیه مسائل که دارای انواع پیچیدگی‌ها هستند استفاده نمود، در حالی که شبکه‌های عصبی به‌دلیل خاصیت معروفشان که تقریب‌گرهای عمومی[1] هستند می‌توانند انواع داده‌های آموزشی را فرا گرفته و بر اساس آن پیش‌بینی دقیقی ارائه نمایند. در تحقیق دیگری که در سال ۱۳۸۴ در خصوص پیش‌بینی میزان تقاضای نفت اوپک توسط دکتر عادل آذر و دکتر علی رجب‌زاده بر اساس ورودی‌های قیمت نفت، تولید ناخالص داخلی خریداران نفت اوپک، میزان مصرف انرژی‌های جانشین نفت، ارزش‌افزوده بخش صنعت و جمعیت کشورهای OECD صورت پذیرفت نیز مجدداً قوت شبکه‌های عصبی در خصوص پیش‌بینی داده‌های پیچیده مورد

1. Universal Approximator

تأکید قرار گرفت [۸].

با وجود تحقیقات بسیار معدود قبلی، در این مقاله برای اولین بار سیستمی هوشمند و کامل برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت نفت ایران (پیش‌بینی برای یک ماه آینده) طراحی شده است. روند کار به این صورت است که ابتدا شبکه عصبی مورد استفاده برای پیش‌بینی قیمت نفت، معرفی می‌شود. سپس عوامل تاثیرگذار بر قیمت نفت ایران و ورودی‌های شبکه عصبی نهایی می‌گردند. ورودیهای نهایی شده، ترکیبی از ورودی‌های ممکن هستند که برای اولین بار در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته اند. پس از آن سیستم هوشمند با توجه به این ورودی‌ها طراحی شده و خروجی آن بررسی می شود.

۲. معرفی شبکه عصبی رگرسیون عمومی (GRNN)

شبکه عصبی رگرسیون عمومی توسط D. Specht در سال ۱۹۹۱ برای شناسایی و مدل‌سازی سیستم‌ها توسعه داده شد و می‌توان گفت این شبکه تعمیمی از شبکه‌های عصبی احتمالی می باشد [۹] ، [۱۰]. در واقع ایده اصلی که در ورای GRNN وجود دارد این است که می‌توان هر تابعی را با در اختیار داشتن مجموعه‌ای از زوج داده‌های ورودی ـ خروجی تخمین زد. با فرض اینکه تابع مورد نظر دارای بردار ورودی $\vec{X}$ و یک خروجی باشد، میانگین مورد انتظار خروجی برای یک ورودی را می‌توان به صورت زیر به دست آورد:

$$\bar{y}(\vec{x}) = E\left[y \,|\, \vec{x}\right] = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} y\, pdf(\vec{x}, y)\, dy}{pdf(\vec{x})} = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} y\, f(\vec{x}, y)\, dy}{\int_{-\infty}^{+\infty} f(\vec{x}, y)\, dy} \qquad (۱)$$

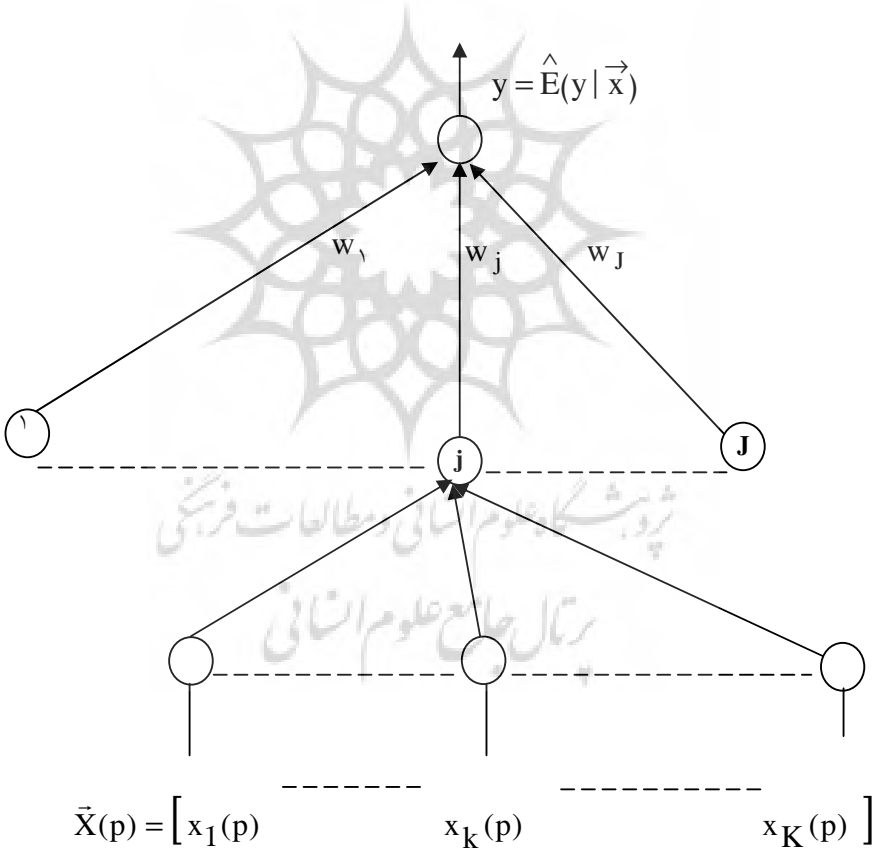
در عمل $f(\vec{x},y)$ موجود نمی‌باشد اما با استفاده از مشاهدات انجام شده (PT تعداد مشاهدات است) رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\hat{E}(y|\,\vec{X}) = \frac{\sum_{p=1}^{PT} y(p)\exp(-d_p^2/2\delta^2)}{\sum_{p=1}^{PT} \exp(-d_p^2/2\delta^2)} \qquad (۲)$$

