فصلنامه علمی – ترویجی «نشریه انرژی ایران»
دوره ۲۱، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، صفحه ۱۴۴-۱۲۱

بررسی مقایسه‌ای مدل‌های پیش‌بینی کوتاه مدت قیمت در بازار برق ایران

[۱] داود منظور *، [۲] مهدی قائمی اصل ، [۳] احمد نوروزی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۷/۱/۳۰

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۷/۵/۲

کلمات کلیدی:
بازار برق،
پیش‌بینی قیمت،
سری‌های زمانی،
شبکه‌های عصبی،
الگوریتم ژنتیک.

چکیده

در دهه‌های اخیر رقابتی شدن بازار برق، مقوله قیمت را به یک عنصر اساسی در تصمیم‌گیری‌های بازیگران در چهارچوب صنعت برق تبدیل نموده است و به تبع آن بخش خصوصی به‌عنوان سرمایه‌گذار اصلی در این حوزه نیازمند پیش‌بینی قیمت‌های آینده به‌منظور اتخاذ استراتژی مناسب و سازگار با روند کلی نظام بازار در راستای حفظ سهم خود از بازار و حفظ حاشیه سود می‌باشد. در چهارچوب تحلیل‌های اقتصادی، این هدف با ابزار مدل‌های اقتصاد سنجی محقق خواهد شد که اعتبار مدل یاد شده ناظر به کمینه‌سازی خطای پیش‌بینی در تطابق الگوی پیش‌بینی شده با واقعیت جاری است. پژوهش حاضر به بررسی مقایسه‌ای قدرت پیش‌بینی مدل‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک و مدل آریما در افق کوتاه‌مدت با استفاده از داده‌های ساعتی قیمت برق در سالهای ۹۵-۱۳۹۴ پرداخته است. نتایج پژوهش، حاکی از آن است که در افق کوتاه‌مدت، شبکه‌های عصبی مصنوعی، خطای کمتری نسبت به دو الگوی دیگر در پیش‌بینی داشته و الگوریتم ژنتیک در جایگاه دوم قرار دارد. همچنین، الگوهای سری زمانی دارای بیشترین خطا در پیش بینی قیمت برق، با توجه به پیش‌بینی‌های درون نمونه‌ای را دارا می‌باشد. مجموع مربعات خطا در الگوی شبکه عصبی مصنوعی در داده‌های آموزش، اعتبار سنجی و آزمون، به‌ترتیب برابر ۱۴۷۳/۴۳، ۱۷۶۲/۶۳ و ۱۴۹۸/۳۲، در الگوریتم ژنتیک در داده‌های آموزش و اعتبارسنجی به‌ترتیب برابر ۱۱۳۱۸/۲۰ و ۷۰۸۵/۹۸ و در الگوی سری زمانی برابر ۳۴۶۴۴/۳۷ می‌باشد.

۱. دانشیار ، دانشکده اقتصاد، دانشگاه امام صادق(ع) (نویسنده مسئول) manzoor@isu.ac.ir
۲. استادیار، دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی m.ghaemi84@yahoo.com
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد ، دانشگاه امام صادق(ع) norouzi.ahm@gmail.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

۱. مقدمه

عدم قابلیت ذخیره‌سازی برق در شرایط فعلی که ناظر به بالا بودن هزینه‌های آن بوده و هنوز استفاده از چنین فناوری‌هایی در کشور توجیه اقتصادی پیدا نکرده است، برقراری توازن و تعادل میان عرضه و تقاضای این محصول را با چالش‌هایی مواجه ساخته است.

تغییر ساختار بازار برق از انحصار دولتی به بازار رقابتی و تأثیرپذیری قیمت از مکانیزم‌های عرضه تقاضا در این بازار، تصمیم‌گیری برای فعالان بازار در جهت افزایش سودآوری را با دشواری‌هایی مواجه ساخته است. یکی از مؤلفه‌های اساسی در فرآیند تصمیم‌گیری که نقش بسیار مهمی در نحوه جهت‌گیری بازیگران بازار برق دارد، چشم‌انداز قیمتی این محصول در سطح بازار می‌باشد.

با توجه به این نکته که تغییر استراتژی بنگاه‌های تولیدی در افق بلند مدت، مستلزم تغییر ساختار فنی و تکنولوژیک دخیل در فرآیند تولید محصول می‌باشند، پیش‌بینی قیمت برق در افق بلند مدت در کنار مؤلفه‌های جانبی چون تحلیل‌های هزینه – فایده تغییر ساختار فنی فرآیند تولید، احتمال ظهور فناوری‌های نوین که استفاده از ساختار تولیدی فعلی را فاقد توجیه اقتصادی می‌نماید و...، به تولید کنندگان و فعالان بازار، جهت دهی می‌کند و با این نوع نگاه، صرفاً پیش‌بینی قیمت در افق بلند مدت، راهگشا نخواهد بود. اما در خصوص سودآوری بنگاه‌های تولیدی که در عرصه‌ی تولید برق یا تولید قطعات جانبی مرتبط با این فرآیند، مشغول به فعالیت هستند؛ پیش بینی قیمت برق در آینده و در افق کوتاه مدت، دید روشنی را برای تولیدکنندگان در خصوص الگوی بهینه مواجهه با شرایط بازار به ارمغان خواهد آورد.

بدیهی است، روش‌هایی که بهترین و دقیق‌ترین پیش‌بینی‌های ممکن را در اختیار واحدهای تولیدی قرار دهد و ایشان را با سطح اطمینان بالاتری از آنچه که قرار است در آینده اتفاق بیفتد مطلع سازد، از اهمیت و محبوبیت بالاتری برخوردار خواهد بود. بنابراین، می‌بایست مدل‌سازی‌های لازم صورت پذیرد تا در گام‌های بعدی، کارا ترین مصداق این روش‌ها را جهت بهره‌برداری، به فعالان حوزه‌ی صنعت معرفی نمود.

تا کنون در مقام نظر و تئوری بدون درنظر گیری امکان عملیاتی‌سازی آن، دو الگوی متفاوت برای پیش بینی قیمت‌های برق ارائه شده است. الگوی اول، ناظر به روش‌های آماری از قبیل سری‌های زمانی بوده و الگوی دوم، روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی مثل شبکه‌های عصبی

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

مصنوعی و الگوریتم ژنتیک می‌باشد. در نهایت، روش‌هایی بهینه خواهند بود که در واقعیت، بیشترین تطبیق را با شرایط موجود داشته باشد. پژوهشگران به این منظور، تاکنون معیارهای متفاوت و متنوعی را پیشنهاد کرده‌اند که در این میان می‌توان به میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطای نرمالیزه شده و ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین قدر مطلق خطا و میانگین قدر مطلق درصد خطا اشاره کرد.

پژوهش پیش رو، در صدد است تا به مقایسه پیش‌بینی قیمت در بازار برق ایران با استفاده از مدل‌های مبتنی بر روش‌های آماری(مدل آریما[1]) و روش‌های هوش مصنوعی (مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی[2] و الگوریتم ژنتیک[3]) بپردازد. بر این اساس، به‌منظور جمع آوری اطلاعات از داده‌های سری زمانی شرکت مدیریت شبکه استفاده شده است (داده‌ها بر حسب ریال بر کیلووات ساعت می‌باشند). با توجه به ساختار بازار برق ایران که از نوع بازار روز قبل است، قیمت‌دهی ساعتی انجام می‌شود. بر این اساس، داده‌های تحقیق به‌صورت ساعتی، یک بازه دو ساله از ۱۳۹۴/۰۱/۰۱ تا ۱۳۹۵/۱۲/۲۹ را شامل می‌شود. برای پردازش اطلاعات نیز از نرم افزارهای EVIEWS نسخه ۱۰ و MATLAB نسخه 2010 استفاده شده است.

