DOR: 20.1001.1.24234931.1398.6.2.9.1

سال ششم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۸، ص ص ۷۱-۷۷

فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۱۳

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۰۸

مقایسه مدل‌های ANN، PSO-ANN و GA-ANN در پیش‌بینی قیمت اوج روزانه برق، مطالعه موردی: بازار برق ایران

مریم پرهیزکاری[۱]، حامد مازندرانی زاده[۲*]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

* قزوین، پست الکترونیکی نویسنده عهده دار مکاتبات: mazandaranizadeh@eng.ikiu.ac.ir

چکیده

انرژی برق‌آبی یکی از مهم‌ترین شیوه‌های تأمین انرژی در ساعت‌های اوج مصرف است. تجدید ساختار در صنعت برق باعث ایجاد رقابت در بین عرضه‌کنندگان برق کشور شده است. به‌منظور افزایش سود سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری بهتر از منابع، تخمین قیمت آینده برق از اهمیت ویژه‌ای نزد تولیدکنندگان برخوردار است. شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های هوش مصنوعی، کاربردهای فراوانی در تخمین و پیش‌بینی پدیده‌ها دارند. اخیراً به‌منظور بهبود عملکرد مدل مدلهای هوش مصنوعی، ترکیب آنها با مدل‌های بهینه‌سازی رواج زیادی یافته است. هدف از این تحقیق مقایسه عملکرد مدل‌های ANN، PSO-ANN و GA-ANN در پیش‌بینی داده‌های پراکنده و سینوسی قیمت اوج روزانه برق در کشور ایران است. نتایج نشان می‌دهد استفاده از مدل‌های PSO-ANN و GA-ANN در این مطالعه موردی، برتری نسبت به مدل ANN نداشته و منجر به بهبود عملکرد و پیش بینی داده‌های بازار برق نشده است. به نحوی که MSE مدل‌های ANN، PSO-ANN و GA-ANN به ترتیب برابر ۰/۰۰۱۱، ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۲۴ هزار ریال بر مگاوات ساعت به دست آمده است.

کلیدواژگان: پیش‌بینی قیمت برق، شبکه‌های عصبی مصنوعی، بازار برق

Comparison of ANN, PSO-ANN and GA-ANN models in forecasting peak daily electricity prices, Case study: Iran Electricity Market

Maryam Parhizkari[1], Hamed Mazandarani Zadeh[2]

1- M.S. Graduated, Water Science and Engineering Group, IKIU

2- Assistant Professor, Water Science and Engineering Group, IKIU

* Qazvin, Iran, mazandaarnizadeh@eng.ikiu.ac.ir

Received: 4 December 2018 *Accepted: 27 February 2019*

Abstract

Hydro-power is one of the most important ways of providing energy in peak hours. Restructuring in the electricity industry has created rivalry among the country's electricity suppliers. In order to increase the profitability of investment and better utilization of resources, estimating the future price of electricity is of particular importance to producers. Artificial Neural Networks (ANNs), as one of the most important methods of artificial intelligence, have many uses in predicting and predicting phenomena. Recently, in order to improve the performance of the model of artificial intelligence models, their combination with optimization models has become widespread. The purpose of this study was to compare the performance of ANN, PSO-ANN and GA-ANN models in predicting the dispersed and sinusoidal data of peak daily electricity prices in Iran. The results show that the use of PSO-ANN and GA-ANN models in this case study has no superiority to the ANN model and has not improved the performance and forecast of the electricity market data.

Keywords: Electricity prices prediction, Artificial Neural Networks, Electricity Market

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر ساختار صنعت برق دچار تغییر و تحول شده و از آبان ماه سال ۱۳۸۲ که بازار برق کشور راه‌اندازی شده است، ساختار انحصاری آن به ساختار رقابتی تبدیل شده است. در این بازار، خریداران و فروشندگان، پیشنهادهای خرید و فروش برق را یک یا چند روز قبل به بازار ارائه می‌کنند و با توجه به این پیشنهادها معاملات بازار برق صورت می گیرد. در این شرایط، پیش‌بینی قیمت برق نه‌تنها در قیمت‌دهی ضروری است بلکه در یافتن استراتژی بهینه بهره‌برداری از سوی بهره‌برداران نیروگاه نیز نقشی اساسی دارد. بررسی مطالعات انجام گرفته نشان می‌دهد وجود برخی خواص ویژه در بازار برق، نوسانات و تغییرات شدید آن، موجب شده است تا خطای پیش‌بینی زیاد باشد. تلاش برای بهبود این نتایج در مقالات متعدد صورت گرفته است.

مقایسه پیش‌بینی انجام شده توسط مدل‌های ARIMA و ترکیب آن با مدل موجک نشان می‌دهد که ترکیب مدل‌های ARIMA و موجک منجر به بهبود نتایج پیش‌بینی همراه با خطای کمتر خواهد شد [۱].

