

برآورد کوتاه مدت میزان سوخت مورد نیاز بویلر بخار براساس پیش بینی دمای روزانه با استفاده از الگوریتم GMDH-BBO

هومن گدري^۱، حليمه نورمحمدی^۲ و سيد محمد محمدی^۳

چکیده

مخازن گازوئیل در مناطق سردسیر دچار یخزدگی میشوند و روند سوخت رسانی را با مشکل مواجه میکنند. جهت جلوگیری از یخزدگی در تاسیسات گازوئیل مناطق سردسیر، از بویلر و تاسیسات گرمایشی مربوطه استفاده میشود. بر مبنای دمای یخزدگی گازوئیل که منفی ۸٫۱ درجه است بویلر بایستی گرمای مناسب تاسیسات مخازن را فراهم کند تا از انجماد گازوئیل جلوگیری شود. در این راستا پیش بینی روزهای سرد کوتاه مدت، میزان سوخت مورد نیاز بویلر برآورد میشود و برنامه ریزی تامین سوخت بویلر به درستی انجام میگردد. ابزار پیش بینی این مقاله الگوریتم فراابتکاری GMDH-BBO می باشد. لذا هدف این مقاله پیش بینی سوخت مورد نیاز بویلر تاسیسات گرمایشی مخازن گازوئیل معدن سرچشمه برای یک دوره پانزده روز با استفاده از الگوریتم GMDH-BBO می باشد نتایج این پیش بینی با روش های کلاسیک مقایسه گردیده است که برتری روش GMDH-BBO را نشان میدهد.

دریافت مقاله:	کلمات کلیدی: پیش بینی وضع و هوا- روش گروهی مدل سازی داده ها- بهینه سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی- تاسیسات مخازن گازوئیل
پذیرش مقاله:	

۱- مقدمه

پرداخته اند [۳]. در زمینه پیش بینی روشهای متعددی در مقالات مطرح شده است که روشهای مختلفی را پیشنهاد داده اند. یکی از ابزارهای کارآمد تخمین و پیش بینی روش گروهی مدل سازی داده ها می باشد. در مرجع [۴] با استفاده از روش GMDH دمای خروجی دودکش خورشیدی بر اساس دمای محیط مدل سازی شده است. در این پژوهش داده های تجربی دما با روش گروهی پردازش داده ها (GMDH) مورد بررسی قرار گرفته اند و درحقیقت این روش به عنوان یک رویکرد هوش مصنوعی برای پیش بینی تغییرات دما و همچنین برای پی بردن به کیفیت داده های تجربی و دما مورد استفاده قرار گرفته است. در مقالات بهینه سازی روش گروهی مدل سازی داده ها توسط الگوریتمهای بهینه سازی مختلفی انجام گرفته است که مقدار خطای پیش بینی کاهش یابد. در مرجع [۵] تحلیل روش گروهی پردازش داده ها تلفیقی

در فصول سرد سال، یکی از مشکلات رایج که بسیاری از صنایع با آن مواجه میشوند، یخ زدن گازوئیل است. این مشکل میتواند باعث بروز اختلالات جدی در روند تولید و خدمات شود. زمانی که دمای هوا به زیر صفر میرسد، سوخت گازوئیل از نظر فنی میتواند در دمای حدود صفر درجه سانتی گراد به حالت ژل مانند درآمده و سپس در حدود منفی ۸ درجه یخ بزند [۱]. بویلرهای بخار در تاسیسات مخازن گازوئیل برای جلوگیری از انجماد گازوئیل موجود در مخازن بکار میروند. بهینه سازی عملکرد بویلرهای در بسیاری از پژوهشها مورد بررسی پژوهشگران قرار گرفته است [۲]. همچنین مقالات متعددی به پیش بینی میزان سوخت ورودی و میزان بخار یا گرمای خروجی بویلر ها

