شبیه سازی تغییرات و پیش‌بینی سرعت باد در ایران

با استفاده از داده‌های آماری پنجاه ساله (۲۰۱۰ – ۱۹۶۱)

احمدرضا قاسمی[۱] فروه السادات سیدی[۲]

تاریخ دریافت مقاله: ۹٤/۱/۱۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۹٤/٤/۱۱

****

چکیده

باد یکی از عناصر اصلی در اقلیم هر منطقه است که تغییرات آن می‌تواند بر روی پدیده‌هایی مانند طوفان‌های گرد و غباری و شدت تبخیر و تعرق تأثیرگذار باشد. این پژوهش با هدف پیش‌بینی سرعت باد تا سال ۲۰۲۰ در ایران با مدل هالت- وینترز و با استفاده از داده‌های یک دوره آماری ۵۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹٦۱) انجام گرفت. نتایج نشان داد که این مدل به خوبی توانایی پیش‌بینی سرعت باد را در بیشتر مناطق کشور دارد. مقادیر ضریب تبیین این مدل در ۳٤ ایستگاه مورد بررسی بین ۰/۳۹ در آبادان تا ۰/۸۰ در بابلسر متغیر بود و مقادیر خطا در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه در حد قابل قبولی قرار داشت. همچنین نتایج نشان داد که این مدل مقادیر حدی سرعت باد را نیز در بیشتر ایستگاه‌های به خوبی شبیه‌سازی کرده است. نتایج حاصل از مدل هالت- وینترز برای پیش‌بینی سرعت باد تا سال ۲۰۲۰ حاکی از آن است که سرعت باد در نیمه شرقی کشور و همچنین دامنه‌های جنوبی البرز که از نظر اقلیمی خشک و نیمه خشک هستند، تا سال ۲۰۲۰ افزایش خواهند یافت در حالیکه مناطق نیمه غربی، جنوب غربی و مرکزی کشور روند کاهشی سرعت باد را تجربه خواهند کرد. بیشترین مقدار افزایش سرعت باد تا سال ۲۰۲۰ در ایستگاه گرگان و به مقدار ۱/۸ متر بر ثانیه و بیشترین مقدار کاهش سرعت باد در ایستگاه‌های جنوب غربی کشور رخ خواهد داد به نحوی که در ایستگاه آبادان سرعت باد تا سال ۲۰۲۰ از ٦/۳۱ متر بر ثانیه کنونی به ٤/٤۸ متر بر ثانیه کاهش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: شبیه سازی؛ پیش بینی؛ سرعت باد؛ مدل هالت- وینترز؛ ایران

****

۱ – نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد ghasemiar@yahoo.com و ar-ghasemi@agr.sku.ac.ir
۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی کشاورزی، علوم باغبانی، دانشگاه شهرکرد foruh.sayedi@gmail.com

مقدمه

اهمیت مطالعه سرعت باد

در بین متغیرهای هواشناسی سرعت باد کمتر به منظور کشف تغییرات آب و هوایی مورد مطالعه قرار گرفته است *(Alexandersson & etal, 2000, 71-73)*. عنصر باد از جمله متغیرهای پیچیده اقلیمی است و تغییرات آن در مقیاس‌های کوتاه مدت و بلند مدت بر خصوصیات اقلیم جهانی و منطقه‌ای اثر می‌گذارد و از جمله عوامل موثر بر نوسانات اقلیم محسوب می‌شود *(شیرغلامی و دیگران، ۱۳۸۳، ۲۷ - ۱۱)*. اطلاع از تغییرات سرعت باد، اهمیتی بنیادی در پژوهش‌های مربوط به انرژی باد، احداث ساختمان‌ها و محاسبه نیاز آبی گیاهان دارد *(قهرمان و همکار، ۱۳۸۹، ۴۳ - ۳۱)*.