نتایج تحقیق انجام‌شده با استفاده از داده‌های موجود بازار برق ایران در سال ۱۳۹۰ در خصوص تحلیل الگوی قیمت‌دهی واحدهای تولیدی و تأثیر آن بر قیمت بازار، نشان می‌دهد اکثر واحدهای تولیدی، تنها از یک یا دو بلوک توان برای قیمت‌دهی در بازار استفاده می‌کنند و حدود ۱۵ درصد آن‌ها در اقدامی هوشمندانه، قسمتی از بلوک‌های توان خود را به شناسایی بازار اختصاص داده‌اند. همچنین مقایسه توزیع مجموع بلوک‌های توان برحسب قیمت در ساعت‌های مختلف نشان می‌دهد رفتار قیمت‌دهی حدود یک سوم واحدهای تولیدی در بار پایه غیراقتصادی و یا بیش از حد محتاطانه است [۲].

نتایج تحقیق انجام شده مطابق با روش شناسی سری‌های زمانی با تمرکز بر مدل‌های ARMAX-GARCH در خصوص قیمت‌های بازار برق نشان می‌دهد این مدل‌ها از کارایی مناسبی در مدیریت ریسک این حوزه برخوردار است [۳]. همچنین بررسی گونه‌های مختلف ARMAX-GARCH براساس ویژگی‌های آماری و قابلیت آن‌ها در ارزیابی و تخمین سری‌زمانی قیمت‌های بازار برق، نشان می‌دهد که با شرایط فعلی بازار برق ایران عدم تقارن اطلاعات نقش کمتری داشته و مدل‌های استاندارد GARCH بهترین شبیه‌سازی را ارائه می‌دهند.

استفاده از تبدیل موجک و ترکیبی از شبکه عصبی(ANN) و منطق فازی به‌منظور ارائه مدل پیش‌بینی کوتاه مدت قیمت برق در یک بازار رقابتی مورد استفاده برخی محققین قرار گرفته است [۴]. استفاده از تکنیک ماشین یادگیری سریع(ELM) و همچنین ترکیب آن با تکنیک موجک در زمینه پیش‌بینی قیمت بازارهای برق انتاریو، نیویورک و ایتالیا نشان می‌دهد که روش پیشنهادی یکی از مناسب‌ترین تکنیک های پیش‌بینی قیمت می‌باشد [۵]. بررسی انجام‌شده در خصوص پیش‌بینی قیمت روزانه برق با شبکه عصبی بهبودیافته مبتنی بر تبدیل موجک و روش آشوبناک جستجوی گرانشی نشان از قابلیت بالای این الگوریتم در پیش‌بینی بهتر در مقایسه با روش‌های موجود دارد. همچنین نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد الگوریتم انتخاباتی در مرتب‌سازی داده‌های تقسیم‌شده از تبدیل موجک از موفقیت زیادی برخوردار است [۶].

نتایج تحقیق انجام شده توسط مدل‌های شبکه عصبی و ترکیب شبکه عصبی و الگوریتم ازدحام ذرات برای شبیه سازی بارش- رواناب رودخانه کرج برتری الگوریتم PSO-ANN از الگوریتم ANN را نشان می‌دهد [۷].

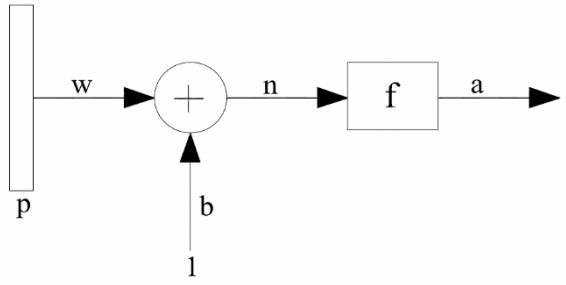
هدف از این مطالعه بررسی روش‌هایی است که اخیراً به‌منظور بهبود عملکرد مدل ANN ارائه شده‌اند و اعمال آن‌ها در پیش‌بینی قیمت اوج روزانه برق است، به‌نحوی که پارامتر های ANN یک بار با استفاده از مدل بهینه‌سازی ازدحام ذرات(PSO) و بار دیگر با استفاده از مدل الگوریتم ژنتیک (GA) تخمین زده شود و در نهایت به مقایسه عملکرد سه مدل ANN، PSO-ANN و GA-ANN در بازار برق ایران پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

در این مطالعه به‌منظور پیش‌بینی قیمت اوج روزانه برق از مدل ANN استفاده شده است، همچنین به منظور بهبود عملکرد مدل ANN و تخمین پارامترهای آن، از مدل‌های بهینه‌سازی PSO و GA استفاده شده است.

۲-۱- شبکه عصبی (ANN)

یک شبکه عصبی از نورون‌های مصنوعی تشکیل‌شده است. نورون یا گره کوچک‌ترین واحد پردازش اطلاعات است که اساس عملکرد شبکه‌های عصبی را تشکیل می‌دهد. هر یک از نورون‌ها، ورودی‌ها را دریافت نموده و پس از پردازش روی آن‌ها، یک سیگنال خروجی تولید می‌نمایند. شکل (۱) نمایش ساختار یک نورون تک ورودی می‌باشد، که در آن عددهای p و a، به‌ترتیب ورودی و خروجی نورون هستند [۸].