در الگوهای سری زمانی، محور تصمیم‌گیری، داده‌ها و معیارهای اطلاعاتی داده محور می‌باشد. همچنین لازم به توضیح است که تنظیم و طراحی یک مدل الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی، ماهیتی عامل‌بنیان داشته و بسته به نوع رویکرد محقق می‌تواند شکل‌های گوناگونی به خود بگیرد. در این مقاله، در مدل‌سازی شبکه عصبی از نگرش همت اصفهانی و همکاران (۲۰۱۵) و در مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک از الگوریتم عامل‌بنیان چن و همکاران (۲۰۱۴) استفاده شده و در نهایت نیز قدرت پیش‌بینی این سه مدل، با معیار میانگین مربعات خطا[4] در یک پیش بینی درون نمونه‌ای مقایسه شده است.

در این تحقیق، پس از بررسی پیشینه پژوهش به بیان روش‌شناسی تحقیق و مبانی نظری سه روش مورد مطالعه در جریان تحقیق پرداخته شده است و پس از آن اجراء مدل و نتایج تحقیق مورد

1. ARIMA
2. Artificial Neural Networks (ANN)
3. Genetic Algorithm (GA)
4. Mean Squared Error (MSE)

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

بحث و بررسی قرار گرفته است. بخش نهایی نیز به جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و همچنین مقایسه نتایج این مطالعه با مطالعات مشابه پرداخته است.

۲. پیشینه تحقیق

درودی و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله "ارائه یک موتور پیش بینی مبتنی بر ترکیب اطلاعات جهت پیش بینی قیمت در بازارهای برق" یک روش ترکیبی ارائه می‌دهند تا روش یاد شده قادر باشد به صورت همزمان از مزیت‌های چند موتور پیش‌بین استفاده نماید. در روش پیشنهادی ایشان سه موتور پیش‌بین مقدماتی شبکه‌های عصبی مصنوعی چند لایه، سیستم استنتاج تطبیقی فازی-عصبی (ANFIS) و روش میانگین متحرک خودگردان (ARMA) پیش‌بینی‌هایی مستقل از قیمت بازار برق ارائه کرده‌اند. سپس یک الگوریتم ترکیب اطلاعات جدید ارائه شده است که این سه پیش‌بینی مستقل را با یکدیگر ترکیب نموده تا یک پیش‌بینی واحد از قیمت برق ارائه نماید. روش پیشنهادی از میزان خطای گذشته موتورهای پیش‌بین مقدماتی بازخورد گرفته تا میزان تاثیر آن‌ها را در پیش‌بینی نهایی تنظیم نماید. روش پیشنهادی در این تحقیق، بر روی داده‌های قیمت بازار اسپانیا اعمال شده‌اند تا کارایی آن ارزیابی شود. نتایج حاکی از آن است که روش پیشنهادی می‌تواند پیش بینی‌هایی ارائه دهد که از هرکدام از پیش بینی‌های موتورهای مقدماتی بهتر است.

رحیمی و ناظمی (۱۳۹۶) در مقاله‌ای تحت عنوان " پیش بینی قیمت برق در بازار ایران با استفاده از شبکه عصبی" با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون به پیش بینی قیمت برق پرداخته است. در این تحقیق از متوسط قیمت موزون، بار و تمییز فصول برای طراحی مدل استفاده شده است و نتایج حاکی از دقت و قدرت مدل دارد.

منظور و یادی پور (۱۳۹۵) در مقاله ای تحت عنوان "ارزیابی و پیش بینی نوسانات قیمت در بازار برق ایران به کمک مدل ARMAX-GARCH" با اجرای مدل خودرگرسیون میانگین متحرک با مدل خودرگرسیون میانگین شرطی تعمیم یافته، برترین مدل برای برازش بازده و نوسانات قیمت های روزانه بازار برق در بازه زمانی ۱۳۹۱-۱۳۹۳ را معرفی نموده است. بر اساس این تحقیق، با شرایط فعلی بازار برق ایران مدل های استاندارد گارچ، بهترین شبیه سازی را در حوزه نوسانات قیمت برق ارائه می دهد.

شایقی و قاسمی (۱۳۹۴)، در مطالعه خود تحت عنوان "پیش بینی قیمت روزانه برق با شبکه عصبی بهبود یافته مبتنی بر تبدیل موجک و روش آشوبناک جستجوی گرانشی" به طراحی مدلی مناسب با ساختار جدید

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

بازار برق نمودند. در مطالعه مذکور با طراحی و اجرای یک مدل از الگوریتم جستجوی گرانشی آشوبناک و شبکه عصبی بهبود یافته با تابع تبدیل موجک به تبیین و پیش بینی رفتار کوتاه مدت قیمت های متوسط روزانه نقدی در بازار برق ایران و بازارهای جهانی پرداخته شده است. نتایج به دست آمده نشان از موفقیت الگوریتم انتخاباتی در مرتب سازی داده های تقسیم شده از تبدیل موجک است.

رستم‌نیا (۱۳۹۲) در پایان‌نامه‌ای تحت عنوان "پیش بینی قیمت متوسط موزون بازار برق ایران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و شبکه‌های عصبی- فازی" به پیش‌بینی قیمت متوسط موزون بازار برق ایران در دو بازه اوج مصرف و کم باری و ارزیابی تاثیر درجه رقابت بر آن پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که درجه رقابت در بازار و استفاده از الگوهای مصرف متفاوت، بر قیمت‌ها اثرگذار بوده و مد نظر قرار دادن آن‌ها به افزایش قدرت مدل می‌انجامد. همچنین با توجه به ماهیت قیمت برق نتیجه شده است که شبکه‌های هوشمند قادرند قیمت برق را ردیابی کرده و آن را با یک دقت خوب پیش‌بینی نمایند.

منظور و صفاکیش (۱۳۸۸) در پژوهش خود تحت عنوان "پیش‌بینی قیمت برق در بازار رقابتی ایران با رویکرد مدل‌های سری زمانی" به پیش‌بینی قیمت برق در بازار ایران با استفاده از داده‌های سری زمانی قیمت‌های روزانه برق پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که با استفاده از مدل ARMA، متغیرهای تأخیری اول و هفتم به‌عنوان متغیرهای توضیحی مدل انتخاب شده‌اند. سپس با مشاهده‌ی نتایج آزمون LM GARCH برای ورود ناپایداری مشاهده شده از قیمت‌ها از مدل GARCH(1,1) استفاده و مشاهده می‌شود پسماندهای مدل دارای الگوی خطای سفید و توزیع نرمال می‌باشد. همچنین بر اساس آماره‌های تعیین کننده‌ی قدرت پیش‌بینی مدل، مدل ارائه شده توانسته است مقادیر مشاهده شده‌ی قیمت برق را به‌خوبی پیش‌بینی نماید.