بررسی تغییرات باد از جنبه‌های مختلف اهمیت دارد از جمله اینکه با کاهش سرعت باد، انرژی آن کاهش یافته و در نتیجه آلودگی شهری افزایش می‌یابد. این کاهش سبب کم شدن انتقال گرما و رطوبت بین سطح زمین و جو و در نهایت افزایش دما می‌شود. همچنین کاهش سرعت باد در شب‌ها، به خصوص در شب‌های زمستان باعث ایجاد وارونگی تابشی سطح زمین می‌شود. افزایش ناگهانی سرعت باد نیز، سبب وقوع تندبادها، گردبادها و وقوع خسارت در منطقه خواهد شد *(رحیم‌زاده و دیگران، ۱۳۸۵، ۲۰ - ۷)*. با توجه به نقش باد در زندگی انسان، پیش‌بینی این عنصر مهم می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های آینده منطقه‌ای و جهانی مؤثر باشد. پیش‌بینی افزایش یا کاهش آلودگی در یک منطقه، پیش‌بینی افزایش یا کاهش تولید انرژی بادی می‌تواند از کاربردهای مهم پیش‌بینی سرعت باد برای آینده باشد. همچنین محاسبه و پیش‌بینی سرعت باد در محاسبه تبخیرتعرق و در نتیجه تعیین نیاز آبی گیاهان نیز کاربرد دارد.

در ارتباط با بررسی تغییرات و پیش‌بینی سرعت باد مطالعات فراوانی در دنیا انجام شده است. در ایران نیز مطالعاتی در زمینه روندیابی سرعت باد انجام گرفته است که در زیر به برخی از آنها اشاره می‌شود.

در گزارش هیأت بین دولتی تغییر اقلیم (۲۰۱۳) به تغییرات سرعت باد در آینده در نقاط مختلف دنیا با شدت و ضعف‌های متفاوت اشاره شده و تأثیر آن بر چرخندها و بادهای غربی در عرض‌های میانی و نوسان‌های بارش مورد توجه قرار گرفته است.

رحیم زاده و همکاران (۱۳۸۵) در بررسی روند تغییرات سالانه سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری در ۵ ایستگاه سینوپتیک ایران در دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۱ وجود تغییر در این سری‌ها را تأیید کردند. همچنین نشان دادند که میانگین سرعت باد در ایستگاه‌های تهران و اصفهان کاهشی، در ایستگاه ارومیه افزایشی و در ایستگاه انزلی بدون تغییر بوده است. خردادی و همکاران (۱۳۸٦) به بررسی روند تغییرات سالانه پارامترهای هواشناسی از جمله سرعت باد در سه ایستگاه شیراز، تبریز، مشهد پرداختند و بیان داشتند که در شیراز روند سرعت باد کاهشی و در مشهد و تبریز روند خاصی نداشته است.

رحیم زاده و همکاران (۱۳۸۸) به مطالعه میانگین ماهانه سرعت باد و انرژی در استان اصفهان در دوره اقلیمی ۲۰۰۵-۱۹۹۲ پرداختند و نشان دادند روند خطی میانگین سالانه سرعت باد و میانگین دهه‌ای آنها در دوایستگاه اصفهان و کاشان کاهشی بوده است. بنایان و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی سالانه و فصلی سرعت باد در ٤ ایستگاه سبزوار، مشهد، تربت حیدریه وبیرجند روند کاهشی سرعت باد در اکثر موارد را گزارش کردند.

قهرمان و قره‌خانی (۱۳۸۹) با مطالعه سرعت باد در یک دوره ۳۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۷۵) در کشور نشان دادند که بیشترین روند تغییرات کاهشی سرعت باد در اقلیم نیمه‌خشک معتدل مشاهده گردید. همچنین اقلیم نیمه‌خشک سرد بیشترین روند افزایشی را دارد.

رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی روند تغییرات سرعت باد در شمال غرب ایران در دوره اقلیمی ۲۰۰۵-۱۹٦۱ پرداخت و بیان داشت روندها در منطقه تابع نظم خاصی نیستند. آنها نشان دادند که ایستگاه‌های تبریز، ارومیه و خوی دارای روند کاهشی و اردبیل و زنجان

روندی افزایش دارند.در کشورهای دیگر نیز پژوهش‌های بسیار زیادی بر روی تغییرات سرعت باد انجام شده است که به برخی از پژوهش‌های جدید اشاره می‌گردد.

وان و همکاران (۲۰۱۰) روند سرعت باد در کانادا را بررسی و نشان دادند که سرعت باد در نواحی غربی و اغلب مناطق جنوبی روند کاهشی دارند درحالیکه نواحی مرکز روند افزایشی نشان می‌دهند. اکینسی (۲۰۱۱) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی سرعت باد را در مناطقی از ترکیه پیش‌بینی کرد و به این نتیجه رسید که شبکه عصبی با سه لایه و ٤٠ نورون، نسبت به حالت‌های دیگر پاسخ بهتری دارد.