شکل ۱ مدل نورون تک ورودی

میزان تأثیر p روی a به‌وسیله مقدار عدد w تعیین می‌شود. ورودی دیگر مقدار ثابت یک است که در b ضرب شده و سپس با wp جمع می‌شود. n حاصل جمع خالص ورودی و f نیز تابع تبدیل است. بدین ترتیب خروجی نورون به‌صورت معادله (۱) قابل تعریف است:

$$a = f(wp + b) \qquad (۱)$$

پارامترهای w و b قابل تنظیم هستند و تابع محرک f نیز توسط طراح انتخاب می‌شود. براساس انتخاب f و نوع الگوریتم یادگیری، پارامترهای w و b تنظیم می‌گردند. به‌منظور ایجاد یک شبکه مناسب و کارا، توجه به پارامترهای آموزش شبکه مانند تعیین متغیرهای ورودی و خروجی، انتخاب اندازه مناسب برای داده‌های آموزش، اعتبارسنجی و آزمایش، مقداردهی اولیه وزن‌های شبکه، توجه به پارامترهای عملی مانند دقت شبکه، توجه به طراحی شبکه عصبی

1. Adaptive Neural Network
2. Extreme Learning Machine
3. Particle Swarm Optimization
4. Genetic Algorithm

مانند تعیین نورون‌های ورودی و خروجی مورد استفاده، تعداد لایه پنهان مورد استفاده و تعداد نورون‌های مورد استفاده در هر لایه پنهان ضروری است.

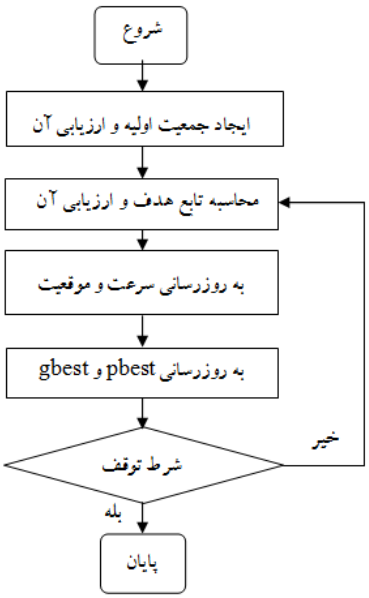
۲-۲- الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO)

روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات در سال ۱۹۹۵، توسط جیمز کندی و راسل ابرهارت معرفی گردید. این روش از عملکرد دسته جمعی گروه‌های حیوانات مانند پرندگان و ماهی‌ها اقتباس شده است. در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، تعدادی از موجودات وجود دارند، که آن‌ها را ذره می‌نامیم و در فضای جستجو پخش شده‌اند. هر ذره مقدار تابع هدف را در موقعیتی از فضا که در آن قرار گرفته است، محاسبه می‌کند سپس با استفاده از ترکیب اطلاعات محل فعلی‌اش و بهترین محلی که قبلا در آن بوده است و همچنین اطلاعات یک یا چند ذره از بهترین ذرات موجود در جمع، جهتی را برای حرکت انتخاب می‌کند. پس از انجام حرکت جمعی یک مرحله از الگوریتم به پایان می‌رسد. این مراحل چندین بار تکرار می‌شوند تا آن‌که جواب موردنظر به‌دست بیاید. بنابراین هر ذره براساس سرعت فعلی، تجربهٔ قبلی خود و تجربه‌ی همسایگان خود به سمت نقطه‌ی بهینه حرکت می‌کند. اگر بردارهای مکان و سرعت ذره i ام در فضای جستجو به ترتیب با x_i و v_i نمایش داده شوند، سرعت و مکان به‌روز هر ذره با استفاده از معادلات (۲) و (۳) محاسبه می‌شود [۹]:

$$v^i[t+1] = wv^i[t] + c_1 rand_1 (x^{i,pbest}[t] - x^i[t]) + c_2 rand_2 (x^{gbest}[t] - x^i[t]) \quad (۲)$$

$$x^i[t+1] = x^i[t] + v^i[t+1] \quad (۳)$$

که $v^i[t]$ و $x^i[t]$ به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ سرعت و موقعیت ذره i ام در زمان t، $x^{i,pbest}[t]$ و $x^{gbest}[t]$ به‌ترتیب بهترین موقعیت شخصی[۱] و بهترین موقعیت جمعی[۲] که ذره مربوطه تا کنون به آن رسیده را نشان می‌دهد، w ضریب اینرسی، که هرچقدر مقدار آن کمتر باشد الگوریتم سریع‌تر همگرا می‌شود و مقدار آن معمولاً بین ۰/۴ و ۰/۹ می‌باشد. $rand_1$ و $rand_2$ اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت بین ۰ و ۱، c_1 و c_2 به ترتیب ضریب یادگیری شخصی و ضریب یادگیری جمعی است که بین ۰ و ۲ قرار دارند. شکل (۲) الگوریتم PSO را نمایش می دهد.