کی‌نیا و بهرام‌پور (۲۰۱۷) در مقاله "یک الگوی پیش‌بینی جدید از قیمت و نااطمینانی مبتنی بر شبکه‌های عصبی بهینه برای بازارهای برق مقررات‌گذاری نشده" یک روش هوشمند ترکیبی جدید برای پیش‌بینی قیمت پیشنهاد داده‌اند. الگوی یاد شده را می‌توان نسخه‌ی پیشرفته الگوریتم اصلاح پارامترهای اصلی سیستم پیش‌بینی کننده قیمت دانست که این سیستم، مبتنی بر شبکه‌های عصبی چند لایه، به پیش‌بینی قیمت برق می‌پردازد. همچنین این روش با استفاده‌های از داده‌های مربوط به بازارهای شناخته شده برق، مورد آزمون قرار گرفته و اعتبار آن به‌واسطه این آزمون‌ها تأیید شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

قلی‌پور و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله‌ای تحت عنوان "پیش‌بینی قیمت برق با استفاده از شبکه‌های عصبی با الگوریتم تکرار آموزش بهبود یافته" دو نوآوری عمده را تحت عنوان انتخاب جدید دو مرحله‌ای و یک الگوریتم جدید تکرار آموزش ارائه کرده اند. الگوریتم انتخاب، به حذف ورودی‌های نامعلوم و بی ارتباط بر مبنای تجزیه و تحلیل‌های مبتنی بر همبستگی پرداخته و همچنین الگوریتم تکرار آموزش، متشکل از دو شبکه‌ی عصبی است که در آن، خروجی اولین شبکه به‌عنوان ورودی شبکه دوم، ایفای نقش می‌کند.

گائو و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله " مقایسه مدل‌های آریما و شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی قیمت در بازار برق" مدلی را ارائه می‌کنند که قیمت‌ها را تا دو ماه آینده در بازار برق انگلستان، پیش‌بینی می‌کنند. نتایج تحقیق، حاکی از آن است که با معیار RMSE، مدل ARIMA(4,1,2)، دقت بهتری در پیش‌بینی نسبت به شبکه‌های عصبی مصنوعی با ۲۰ نورون و ۴ وقفه دارا می‌باشد.

عرب اسدی و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله " پیش‌بینی قیمت کوتاه‌مدت برق" یک طرح پیش بینی قیمت کوتاه مدت برق را بر اساس یک مدل فضای وضعیت بازار برق مطرح می‌نمایند. فرآیند گاوس – مارکوف برای نشان دادن پویایی تصادفی بازار برق مورد استفاده قرار گرفته است. فیلترهای کالمن ، دو روش مبتنی بر مدل فضای وضعیت به‌شمار می‌روند که به‌منظور برآورد قیمت برق و مقایسه کیفیت برآوردهای وضعیت آنان به کار گرفته می شوند. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که معیارهای عملکرد برای فیلتر کالمن به صورت کلی برتر از معیارهای عملکرد برای فیلتر کالمن استاندارد هستند.

انصاری و جاویدی (۲۰۱۳) در مقاله‌ای تحت عنوان "مقایسه مدل‌های آریما و شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد استفاده در بازار برق ایران" یک مدل ترکیبی برای پیش‌بینی قیمت برق در روز آینده معرفی نموده است. نویسندگان این مقاله، مدل معرفی شده را سابقاً نیز برای پیش‌بینی بار الکتریکی در شبکه برق خراسان، مورد استفاده قرار داده‌اند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

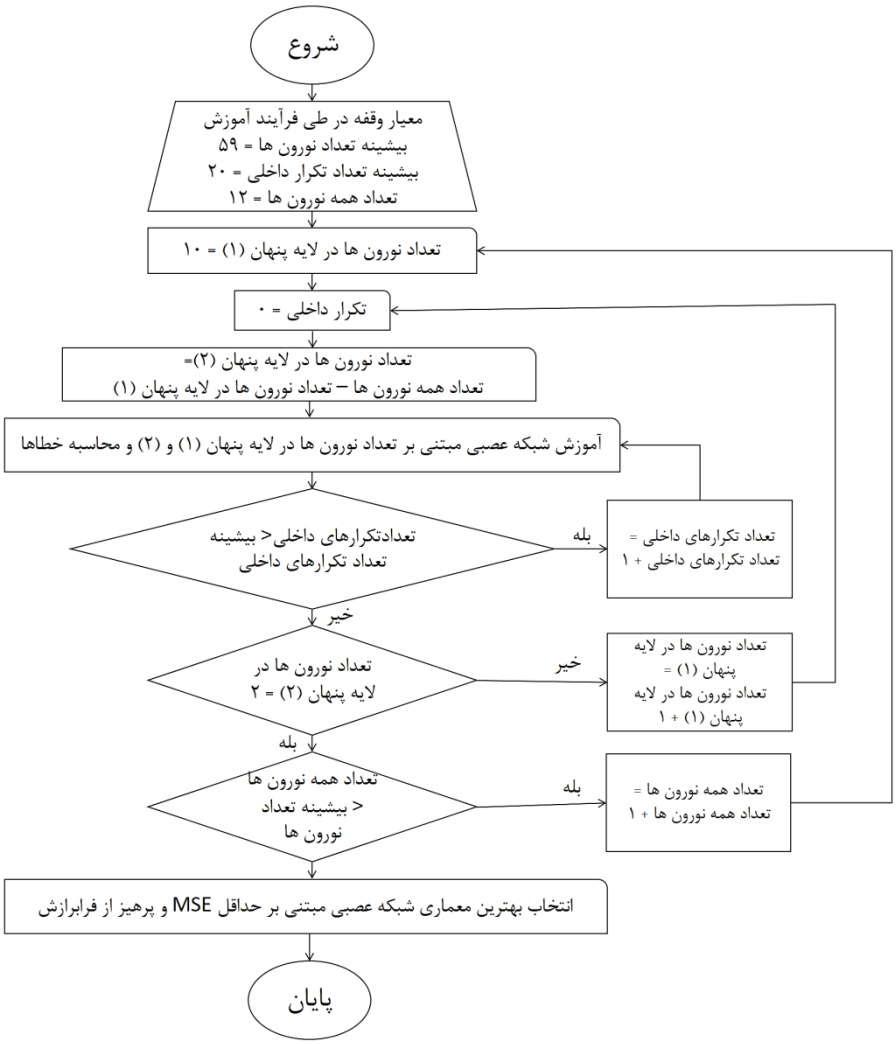
۳. روش‌شناسی تحقیق

۳-۱. شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی الگویی است که تحلیل داده‌ها و اطلاعات خود را از مغز انسان الهام گرفته است. این الگو از واحدهای یکپارچه‌ای تشکیل شده که آن‌را نورون می‌نامند و وظیفه‌ی تحلیل اطلاعات و داده های ورودی را عهده دار است. شبکه های عصبی چند لایه پرسپترون شامل لایه‌ی ورودی، لایه‌ی پنهان و لایه‌ی خروجی می‌باشد. نورون‌ها مهمترین جزء شبکه‌های عصبی می‌باشند. در هر نورون مقادیر ورودی، وزن‌دهی شده و با پارامتری تحت عنوان تورش[1] جمع می‌شوند و مقدار به‌دست آمده، از یک عملگر میانی به نام تابع انتقال عبور می‌کند. تابع انتقال، وظیفه‌ی محاسبات و در اختیار نهادن خروجی بر اساس داده‌های دریافتی را عهده دار است (Hemmat Esfahani et al., 2015). شبکه‌های عصبی، ناظر به موقعیت به‌کارگیری می‌تواند دربردارنده‌ی تعداد لایه‌های متفاوتی باشد که هر لایه نیز متشکل از نورون‌های متعدد باشد که مجموعاً یک هدف واحد تحت عنوان پردازش داده‌ها و اطلاعات ورودی را دنبال می‌کند. مسیر کلی الگوریتم تعیین انتخاب بهترین معماری شبکه‌ی عصبی مبتنی بر حداقل مقدار میانگین مجذور خطا و پرهیز از فرابرازش[2]، در شکل ۱ ترسیم شده است.