مینای الگوریتم عبارت است از فرایندی که منجر به یک چند جمله ای مرتبه بالاتر (۱) است [۷]. در واقع هدف این الگوریتم بدست آوردن ضرایب مجهول a_i می باشد. برای محاسبه مقدار خروجی y برای هر بردار ورودی بر اساس رابطه (۱)، میانگین مربعات خطا (معادله ۱۰) باید به حداقل برسد:

$$e = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \quad (2)$$

بنابراین برای یافتن حداقل مقدار خطا از مشتق جزئی معادله (۲) استفاده میشود. با جایگزینی معادله (۱) به این مشتق جزئی، یک معادله ماتریسی $Aa = y$ به دست می آید که ماتریس A مطابق رابطه (۱۱) است:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_{1p} & x_{1q} & x_{1p}x_{1q} & x_{1p}^2 & x_{1q}^2 \\ 1 & x_{2p} & x_{2q} & x_{2p}x_{2q} & x_{2p}^2 & x_{2q}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{Mp} & x_{Mq} & x_{Mp}x_{Mq} & x_{Mp}^2 & x_{Mq}^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

در ماتریس فوق m مشاهدات در مجموعه آموزشی است. فرآیند حداقل مربعات از تحلیل رگرسیون چندگانه یک جواب معادله نرمال به شرح زیر (معادله ۴) ایجاد می کند:

$$a = (A^T A)^{-1} A^T Y \quad (4)$$

که به این ترتیب بردار بهترین ضرایب معادله درجه دوم را محاسبه میشود. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم BBO این ضرایب مجهول a_i به صورت بهینه تعیین میشوند.

۳- الگوریتم بهینه سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی (BBO)

BBO یک الگوریتم تکاملی بر پایه جمعیت است که از پدیده مهاجرت حیوانات و پرندگان بین جزایر الهام گرفته شده است. در واقع جغرافیای زیستی مطالعه توزیع جغرافیایی گونه های زیستی می باشد. جزایری که مکان مناسبی برای گونه های جغرافیایی جهت اسکان هستند دارای شاخص میزان مطلوبیت HIS بالا هستند. در BBO هر منطقه زیستی به عنوان یک عضو منفرد شناخته می شود و دارای شاخص میزان مطلوبیت یا HSI مخصوص به خود است در این الگوریتم جواب یا منطقه زیستی با HSI بالاتر نشان دهنده جواب خوب می باشد.

دو فاکتور تعیین کننده در این الگوریتم مقدار شاخص شایستگی زیستگاه که HSI نامیده می شود و متغیرهای شاخص شایستگی که SIV نام دارد. لذا جزایری که مکان مناسبی برای گونه های جغرافیایی جهت اسکان هستند دارای شاخص صلاحیت HSI بالا هستند و فاکتورهای تعیین کننده HSI از قبیل بارندگی، تنوع

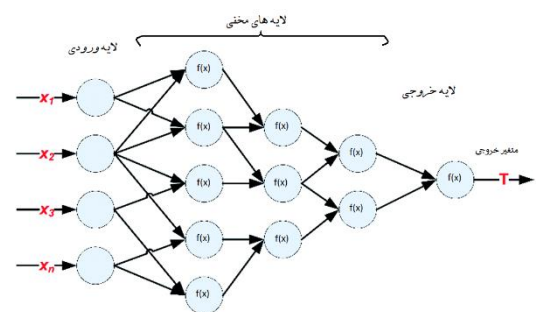
با الگوریتم ژنتیک (GA-GMDH) و روش گروهی پردازش داده ها تلفیقی با الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات در پیش بینی رفتار و هندسه کانال ها و رودخانه ها به کار انجام داده است. الگوریتم بهینه سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی یک ابزار کارآمد هست که جهت بهینه سازی روشهای دیگر بکار گرفته شده است. در مرجع [۶] تخمین جریان تراوش با استفاده از مدل های بهینه شده هوشمند مصنوعی صورت گرفته است که روش ANN-BBO را با خطای کم معرفی کرده است. هدف این پژوهش برآورد مقدار سوخت مورد نیاز بویلر مخازن گازوئیل سرچشمه می باشد که ابزار پیش بینی آن روش گروهی مدلسازی داده ها بهینه شده با الگوریتم BBO می باشد.