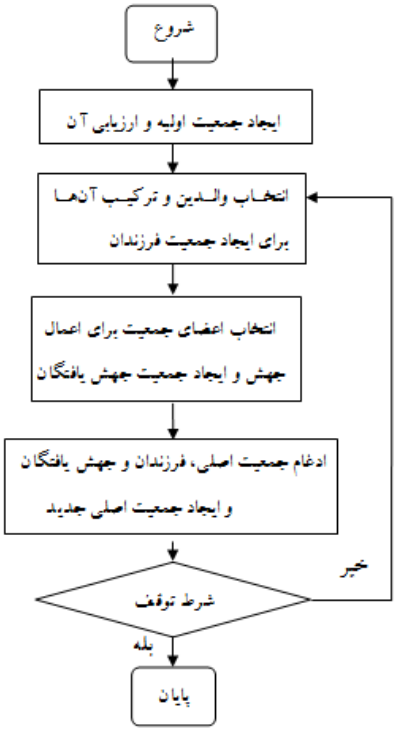


شکل ۲ الگوریتم PSO

۲-۳- الگوریتم ژنتیک (GA)

روش ژنتیک عبارت است از یک جستجوی چند جانبه موازی، هدایت شده بر اساس نظریه تکامل که با شبیه‌سازی فرآیندهای بقای اصلح در علم زیست شناسی، اقدام به یافتن متکامل‌ترین پاسخ یک مسئله می‌نماید. در نظام طبیعی موجوداتی که شایستگی بالاتری دارند، امکان بقاء و تولید مثل بیشتری پیدا می‌کنند و پس از چندین نسل نیز به درجه شایستگی بالاتری می‌رسند. فرآیند طبیعی انتخاب اصلح با ترکیب عملگرهای ژنتیک مانند به‌گزینی[۳] تلاقی[۴] و جهش[۵] صورت می‌پذیرد .در مدل ریاضی روش ژنتیک، هر کدام از این عملگرها شبیه سازی می‌شوند [۱۰]، شکل (۳) الگوریتم ژنتیک را نمایش می‌دهد.

۱. Personalbest
2. Globalbest
۳. Selection
۴. Crossover
۵. Mutation



شکل ۳ الگوریتم GA

۲-۴- آموزش شبکه عصبی با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی

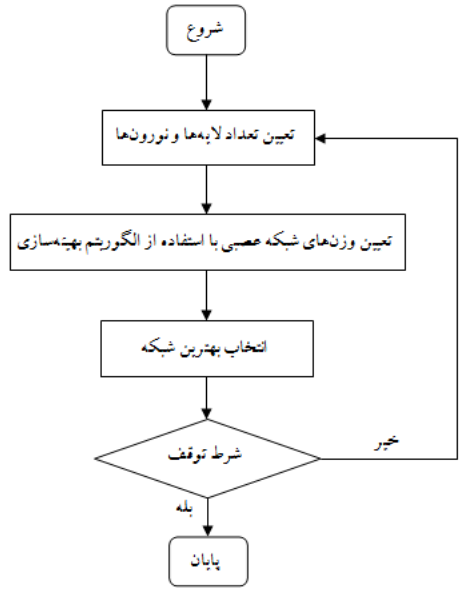
متغیرهای بهینه‌سازی در آموزش یک شبکه عصبی وزن‌ها و بایاس‌های مربوط به شبکه می‌باشند. در این مقاله مقدار بهینه متغیرها توسط الگوریتم‌های PSO و GA به‌دست می‌آیند. روند کار به این ترتیب است که در ابتدا، الگوریتم بهینه‌سازی مقادیری اتفاقی برای ضرایب بردار وزن‌ها و بایاس‌های هر نورون در نظر می‌گیرد. شبکه عصبی به ازای پارامترهای برابر با متغیرهای این بردارها اجرا شده و خطای به‌دست آمده از هر اجرا به‌عنوان میزان برازندگی بردار متغیرهای آن شبکه در نظر گرفته می‌شود. در مرحله بعد متغیرها براساس روابط الگوریتم بهینه‌ساز به روز رسانی می‌شوند.

$$Min \sum_{i=1}^{n} (y_{i,act} - y_{i,est})^2 \qquad (۴)$$

$$S.T:$$

$$y_{i,est} = f(GA - ANN\ OR\ \ GA - PSO) \qquad (۵)$$

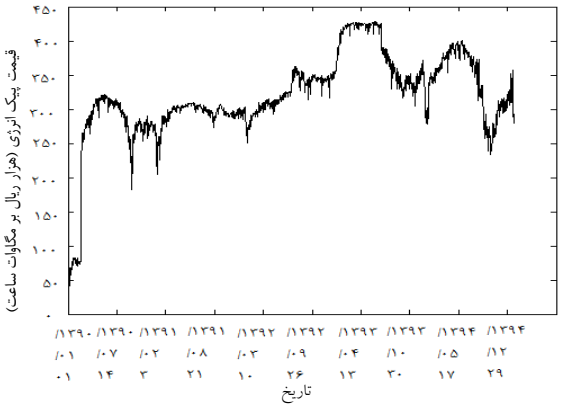
که در رابطه فوق $y_{i,act}$ داده های مشاهده ای و $y_{i,est}$ داده های تخمینی زده شده توسط الگوریتم بهینه سازی است. این فرایند آموزشی تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که شرط خاتمه ارضاء شود. زمانی که فرایند آموزش خاتمه یافت، وزن‌ها برای محاسبه خطا برای الگوهای آموزش استفاده می‌شوند. سپس مجموعه‌ای از وزن‌ها برای تست کردن شبکه با استفاده از الگوهای آزمایش استفاده می‌شود. رویه به‌کارگیری الگوریتم‌های بهینه‌سازی در آموزش شبکه در شکل (۴) به تصویر کشیده شده است.