1. bias
2. over fitting

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]



شکل ۱. الگوریتم یافتن شبکه عصبی بهینه

۳-۲. الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک که بر پایه انتخاب طبیعی و تئوری ژنتیک ساخته شده است، الگوریتم مناسبی در جهت حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی می‌باشد. اخیراً الگوریتم ژنتیک کاربرد گسترده‌ای در شاخه‌های مختلف علوم طبیعی و شاخه‌های مهندسی پیدا کرده است. الگوریتم ژنتیک به‌دنبال حل مسائل از

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

طریق پردازش مجموعه‌ای از رشته های متغیر کد گذاری شده به نام کروموزوم می‌باشد. هر کروموزوم نمایندگی یک کنشگر در فرآیند پردازش مدل را عهده دار بوده که مجموعه این کروموزوم ها ساختار کلی الگوریتم ژنتیک را شکل می‌دهند.

این الگو از سه بخش اصلی تشکیل شده است. بخش اول تحت عنوان مرحله انتخاب شناخته می شود. این مرحله که به انتخاب کروموزوم والد از میان کل جامعه می‌پردازد، کلیدی‌ترین نقش را در مدل ایفا می‌نماید. کروموزوم‌هایی که بیشترین مقادیر برازش را داشته باشند، بالاترین احتمال انتخاب را دارا می‌باشند(Guangying chen et al., 2014). در پژوهش حاضر، برازش جامعه داده‌ها مبتنی بر خطاهای پیش‌بینی الگوریتم ژنتیک به‌وسیله کروموزوم‌های کدگذاری شده صورت می‌پذیرد. مقادیر برازش هر کروموزوم f_i طبق الگوی زیر محاسبه می گردد:

$$f_j = [\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} e_{i,j}^2]^{-\frac{1}{2}}$$

و همچنین عملگر انتخاب p_j برای هر عضو برابر مقدار زیر خواهد بود:

$$p_j = \frac{f_j}{\sum_{j=1}^{m} f_j}$$

که f_j مقدار مقادیر برازش کروموزوم j ام، n تعداد داده های ورودی های شبکه عصبی مصنوعی و m بیانگر اندازه جامعه الگوریتم ژنتیک می باشد. $e_{i,j}$ نیزخطای شبکه عصبی مصنوعی I ام متناسب با کروموزوم j ام می باشد.

گام دوم تحت عنوان آمیزش[1] شناخته می شود. در این مرحله دو کروموزم‌های والد با یکدیگر ترکیب شده و با توجه به اطلاعات ژنتیکی موجود، کروموزوم‌های نوزاد را شکل می‌دهند.

1. crossover

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

در مرحله آمیزش، همه‌ی کروموزوم‌ها از مجرای عملگر آمیزش گذر می‌کند و این در حالی است که نقطه‌ی آمیزش به‌طور کاملاً تصادفی در دامنه‌ی کروموزوم‌ها تعیین می‌شود. بعد از مرحله‌ی شکل‌گیری، تناسب مقدار هر یک از کروموزوم‌های نوزاد محاسبه می‌گردد.

جهش در کروموزوم‌ها توسط تغییر در ژن‌های هر کروموزوم متناسب با عملگر جهش اجرایی می‌شود. در خلال این فرآیند، الگوریتم ژنتیک قادر خواهد بود که تمامی فضای در اختیار پارامترها را پوشش داده و از بهینه نشان دادن نقاطی که بهینه نسبی در یک همسایگی خاص هستند، جلوگیری می‌کند.

به‌طور کلی، **فرآیند انتخاب** ارزیابی گروهی را به سمت جمعیتی که بالاترین برازش را داشته باشد رهنمون می‌شود. آمیزش فرآیند الگوریتم ژنتیک با شتاب بیشتری به یک پاسخ بهینه می‌رساند و این در حالیست که جهش[1] برای ایجاد تنوع جمعیتی به کار می‌رود. این سه مرحله اجزای اصلی الگوریتم در رسیدن به نتیجه مطلوب می‌باشند.

این مدل در حقیقت الگویی است که مبتنی بر یک شبکه عصبی پیش خور چند لایه عمل نموده و دارای فرآیند یادگیری مبتنی بر الگوریتم پس‌انتشار[2] می باشد. فرآیند آن شامل سه مرحله‌ی جمع آوری داده، تشکیل و بهینه‌یابی در مدل شبکه و آزمون شبکه‌های بهینه شده می‌باشد. در بخش جمع آوری داده در شبکه های عصبی مصنوعی، داده‌های ورودی به دو بخش تقسیم می‌شوند: داده های آموزش و داده های آزمون. در این الگو، جمعیت پیشین برای آموزش مدل الگوریتم ژنتیک به منظور دستیابی به ساختار شبکه‌ای بهینه و حصول اطمینان از اعتبار پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین در تشکیل و بهینه‌یابی مدل الگوریتم ژنتیک، پس از پشت سر گذاشتن مرحله اول، مدل وارد فرآیند پردازش داده‌های موجود خواهد شد. سازوکار تحلیلی مدل، شامل مراحل ذیل خواهد بود که در شکل ۲ نیز نشان داده شده است.

1. mutation
2. back propagation

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

شکل۲. الگوریتم ژنتیک به کار برده شده برای شبیه سازی قیمت برق

تمام داده ها در این فرآیند به مقادیری بین ۱- و ۱ نرمال خواهند شد تا مقدار خروجی را بتوان به عنوان یک پیش بینی قابل اتکاء به شمار آورد. تعداد داده‌های ورودی طبق الگوی تعریف شده برای داده‌های آزمون و آموزش و همچنین انتخاب پارامترهای پایه‌ی مدل، با توجه به هدف الگو، معرّف نورون‌ها در لایه های ورودی و خروجی و همچنین تعداد لایه‌های پنهان می‌باشد. پارامترهای ساختاری شبکه از قبیل: تعداد لایه‌های پنهان، نورون‌ها در هر لایه، الگوریتم یادگیری، نرخ یادگیری و تابع انتقال؛ مبتنی بر روش آزمون و خطا اصلاح می‌شود. پارامترهای متفاوت مورد آزمون قرار گرفته و بهترین گزینه از میان موارد بررسی شده انتخاب می‌گردد. ایجاد جمعیت اولیه و سایر پارامترهای

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

عملکرد از قبیل اندازه‌ی جمعیت و حجم عملگرهای انتخاب، آمیزش و جهش به منظور ایجاد الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی میزان وزن تورش‌های‌های متغیر صورت می‌گیرد که نهایتاً منجر به یافتن کروموزوم‌هایی با بیشترین مقدار برازش خواهد شد. اطلاعات از لایه ورودی به لایه پنهان و سپس به لایه خروجی با وزن‌های مشخص، تورش و تابع انتقال شبکه، منتقل می‌شود تا پس از طی این سه مرحله، نتیجه پیش بینی را به مشاهده بگذارد.

آموزش شبکه نیز شامل محاسبه میزان خطا بین خروجی مدل و میزان مورد انتظار می‌باشد. در صورتی‌که خطاها مورد قبول باشند، الگوی نهایی شبکه شکل گرفته است و اگر این میزان غیر قابل قبول باشد، به قبل از مرحله تکثیر رفته و وزن‌ها و تورش‌ها را از طریق طی الگو در مسیر عکس اصلاح می‌کنیم. طبیعی است که این فرآیند تا زمانی که شبکه قادر به پیش بینی خروجی معین داشته باشد، ادامه خواهد داشت.

بعد از کمینه سازی میزان خطا مدل میبایست از حیث دقت و پایداری در شرایط مختلف مورد سنجش قرار گیرد که این سنجش با استفاده از قیمت برق که روی ۲۵٪ باقی داده ها که در فرآیند آموزش بلا استفاده بوده اند، صورت می گیرد.

۳-۳. مدل آریما

در مدل‌های سری زمانی از نوع BJ متغیر Y_t با استفاده از مقادیر گذشته از متغیر Y و جملات خطای استوکاستیک توضیح داده می‌شود. این الگو شامل دو فرآیند خودرگرسیون (AR) و میانگین متحرک (MA) می‌باشد.