$$d_p = \sqrt{(\vec{x} - \vec{x}(p))^T (\vec{x} - \vec{x}(p))} \qquad (۳)$$

در روابط فوق δ پارامتر انتخابی است که بر اساس سعی و خطا به دست می‌آید، البته در عمل و در هنگام وجود داده‌های زیاد، روش بالا محاسبات زیادی را به‌دنبال دارد که برای اجتناب از آن، داده‌ها را خوشه‌بندی کرده و از مراکز خوشه‌ها (به جای استفاده از هر مشاهده به‌طور جداگانه) استفاده می‌کنیم.

شکل زیر یک شبکه GRNN را نشان می‌دهد:



شکل ۱. معماری شبکه GRNN

روابط حاکم بر این شبکه به صورت زیر است [۱۰] ($\vec{X}$ بردار ورودی و y خروجی شبکه می‌باشد):

$$\hat{E}(y|\vec{X}) = \frac{\sum_{p=1}^{PT} y(p)\exp(-d_p^2/2\delta^2)}{\sum_{p=1}^{PT}\exp(-d_p^2/2\delta^2)} \qquad (۴)$$

$$d_p = \sqrt{(\vec{x}-\vec{x}(p))^T(\vec{x}-\vec{x}(p))}$$

$$w_j = \frac{y_j}{\sum_{p=1}^{PT}\exp(-d_p^2/2\delta^2)} \qquad (۵)$$

در سیستم‌طراحی‌شده برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت نفت ایران، میزان پراکندگی توابع گوسی (δ) در شبکه GRNN با سعی و خطا برابر با ۰/۰۱ در نظر گرفته شده است. این پارامتر بایستی بر اساس نیاز مساله به گونه‌ای طراحی شود که توابع گوسی را بیش از حد فشرده و یا بیش از حد پخش نسازد.

۳. معرفی عوامل تاثیرگذار بر قیمت نفت ایران

بر اساس اطلاعات بدست آمده از بخش بین‌الملل نفت وزارت نفت و نیز سازمان مطالعات انرژی کشور، مبنای قیمت‌گذاری نفت ایران برای فروش به اکثر کشورهای جهان، قیمت نفت در بازار Brent انگلستان (و یا در اصطلاح قیمت نفت برنت) می‌باشد. ملاک عمل در این مقاله نیز قیمت‌گذاری نفت ایران بر پایه نفت برنت است اما قیمت نفت ایران به‌طور دقیق با برنت مساوی نیست بلکه بخش امور بین‌الملل نفت در دوره‌های زمانی مشخصی فرمولی را برای محاسبه قیمت نفت ایران بر اساس قیمت نفت برنت اعلام می‌دارد (فرضا این سازمان اعلام می‌کند که تا اطلاع ثانوی قیمت نفت ایران برابر با نفت برنت منهای ۴/۴ دلار بایستی تثبیت شود). به این ترتیب قیمت نفت ایران در اوپک بر مبنای نفت برنت و تصحیحات اعلام شده از سوی بخش بین‌الملل نفت مشخص می‌گردد. تصحیحات فوق بر مبنای مصالح اقتصادی و سیاسی کشور صورت می‌گیرد. لذا پیش‌بینی قیمت نفت ایران به

