

ارزیابی کارایی مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی چند لایه در پیش‌بینی کوتاه مدت سرعت باد

مسعود گودرزی^{*}، سید اسعد حسینی^۱، کاوه محمدپور^۲

۱- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، پست الکترونیک (m.goodarzi@areeo.ac.ir mgoodarzi@scwmri.ac.ir)

۲- دکترای اقلیم‌شناسی از دانشگاه محقق اردبیلی

چکیده

پیش‌بینی سرعت باد یکی از موثرترین پارامترهای اقلیمی جهت تعیین پراکندگی گرد و غبار، تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاهان، شیوع و گسترش بیماری‌ها، ذوب برف و آلودگی هوا می‌باشد. همچنین با توجه به گسترش روز افزون استفاده از انرژی بادی بعنوان منابع تجدیدپذیر و با توجه به ساختار گسسته و نامطمئن سرعت باد، پیش‌بینی آن در فواصل زمانی مختلف ضرورت می‌یابد، در همین راستا مدل‌ها و روش‌های متعددی برای پیش‌بینی این عامل مورد استفاده قرار گرفته است. در سال‌های اخیر استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی به عنوان روشی نوین و هوشمند جایگاه ویژه‌ای در علوم اتمسفری و اقلیم‌شناسی پیدا کرده است که در این پژوهش با استفاده از پارامترهای میانگین ماهانه دما، رطوبت نسبی و فشار استاندارد سطح ایستگاه بعنوان ورودی مدل شبکه عصبی، سرعت باد در شهرستان سقز برای کوتاه مدت پیش‌بینی گردید. پارامترهای اقلیمی مذکور دوره آماری ۲۶ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۵) را در بر می‌گیرند. از ۲۳ سال دوره آماری جهت آموزش و ۳ سال باقی‌مانده (۲۰۱۰-۲۰۰۸) جهت آزمون شبکه استفاده شد. بدین منظور از امکانات و توابع موجود در نرم افزار MATLAB بهره گرفته شد. سپس به بررسی شاخص‌های ارزیابی مدل با استفاده از معیارهای آماری ضریب تعیین، مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا، میانگین درصد نسبی خطا و ضریب همبستگی پرداخته شد. نتایج حاصل نشان داد که یک مدل پرسپکتورن سه لایه با ۱۴ نرون در لایه پنهان و الگوریتم لوبزبرگ-مارکوارت و تابع محرک تانژانت هیپربولیک در لایه پنهان و تابع محرک خطی در لایه خروجی دارای بهترین نتیجه می‌باشد. بطوری که میانگین درصد نسبی خطای شبکه ۰/۵۵ درصد و ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده برابر با ۰/۹۹ است. همچنین حداکثر اختلاف داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده سرعت باد برابر با ۰/۰۳ متر در ثانیه است. نتایج حاصل بیانگر کارایی و دقت بالای شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی کوتاه مدت سرعت باد در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

باد، پیش‌بینی، سقز، شبکه عصبی مصنوعی

مقدمه

یافتن منابع جدید انرژی از مهم‌ترین دغدغه‌های بشر در قرن حاضر می‌باشد با افزایش تقاضا برای منابع انرژی تجدیدپذیر و هزینه صعودی و آلوده‌کنندگی سوخت‌های فسیلی، انرژی بادی و مسائل مربوط به آن نیز اخیراً مورد توجه خاصی قرار گرفته‌اند [۱۸،۲۰]. پیش‌بینی سرعت باد در علوم کشاورزی نیز به ویژه در محاسبه تبخیر و تعرق و تعیین نیاز آبی گیاهان از فاکتورهای اصلی و مهم به حساب می‌آید. به وجود آمدن باد و شدت سرعت باد در هر منطقه متأثر از عوامل متعددی است. از جمله این پارامترها می‌توان به فشار هوا، رطوبت نسبی، دمای هوا و دمای خاک اشاره کرد. با توجه به متغیر بودن رفتار روزانه و فصلی باد و غیر قابل پیش‌بینی بودن پارامترهای آن، عدم قطعیت در برآورد سرعت این متغیر هواشناسی مشاهده می‌شود. دو پارامتر موثر باد در روابط به کار رفته در مباحث هواشناسی کشاورزی، سرعت و جهت وزش آن است. لذا هر گونه

تلاشی برای پیش‌بینی و محاسبه این دو عامل نیازمند آگاهی از این دو متغیر است. از جمله مزایای پیش‌بینی پارامترهای باد می‌توان به محاسبه تبخیر و تعرق، پیش‌بینی سرعت پراکندگی گرد و غبار و آلودگی هوا در یک منطقه اشاره کرد [۳، ۲۰]. همچنین پیش‌بینی کوتاه مدت را می‌توان برای کنترل توربین‌های بادی و حفاظت از آنها در مقابل بادهای ناگهانی بزرگ به کار گرفت همچنین در مزارع بادی امکان تولید بهینه و تعمیر و نگهداری توربین‌ها را میسر می‌سازد [۱۴] و پیش‌بینی پارامترهای باد برای استفاده بهینه از سیستم‌های تبدیل انرژی بادی ضروری است [۱۸]. بنابراین استفاده از مدل‌های مختلفی در پیش‌بینی سرعت باد پیشنهاد شده است که یکی از این مدل‌ها، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) از مؤلفه‌های هوش مصنوعی است که به عنوان یک ابزار جدید و کارآمد امروزه بطور وسیع در مطالعات مربوط به اقلیم‌شناسی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی استفاده می‌شود [۱۳]. در این راستا سینگ و همکاران [۲۲] با استفاده از یک مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP) به پیش‌بینی سرعت باد با استفاده از فاکتورهای مؤثر در تولید انرژی در ارتفاعات آکلاهما پراختند. نتایج نشان داد که ارتفاعات این منطقه پتانسیل بالایی در تولید انرژی دارد و این مدل را برای بررسی پیشنهاد دادند. اوزتوپل [۱۹] با استفاده از روش مثلثاتی واریوگرام‌های تجمعی و شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی سرعت باد پرداخت. نتایج نشان داد که پیش‌بینی مدل شبکه عصبی در بیشتر ماه‌های سال نزدیک‌تر به مقادیر واقعی است. کادناس و ریورا [۶] با استفاده از دو روش آریمای و شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی سرعت باد در سواحل جنوبی اوزاکا و مکزیکو و مقایسه این دو مدل پرداختند. نتایج حاکی از دقت مدل شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. در مطالعه‌ای دیگر کادناس و ریورا [۷] با به کار بردن تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی در مناطق لاونتا، اوزاکا و مکزیکو سرعت باد را برای کوتاه مدت با دقت بسیار خوبی پیش‌بینی کردند. یاولی و همکاران [۲۳] با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم (PSO) به پیش‌بینی سرعت باد جهت تولید انرژی در نیروگاه‌های بادی پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که نتایج حاصل از این روش دارای جواب‌های بهتری است. کادناس و ریورا [۸] با استفاده از ترکیب مدل‌های شبکه عصبی و آریمای به پیش‌بینی سرعت باد در سه منطقه از مکزیک پرداختند. نتایج نشان داد که ترکیب این دو مدل نتایج بهتری نسبت به هر یک از این دو روش به صورت جداگانه دارد. آکنسی [۱] با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی سرعت باد در مناطقی از ترکیه پرداخت و به این نتیجه رسید که شبکه عصبی با سه لایه و چهل نرون در لایه پنهان نتایج بهتری نسبت به دیگر مدل‌های ارائه شده در تحقیق دارد. پورموسوی و همکاران [۱۴] با استفاده از شبکه‌های عصبی چندلایه آموزش یافته با الگوریتم PSO به پیش‌بینی کوتاه مدت سرعت باد جهت کاربردهای توربین بادی پرداختند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی با الگوریتم PSO نتایج بهتری نسبت به الگوریتم پس انتشار دارد. صلاحی و همکاران [۲۱] با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی دماهای حداکثر شهرستان اردبیل پرداختند و دمای حداکثر برای سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ میلادی را با اختلاف ۰/۸۳ درجه سلسیوس و همبستگی ۰/۹۹ درصد با دمای واقعی پیش‌بینی کردند. اسفندیاری و همکاران [۱۱] به پیش‌بینی میانگین دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک سنندج با استفاده از مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه پرداختند. نتایج بدست آمده نشان دهنده‌ی کارایی مناسب و دقت قابل قبول شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی می‌باشد. بختیاری و همکاران [۴] با استفاده از رویکرد شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی کوتاه مدت سرعت باد در شهرستان جیرفت پرداختند. نتایج نشان داد که کاربرد شبکه عصبی مصنوعی با ۲۰ نرون در لایه پنهان، سرعت و دقت بیشتری در پیش‌بینی سرعت باد داشته و دارای مطابقت خوبی با دنیای واقعی است. لذا با توجه به اهمیت پیش‌بینی سرعت باد، در این پژوهش سعی خواهد شد میانگین ماهانه سرعت باد در شهرستان سقز از ژانویه سال ۲۰۰۸ تا دسامبر ۲۰۱۰ میلادی با استفاده از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌بینی و میزان خطای آن با داده‌های واقعی به منظور توانایی این مدل در پیش‌بینی، مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