شکل ۴ فرایند آموزش شبکه عصبی با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی

۳- اطلاعات بازار برق ایران

داده‌های قیمت انرژی الکتریکی بازار برق ایران به صورت ۲۴ ساعته در وبگاه شرکت مدیریت شبکه برق ایران ارائه شده‌اند که قیمت برق در بازه زمانی سال ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۴ از این وبگاه استخراج شده و میانگین قیمت پیک در نیمه اول سال بین ساعات ۱۹تا ۲۳ و در نیمه دوم سال بین ساعات ۱۸ تا ۲۲ در نظر گرفته شده است که نمودار آن در شکل (۵) نشان داده شده است [۱۱].



شکل ۵ قیمت پیک روزانه انرژی در سال‌های ۹۰ تا ۹۴

۴- نتایج

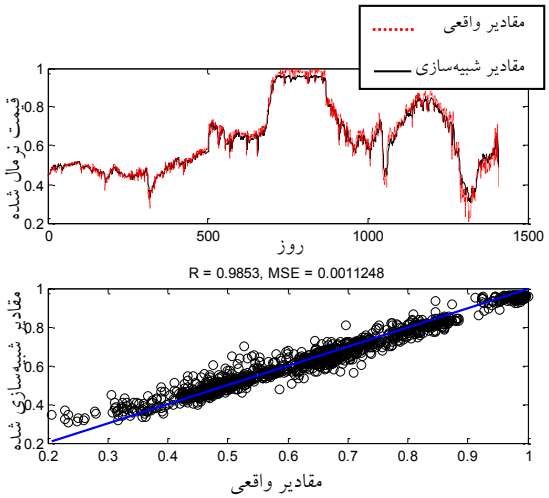
در این تحقیق، یک شبکه پرسپترون دو لایه با یک لایه پنهان با ۱۰ نورون و یک لایه خروجی با یک نورون، یک بار با الگوریتم آموزش لونبرگ- مارکوات[1] و بار دیگر با الگوریتم‌های PSO و GA مورد استفاده قرار گرفته است. تابع تانژانت سیگموید برای لایه پنهان و تابع خطی برای لایه خروجی به عنوان تابع تبدیل در نظر گرفته شده است. اطلاعات ورودی شبکه به سه بخش تقسیم گردیده‌اند که ۶۰٪ به منظور آموزش شبکه و ۲۰٪ از آن‌ها به منظور

1- Levenberg-Marquardt

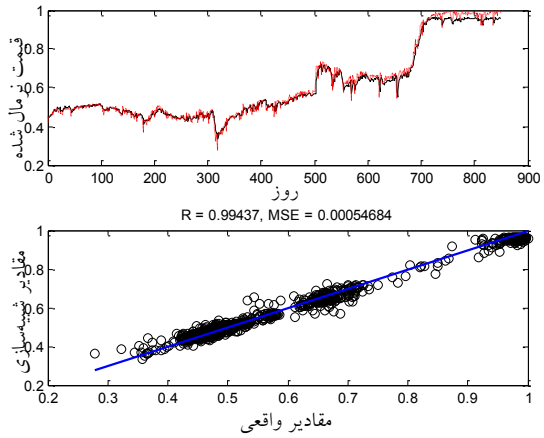
اعتبارسنجی و ۲۰٪ نیز به منظور آزمایش شبکه مورد استفاده قرار گرفته‌اند که ۴۰٪ مربوط به اعتبارسنجی و آموزش از انتهای دوره برای ارزیابی پیش‌بینی سری زمانی انتخاب شده‌اند. شایان ذکر است داده های ورودی به این الگوریتم‌ها قیمت برق در مقاطع زمانی گذشته بوده است به عبارت دیگر به وسیله این الگوریتم‌ها با استفاده از قیمت برق در مقاطع زمانی گذشته اقدام به پیش بینی قیمت برق در آینده خواهد شد.