فرآیند خودرگرسیون مرتبه اول AR(1) عبارتست از:

$$(Y_t - \delta) = \alpha_1(Y_{t-1} - \delta) + U_t$$

که در حالت کلی، فرآیند خودرگرسیون مرتبه p ام AR(p) را می‌توان به شکل ذیل نوشت:

$$(Y_t - \delta) = \alpha_1(Y_{t-1} - \delta) + \alpha_2(Y_{t-2} - \delta) + \cdots + \alpha_p(Y_{t-p} - \delta) + U_t$$

که δ میانگین Y و U_t جمله اخلال خالص می‌باشد.

همچنین فرآیند MA(1) به فرم زیر می‌باشد:

$$Y_t = \mu + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1}$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

حالت کلی MA(q) نیز به این شکل می‌باشد:

$$Y_t = \mu + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1} + \beta_2 u_{t-2} + \cdots + \beta_q u_{t-q}$$

که μ یک مقدار ثابت و u جمله اخلال می‌باشد.

نهایتا الگوی کلی ARIMA را که ویژگی‌های هر دو فرآیند AR و MA را داشته باشد، می‌توان به فرم زیر نوشت:

$$Y_t = \varphi + \alpha_1 Y_{t-1} + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1}$$

که در آن φ یک عبارت ثابت می‌باشد.

برای پیش‌بینی قیمت برق با استفاده از روش باکس جکینز مدل ویژه‌ای را از میان مدل‌های اتورگرسیو (AR)، مدل‌های میانگین متحرک (MA) و در نهایت مدل‌های تلفیق شده اتورگرسیو-میانگین متحرک (ARIMA) انتخاب نمود. روش باکس – جنکینز عبارتست از برازاندن یک الگوی میانگین متحرک تلفیق شده با خودرگرسیو به مجموعه داده‌ها و به دست آوردن الگوی ریاضی شرطی است. این روش توسط باکس و جنکینز معرفی شده است (Box, Jenkins; 1994).

اجرای الگوریتم باکس جکینز شامل ۵ مرحله می‌باشد که عبارتند از:

۱. مشخص نمودن مانایی سری زمانی مورد مطالعه.

۲. تعیین مقادیر واقعی p، d و q در ARIMA(p, d, q).

۳. برآورد مدل

۴. کنترل تشخیص

۵. پیش‌بینی

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

٤. اجراء مدل و نتایج تحقیق

٤-١. شبکه‌های عصبی مصنوعی

در شبکه عصبی پرسپترون چند لایه پیشخور که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است، داده‌ها به طور تصادفی در سه گروه دسته بندی شده‌اند. ۸۰٪ داده ها در قالب داده‌های آموزش[1]، ۱۵٪ داده ها در قالب داده‌های اعتبارسنجی[2] و ۵٪ داده ها در قالب داده‌های آزمون[3] گروه بندی شده‌اند. در این شبکه، اولین لایه در بر دارنده ۷ نورون می‌باشد که از الگوی انتقال سیگموید[4] تبعیت می کند. لایه دوم نیز دارای ۵ نورون بوده که از الگوی انتقالی مشابه تبعیت می‌کند. الگوی انتقال یاد شده را می‌توان به فرم زیر نمایش داد:

$$n_j = \frac{2}{1 + e^{2z}} - 1$$

که در آن n_j خروجی نورون j ام بوده و z نیز در این رابطه بصورت زیر تعیین می شود:

$$z = \sum_{i=1}^{r} w_{ij}\, p_i + b_j$$

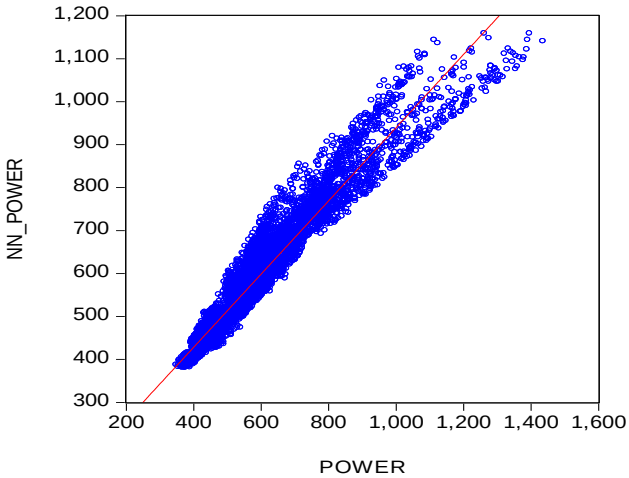
در این رابطه w_{ij} نشان دهنده وزنی ارتباط نورون‌های i ام با نورون‌های قبلی خود که در حقیقت نورون‌های J ام هستند، می‌باشد. p_i نیز بیانگر خروجی نورون I ام، b پارامتر تورش و r تعداد نورون ها در لایه قبلی می‌باشد. تابع انتقال خطی و تعداد داده‌های ورودی مدل نیز برابر ۸۷۸۳ است. در این شبکه در طی فرآیند یادگیری، بیشینه مقدار تکرار برابر ۲۰۰۰، بیشینه تعداد شکست در فرآیند ارزیابی اعتبار برابر ۲۰ بوده و میزان بازدهی شبکه نیز بصورت میانگین مجذور خطا، بیان می‌شود. مقدار میانگین مجذور خطا، طبق الگوی زیر محاسبه می شود.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i - a_i)^2}{n}$$

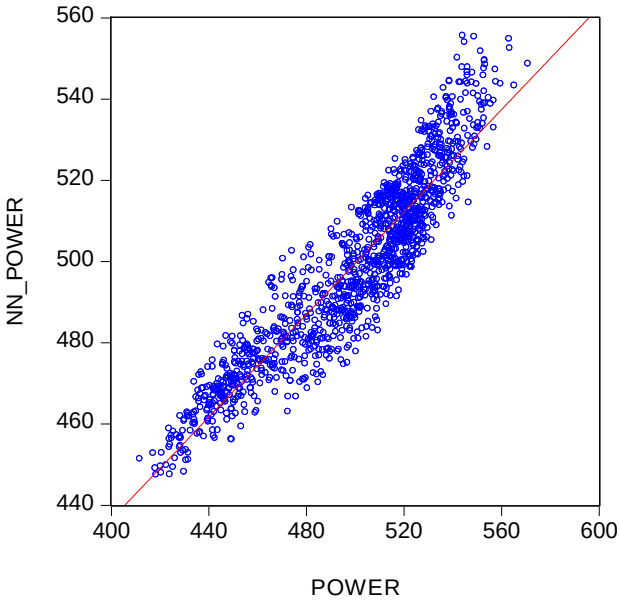
1. train data
2. validation data
3. test data
4. Tan-Sigmoid

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

که در آن n تعداد داده ها، t_i نشان دهنده مقادیر هدف i ام و a_i نیز بیانگر مقدار پیش بینی شده می‌باشد. همبستگی میان داده های تجربی و مقادیر پیش بینی شده قیمت برق در نمودار ۱ نشان داده شده‌اند.