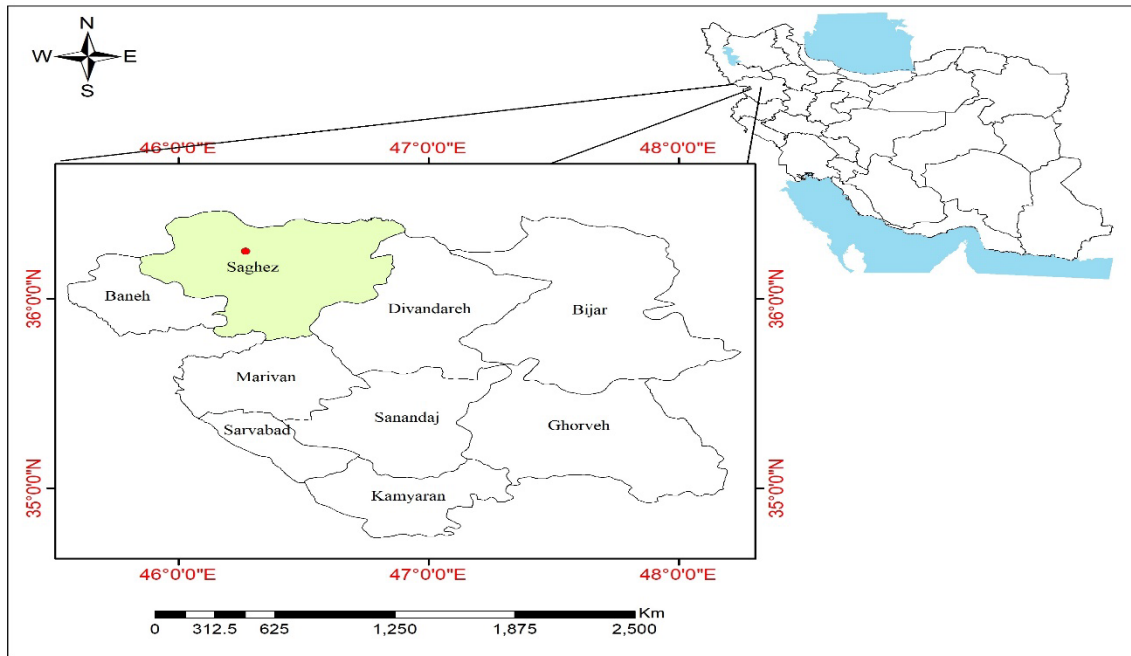
منطقه مورد مطالعه

شهرستان سقز با وسعت ۴۵۱۴ کیلومتر مربع در شمال غربی استان کردستان در ارتفاع ۱۵۲۲/۸ از سطح دریا قرار گرفته است. از لحاظ مختصات جغرافیایی در ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد (شکل ۱). این شهرستان یکی از مناطق

1- ARIMA

2- Particle Swarm Optimization

کوهستانی استان کردستان است که هوای آن در زمستان بسیار سرد و در تابستان نسبتاً معتدل می باشد. در این پژوهش از آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک سقز استفاده شد که مشخصات جغرافیایی آن در جدول (۱) آورده شده است.



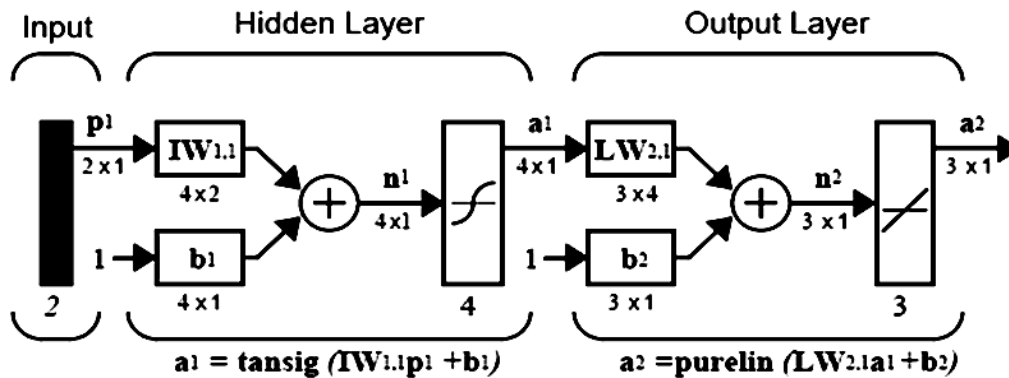
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه مورد مطالعه