۴-۱- نتایج ANN

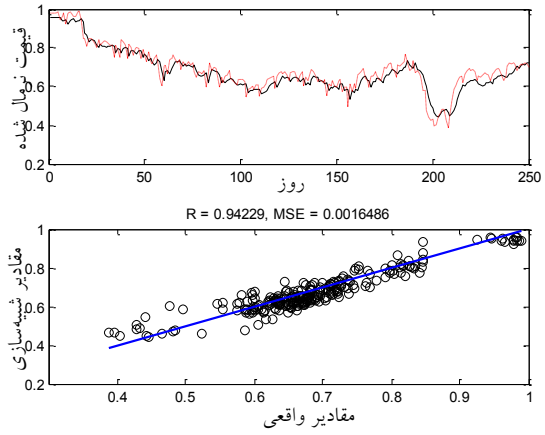
نتایج شبیه‌سازی برای کل داده‌ها به صورت شکل (۶)، برای داده‌های آموزش شکل (۷)، برای داده‌های اعتبارسنجی شکل (۸) و برای داده‌های آزمایش شکل (۹) می‌باشد. در هر شکل مقدار ضریب رگرسیون و میانگین مربعات خطا محاسبه شده است که نشان‌دهنده کارایی مدل در پیش‌بینی قیمت انرژی است. با توجه به این‌که معمولاً نتیجه شبیه‌سازی براساس داده‌های آزمایش صورت می‌گیرد همان‌طور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود، این مدل با ضریب رگرسیون و میانگین مربعات خطا به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۰۰۲ (هزار ریال بر مگاوات ساعت)، از توانایی مناسبی برای پیش‌بینی اطلاعات آینده برخوردار است.



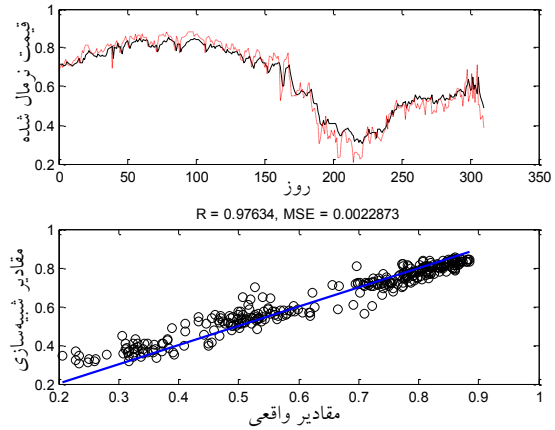
شکل ۶ میزان انطباق کل داده‌ها بر داده‌های ورودی روش ANN



شکل ۷ میزان انطباق داده‌های آموزش بر داده‌های ورودی روش ANN



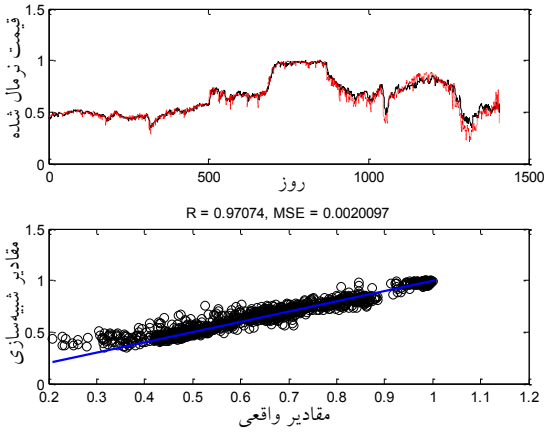
شکل ۸ میزان انطباق داده‌های اعتبارسنجی به داده‌های ورودی



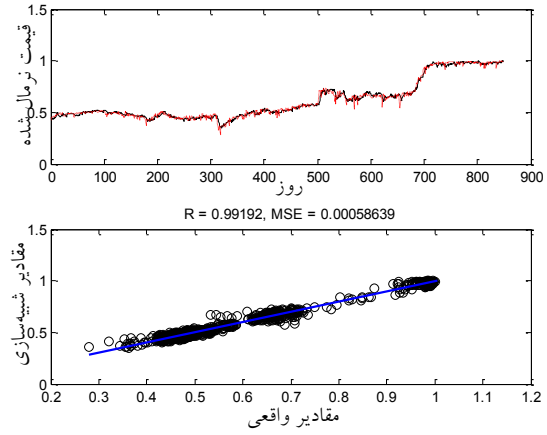
شکل ۹ میزان انطباق داده‌های آزمایش به داده‌های ورودی روش ANN

۴-۲- نتایج PSO-ANN

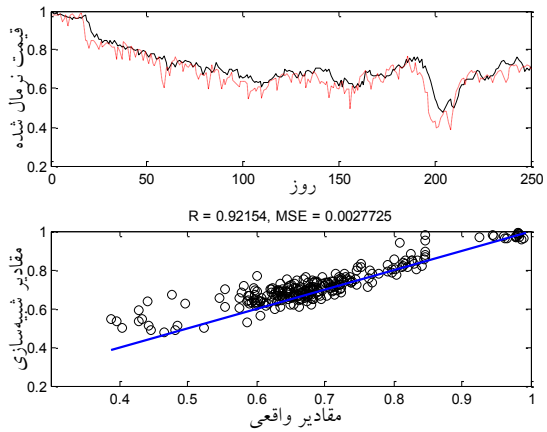
نتایج شبیه‌سازی برای کل داده‌ها به صورت شکل (۱۰)، برای داده‌های آموزش شکل (۱۱)، برای داده‌های اعتبارسنجی شکل (۱۲) و برای داده‌های آزمایش شکل (۱۳) می‌باشد.