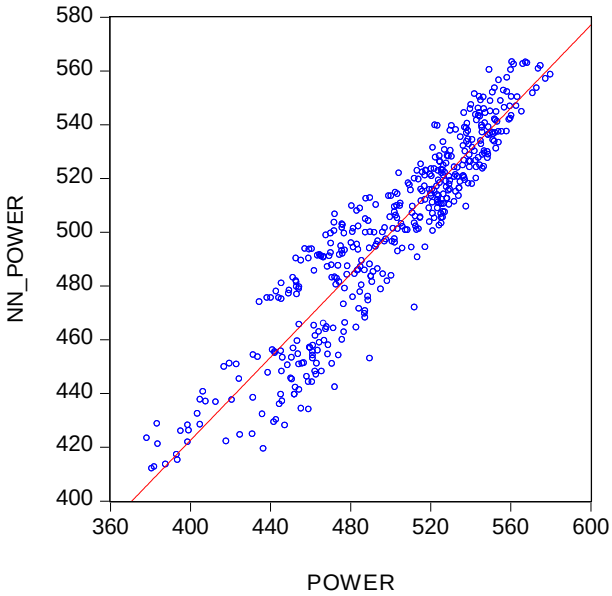


داده‌های آموزش



داده‌های اعتبارسنجی

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]



داده‌های آزمون

نمودار ۱. همبستگی میان داده های تجربی و مقادیر پیش بینی شده قیمت برق

همانگونه که در نمودارهای فوق نیز قابل مشاهده است ارتباط نزدیکی میان داده های مشاهده شده و مقدار پیش بینی شده توسط فرآیند شبکه عصبی مصنوعی وجود دارد. در این فرآیند حداکثر میزان میانگین مربعات خطا، برابر با ۱۷۶۲/۶۳ است که مربوط به داده‌های اعتبار سنجی است و این شاخص در خصوص داده‌های آموزش و داده‌های آزمون برابر با ۱۴۷۳/۴۳ و ۱۴۹۸/۳۲ است.

٤-۲. الگوریتم ژنتیک

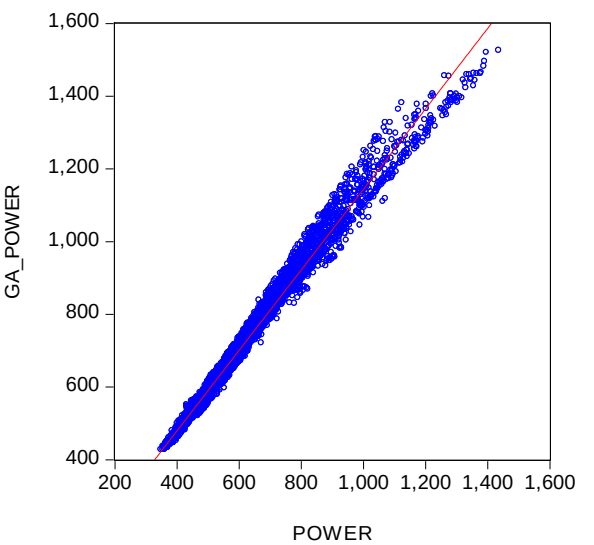
در پژوهش حاضر، مقادیر بهینه پارامترها از روش آزمون و خطا به دست آمده که در جدول ۱ بهترین ترکیب از مقادیر بهینه پارامترها برای پیش بینی قیمت برق از طریق الگوریتم ژنتیک نشان داده شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

جدول ۱. بهترین ترکیب از مقادیر بهینه پارامترها برای پیش بینی قیمت برق از طریق الگوریتم ژنتیک

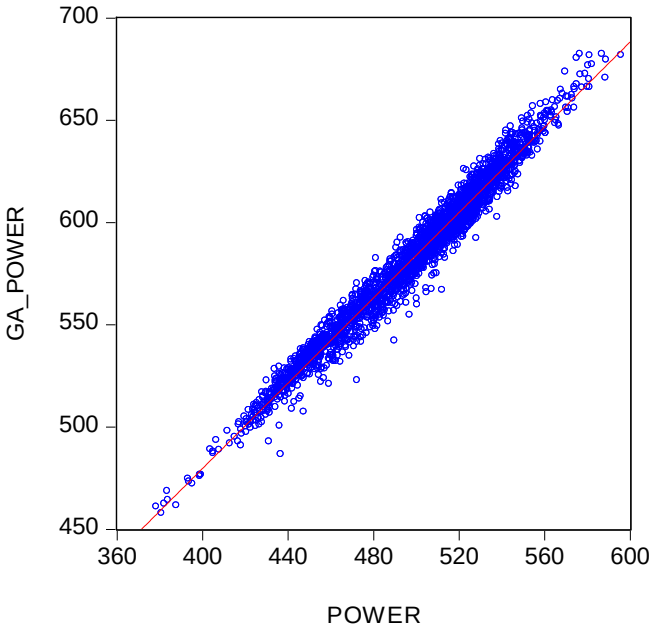
پارامتر ها	مقادیر
تعداد لایه های پنهان	۲
تعداد نورون ها در لایه ۱	۵
تعداد نورون ها در لایه ۲	۵
تابع انتقال داده های لایه پنهان ۱	Logsig
تابع انتقال داده های لایه پنهان ۲	Logsig
تابع انتقال داده های لایه خروجی	Linear
نرخ آموزش	0.0015
خطای هدف	MSE
الگوریتم آموزش	LM
معیار سنجش در مقادیر آزمون	R, MSE, AARE, E_{min}, E_{max}, $APRE_{10\%}$

نتایج فرآیند آموزش روی ۶۱۴۹ داده مدل نیز صورت پذیرفت و میانگین مربعات خطا در خصوص داده‌های آموزش برابر با ۱۱۳۱۸/۲۰ است.



داده های آموزش

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]



داده‌های اعتبار سنجی

نمودار ۲. همبستگی میان داده های تجربی و مقادیر پیش بینی شده قیمت برق

همبستگی داده‌ها میان داده‌های مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده در وضعیت مناسبی قرار دارد. پس از آموزش مدل می‌بایست اعتبارسنجی را به منظور سنجش دقت داده های آموزش شده انجام دهیم. فرآیند اعتبارسنجی نیز با استفاده از ۲۶۳۴ داده انجام شد که میانگین مربعات خطا در خصوص داده‌های اعتبارسنجی برابر با ۷۰۸۵/۹۸ است.

٤-۳. مدل آریما

به‌منظور مشخص نمودن مانایی سری مورد مطالعه از آزمون دیکی – فولر استفاده نموده که نتایج به‌دست آمده از آزمون یاد شده در جدول ۲ آمده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

جدول۲. نتایج آزمون دیکی- فولر

		آماره T	احتمال
آماره آزمون مکمل دیکی-فولر		-۳.۷۹۶۷۵۵	۰.۰۰۳۰
آزمون مقادیر بحرانی	سطح ۱٪	-۳.۴۳۰۵۵۴	
	سطح ۵٪	-۲.۸۶۱۵۱۴	
	سطح ۱۰٪	-۲.۵۶۶۷۹۷	

* فرض صفر: p دارای ریشه واحد است.

* متغیرهای برون زا: ثابت * طول وقفه ها: ۴۳ وقفه

همانطور که از جدول اخیر آزمون دیکی- فولر نیز مشخص است، این داده‌ها در سطوح ۱٪، ۵٪ و ۱۰٪ مانا هستند. پس از مانا شدن داده‌ها، نوبت به تعیین تعداد وقفه بهینه برای AR و MA می‌رسد. تعداد وقفه‌ای را که برای هرکدام از مدل‌های اتورگرسیو و میانگین متحرک در نظر گرفته‌ایم دوازده وقفه است. اکنون می‌خواهیم ببینیم که چه ترکیبی از این وقفه‌ها برای پیش‌بینی قیمت ساعتی برق بهینه است. روش کار نیز به این صورت است که از میان ترکیبات متفاوتی که بر حسب ترکیبات مختلف وقفه‌های AR و MA ساخته می‌شود؛ ترکیبی که کمترین اکاییک را نسبت به ترکیبات وقفه-های دیگر دارد انتخاب شود.