۲- روش گروهی مدل سازی داده ها (GMDH)

شبکه عصبی نوع GMDH شبکه ای است که خود را سازمان دهی میکند و یک سویه است و مدل یک سیستم غیرخطی پیچیده را بایک شبکه عصبی چند لایه ای ارائه میدهد که این شبکه از چندین لایه و هر لایه از چندین نرون تشکیل یافته است. مبنای ریاضی الگوریتم GMDH براساس تجزیه سری توابع ولتر به چند جمله ای های دو متغیره درجه دوم مطابق با معادله زیر پایه ریزی شده است:

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

بردار وزنها $A (a_1, a_2 \dots a_m)$ در این رابطه m متغیر ورودی $X(x_1, x_2 \dots x_m)$ را به یک متغیر خروجی y مرتبط می کند که نمای این اتصال در شکل (۲) نمایش داده شده است:



شکل ۱ - ساختار شبکه GMDH

الگوریتم GMDH که توسط ایواخنکو ارائه شد یک مدل خود تنظیم کننده میسازد که امکان پیش بینی و تشخیص را دارد. و همانطور که بیان شد،

استفاده می کنیم؛ که با احتمال محاسبه می شود. می توان با استفاده از نخبه گرایی باعث جلوگیری از حذف راه حل های بهتر شد. **جهش**: عملگر جهش بیشتر در پردازش های تکاملی انجام می گیرد. شاید همیشه تمام جواب هایی که توسط الگوریتم BBO به دست آمده باشد بهینه نباشد، یا ممکن است ما را از هدف اصلی که رسیدن به جواب بهینه است دور کند بدین منظور در این الگوریتم بعد از عمل مهاجرت باید عملگر جهش روی راه حل ها اتفاق بیافتد، از جهش برای ایجاد تغییر در راه حل ها استفاده خواهیم کرد، هدف کلی جهش ایجاد تنوع در راه حل ها یا افزایش زیست گاه ها در میان جمعیت است.

۴- مدل ترکیبی پیشنهادی GMDH-BBO برای پیش بینی

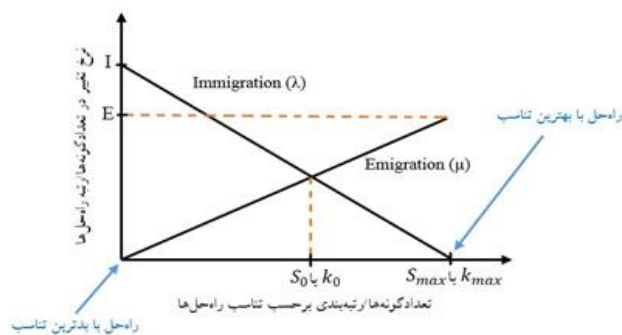
بهینه سازی بر اساس روش های شبکه های عصبی هر روز در حال گسترش و بهبود است. از آنجا که الگوریتم GMDH دارای رویکرد خود سازمان دهی است و ساختار آن در ابتدا نامشخص است، بنابراین الگوریتم های جستجو میتوانند برای آموزش و بهینه سازی وزن ها در ساختار هر نورون در شبکه GMDH مورد استفاده قرار بگیرد. در مرجع [۱۷] مدل های هوشمند ترکیبی جدید برای پیش بینی سیل ارائه شده است و بهینه سازی مدل های GMDH و رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) با الگوریتم ژنتیک و جستجوی هارمونی مورد بررسی قرار گرفته است. مسئله طراحی شبکه عصبی GMDH جلوگیری از رشد واگرایی شبکه می باشد. الگوریتم BBO و روش پیش بینی GMDH که دو روش شناخته شده هستند در این پژوهش الگوریتم ترکیبی GMDH-BBO را ایجاد میکنند. روش ترکیبی در این تحقیق، از الگوریتم بهینه سازی توده ذرات اصلاح شده جهت بهبود ضرایب جملات چند جمله ای در GMDH استفاده شده است. ابتدا با اعمال الگوریتم GMDH ضرایب رگرسیون بدست می آیند. این ضرایب را به عنوان مقدار اولیه الگوریتم BBO قرار میدهم. به عبارت دیگر GMDH-BBO به سادگی یک فرآیند GMDH است که در آن داده مجموعه ای از گره ها برای انتقال به لایه بعدی توسط BBO تعیین می شود. در واقع هدف زیر مدل BBO، تعیین وزن های بهینه مطلوب در زمان کوتاه برای دستیابی به ساختار مطلوب GMDH با حداقل خطا می باشد [۱۸]. بنابراین الگوریتم GMDH-BBO شامل مراحل زیر است:

۱- داده ها به دود سته داده های آموزشی و آزمایشی تقسیم شده و مقادیر اولیه ضرایب چند جمله ای در GMDH درج شد. اما قبل از جداسازی، نرمال سازی را به صورت زیر انجام می دهیم:

$$X = \frac{xi}{\max xi} \quad (7)$$

براساس رابطه (۷) برای نرمال سازی داده ها، مقدار هر ورودی بر بیشترین

گیاهی، دما شاخص شایستگی زیستگاه هستند. جزایر با HSI دارای گونه های زیادی هستند، در حالت کلی جزایر با HIS بالا دارای نرخ مهاجرت به داخل پایین و جزایر با HSI پایین دارای نرخ مهاجرت به داخل بالایی هستند، دلایل این دو مورد می تواند این باشد که در مورد اول جزیره قبلاً توسط گونه های دیگر پر شده است و نمی تواند پذیرای گونه های جدیدی باشد و مورد دوم به علت جمعیت خلوت این جزیره است؛ اما در مسائل بهینه سازی اگر هدف بیشینه سازی باشد، سکونت گاه ای که HIS بیشتری دارد، برای سکونت بهتر است و بالعکس، اگر هدف کمینه سازی باشد، سکونت گاهی که HSI کمتری دارد، سکونت گاه بهتری خواهد بود.



شکل ۲- تعداد گونه های رتبه بندی بر حسب راه حل ها

در مسئله انتخاب ویژگی نیز نقطه ی k_{max} زیرمجموعه ی ویژگی با بهترین رتبه بر حسب مقدار برازش را نشان می دهد که به اشتراک گذاری ویژگی های خوب با زیرمجموعه های ضعیف تر اشاره دارد. مبدأ مختصات نیز زیرمجموعه ی ویژگی با پایین ترین رتبه ی برازش را نشان می دهد که مطابق آن حداکثر نرخ پذیرش اطلاعات از راه حل های متناسب تر و حداقل نرخ اشتراک گذاری اطلاعات با راه حل های دیگر را دارد.

$$\lambda_i = I(1 - \frac{k(i)}{n}) \quad (5)$$

$$\mu_i = E(\frac{k(i)}{n}) \quad (6)$$

در معادلات (۵) و (۶) λ نرخ مهاجرت به داخل و μ نرخ مهاجرت به خارج می باشند. همچنین I و E هم به ترتیب بیشترین مقدار نرخ مهاجرت به داخل و مهاجرت به خارج هستند و i نشان دهنده تعداد گونه ها در زیستگاه نام می باشد **مهاجرت**: تغییرمان از یک زیستگاه به زیستگاه دیگر است، در الگوریتم BBO یک جمعیت به عنوان یک راه حل در نظر گرفته می شود، از مهاجرت برای ایجاد تغییر در راه حل استفاده می شود مهاجرت در BBO یک فرآیند تطبیقی است که برای تغییر در زیستگاه های موجود استفاده می شود. ما از نرخ مهاجرت هر راه حل برای تعیین احتمال تبادل اطلاعات ما بین زیستگاه ها

مقدار آن تقسیم میشود.

۲- مدل GMDH در سطح آموزشی اجرا می شود.

۳- الگوریتم های BBO برای تنظیم پارامترهای GMDH بکار گرفته می شود.