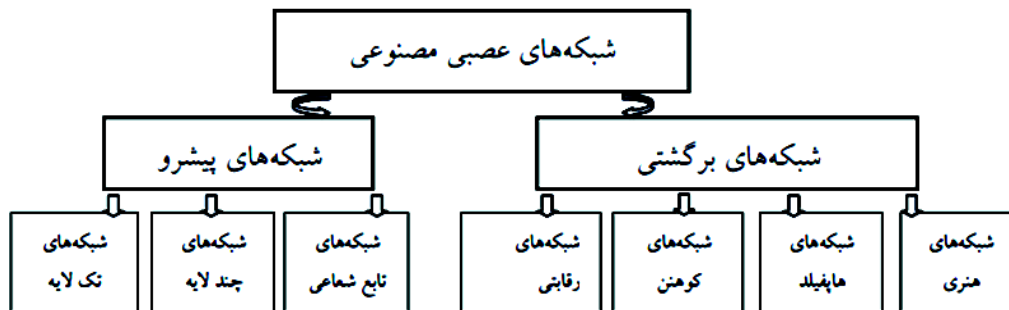
نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	دوره زمانی
سینوپتیک	46° 16'	36° 15'	1522.8	۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰

شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از محبوب‌ترین روش‌های هوش مصنوعی محسوب می‌شود که مدل‌های ریاضی، مغز انسان را به صورت ساده و به عنوان یک سیستم استفاده می‌کنند و قادرند ارتباطات جدید، توابع جدید و یا الگوهای جدید را کشف کنند و به دلیل ویژگی‌های فوق‌العاده وسیعی پیدا کرده‌اند [۵]. در این روش سعی می‌شود بر اساس روابط ذاتی مابین داده‌ها، نگاشتی غیرخطی مابین متغیرهای مستقل و وابسته برقرار گردد [۱۲] و بر اساس یک سری شواهد وقوع و بزرگی یک پدیده را پیش‌بینی می‌کنند [۸]. ساختار عادی یک شبکه عصبی مصنوعی، معمولاً از لایه ورودی، لایه‌های مخفی و لایه خروجی تشکیل شده است (شکل ۲). لایه ورودی یک لایه انتقال دهنده و وسیله‌ای برای تهیه کردن داده‌هاست. آخرین لایه یا لایه خروجی شامل مقادیر پیش‌بینی شده بوسیله شبکه می‌باشد و خروجی مدل را معرفی می‌کند. لایه میانی یا مخفی که از نرون‌های پردازشگر تشکیل شده‌اند، محل پردازش داده‌هاست. شمار لایه‌ها و شمار نرون‌ها در هر لایه مخفی به طور معمول به وسیله روش آزمون و خطا مشخص می‌شود [۲]. شبکه‌های عصبی از لحاظ نوع شبکه نیز به دو گروه شبکه‌های پیشخور و پسخور تقسیم می‌شوند (شکل ۳).



شکل ۲- ساختار عادی یک شبکه عصبی مصنوعی



شکل ۳- انواع شبکه‌های عصبی مصنوعی

یکی از پرکاربردترین مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدل‌سازی و پیش‌بینی عناصر اقلیمی، شبکه پرسپترون چندلایه (MLP) از نوع شبکه‌های عصبی پیشخور است [۱۳]. این نوع شبکه عصبی در حل مسائل بسیار سریع و قابل اطمینان است [۱۷]؛ که در این پژوهش نیز جهت پیش‌بینی میانگین سرعت باد در شهرستان سقز استفاده شده است. جهت این کار از آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک سقز استفاده شده است. آمار مذکور پارامترهای مختلف ماهانه دوره آماری ۲۶ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۵) را در بر می‌گیرد. داده‌های مربوطه از وب سایت اداره کل هواشناسی استان کردستان تهیه شد. سپس اقدام به ماتریس بندی و محاسبه ساختارهای مختلف ورود داده‌ها به شبکه گردید. که در نهایت پارامترهای میانگین ماهانه دما، میانگین ماهانه رطوبت نسبی و میانگین ماهانه فشار استاندارد سطح ایستگاه (QFE) به عنوان ورودی و سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه به عنوان خروجی مدل تعریف شد. چرا که مدل در این حالت بهترین همبستگی را بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده نشان داد. از ۲۶ سال دوره آماری موجود، ۲۳ سال جهت آموزش شبکه و ۳ سال باقی‌مانده در مرحله آزمون شبکه بکار برده شد. جهت افزایش سرعت شبکه، داده‌ها در بازه ۰/۱ و ۰/۹ استانداردسازی گردید و پس از تعیین ساختار شبکه، شبکه با استفاده از الگوریتم آموزشی لوبنبرگ- مارکوارت (LM) و با شروع از کمترین تعداد نرون در لایه مخفی و اپوک ۱ ادامه می‌یافت تا شبکه به جواب مطلوب همگرا (خطای زیر ۵ درصد) گردد و اگر شبکه با هر تعداد لایه و نرون پنهان و اپوک به جواب مورد نظر می‌رسید آن شبکه به عنوان شبکه بهینه انتخاب می‌گردید. جهت این کار از محیط برنامه نویسی نرم افزار MATLAB و توابع موجود در آن جهت آموزش و آزمون شبکه عصبی بهره گرفته شد. سپس نمودارهای مربوطه در محیط Excel ترسیم گردیدند. لازم به ذکر است انتخاب پارامترهای بهینه شبکه عصبی بستگی به تجربه طراح در این زمینه دارد و هیچ ساختار مشخصی به غیر از یک سری قوانین کلی در حل مسائل مهندسی جهت بدست آوردن بهترین جواب ممکن در لایه خروجی شبکه وجود ندارد.

^۱- Epoch

شاخص‌های ارزیابی عملکرد مدل

بررسی چگونگی عملکرد و مقایسه صحت پیش‌بینی به منظور ارزیابی عملکرد مدل لازم و ضروری است که در این پژوهش علاوه بر ترسیم نمودارهای مقادیر مشاهده‌ای در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل شبکه عصبی، از شاخص‌های ضریب همبستگی (R)، ضریب تعیین (R²)، میانگین درصد نسبی خطا (Er)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مطلق خطا (MAE) به کار گرفته شده است.

۱- ضریب همبستگی: بیان‌کننده میزان همبستگی بین نتایج پیش‌بینی شده بوسیله مدل و داده‌های واقعی می‌باشد که بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود بدیهی است که هر چه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده نزدیکی بیشتر مقادیر پیش‌بینی شده به مقادیر واقعی است [۱۶]. در واقع ضریب همبستگی ارتباط خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند و یک ابزار ریاضی است که در پایه‌ریزی تحلیل‌های اقلیمی بسیار کاربرد دارد [۱۳].

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{act} - \bar{y}_{act})(y_{est} - \bar{y}_{est})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{act} - \bar{y}_{act})^2 \sum_{i=1}^n (y_{est} - \bar{y}_{est})^2}} \quad (1)$$

که در آن، y_{act} : مقادیر واقعی، \bar{y}_{act} : میانگین مقادیر واقعی، y_{est} : مقادیر پیش‌بینی شده و \bar{y}_{est} : میانگین مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد.