از میان ترکیبات مختلف AR و MA در سری زمانی مورد مطالعه، ترکیب ARMA(12, 10) بهینه‌ای می‌باشد که در میان ترکیبات موجود، کمترین اکاییک را به خود اختصاص داده است. از طرفی با توجه به آزمون دیکی – فولر که حاکی از مانایی متغیرها در سطح بوده و به‌منظور مانایی داده‌ها نیازی به تفاضل‌گیری از داده‌ها نمی‌باشد؛ مدل بهینه را می‌توان به‌صورت ARIMA(12, 0 , 10) نوشت. نتایج به‌دست آمده از اجرای این مدل در جدول ۳ نشان داده شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

جدول۳. نتایج به‌دست آمده از اجرای مدل ARIMA(12, 0 10)

متغیر	ضرائب	خطای استاندارد	آماره T	احتمال
ثابت	۶۱۰.۱۴۱۴	۲۹.۲۹۲۳۴	۲۰.۸۲۹۳۸	۰.۰۰۰۰
AR(1)	۱.۷۱۳۵۸۳	۰.۰۰۳۷۸۵	۴۵۲.۷۷۳۰	۰.۰۰۰۰
AR(2)	-۰.۷۲۹۲۹۷	۰.۰۰۵۱۵۶	-۱۴۱.۴۳۶۸	۰.۰۰۰۰
AR(3)	۰.۰۷۴۷۱۰	۰.۰۰۲۳۱۴	۳۲.۲۹۰۵۳	۰.۰۰۰۰
AR(4)	۰.۰۵۷۷۰۶	۰.۰۰۲۲۲۹	۲۵.۸۸۶۲۹	۰.۰۰۰۰
AR(5)	-۰.۷۵۷۵۰۸	۰.۰۰۲۳۴۲	-۳۲۳.۴۳۸۳	۰.۰۰۰۰
AR(6)	۰.۹۹۵۲۸۶	۰.۰۰۳۵۴۸	۲۸۰.۴۹۳۶	۰.۰۰۰۰
AR(7)	-۰.۲۹۱۵۷۸	۰.۰۰۲۷۴۲	-۷۷.۹۲۰۷۶	۰.۰۰۰۰
AR(8)	۰.۰۵۵۷۶۸	۰.۰۰۲۳۰۴	۲۴.۲۰۷۶۹	۰.۰۰۰۰
AR(9)	۰.۲۶۰۶۵۳	۰.۰۰۲۰۵۴	۱۲۶.۸۹۸۳	۰.۰۰۰۰
AR(10)	-۱.۴۶۸۲۲۰	۰.۰۰۲۲۴۹	-۶۵۲.۸۰۸۵	۰.۰۰۰۰
AR(11)	۱.۴۱۸۶۳۳	۰.۰۰۵۱۰۲	۲۷۸.۰۵۸۶	۰.۰۰۰۰
AR(12)	-۰.۳۳۴۳۵۹	۰.۰۰۳۴۲۲	-۹۷.۷۰۲۲۳	۰.۰۰۰۰
MA(1)	۰.۳۵۶۵۶۲	۰.۰۰۳۳۵۴	-۱۰۶.۳۲۰۳	۰.۰۰۰۰
MA(2)	-۰.۱۸۲۴۸۵	۰.۰۰۲۳۱۶	-۷۸.۸۰۹۰۴	۰.۰۰۰۰
MA(3)	-۰.۱۷۷۸۹۵	۰.۰۰۲۲۰۷	-۸۰.۶۲۱۲۷	۰.۰۰۰۰
MA(4)	-۰.۲۲۰۶۷۴	۰.۰۰۲۱۹۴	-۱۰۰.۵۶۷۱	۰.۰۰۰۰
MA(5)	۰.۴۸۷۵۳۳	۰.۰۰۲۲۳۵	۲۱۸.۱۳۵۲	۰.۰۰۰۰
MA(6)	-۰.۲۰۴۲۰۹	۰.۰۰۲۴۲۱	-۸۴.۳۵۳۵۶	۰.۰۰۰۰
MA(7)	-۰.۱۹۶۹۴۹	۰.۰۰۲۰۸۷	-۹۴.۳۵۵۰۸	۰.۰۰۰۰
MA(8)	-۰.۲۲۸۲۷۳	۰.۰۰۱۹۷۳	-۱۱۵.۶۸۸۵	۰.۰۰۰۰
MA(9)	-۰.۴۵۶۵۶۹	۰.۰۰۲۳۱۳	-۱۹۷.۳۵۵۹	۰.۰۰۰۰

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

متغیر	ضرائب	خطای استاندارد	آماره T	احتمال
MA(10)	۰.۸۵۲۱۳۸	۰.۰۰۲۹۵۳	۲۸۸.۶۱۳۲	۰.۰۰۰۰
مجموع مربعات	۱۲۲۵.۲۰۷	۳.۴۶۴۱۲۷	۳۵۳.۶۸۴۳	۰.۰۰۰۰
R^2	۰.۹۶۴۶۹۹	میانگین واریانس وابسته	۶۱۱.۷۰۹۳	
R^2 تعدیل شده	۰.۹۶۴۶۵۳	انحراف معیار واریانس وابسته	۱۸۶.۳۰۵۹	
خطای استاندارد رگرسیون	۳۵.۰۲۷۰۳	معیار آکایک	۹.۹۵۲۲۷۴	
مجموع مربع پسماند	۲۱۴۰۶۸۲۵	معیار شوارتز	۹.۹۶۲۹۴۴	
لگاریتم احتمال	-۸۶۹۱۹.۰۶	معیار هنان-کوئین	۹.۹۵۵۷۸۸	
آماره F	۲۰۷۳.۴۰	آماره دوربین-واتسون	۱.۹۵۵۶۰۹	
احتمال (آماره F)	۰.۰۰۰۰			

همانطور که در جدول ۳ مشخص است، شاخص دوربین – واتسون نیز در وضعیت مناسبی قرار دارد. نتایج آزمون‌های انجام شده حاکی از آن است که مدل اجرا شده، به خوبی توانسته است که قیمت برق را مدلسازی نماید. اما در نهایت امر آنچه باید توجه داشت این است که میزان میانگین مربعات خطا در این فرآیند برابر ۳۴۶۴۴/۳۷ می باشد.

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

فرآیند مقررات زدایی و شیوه های نوین انجام مبادلات در بازار برق موجب بروز نااطمینانی قیمت برای تولیدکنندگان و مصرف کنندگان این کالا شده است؛ بنابراین یافتن مدل هایی که قابلیت ارزیابی، تخمین و پیش بینی صحیح قیمت جهت تصمیم‌گیری و مدیریت ریسک را داشته باشد، از ضروریات این بازار به شمار می آید.

مطالعات انجام شده در این زمینه تا کنون را می‌توان در سه گروه دسته‌بندی کرد: گروه نخست، به سنجش قدرت پیش‌بینی و پیش‌بینی قیمت برق با استفاده از یکی از مدل‌های پیش بینی قیمت برق در بازار ایران پرداخته‌اند که این الگوی ترکیب، خارج از چهارچوب تحلیلی این پژوهش می‌باشد. گروه دوم، با رویکرد مقایسه‌ای میان الگوهای سری زمانی از قبیل مدل‌های خود توضیح جمعی میانگین

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

متحرک و الگوی شبکه‌های عصبی مصنوعی به مطالعه‌ی قدرت پیش‌بینی قیمت در بـازار بـرق ایـران پرداخته و گروه سوم با یک رویکرد ترکیبی از چند موتور پیش‌بینی به ارائه یک قیمت پیش‌بینی شده‌ی واحد از قیمت در بازار برق ایران پرداخته‌اند.