۴- مقادیر اولیه ضرایب چند جمله ای جمعیت اولیه الگوریتم ها در نظر گرفته می شود. ای پژوهش همانطور که بیان شد از چند جمله ای درجه دوم شبکه GMDH استفاده شده است که به صورت زیر نوشته می شود:

$$\hat{y} = G(x_i, x_j) = a_0 + a_1x_i + a_2x_j + a_3x_ix_j + a_4x_i^2 + a_5x_j^2 \quad (8)$$

در روش GMDH ضرایب وزنی معادله (۸) با استفاده از تکنیک های رگرسیون محاسبه می شوند. به طوری که تفاوت بین خروجی واقعی، y و یک خروجی محاسبه شده $\hat{y}$ برای هر جفت x_i و x_j به عنوان متغیرهای ورودی، به حداقل برسد. در این راستا بردار ضرایب مجهول چند جمله ای درجه دوم در به شکل زیر نمایش میدهم:

$$a = \{a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\} \quad (9)$$

الگوریتم BBO برای طراحی مدل بهینه شبکه عصبی براساس تعیین بهینه ضرایب مجهول بردار رابطه (۹) استفاده شده است. تعداد معینی از تکرار بدون مشاهده بهبودی خاص در نتیجه، شرط توقف الگوریتم BBO است.

۵- در صورت تحقق شرط توقف (معادل ۱۰)، مدل در سطح تست اجرا می شود. در غیر این صورت، مجدداً وارد الگوریتم BBO برای تنظیم پارامترهای GMDH استفاده می شود.

$$e = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \rightarrow \min \quad (10)$$

۶- مجدداً مدل GMDH اجرا می شود. تابع هدف (معادله ۱۰) برای ارزیابی عملکرد مدل GMDH-BBO بررسی می شود. مقادیر ضرایب به روز میشوند.

۴-۱- دیتای موردنیاز آموزش مدل ارائه شده

اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق شامل داده های هواشناسی روزانه (حداقل دما، حداکثر دما، میانگین دما، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و تابش خورشید) شهر سرچشمه از اداره هواشناسی کرمان مربوط به زمستان سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ اخذ شدند. پارامترهای برداشت شده جهت ورود به شبکه طراحی شده شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، میانگین رطوبت نسبی و سرعت باد و روزهای ابری می باشد. پارامترها براساس نرخ میانگین نیز قرار گرفته اند. لازم به ذکر است این بخش از استان کرمان ۶۷ روز هوای ابری در طول سال داشته است.

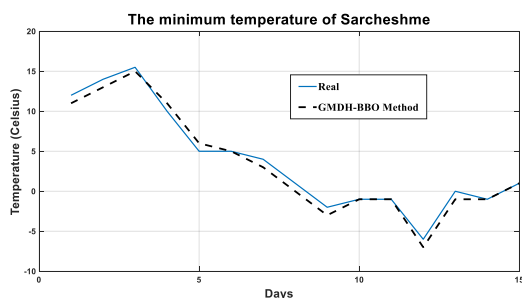
جدول ۱ - مشخصات آماری اطلاعات هواشناسی ایستگاه مورد مطالعه

پارامتر	نماد	کمینه	بیشینه	میانگین
دمای (درجه سانتی گراد)	T	-۹,۴	۳۵	۷,۴
میانگین رطوبت نسبی (درصد)	RH	۱۸,۲	۹۸,۴	۳۲,۱
سرعت باد (متر بر ثانیه)	w	۵	۳۷,۵	۱۰,۷۵