۲- ضریب تعیین: معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر با یک می‌باشد. رابطه (۲) نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد [۱۳]:

$$R^2 = \frac{\sum_{K=1}^K X_K Y_K}{\sqrt{\sum_{K=1}^K X_K^2 \sum_{K=1}^K Y_K^2}} \quad (2)$$

در رابطه فوق X_K مقادیر مشاهداتی، Y_K مقادیر پیش‌بینی شده و K تعداد داده‌ها می‌باشد.

۳- درصد نسبی خطا: برای محاسبه آن از رابطه (۳) استفاده می‌شود که می‌تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند [۱۵]:

$$Error_i = \frac{Obs_i - For_i}{Obs_i} \times 100 \quad (3)$$

که در آن $Error_i$ میانگین خطای مدل برای پیش‌بینی میانگین سرعت باد و Obs_i و For_i به ترتیب مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده سرعت باد و n تعداد کل داده‌های مشاهداتی می‌باشد.

۴- مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا: نشان‌دهنده میزان خطای مدل می‌باشند که بهترین مقدار آنها برابر صفر است و از طریق روابط زیر محاسبه می‌شوند [۱۳]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^K (X_K - Y_K)^2}{K}} \quad (4)$$

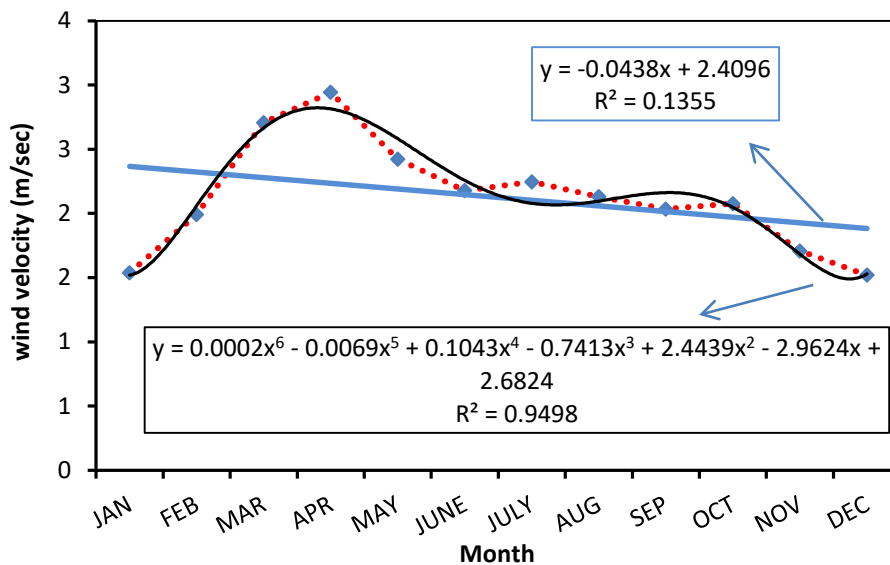
$$MAE = \frac{\sum_{K=1}^K |X_K - Y_K|}{K} \quad (5)$$

در روابط فوق X_K مقادیر مشاهداتی، Y_K مقادیر پیش‌بینی شده و K تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

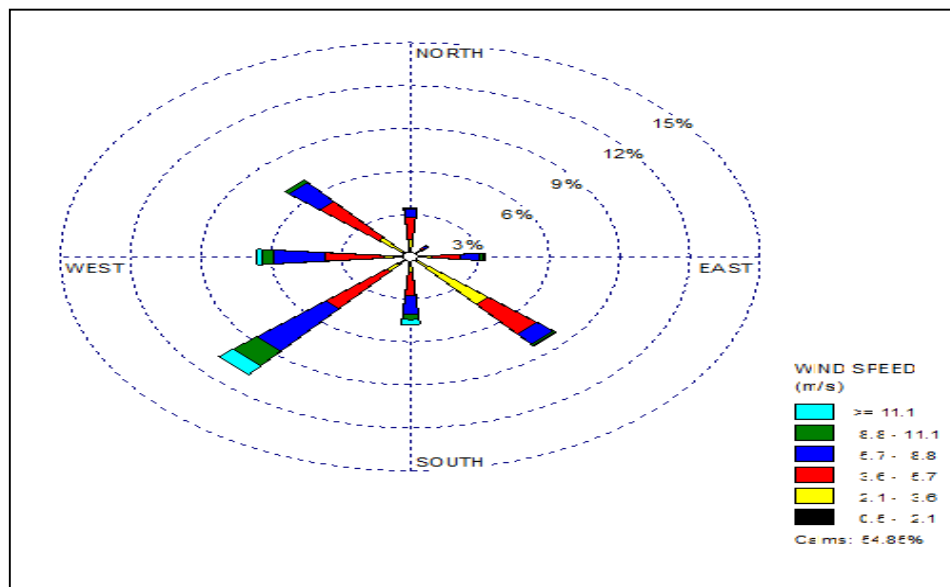
میانگین

همانطور که پیش تر ذکر گردید به منظور پیش‌بینی کوتاه مدت سرعت باد در شهرستان سقز از آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک سقز استفاده گردید. تحلیل توصیفی از سرعت باد در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که میانگین سالانه سرعت باد در منطقه ۲/۱۲ متر در ثانیه با حداکثر ۲/۹۴ در ماه آوریل و حداقل ۱/۵۲ متر در ثانیه در ماه دسامبر در دوره آماری (۱۹۸۵-۲۰۱۰) می‌باشد که مقادیر و روند تغییرات ماهانه آن بر اساس رگرسیون خطی و پولی نومیال مرتبه ششم در شکل (۴) آورده شده است.



شکل ۴- روند تغییرات میانگین ماهانه سرعت باد ایستگاه سینوپتیک سقز (۱۹۸۵-۲۰۱۰)

بررسی گلباد ایستگاه سینوپتیک سقز نشان می‌دهد که باد غالب منطقه، باد جنوب‌غربی می‌باشد بادهای جنوب شرقی، غربی و شمال غربی از نظر فراوانی و مداومت وزش در رتبه های بعدی قرار می‌گیرند (شکل ۵).