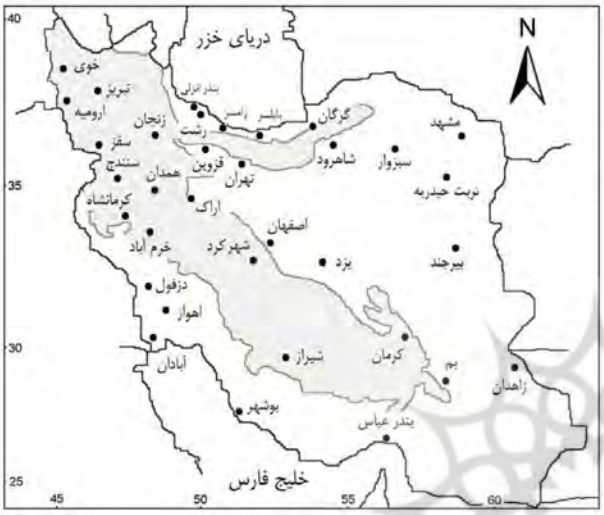
براتی و همکاران (۲۰۱۳) سرعت باد را با هدف تولید برق در دوره ۲۰۰۵-۱۹۹٤ در ۸ ایستگاه جنوب ایران بوسیله شبکه عصبی مدل سازی کردند. آنها عنوان کردند که از این مدل می‌توان برای بازسازی داده‌ها در ایستگاه‌های بدون داده استفاده کرد.

گراف و همکاران (۲۰۱۳)، از ژنتیک الگوریتم برای پیش‌بینی سرعت باد استفاده کردند و نتایج آن را برای پیش‌بینی پتانسیل انرژی بادی مورد استفاده قرار دادند. جوردیر و همکاران (۲۰۱٤) نشان دادند که سرعت باد ماه‌های مارس تا آوریل در فرانسه دارای یک روند قوی منفی است به نحوی که مقدار کاهش حدود ۰/۲۵ متر بر ثانیه در هر دهه می‌باشد. اردیم و همکاران (۲۰۱٤) نیز از مدل ترکیبی آریما برای پیش‌بینی سرعت باد با در نظر گرفتن جهت آن استفاده نمودند و عملکرد آن را قابل قبول ارزیابی نمودند.

در مطالعات انجام شده در ایران در ارتباط با تغییرات سرعت باد، بیشتر به روندیابی سرعت باد پرداخته اند، درحالیکه پیش‌بینی آن به ندرت مورد توجه بوده، بنابراین در پژوهش حاضر سعی گردید با استفاده از مدل هالت- وینترز به شبیه سازی و پیش‌بینی تغییرات سرعت باد در کشور پرداخته شود.

مواد و روش

در این پژوهش به منظور بررسی شبیه سازی و پیش‌بینی تغییرات سرعت باد در کشور، از داده‌های ماهانه ۳٤ ایستگاه استفاده گردید (نگاره ۱). باتوجه به اینکه در این تحقیق قصد مقایسه نتایج مناطق مختلف کشور با یکدیگر را داشتیم، از یک دوره آماری مشترک ۵۰ ساله از ۱۹٦۱ تا ۲۰۱۰ استفاده شد تا مقایسه نتایج مناطق مختلف کشور با اطمینان بیشتر انجام گیرد.



نگاره ۱ - موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه به همراه دو رشته کوه البرز و زاگرس (مناطق هاشور زده)

مدل هالت- وینترز

این مدل برای پیش‌بینی سری‌های زمانی که علاوه بر روند دارای تغییرات فصلی یا سیکلی هستند بکار می‌رود و در مطالعات تغییرات و پیش‌بینی برخی از عناصر هواشناسی در کشور مورد استفاده قرار گرفته است. از این مدل عزیزی و روشن (۱۳۸٤) برای پیش‌بینی بارش استان هرمزگان، خورشید دوست و همکاران (۱۳۸۸) برای پیش‌بینی دماهای کرانگین اصفهان، قویدل (۱۳۹۱) برای پیش بینی دماهای فرین حداقل تهران و جهانی و همکاران (۲۰۱۳) برای تحلیل بارش‌های فصلی و سالانه کشور استفاده کرده اند که نتایج آنها دلالت بر توانایی خوب این مدل برای پیش‌بینی عناصر آب و هوایی دارد.