۴-۲- پیش بینی کوتاه مدت سوخت مورد نیاز بویلر با استفاده از الگوریتم GMDH-BBO

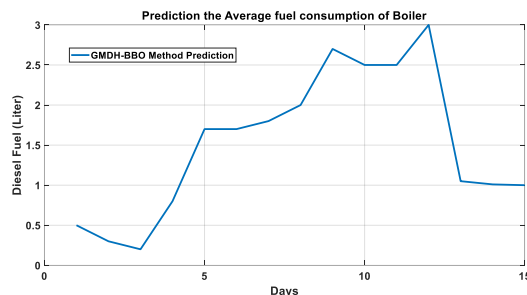
بویلر مورد استفاده در مخازن سوخت گازوئیل سرچشمه از نوع بویلرهای با دیگ بخار افقی فایر باکس هستند که این بویلرها با راندمان ۸۰ درصد در ظرفیت ۵۰۰ کیلوکالری بر ساعت کار میکنند. همچنین دمای حداکثر ۱۵ درجه سانتیگراد را برای تاسیسات مخازن در نظر میگیریم که بویلر باید تامین کند. ارزش حرارتی هر لیتر گازوئیل ۸۵۰۰ کیلوکالری می باشد. لذا بویلر با توجه به ارتفاع ۲۶۰۰ متری سرچشمه و افت راندمان، برای اینکه بتواند حداکثر کالری مورد نیاز را در هر ساعت داشته باشد، بایستی ۰,۰۸ لیتر گازوئیل در هر ساعت مصرف کند.

برای انجام مراحل آموزش و اعتبارسنجی مدل، داده ها به دو قسمت تقسیم میشوند. سری داده های سال ۱۴۰۱ برای مرحله آموزش و داده های زمستان سال ۱۴۰۲ برای مرحله اعتبار سنجی مورد استفاده قرار میگیرند. پیش بینی آب و هوا برای دو هفته اول دیماه انجام میگیرد. کل داده های ورودی برابر با ۵۴۰ است و همانطور که گفته شد ۷۰ درصد این داده برای آموزش و ۳۰ درصد در مرحله اعتبار سنجی مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۳- پیش بینی ۱۵ روزه دما و میزان سوخت مورد نیاز بویلر براساس روش GMDH-BBO

شکل ۳- پیش بینی ۱۵ روزه دما و میزان سوخت مورد نیاز بویلر براساس روش GMDH-BBO



شکل ۴- پیش بینی ۱۵ روزه میزان سوخت مورد نیاز بویلر براساس روش GMDH-BBO

همانطور که از شکل (۳) مشخص هست الگوریتم GMDH-BBO با خطای قابل قبولی پیش بینی ۱۵ روزه انجام داده است و بر این اساس میزان سوخت مورد نیاز مشعل بویلر را روزانه مشخص کرده است.

جدول (۲): نتایج اجرای شبکه GMDH-BBO در مرحله آموزش و آزمون

داده ها	شاخص های ارزیابی	GMDH-JSO
آموزش	R	۰,۹۹۱۲
	MSE	۰,۱۶۰۵
	RMSE	۰,۳۶۷۴
آزمون	R	۰,۹۹۵۴
	MSE	۰,۱۶۶۸
	RMSE	۰,۳۲۰۳

مدل GMDH نیز جهت برآورد سوخت مورد نیاز بویلر اعمال شده است. جدول (۳) نشان میدهد که بهینه سازی مدل کلاسیک خطا را به مقدار چشمگیری کاهش داده است و براساس آن ارزیابی و برنامه ریزی فرایند های صنعتی دقیق تر انجام میشود..

جدول (۳)- مقایسه معیارهای ارزیابی برای روش GMDH-BBO با روشهای مشابه

روش	GMDH	GMDH-BBO
معیار		
R	۰,۹۷۹۱	۰,۹۹۵۴
MSE	۰,۳۵۷۶	۰,۱۶۶۸
RMSE	۰,۶۷۱۹	۰,۳۲۰۳

۴-۳- معیارهای ارزیابی ابزار مسئله

به منظور ارزیابی قدرت پیش بینی تکنیک های مختلف در پژوهشهای گوناگون از معیارهای مختلفی استفاده میشود. با وجود این، سه شاخص آماری ضریب همبستگی (R)، مجموع مربع خطاها (MSE) و معیار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) در مبحث خطاهای پیش بینی از پرکاربردترین معیارها محسوب میشوند [۸][۹].