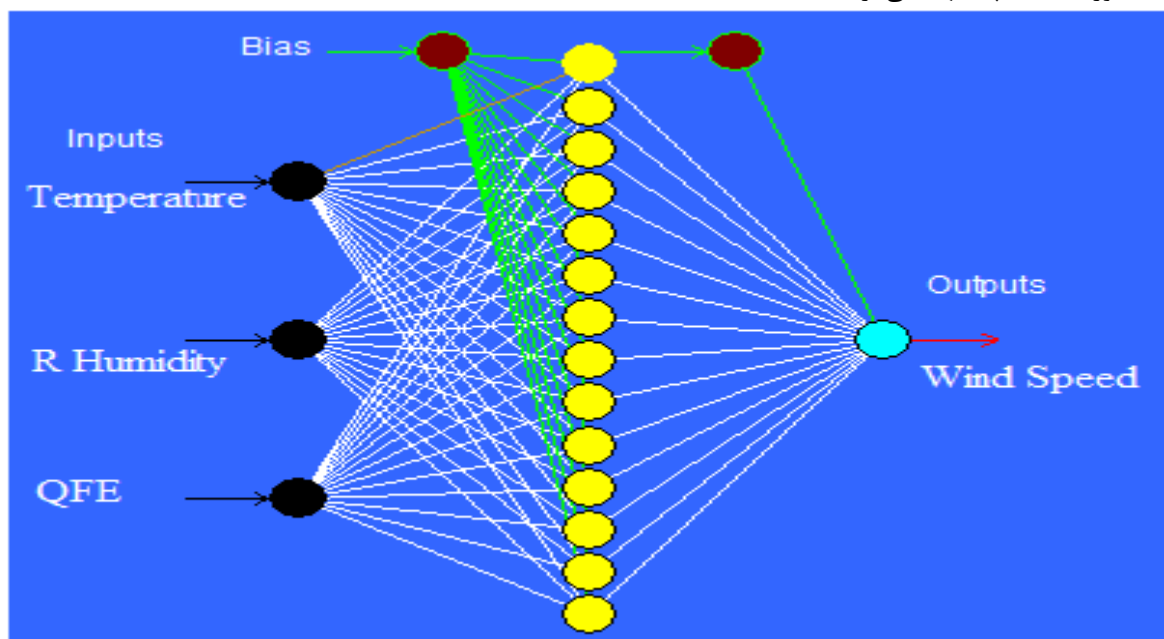
شکل ۵- گلباد ایستگاه سینوپتیک سقز

میانگین حداکثر و حداقل ماهانه سرعت باد نیز به ترتیب برابر با $4/8$ و $0/2$ متر در ثانیه است که به طور خلاصه همراه با سایر پارامترهای اقلیمی مورد استفاده در این بررسی در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- میانگین پارامترهای اقلیمی مورد استفاده در دوره آماری (۲۰۱۰-۱۹۸۵)

Mean pressure (hPa)	Mean relative humidity	Mean annual wind velocity (M/S)	Mean min. wind velocity (M/S)	Mean max. wind velocity (M/S)	Mean annual temp (oC)
847.3	54.1	2.12	0.2	4.8	10.9

جهت تعیین بهترین ورودی‌های مدل از عناصر تأثیر گذار بر سرعت باد و ضرایب همبستگی بین سرعت باد واقعی و پیش‌بینی شده بوسیله شبکه استفاده گردید. در دوره مورد بررسی (۲۰۱۰-۱۹۸۵) سه پارامتر میانگین ماهانه دما، میانگین ماهانه رطوبت نسبی و میانگین ماهانه فشار استاندارد سطح ایستگاه بیشترین تأثیر و همبستگی را با سرعت باد نشان دادند در نتیجه این پارامترها به عنوان ورودی و سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه به عنوان خروجی مدل تعریف شدند. جهت اجرای مدل از محیط برنامه نویسی نرم افزار MATLAB و توابع موجود در آن کمک گرفته شد. نتایج حاصل نشان داد که یک مدل پرسپترون سه لایه (MLP) با تابع محرک تانژانت هیپربولیک (Tansig) در لایه پنهان و تابع محرک خطی (pureline) در لایه خروجی و روش پس انتشار خطا با الگوریتم لوبنبرگ - مارکوارت (LM) و ۲۱ دور آموزش (اپوک) بهترین نتیجه ممکن را داراست. نرون‌های موجود در هر لایه شامل سه نرون در لایه اول یا لایه ورودی (دما، رطوبت، فشار)، ۱۴ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی (سرعت باد) می‌باشد (شکل ۶). مقدار اولیه خطای هدف نیز برابر با $0/005$ انتخاب گردید که در این حالت مدل داری کمترین خطا و بالاترین ضریب همبستگی و همچنین سرعت بالای همگرایی و کمترین تعداد نرون در لایه پنهان می‌باشد. پارامترهای آموزشی مورد استفاده در مدل شبکه عصبی طراحی شده جهت پیش‌بینی کوتاه مدت سرعت باد بطور خلاصه در جدول (۳) آورده شده است و این مدل جهت پیش‌بینی در ارتباط با پیش‌بینی کوتاه مدت سرعت باد در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌گردد.

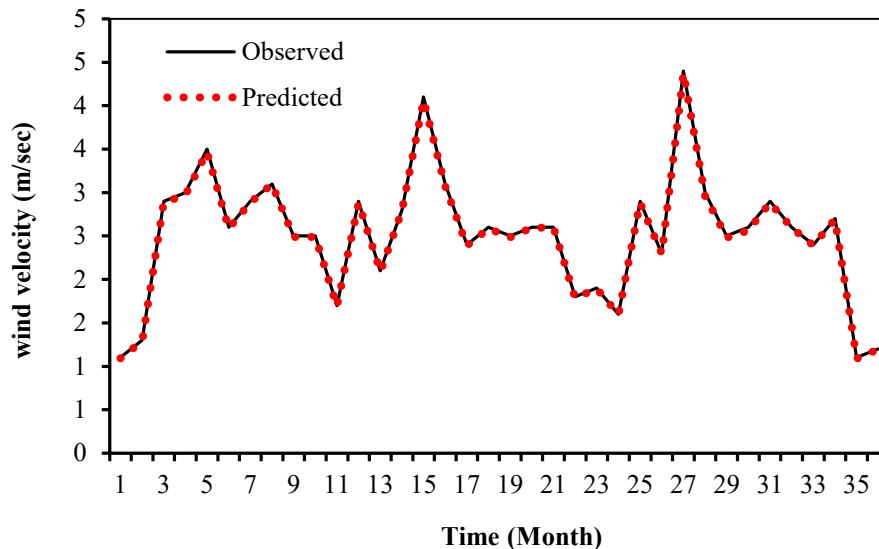


شکل ۶- شماتیک مدل طراحی شده در پژوهش (پرسپترون سه لایه)

جدول ۳- پارامترهای آموزشی بهینه جهت پیش‌بینی کوتاه مدت سرعت باد

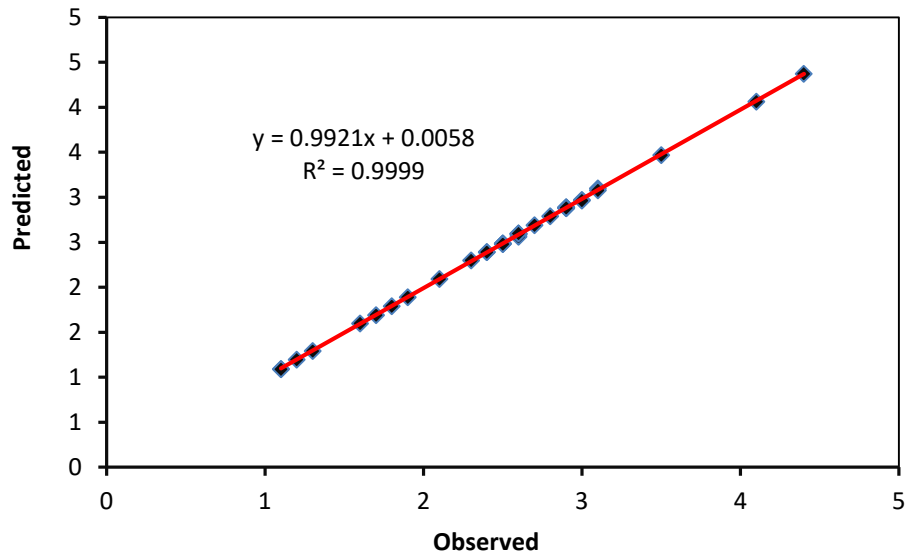
Network type	(MLP) Perceptron 3 layers
No of neurons in hidden layer	14
Hidden function	Tan sig)(Hyperbolic tan.
Output function	Linear(Pure line)
No of replications(Epoch)	21
Approach aim	0.005
Regression	0.99
Error	0.55
Training algorithms	LM