در تحقیق حاضر نیز از این مدل برای پیش‌بینی سرعت باد در کشور تا سال ۲۰۲۰ استفاده شد. با توجه به اینکه در مدل‌های مبتنی بر سری‌های زمانی، هرچه زمان مورد

پیش‌بینی طولانی‌تر باشد دقت نتایج کمتر می‌شود، در این تحقیق پیش‌بینی‌ها تا سال ۲۰۲۰ انجام گرفت، هرچند می‌توان دوره‌های طولانی تر را نیز پیش‌بینی نمود. جهت دستیابی به این هدف از داده‌های ماهانه سرعت باد استفاده گردید، بنابراین با توجه به دوره ۵۰ ساله مورد مطالعه برای هر ایستگاه سری زمانی سرعت باد دارای ۶۰۰ داده می‌باشد.

برای بکارگیری این مدل نیاز به برآورد سه مؤلفه سطح یا میانگین ($\overline{X}$)، روند (T) و مؤلفه فصلی(S) می‌باشند. منظور از فصل در این مدل تغییراتی است که دوره تکرار آنها حداکثر یک سال باشند.

سه عامل ذکر شده مطابق روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$F_t = \alpha(F_{t-1} - T_{t-1}) + (1-\alpha)\frac{Y_{t-1}}{S_{t-k}} \quad (۱)$$

$$S_t = \gamma S_{t-K} + (1-\gamma)\frac{Y_t}{F_t} \quad (۲)$$

$$T_t = \beta T_{t-1} + (1-\beta)(F_t - F_{t-1}) \quad (۳)$$

که در این روابط:

Ft: مقدار هموار شده (smoothed) عامل سطح برای زمان t

Ft-1: مقدار هموار شده عامل سطح برای زمان t-1

Yt-1: مقدار واقعی داده برای زمان t-1

Tt: مقدار روند تخمین زده شده

St: مقدار عامل فصلی تخمین زده شده

آلفا: ثابت هموارسازی برای داده‌ها

بتا: ثابت هموارسازی برای تخمین روند

لاندا: ثابت هموارسازی برای تخمین تغییرات فصلی و Kدوره زمانی در هر سال می‌باشد. ضرایب هموارسازی نمایی هالت وینترز همواره بین صفر و یک می‌باشند *(آذر و همکار، ۱۳۷۷)*.

جهت ارزیابی نتایج مدل علاوه بر بررسی ضریب تبیین (R2) و دو معیار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، توزیع باقیمانده‌های مدل (خطاها) از نظر نرمال بودن نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. این شرط از این نظر حائز اهمیت است که نشان دهنده توانایی مدل در برآورد یکسان مقادیر کمتر و یا بیشتر از میانگین می‌باشد. اگر توزیع باقیمانده‌های مدلی به نرمال نزدیک نباشند نشان دهنده این واقعیت است که مدل برای مثال مقادیر کمتر از میانگین را با خطای کم و مقادیر بیشتر از میانگین را با خطای بیشتری برآورد کرده است. بنابراین هرچه توزیع باقیمانده‌های مدلی به نرمال نزدیکتر باشد نتایج مدل قابل قبول تر خواهد بود.