نتایج این پژوهش، حاکی از تأیید نتایج مطالعاتی است که به‌طور مجزا الگوهای سری زمانی چون مدل‌های خود توضیح جمعی میانگین متحرک و شبکه‌های عصبی مصنوعی را مورد بررسی قرار داده و آن‌ها را به‌عنوان الگوهای مناسبی در جهت پیش‌بینی قیمت در بازار برق ایران معرفی کرده‌اند. با توجـه به این‌که در مطالعات انجام شده، بازار برق ایران با داده‌های قیمت بـه‌صـورت روزانـه مـورد تجزیـه و تحلیل قرار گرفته است، پژوهش حاضر نتایج این مطالعات را با داده‌هایی که به‌صورت ساعتی می‌باشند نیز تأیید می‌نماید. این پژوهش، همچنین علاوه بر دو مدل یاد شده، الگوریتم ژنتیک را نیـز بـه‌عنـوان یک الگوی مناسب و قابل قبول معرفی می‌نماید.

همچنین در خصوص مطالعاتی که به بررسی مقایسه‌ای الگوهای سری زمانی و شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداخته‌اند، در این مقاله، عملکرد مدل‌های خود توضیح جمعی میانگین متحرک، شـبکه‌هـای عصبی و الگوریتم ژنتیک به دلیل ویژگی‌های آماری و قابلیت آن‌ها برای ارزیابی و تخمین سری زمانی قیمت‌های بازار برق مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مطـابق بررسـی‌هـای صـورت گرفتـه در جریـان ایـن تحقیق، میانگین مربعات خطا برای قیمت پیش‌بینی شده برق در روش خـود توضـیح جمعـی میـانگین متحرک از دو روش دیگر بیشتر است. همچنین شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت بـه سـایر روش هـا دارای کمترین میزان خطا می‌باشد. بر این اساس، مشخص اسـت کـه شـبکه‌هـای عصـبی مصـنوعی عملکرد به مراتب بهتری نسبت به مدل های خود توضیح جمعی میانگین متحرک و الگـوریتم ژنتیـک در خصوص پیش بینی قیمت های برق دارند. در نتیجه، انتخاب یک شبکه عصبی بـا سـاختار مناسـب می‌تواند ابزار بسیار توانمندی برای پیش بینی سری‌های زمانی باشد. بر این اساس، نتایج این پـژوهش، مؤید نتایج مطالعاتی است که قدرت پیش‌بینی شبکه‌های عصبی مصنوعی را به مراتب بیشتر از مـدل-های خودتوضیح جمعی میانگین متحرک می‌دانند با این تفاوت که با اضافه کردن الگوریتم ژنتیک کـه تا کنون مورد توجه این قبیل مطالعات قرار نگرفته است، مدل‌های خودتوضیح جمعی میانگین متحـرک در رتبه‌ی سوم قدرت پیش‌بینی در بازار برق ایران قرار دارد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

منابع

[۱] امیدی، محمدرضا؛ امیدی، نبی؛ عسگری، حشمت اله؛ جعفری اسکندری، میثم (۱۳۹۵)، مدل سازی و پیش بینی تولید و مصرف برق در ایران؛ فصلنامه آینده پژوهی مدیریت؛ شماره ۱۰۶.

[۲]درودی، علی؛ بشری، مسعود؛ جاویدی دشت بیاض، محمد حسین (۱۳۹۶)، ارائه یک موتور پیش بینی مبتنی بر ترکیب اطلاعات جهت پیش بینی قیمت در بازارهای برق؛ کیفیت و بهره وری صنعت برق ایران.

[۳]رحیمی، سلمان؛ ناظمی، علی (۱۳۹۶)، پیش بینی قیمت برق در بازار ایران با استفاده از شبکه عصبی. دومین کنفرانس ملی مهندسی برق و کامپیوتر.

[۴]رمضانی، رضا؛ رمضانی، مریم (۱۳۸۴)، پیش بینی تقاضای ماهیانه برق با استفاده از مدل های شبکه عصبی مصنوعی و اریما در ایران؛ بیستمین کنفرانس بین المللی برق، تهران.

[۵]شایقی، حسین؛ قاسمی، علی (۱۳۹۴)، پیش قیمت روزانه برق با شبکه عصبی بهبود یافته مبتنی بر تبدیل موجک و روش آشوبناک جستجوی گرانشی؛ مجله مهندسی برق؛ دانشگاه تبریز.

[۶]منظور، داود؛ صفاکیش، امیرکاظم (۱۳۸۸)، پیش بینی قیمت برق در بازار رقابتی ایران با رویکرد مدل های سری زمانی؛ هفتمین همایش ملی انرژی.

[۷]منظور، داود؛ یادی پور، مهدی (۱۳۹۵)، ارزیابی و پیش بینی نوسانات قیمت در بازار برق ایران به کمک مدل ARMAX-GARCH؛ فصلنامه اقتصاد مقداری، دوره ۱۳، شماره ۱.

[8] Amjady, N., Daraeepour, A. and F. Keynia (2010), Day-ahead electricity price forecasting by modified relief algorithm and hybrid neural network. IET Generation, Transmission & Distribution. 4(3): 432-444.

[9]Azadeh, A., Asadzadeh, S.M. and A. Ghanbari (2010). An adaptive network-based fuzzy inference system for short-term natural gas demand estimation: Uncertain and complex environments," Energy Policy, Elsevier, 38(3): 1529-1536.

[10] Benaouda, D., et al. (1996). Wavelet-based nonlinear multi-scale decomposition model for electricity load forecasting. International Journal of NeuArabali, A., Chalko, E., Etezadi-Amoli, M. and M.S. Fadali (2013), Short-term electricity price forecasting. IEEE Power and Energy Society General Meeting. Vancouver, BC, Canada.

[11] Box, Jenkines (1994). Time Series Analysis: Forecasting and Control; Prentice Hall; 3rd edition.

[12] Desai, V. S. and Rakesh Bharati (1998), A comparison of linear regression and neural network methods for prediction excess returns on large stocks; Annals of Operation Research 78(0): 127–163.

[13] Yu, F., and X. Xu (2014). A short term load forecasting model of natural gas based on optimized genetic algorithm and improved BP neural network. Applied Energy. 134 (C):102-113.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]

[14] Gao, G.; Lo, K. and Fulin Fan (2017). Comparison of ARIMA and ANN Models Used in Electricity Price Forecasting for Power Market. Energy and Power Engineering. 9(4B): 120-126.
[15] Gholipour, Morteza, et al. (2017). Electricity price forecasting using neural networks with an improved iterative training algorithm. International Journal of Ambient Energy, 147-158
[16] Chen, G. et al. (2014), The genetic algorithm based back propagation neural network for MMP prediction in CO2-EOR process. Fuel. 126: 202–212.
[17] Hemmat-Esfehani, M. et al. (2015), Designing an artificial neural network to predict thermal conductivity and dynamic viscosity of ferromagnetic nanofluid", International Communications in Heat and Mass Transfer, 68: 50–57.
[18] Hippert, H.S., Pedra, C.E. and R.C. Souza (2000), Neural networks for short-term load forecasting: a review and evaluation. IEEE Transactions on Power Systems 16(1): 44 - 55.
[19] Javidi, M.H. and Alireza Asrari (2012). Application of a New Hybrid Method for Day-Ahead Energy Price Forecasting in Iranian Electricity Market. Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering. 8(4): 322-328.
[20] Keynia, F. and M. Bahrampour (2017). A New Electricity Price and Load Uncertainty Prediction Method based on Optimal Neural Networks for Deregulated Electricity Power Markets. Journal of Energy Management and Technology. 1(3): 1-12.
[21] Siekmann, S. et al. (2001). Information fusion in the context of stock index prediction. International Journal of Intelligent System. 16(11): 1285-1298.
[22] Zhang, G. Peter (2003). Time series forecasting using a hybrid ARMA and neural network model. Neurocomputing 50: 159 – 175

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-07]