در شکل (۷) نمودار مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده سرعت باد بوسیله مدل در دوره ۳۶ ماهه (۲۰۱۰-۲۰۰۸) جهت مقایسه و دقت شبکه، ترسیم شد همان طور که ملاحظه می‌شود به دلیل همبستگی بالای داده‌های پیش‌بینی شده به وسیله شبکه عصبی و داده‌های واقعی، منحنی‌های مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده بسیار به هم نزدیک است بطوری که حتی تشخیص منحنی داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده از همدیگر مشکل است که بیانگر دقت بالای مدل طراحی شده در پیش‌بینی می‌باشد.



شکل ۷- مقایسه مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده سرعت باد (۲۰۱۰-۲۰۰۸)

همچنین در شکل (۸) نمودار و رابطه رگرسیون بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده آورده شده است همان طور که ملاحظه می‌شود ضریب تعیین بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده برابر با ۰/۹۹ است.



شکل ۸- رابطه رگرسیونی بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده سرعت باد

جهت مقایسه بهتر داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده بو سیله مدل طراحی شده، داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده بصورت ماهانه و سالانه در جدول (۴) جهت مقایسه و صحت داده‌های سرعت باد (m/s) آورده شده است.

جدول ۴- مقایسه سرعت باد مشاهداتی و پیش‌بینی شده

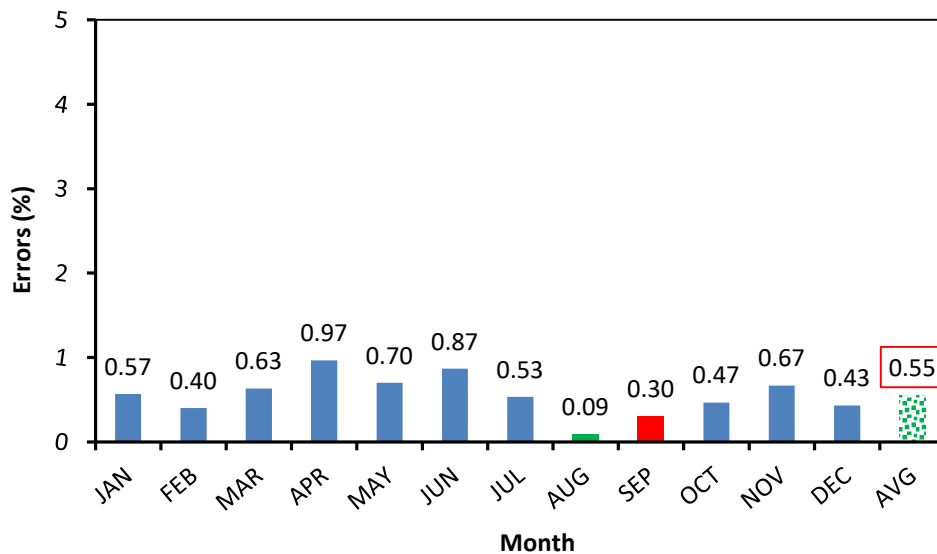
Year	2008		2009		2010	
Months	Observed	Predicted	Observed	Predicted	Observed	Predicted
Jan	1.10	1.09	2.10	2.09	2.90	2.88
Feb	1.30	1.29	2.80	2.79	2.30	2.30
Mar	2.90	2.89	4.10	4.06	4.40	4.37
Apr	3.00	2.97	3.10	3.08	3.00	2.96
May	3.50	3.47	2.40	2.39	2.50	2.48
Jun	2.60	2.59	2.60	2.58	2.60	2.56
Jul	2.90	2.89	2.50	2.49	2.90	2.88
Aug	3.10	3.10	2.60	2.60	2.60	2.60
Sep	2.50	2.49	2.60	2.60	2.40	2.39
Oct	2.50	2.49	1.80	1.79	2.70	2.69
Nov	1.70	1.69	1.90	1.89	1.10	1.09
Dec	2.90	2.88	1.60	1.60	1.20	1.20

مقایسه خطای بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده (جدول ۵) نشان می‌دهد که حداقل خطای ماهانه بدست آمده مربوط به ماه آگوست ۲۰۰۸ با ۰/۰۶ درصد تقریباً بدون خطا و حداکثر خطای ماهانه نیز مربوط به ماه ژوئن ۲۰۱۰ با خطای ۱/۵ درصد است. همچنین بهترین و ضعیف‌ترین شبکه‌ها، مربوط به ماه آگوست با میانگین خطای ۰/۰۹ درصد و ماه آوریل با میانگین خطای ۰/۹۷ درصد است (شکل ۹). از نظر سالانه نیز از بین سه سال پیش‌بینی شده، کمترین و بیشترین خطای سالانه نیز به ترتیب مربوط به سال ۲۰۰۹ با میانگین خطای ۰/۴۶ درصد و سال ۲۰۱۰ با میانگین خطای ۰/۶۲ درصد است. میانگین کل خطای شبکه‌ها نیز برابر با ۰/۵۵ درصد در کل دوره مورد پیش‌بینی شده (۲۰۰۸-۲۰۱۰) است (شکل ۱۰). در