پیش‌بینی قیمت نفت برنت و شناسایی عوامل موثر برآن مبتنی است. لذا پارامترهای مهم، مستقل و موثری که در پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت نفت برنت به عنوان ورودیهای سیستم هوشمند در این مقاله لحاظ شده‌اند به شرح زیر می‌باشند: (لازم به ذکر است با کمک اطلاعات به‌دست آمده از مرجع [۱۱] و نیز سازمان مطالعات انرژی کشور، عوامل متعددی به عنوان پارامترهای موثر بر قیمت نفت برنت شناخته شده و به‌عنوان ورودی به سیستم اعمال شدند. در نهایت پس از بررسی نتایج به دست آمده، مجموعه عوامل زیر از میان عوامل فوق انتخاب شده و به عنوان جامع ترین مجموعه مورد استفاده قرار گرفتند.)

۱. میزان ظرفیت پالایشگاههای آمریکا (U.S. refinery capacity)
۲. میزان رشد تولیدناخالص‌داخلی درآمریکا (U.S. gross domestic product growth)
۳. حداکثر ظرفیت و توانایی تولید اوپک (OPEC total liquids capacity)
۴. میزان ذخائر بنزین در بخش‌خصوصی آمریکا (U.S. gasoline ending stocks)

داده خروجی که همان قیمت نفت برنت است به صورت ماهانه می‌باشد، ضمن آنکه کل بازه آموزش (train set) و تست شبکه (test set) به سال ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۰۳ میلادی بر می‌گردد. یعنی کل داده‌های موجود حدود ۲۳۰ داده است که این رقم برای آموزش شبکه عصبی رقم کمی است. لذا با استفاده از دستور نمونه‌برداری (Resample) در نرم‌افزارMatlab از روی داده‌های موجود تعداد زیادی داده جدید البته با حفظ داده‌های واقعی ساخته شده است. لازم به ذکر است داده‌های مربوط به میزان رشد تولید ناخالص داخلی در آمریکا (gdp) به صورت فصلی و داده‌های مربوط به حد اکثر ظرفیت و توانایی تولید اوپک به صورت سالیانه موجود می‌باشند. نبود داده‌های دقیق ماهانه برای این دو پارامتر مسلما باعث بروز مقداری خطا در نتیجه نهایی خواهد شد اما به‌هرحال برای رفع این مشکل ابتدا داده‌های مربوط به gdp با نرخ نمونه‌برداری مساوی ۳ و داده‌های مربوط به حداکثر ظرفیت اوپک با نرخ نمونه‌برداری مساوی ۱۲ نمونه‌برداری شده و کلیه داده‌ها از لحاظ ماهانه‌بودن آنها همگن شدند، سپس کلیه اطلاعات ماهانه حاصله به دو بخش آموزش و تست تقسیم‌بندی گردیده و داده‌های آموزشی مجدداً نمونه‌برداری شدند. در نمونه‌برداری از داده‌های موجود داده‌های اصلی کماکان بدون تغییر باقی می‌مانند. به این ترتیب با ایجاد تعداد داده‌های بیشتر و انتخاب نرخ نمونه‌برداری مناسب شبکه به نحو مناسب تحت آموزش قرار گرفت و همانطور که در بخش نتایج نیز مشخص است این کار در نهایت منجر به آموزش بهتر و پیش‌بینی دقیق‌تر قیمت نفت توسط شبکه عصبی موردنظر شده است به این معنی که اگر نرخ نمونه‌برداری را برابر با ۱ قرار داده به گونه‌ای که

هیچ‌گونه نمونه‌برداری از داده‌ها انجام نشود، خطا در نتایج به مراتب افزایش می‌یابد. در این مقاله نرخ نمونه‌برداری برابر با ۵ در نظر گرفته شده که این مقدار بهینه بر اساس سعی و خطا تعیین گردیده است.

۴. بررسی نتایج

معیار خطا در این مقاله خروجی واقعی منهای خروجی سیستم هوشمند می‌باشد. با توجه به این‌که هدف، پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت نفت است، اگرچه در نتایج بدست آمده پیش‌بینیها بعضاً برای ۳ ماه آینده نیز آورده شده اما ملاک عمل ارائه پیش‌بینی مناسب تنها برای یک ماه آینده می‌باشد.

۴-۱. ارائه نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیستم

در این مرحله سیستم برای ۳ دوره زمانی مختلف به‌شرح زیر مورد آزمایش و تست قرار می‌گیرد.

۱. در اولین دوره، دوره آموزش شبکه از ژانویه سال ۱۹۸۵ آغاز و به انتهای نیم سال اول ۲۰۰۱ ختم می‌گردد. سپس این سیستم برای ۳ ماهه سوم سال ۲۰۰۱ تحت آزمایش قرار می‌گیرد.