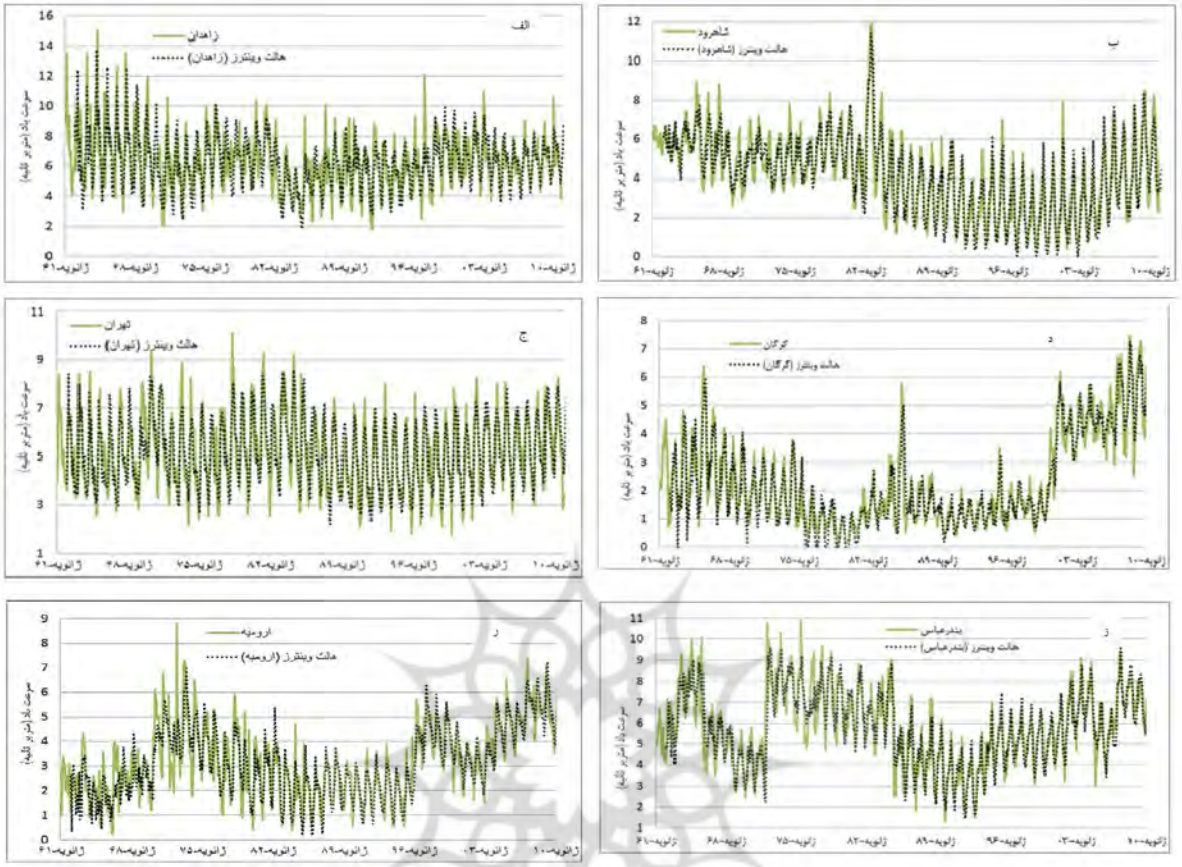
نتایج و بحث

شبیه‌سازی تغییرات سرعت باد

مقادیر برآورده شده بوسیله مدل هالت- وینترز برای مقادیر سرعت باد برای ٦ ایستگاه زاهدان، شاهرود، تهران، گرگان، ارومیه و بندر عباس بعنوان نمونه در نگاره ۲ (الف تا ز) ارائه شده است. نمودارهای این نگاره‌ها بر انطباق مناسب مقادیر برآورد شده توسط مدل (خطهای نقطه چین) بر مقادیر واقعی سرعت باد (خطهای ممتد) دلالت دارد. علی‌رغم اینکه تغییرات ماهانه سرعت باد در برخی ایستگاه‌ها مانند گرگان (نگاره د-۲) ، ارومیه (نگاره ر-۲) و بندر عباس (نگاره ز-۲) بسیار زیاد و پیچیده است، مدل مربوطه به خوبی توانسته این تغییرات را برآورد نماید.

برای نمونه حداکثر سرعت باد ثبت شده در ایستگاه شاهرود در ماه اگوست سال ۱۳۸۲ و به مقدار ۱۲/۱ متر بر ثانیه می‌باشد که به خوبی توسط مدل و در حدود ۱۱ متر بر ثانیه برآورد شده است. برآورد مناسب مقادیر حدی سرعت باد (داده‌هایی که نسبت به میانگین تفاوت زیادی دارند) توسط مدل هالت- وینترز در دیگر ایستگاه‌ها نیز قابل مشاهده می‌باشد که نشان دهنده توانایی بالای این مدل در شبیه سازی تغییرات باد است. علاوه بر این، مدل تغییرات ناگهانی اتفاق افتاده در ایستگاه را نیز به خوبی تشخیص داده و برآورد نموده است. این تغییرات ناگهانی به خوبی در برخی ایستگاه‌ها مانند گرگان، ارومیه و بندرعباس قابل مشاهده است.