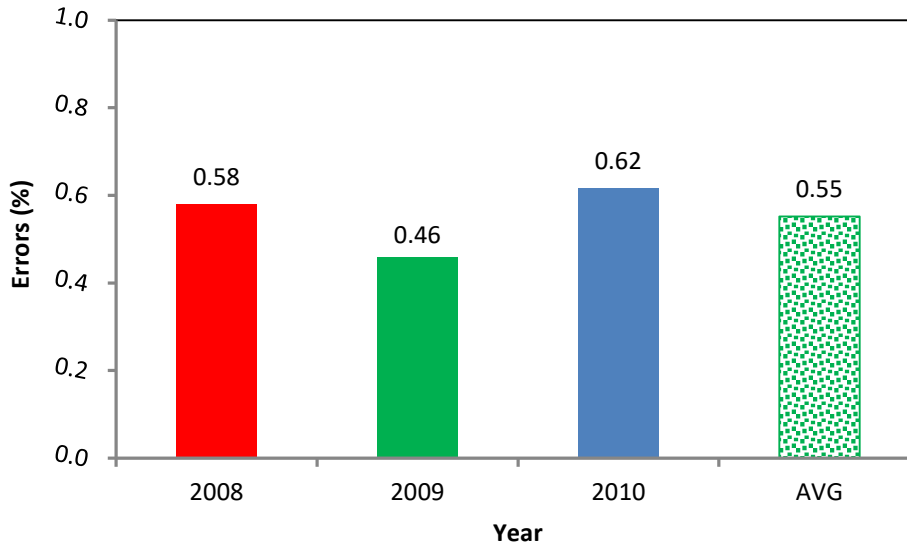
واقع شبکه‌های طراحی شده توانستند میانگین سرعت باد سالانه را با حداکثر اختلاف ۰/۰۴ متر در ثانیه با داده‌های واقعی پیش‌بینی کنند یعنی شبکه‌های طراحی شده توانستند میانگین سرعت باد را با اختلاف کمتر از ۰/۰۵ متر بر ثانیه با داده‌های واقعی پیش‌بینی کنند که حاکی از دقت بالای مدل طراحی شده می‌باشد.

جدول ۵- میزان خطا بر حسب درصد در شبکه‌های طراحی شده بر حسب سال و ماه

Month	2008	2009	2010	Average
Jan	0.70	0.40	0.60	0.57
Feb	0.70	0.40	0.10	0.40
March	0.40	0.90	0.60	0.63
Apr	1.00	0.70	1.20	0.97
May	0.90	0.40	0.80	0.70
June	0.50	0.60	1.50	0.87
July	0.40	0.60	0.60	0.53
Aug	0.06	0.10	0.10	0.09
Sep	0.50	0.10	0.30	0.30
Oct.	0.50	0.60	0.30	0.47
Nov	0.60	0.50	0.90	0.67
Dec	0.70	0.20	0.40	0.43
Average	0.58	0.46	0.62	0.55

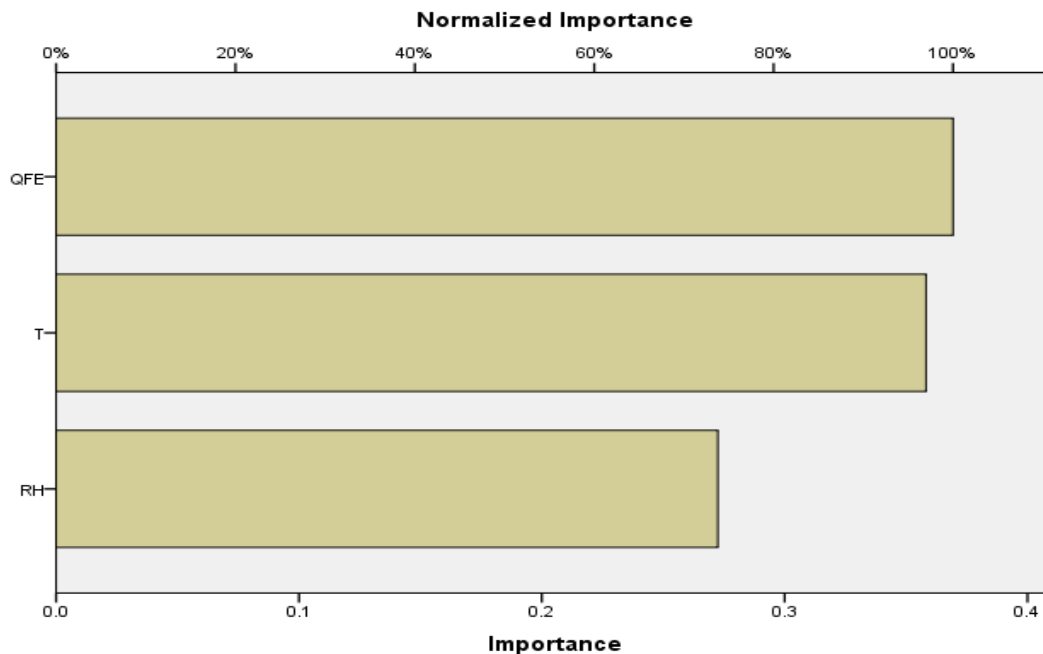


شکل ۹- مقایسه میزان خطا به تفکیک ماه بر حسب درصد



شکل ۱۰- مقایسه میزان خطا به تفکیک سال بر حسب درصد

از نظر مؤثرترین متغیرهای ورودی در پیش‌بینی سرعت باد منطقه نیز متغیر متوسط فشار سطح ایستگاه (QFE) دارای بیشترین تأثیر در خروجی شبکه یعنی متغیر پیش‌بینی شونده (سرعت باد) می‌باشد و متغیرهای میانگین ماهانه دما و میانگین ماهانه رطوبت نسبی نیز به ترتیب در رده‌های بعدی از نظر اهمیت در پیش‌بینی قرار می‌گیرند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- اهمیت بهترین متغیرهای ورودی در پیش‌بینی سرعت باد بر حسب درصد

نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی با شاخص‌های ارزیابی مختلف در جدول (۶) ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود میانگین درصد نسبی خطای مدل برابر با ۰/۵۵ و با حداکثر خطای ۱/۵ درصد در دوره مورد پیش‌بینی (۲۰۰۸-۲۰۱۰) است همچنین دارای ضریب تعیین و همبستگی مشابه ۰/۹۹ هستند که میزان همبستگی نیز در

سطح ۰/۰۱ معنی دار است که نشان دهنده توانایی و دقت بالای شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی کوتاه مدت سرعت باد در شهرستان سقز است و می‌توان اظهار داشت که مدل طراحی شده دارای عملکرد و دقت بالایی در زمینه موضوع مورد بررسی و تطابق با دنیای واقعی را دارد.

جدول ۶- نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی

Assessing index	R	R2	Max Error	Mean Error	MAE	RMSE
Value	0.99	0.99	1.5	0.55	0.01	0.02