۲. در دومین دوره ، دوره آموزش شبکه از ژانویه سال ۱۹۸۵ آغاز و به انتهای نیم سال اول ۲۰۰۲ ختم می‌گردد، سپس این سیستم برای ۳ ماهه سوم سال ۲۰۰۲ تحت آزمایش قرار می‌گیرد.

۳. در سومین دوره، دوره آموزش شبکه از ژانویه سال ۱۹۸۵ آغاز و به انتهای نیم سال اول ۲۰۰۳ ختم می‌گردد، سپس این سیستم برای ۳ ماهه سوم سال ۲۰۰۳ تحت آزمایش قرار می‌گیرد.

نتایج حاصل از این شبیه‌سازیها در جداول زیر آمده است

جدول ۱. نتایج حاصل از تست سیستم در اولین دوره آموزشی

	مقدار واقعی	مقدار پیش بینی شده	مقدار خطا
ماه جولای	۲۴/۶۶	۲۵/۳۷	-۰/۷۱
ماه آگوست	۲۵/۷۸	۲۴/۷۸۸۷	۰/۹۹۱۳
ماه سپتامبر	۲۵/۸۴	۲۵/۲۳۸۳	۰/۶۰۱۷

جدول ۲. نتایج حاصل از تست سیستم در دومین دوره آموزشی

	مقدار واقعی	مقدار پیش بینی شده	مقدار خطا
ماه جولای	۲۵/۷۹	۲۵/۸۰۷۳	-۰/۰۱۷۳
ماه آگوست	۲۶/۶۸	۲۵/۸۷۲۰	۰/۸۰۸۰
ماه سپتامبر	۲۸/۲۸	۲۵/۸۶۹۹	۲/۴۱۰۱

جدول ۳. نتایج حاصل از تست سیستم در سومین دوره آموزشی

	مقدار واقعی	مقدار پیش بینی شده	مقدار خطا
ماه جولای	۲۸/۳۴	۲۷/۴۳۲۹	۰/۹۰۷۱
ماه آگوست	۲۹/۷۸	۳۲/۵۳۹۸	-۲/۷۵۹۸
ماه سپتامبر	۲۷/۳۲	۳۰/۲۶۵۲	-۲/۹۴۵۲

۴-۲. تحلیل نتایج به‌دست‌آمده

در نتایج فوق عملکرد دقیق شبکه عصبی طراحی شده در تعقیب روند تغییرات قیمت نفت کاملا مشخص است. متوسط قیمت در مجموعه آموزشی اولین بازه ۱۹/۳۰۱۷ دلار، در دومین بازه ۱۹/۴۹۷۴ و در سومین بازه ۱۹/۹۴۹۸ می‌باشد. همچنین متوسط قیمت در مجموعه تست شبکه در اولین بازه ۲۵/۴۲۶۷ دلار و در بازه دوم و سوم به ترتیب برابر با ۲۶/۹۱۶۷ و ۲۸/۴۸ است. متوسط خطا (که از حاصل جمع قدرمطلق خطاها تقسیم بر تعداد ماهها به‌دست آمده است) نیز برای این ۳ بازه به ترتیب برابر با ۰/۸۳۹۱، ۱/۲۹۰۱ و ۲/۱۹۰۷ می‌باشد. آمار فوق حاکی از آن است که متوسط خطا با گذشت زمان روند افزایشی داشته که البته دلیل این مسئله افزایش تدریجی قیمت نفت طی این سه سال است. در واقع همانطور که از پارامتر متوسط قیمت در مجموعه‌های آموزشی این سه سال نیز مشخص است؛ سیستم، آموزش زیادی برای قیمتهای بالاتر از ۲۵ دلار ندیده اما توانسته است عمل پیش‌بینی را در این سه سال به نحو مطلوبی با استفاده از داده‌های ورودی انجام دهد.

یکی دیگر از دلایل عملکرد مطلوب سیستم در این حالت، تغییرات مستمر و روند افزایشی قیمت نفت در داده‌های مربوط به چند سال اخیر در مجموعه های آموزشی شبکه بوده است، به این معنی که افزایش قیمت صورت گرفته در سال ۲۰۰۳ به صورت ناگهانی و غیرمنتظره و در پی ایجاد بحران رخ نداده بلکه روند تغییرات از ابتدای این سال سیر

صعودی داشته است. بدیهی است که برای شبکه عصبی، پیش‌بینی این روند از روی پارامترهای ورودی به‌مراتب راحت‌تر از پیش‌بینی ناگهانی قیمت خواهد بود.