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (11)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{N} \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{N}} \quad (13)$$

جدول (۲) معیارهای ارزیابی شبکه GMDH-BBO برای داده های آموزش و آزمون را نمایش میدهد. معیار ضریب همبستگی R هرچه بیشتر باشد نشان دهنده میزان تطابق خروجی مدل با هدف است و اگر یک باشد، معرف این هست که خروجی سیستم با هدف برابر میباشد. این ضریب در مرحله آزمون مقدار ۰,۹۹۵۴ را داراست که معرف کارایی شبکه می باشد. ارزیابی های آماری ثابت میکنند که نتایج مدل پیشنهادی دقت بسیار بالایی در پیش بینی میزان

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش، به منظور پیش بینی کوتاه مدت سوخت مورد نیاز بویلر مخازن گازوئیل معدن سرچشمه روش GMDH-BBO بکارگرفته شد. در این روش جهت بهبود عملکرد پیش بینی، الگوریتم بهینه سازی مبتنی بر جغرافیای

- [4] A. Kasaeian, M. Ghalamchi, M. H. Ahmadi, M. Ghalamchi, "GMDH algorithm for modeling the outlet temperatures of a solar chimney based on the ambient temperature", *Mechanics & Industry*, vol. 18, num. 2, pp. 10, Feb 2017 (doi.org/10.1051/meca/2016034).
- [5] A. Khosravi, L. Machado, R.O. Nunes, "Time-series prediction of wind speed using machine learning algorithms: A case study Osorio wind farm, Brazil" *Applied Energy*, vol. 224, pp. 550-566, Aug. 2018, (doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.043)
- [6] Issam RehamniaIssam, RehamniaBenlaoukli BachirBenlaoukli BachirChouireb MustafaChouireb Mustafa," Estimation of Seepage Flow Using Optimized Artificial Intelligent Models" *Geotechnical and Geological Engineering*,(DOI: 10.1007/s10706-023-02423-7)
- [7] Ivakhnenko, A.G.1971.Polynomial theory of complex systems. *IEEE Transactions on Systems*,vol SMC-1, no. 4, pp. 364-378. DOI: 10.1109/TSMC.1971.4308320
- [8] Yaprakdal, F., et al.2020.A deep neural network-assisted approach to enhance short-term optimal operational scheduling of a microgrid. *Sustainability*, Vol 12, Issue 4 https://doi.org/10.3390/su12041653
- [9] Moradzadeh, A., et al.2020.Performance evaluation of two machine learning techniques in heating and cooling loads forecasting of residential buildings. *Applied Sciences*, Vol 10, Issue 11. https://doi.org/10.3390/app10113829

زیستی با روش گروهی مدل سازی داده ها جهت تعیین ضرایب بهینه GMDH ترکیب شده است. در این راستا الگوریتم BBO به بهترین شکل ممکن ضرایب وزنی شبکه GMDH را مشخص میکند و خطای این شبکه را به حداقل میرساند. مدل ارائه شده ابتدا به پیش بینی وضعیت هوا و دما پرداخته و بر این اساس برآورد سوخت مورد نیاز بویلر را انجام داده است. مدل پیش بینی در بحث ارزیابی براساس شاخصهای آماری ضریب همبستگی (R)، مجموع مربع خطاها (MSE) و معیار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) را به ترتیب مقادیر ۰.۹۹۵۴، ۰.۱۶۶۸ و ۰.۳۲۰۳ را کسب کرد.

منابع

- [1] İbrahim ÇETİNER, Halit ÇETİNER, "Developing real-Time Boiler Control Algorithm", *ECJSE*, Vol: 9, No: 2, 2022 (853-868), DOI : 10.31202/ecjse.1020132
- [2] for Fuel Consumption Savings "Optimization of the boiler start-up taking into account thermal stresses", *Energy*, Vol, 92, Part1,1 December 2015, Pp:160-170, (https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.095)
- [3] Bamii Z. Adewole. Olatunde A. Abidakun . Abraham A. Asere "Artificial neural network prediction of exhaust emissions and flame temperature in LPG (liquefied petroleum gas) fueled low swirl burner". *Energy*. Volume 61. 1 November 2013. Pages 606-611 (doi.org/10.1016/j.energy.2013.08.027)