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پیش‌بینی سرعت باد برای اهدافی از قبیل کسب انرژی از باد و توربین‌های بادی، منابع آبی و طبیعی و کاهش آلودگی هوا ضروری است. از طرفی جهت محاسبه تبخیر و تعرق و هدر رفت آب، پیش‌بینی سرعت پراکندگی ذرات گرد و غبار و بیماری‌ها دارای اهمیت زیادی است و یکی از تأثیرگذارترین متغیرهای اقلیمی در کشاورزی و محیط طبیعی از جمله فرسایش خاک است. لذا پیش‌بینی واقع بینانه و حتی کوتاه مدت سرعت باد می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های محیطی و مدیریت بهینه از منابع طبیعی موثر باشد. به همین منظور در این پژوهش با استفاده از رویکرد شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی کوتاه مدت سرعت باد در شهرستان سقز جهت بررسی توانایی این مدل‌ها در پیش‌بینی این متغیر اقلیمی پرداخته شد. جهت اجرای مدل از نرم افزار MATLAB و توابع موجود در آن کمک گرفته شد. بدین صورت که پارامترهای میانگین دمای ماهانه، میانگین رطوبت نسبی و متوسط ماهانه فشار استاندارد سطح ایستگاه (QFE) بعنوان ورودی و میانگین سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه بعنوان خروجی مدل تعریف شدند. پارامترهای موجود دوره آماری ۲۶ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۵) را بر می‌گیرند. از مقایسه نتایج حاصل از اجرای مدل‌های مختلف، بهترین نتیجه مربوط به یک مدل پرسپترون سه لایه با ۱۴ نرون در لایه پنهان و الگوریتم آموزشی لوبز-مارکوارت با ضریب همبستگی و تعیین ۰/۹۹ می‌باشد. متوسط درصد نسبی خطا شبکه طراحی شده نیز ۰/۵۵ در صد بدست آمد. بر این اساس نتایج حاصل نشان دهنده دقت بالای مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی کوتاه مدت سرعت باد در منطقه می‌باشد و استفاده از شبکه عصبی در پیش‌بینی سرعت باد در مناطق مختلف و با ورودی‌های و ساختارهای متفاوت جهت اثبات توانایی این مدل‌ها در پیش‌بینی پارامترهای مختلف جوی و تغییرات اقلیمی پیشنهاد می‌گردد.

منابع

۱. اسفندیاری درآباد، فریبا؛ حسینی، سید اسعد، محمدپور، کاوه. ۱۳۹۱. تحلیل آماری سینوپتیکی توفان‌های گردوغبار در شهرستان سنندج، مجموعه مقالات پنجمین کنگره جغرافیدانان جهان اسلام، تبریز، ۱۸ و ۱۹ مهرماه، صص ۱۵۴.
۲. اسلامی، اکبر، عطا، زهرا، پیرصاحب، مقداد، اسدی، فاطمه. ۱۳۹۳. بررسی روند تغییرات غلظت ذرات معلق (PM₁₀) و تعیین شاخص کیفیت هوا در شهر کرمانشاه از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۱. فصلنامه بهداشت در عرصه، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دوره ۲، ش ۱، صص ۲۸-۱۹.
۳. امیدوار، کمال. ۱۳۹۲. مخاطرات طبیعی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه یزد.
۴. بحیرایی، حمید، ایازی، سید محمدهادی، رجایی، محمدعلی، احمدی، حمزه. ۱۳۹۰. تحلیل آماری سینوپتیکی پدیده گردوغبار در استان ایلام. فصلنامه نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، سال ۱، ش ۱، صص ۶۸-۴۷.
۵. ذوالفقاری، حسن، معصوم‌پور سماکوش، جعفر، شایگان مهر، شاپور، احمدی، محمد. ۱۳۹۰. بررسی همدید توفان‌های گردوغبار در مناطق غربی ایران طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸ (مطالعه موردی: موج فراگیر تیرماه ۱۳۸۸). جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۲، ش ۳، صص ۳۴-۱۷.
۶. ذوالفقاری، حسن، عابد زاده، حیدر. ۱۳۸۴. تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گردوغبار در غرب ایران، جغرافیا و توسعه، ش ۶، صص ۱۸۷-۱۷۳.
۷. طائی سمیرمی، سیاوش، مردای، حمیدرضا، خدقلی، مرتضی، احمدی آخورمه، مریم. ۱۳۹۲. شناخت و بررسی عوامل موثر بر پدیده گردوغبار در غرب ایران. فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۲۷، صص ۱۰-۱.
۸. لشکری، حسن، کیخسروی، قاسم. ۱۳۸۷. تحلیل آماری سینوپتیکی توفان‌های گردوغبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۲۰۰۵-۱۹۹۳)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ش ۶۵، صص ۳۳-۱۷.



چهارمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری با محوریت گرد و غبار

تهران- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۲۸ بهمن ماه ۱۳۹۹



۹. محمدی، فهیمه، زرگری، مطهره. ۱۳۹۲. بررسی و تحلیل توزیع زمانی- مکانی گردوغبار در استان تهران، اولین همایش ملی جغرافیا، شهرسازی و توسعه پایدار، تهران، انجمن محیط زیست کومش، دانشگاه صنعت هوایی، ۹ ص.
۱۰. مسعودیان، سید ابوالفضل. ۱۳۹۰. آب و هوای ایران، چاپ اول، انتشارات شریعه توس، مشهد، ۲۷۷ص.
۱۱. مشکی‌زاده، پروانه، اورک، ندا، مرشدی، جعفر. ۱۳۹۵. بررسی توزیع زمانی- مکانی عمق اپتیکی ذرات معلق هوا (AOD) بر استان خوزستان با استفاده از تکنیک سنجش از دور (R.S)، جغرافیا و مطالعات محیطی، دوره ۵، شماره ۱۷، صص ۷۸-۶۹.
۱۲. مهرابی، شهباز، سلطانی، سعید، جعفری، رضا. ۱۳۹۴. بررسی رابطه بین پارامترهای اقلیمی و وقوع ریزگردها (مطالعه موردی: استان خوزستان)، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی-علوم آب و خاک، دوره ۱۹، ش ۷۱، صص ۸۱-۶۹.
13. Akinci T C. 2011. Short Term Wind Speed Forecasting with ANN in Batman, Turkey, Electronics and electrical engineering Conference, 1(107).
14. Bakhtiari B., Rahimi, A., Qahreman, N., 2011, An approach to short term prediction of wind duration and velocity in Jiroft, 1st conference
15. Cadenas E., Rivera W. 2007. Wind speed forecasting in the south coast of Oaxaca, Me'xico. Renewable Energy, 32: 2116-28.
16. Cadenas E., Rivera W. 2009. Short term wind speed forecasting in La Venta, Oaxaca, Me'xico, using artificial neural networks. Renewable Energy, 34: 274-278.
17. Cadenas E., Rivera W. 2010. Wind speed forecasting in three different regions of Mexico, using a hybrid ARIMA-ANN model, Renewable Energy. 35: 2732-2738.
18. Conrads, P.A., Roehle, E.A., 1999, Comparing Physics- Based and Neural Network Mo Simulating Salinity, Temperature and Dissolved in a Complex, Tidally Affected River Basin. Proceeding of the South Carolina Environmental Conference, pp.1-15.
19. Demuth, H., Beale, M., 2002. Neural Network Toolbox User's Guide, Copyright 1992-2002, Bt The Math Works, Inc, Version 4, 840p.
20. Oztopal, A. 2006. Artificial neural network approach to spatial estimation of wind velocity data, Energy Conversion and Management 47: 395- 406.
21. Singh, S.; Bhatti, T. S.; Kothari, D. P. 2006. A Review of Wind-Resource-Assessment Technology, journal of energy engineering-asce, 132(1):8-14
22. Yao Lee, Ch.; Xing Shen Yi.; Cheng Cheng, J.; Yin Li, Y.; Wen Chang, Ch. 2009. Neural Networks and Particle Swarm Optimization Based MPPT for Small Wind Power Generator, World Academy of Science, Engineering and Technology 60,7p.