۵. مقایسه نتایج با نتایج به‌دست آمده قبلی

طبق اظهارنظر کارشناسان سازمان مطالعات انرژی کشور که از سال ۱۳۸۴ به صورت مداوم اقدام به پیش‌بینی قیمت نفت با استفاده از روشهای اقتصادسنجی نموده‌اند، تاکنون تحقیق معتبری با مضمون پیش‌بینی قیمت نفت با استفاده از روشهای نوین انجام نشده، همچنین در وب سایتها نیز هیچ‌گونه مقاله معتبر و جدیدی در این خصوص مشاهده نشده است. برای مقایسه، نتایج با نتایج ارائه شده در ماخذ معتبر [۱۱] مقایسه شده و در ذیل آمده است، البته در این مرجع، قیمت نفت WTI پیش‌بینی شده اما با توجه به نزدیک بودن قیمت نفت Brent به WTI و نیز با توجه به این که هدف، مقایسه خطای پیش‌بینی برای دوره‌های زمانی مختلف می‌باشد، از نتایج موجود در این مرجع استفاده شده است.

در مرجع [۱۱]، روش استفاده شده برای پیش‌بینی، روش کلاسیک است. مقایسه نتایج، حاکی از عملکرد به‌مراتب بهتر سیستم طراحی شده در این تحقیق نسبت به مدل استفاده شده در مرجع [۱۱] می‌باشد. به‌عنوان مثال خطای موجود در پیش‌بینی قیمت نفت WTI در سه ماهه سوم سال ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ حدودا ۲/۷ و در سه ماهه سوم سال ۲۰۰۳ برابر با ۳/۲ دلار است که نسبت به مدل ما خطای بالایی است و همانطور که دیده می‌شود سیستم طراحی شده در این مقاله در مقایسه با تحقیقات قبلی، کارآیی خوب و قابل قبولی از خود نشان داده است.

در نهایت سیستم طراحی شده توانسته است وظیفه پیش بینی را به نحو مطلوب و با دقت مناسب در دوره های زمانی مختلف انجام دهد ضمن اینکه به دلیل قابلیت سیستم در یادگیری الگوهای جدید ورودی، توانایی و قابلیت اطمینان سیستم به مرور زمان مرتباً رو به افزایش است که این نیز یکی دیگر از خصوصیات مثبت سیستم طراحی شده محسوب می‌گردد.

۶. پیشنهادات

از جمله مطالعاتی که در راستای این مقاله و به منظور انجام تحقیقات بیشتر می‌تواند صورت پذیرد، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. تلاش برای دستیابی به مجموعه ورودیهای بهتر و موثرتر به‌گونه‌ای که مجموع

عوامل فوق منجر به ایجاد درک قویتر و پاسخهای بهتری از سوی سیستم شوند.

۲. تغییر نوع شبکه پیش‌بینی‌کننده از GRNN به انواع دیگر شبکه های عصبی موجود و یا حتی استفاده از سایر الگوریتم های هوشمند نظیر ژنتیک الگوریتم، منطق فازی.

۷. مراجع

[1] R.Pindyck, "The long-run evolution of energy prices", Energy Journal, vol. 20, No. 2, 1999.

[2] C. Monara, "A semi parametric approach to short term oil price forecasting", Energy Economics, vol. 23, pp. 325-388, 2001.

[3] P.Sadorsky, "Time varying risk premiums in petroleum prices", Energy Economics, vol. 24, pp.539-556, 2002.

[4] C.M.Kuan and H.White, "Artificial Neural Networks: An econometric perspective", Econometric Reviews, vol. 13, pp. 139-143, 1994.

[5] N.R.Swanson and H.White, "model selection approach to real time macroeconomic forecasting using linear models and artificial neural networks", The review of Economics and Statistics, MIT press, vol. 79, pp. 540-550, 1997.

[6] S.Moshiri and N.Cameron, "Neural network versus econometric models in forecasting inflation", Journal of Forecasting,vol.19, pp. 201-217, 2000.

[7] G.Zhang, E.B. Pattuwo, and M.Y.Hu ,"A Simulation study of artificial neural networks for nonlinear time series forecasting", Computers & Operation Research, vol.28, pp.381-396, 2001.

[۸] آذر، عادل و علی رجب زاده"طراحی مدل پیش بینی در صنعت نفت" فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۳۴، صفحه ۶۲-۳۳ ،سال ۸۴

[9] D.F.Specht, "Probabilistic neural networks", Neural Networks, vol. 3, pp. 109-118, 1990.

[10] D.F.Specht, "A general regression neural network", IEEE Trans.,Neural Networks, vol. 2, pp. 568-576, 1991.

[11] http://www.eia.doe.gov