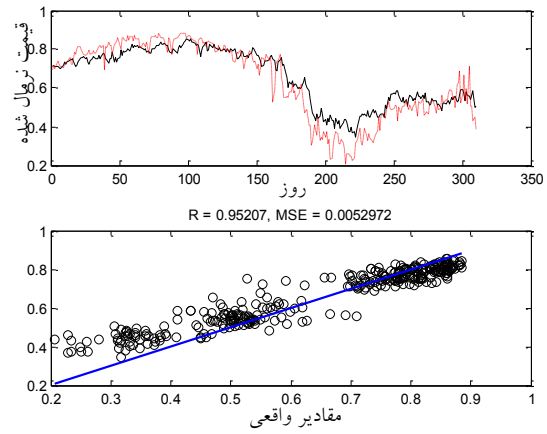
شکل ۱۰ میزان انطباق کل داده‌ها بر داده‌های ورودی روش PSO-ANN



شکل ۱۱ میزان انطباق داده‌های آموزش بر داده‌های ورودی روش PSO-ANN



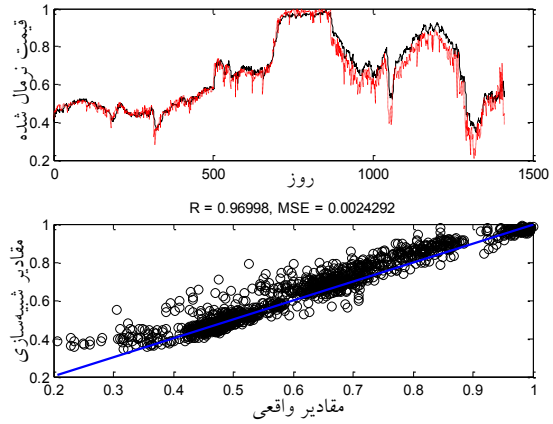
شکل ۱۲ میزان انطباق داده‌های اعتبارسنجی به داده‌های ورودی روش PSO-ANN



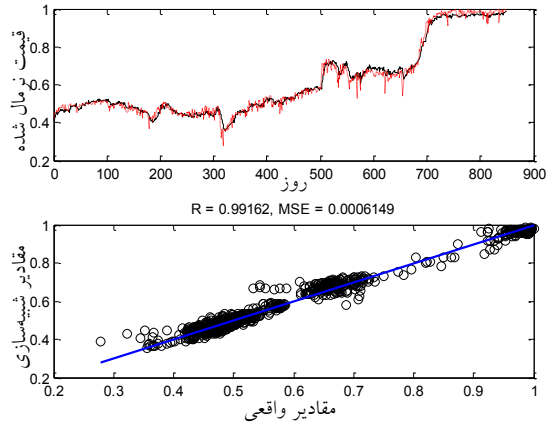
شکل ۱۳ میزان انطباق داده‌های آزمایش به داده‌های ورودی روش PSO-ANN

۳-۴- نتایج GA-ANN

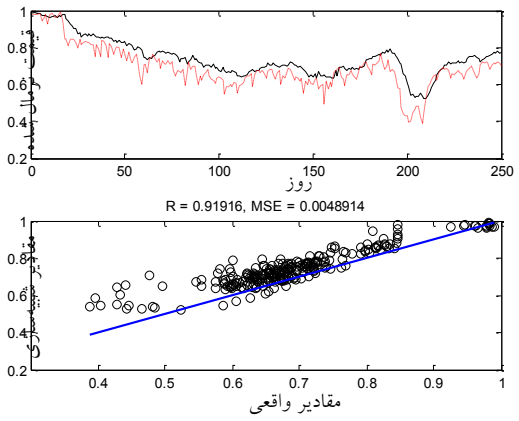
نتایج شبیه‌سازی برای کل داده‌ها به صورت شکل (۱۴)، برای داده‌های آموزش شکل (۱۵)، برای داده‌های اعتبارسنجی شکل (۱۶) و برای داده‌های آزمایش شکل (۱۷) می‌باشد.



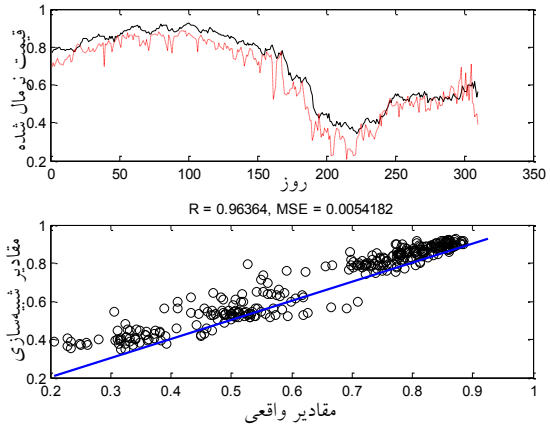
شکل ۱۴ میزان انطباق کل داده‌ها بر داده‌های ورودی روش GA-ANN



شکل ۱۵ میزان انطباق داده‌های آموزش بر داده‌های ورودی روش GA-ANN



شکل ۱۶ میزان انطباق داده‌های اعتبارسنجی به داده‌های ورودی روش GA-ANN



شکل ۱۷ میزان انطباق داده‌های آزمایش به داده‌های ورودی روش GA-ANN

در جدول (۱) خلاصه نتایج سه روش مذکور آورده شده است که همان‌طور که مشاهده می‌شود روش ANN از نتایج نسبتاً بهتری نسبت به روش‌های PSO-ANN و GA-ANN برخوردار است. واحد MSE در جدول (۱) هزار ریال بر مگاوت ساعت است.

جدول ۱ مقایسه سه روش ANN، PSO-ANN و GA-ANN

	ANN		PSO-ANN		GA-ANN	
	R	MSE	R	MSE	R	MSE
کل داده‌ها	۰/۹۸	۰/۰۰۱۱	۰/۹۷	۰/۰۰۲	۰/۹۷	۰/۰۰۲۴
داده‌های آموزش	۰/۹۹	۰/۰۰۰۵	۰/۹۹	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹	۰/۰۰۰۶
داده‌های اعتبارسنجی	۰/۹۴	۰/۰۰۱۶	۰/۹۲	۰/۰۰۲۷	۰/۹۱	۰/۰۰۴۹
داده‌های آزمایش	۰/۹۷	۰/۰۰۲۲	۰/۹۵	۰/۰۰۵۲	۰/۹۶	۰/۰۰۵۴

دلیل برتری روش ANN نسبت به دو روش دیگر را می‌توان به آموزش کامل و صحیح ANN نسبت داد. همانگونه که در بخش مواد و روش‌ها توضیح داده شد موفقیت روش ANN در گرو آموزش صحیح و کامل است و این موضوع با انتخاب تعداد لایه مناسب، تعداد گره مناسب در لایه، انتخاب تابع انتقال مناسب و همچنین نسبت مناسبی از تعداد داده‌های آموزش، آزمایش و اعتبار سنجی است به نحوی شبکه که شبکه در عین آموزش کامل، به عارضه بیش آموزشی[۱] دچار نگردد.

۵- بحث و نتیجه گیری

اخیراً مطالعات زیادی در خصوص بهبود عملکرد مدل‌های ANN با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی انجام شده است و در اغلب مطالعات برتری مدل‌های ترکیبی بهینه‌سازی و ANN گزارش شده است. با توجه به اهمیت پیش‌بینی قیمت برق در برنامه‌ریزی نیروگاه‌های برق‌آبی، در این مقاله به پیش‌بینی قیمت به سه روش شبکه‌های عصبی، ترکیب شبکه‌های عصبی و PSO و ترکیب شبکه عصبی و GA پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش شبکه‌های عصبی دارای دقت بهتری نسبت به دو روش دیگر می‌باشد. دلیل این موضوع را می‌توان به آموزش کامل و صحیح مدل ANN نسبت داد به‌نحوی که حتی در پیش‌بینی داده‌هایی سینوسی نظیر قیمت برق اوج روزانه موفق‌تر از سایر مدل‌ها عمل کرده است. به عبارت دیگر این تحقیق نشان می‌دهد به صرف آموزشی سطحی برای ANN و مقایسه آن با مدل‌های ترکیبی نمی‌توان ضعف مدل ANN را نتیجه‌گیری نمود. چه بسا اگر مدل ANN با تعداد لایه، تعداد نورون، شیوه آموزش و توابع مناسب آموزش دیده باشد از چنان دقتی برخوردار شود که نیازی به استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی در بهبود عملکرد آن باقی نماند.

۶- مراجع

[۱] ن. ابراهیمی و ش. جدید، پیش بینی قیمت برق روز بعد با استفاده از مدل ARIMA و Wavelet-ARIMA، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۷.

[۲] ع. درودی، ن. یکتای، م. ظریف و و. جاویدی دشت بیاض، تحلیل قیمت‌دهی نیروگاه‌های ایران در سال ۱۳۹۰، بیست و هفتمین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۹۰.

[۳] د. منظور و م. یادی پور، ارزیابی و پیش‌بینی نو سانات قیمت در بازار برق ایران به کمک مدل ARMAX-GARCH ، نشریه اقتصاد مقداری، شماره ۱۳، ۱۳۹۵.

[4] J. P. D. S. Catalao , H. M. I. Pousinho and V. M. F. Mendes, Short-term electricity prices forecasting in a competitive market by a hybrid intelligent approach, Energy Conversion and Management, ۵۲, ۲۰۱۱.

[5] N. A. Shrivastava and B. K. Panigrahi, A hybrid wavelet-ELM based short term price forecasting for electricity markets, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 55, 2014.

[۶] ح. شایقی و ع. قا سمی، پیش‌بینی قیمت روزانه برق با شبکه ع صبی بهبودیافته مبتنی بر تبدیل موجک و روش آشوبناک جستجوی گرانشی، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، شماره ۴۵، ۱۳۹۴.

[7] M. Motahari and H. Mazandaranizadeh, Development of a PSO-ANN model for rainfall-runoff respons in basins, case study: Karaj Basin, Civil Engineering Journal, 2017.

[8] D. Anderson and G. Mcneill, Artificial neural networks technology, Kaman Sciences Corporation, 258, 1992.

[9] R. Eberchart, and J. Kennedy, Particle swarm optimization, IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia, ۱۹۹۵.

[10] D. D. Glodberg, Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning, Addison Wesley publishing company Inc.: 401p.

[11] https://www.igmc.ir/Power-grid-status-report.

[۱] Over Learning