برآورد مناسب مقادیر حدی و همچنین شناسایی تغییرات پیچیده سری‌های زمانی همواره یکی از مهمترین منابع ایجاد



نگاره ۲ - مقادیر واقعی سرعت باد (خط‌های ممتد) و مقادیر برآورده شده بوسیله مدل هالت- وینترز (خط‌های نقطه چین) برای ایستگاه‌های زاهدان، شاهرود، تهران، گرگان، ارومیه و بندر عباس

خطا در مدل‌ها محسوب می‌شوند. به عبارت دیگر بسیاری از مدل‌ها مقادیر اطراف میانگین را به خوبی تخمین می‌زنند ولی در برآورد مقادیر حدی دچار مشکل شده و موجب افزایش خطا می‌شوند. نتایج حاصل از مدل هالت- وینترز نشان می‌دهد که این مدل علاوه بر برآورد مناسب مقادیر نزدیک به میانگین سری‌های زمانی سرعت باد، توانایی خوبی نیز برای برآورد مقایر حدی سرعت باد دارد.

ارزیابی نتایج مدل

برای ارزیابی اولیه مدل هالت- وینترز مقادیر ضریب تبیین، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) برای تمامی ۳٤ ایستگاه مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. شاخص RMSE معیاری برای ارزیابی دقت نتایج است و معمولاً هرچه مدل بهتر بر داده‌ها منطبق (fit) باشد مقدار آن کمتر می‌شود. باید توجه داشت که مقدار RMSE بستگی به واحد اندازه گیری دارد. هر چه مقدار RMSE نسبت به دامنه کوچکتر باشد، مدل بهتر و دقت آن بیشتر است. مقدار این شاخص برای ایستگاه‌های مورد بررسی بین ۱/۷۳ در ایستگاه آبادان تا ۰/۵۳ در ایستگاه بابلسر متغیر است. مقدار شاخص MAE نیز که هرچه به صفر نزدیکتر باشد بهتر است، برای ایستگاه آبادان ۱/۳٤ و برای ایستگاه بابلسر ۰/٤ بدست آمده است. بنابراین با توجه به اینکه مقدار ضریب تبیین در آبادن تنها ۰/۳۹ و در ایستگاه بابلسر ۰/۸۰ می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که مدل هالت- وینترز بهترین نتیجه را برای ایستگاه بابلسر و ضعیف‌ترین نتیجه را برای ایستگاه آبادان بدست آورده است.

جدول ۱- مقادیر ضریب تبیین، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) برای تمام ایستگاه‌ها

ایستگاه	R^2	RMSE	MAE	ایستگاه	R^2	RMSE	MAE
اصفهان	۰/۷۲	۰/۹۱	۰/۷۰	شیراز	۰/۷٤	۰/۷۱	۰/٥٤
تبریز	۰/۷۷	۱/۰۷	۰/۸۰	قزوین	۰/۷۰	۰/۸٤	۰/٦٥
ارومیه	۰/۷۱	۰/۸۰	۰/٥۸	سنندج	۰/٤۷	۱/۰۱	۰/۷۸
خوی	۰/٤۸	۰/۹۷	۰/۷۳	سقز	۰/٥۲	۱/۲٥	۰/۹۳
شهرکرد	۰/٥۸	۰/۹۷	۰/۷۱	کرمان	۱/۰۰	٤/۳۲	۳/۱۳
بوشهر	۰/٥۳	۱/۲۳	۰/۹۷	بم	۰/۸٥	۱/۰٥	۰/۷۷
تهران	۰/٦۹	۰/۸۷	۰/٦۷	کرمانشاه	۰/٦۳	۰/۸۷	۰/٦۷
بیرجند	۰/۸۲	۰/۹۳	۰/۷۲	گرگان	۰/۸٤	۰/٦۳	۰/٤٦
مشهد	۰/۸۱	۰/۷۰	۰/٥۳	رشت	۰/۲٤	۰/۸٥	۰/٦۱
سبزوار	۰/۸٥	۱/۰۱	۰/۷٥	انزلی	۰/٤٥	۱/۰۳	۰/۷٥
تربت حیدریه	۰/٦٦	۱/۲۷	۰/۹٦	خرم آباد	۰/٦۳	۰/۹۳	۰/٦۹
اهواز	۰/۳۰	۱/۷۰	۱/۳۳	رامسر	۰/۷٥	۰/٦٤	۰/٤۹
آبادان	۰/۳۹	۱/۷۳	۱/۳٤	بابلسر	۰/۸۰	۰/٥۳	۰/٤۰
دزفول	۰/۷۰	۰/۸۲	۰/٦۲	اراک	۰/٥۰	۱/۰۱	۰/۷٥
زنجان	۰/۷۰	۰/۹٤	۰/۷۰	بندرعباس	۰/۷۸	۰/۸٦	۰/٦۲
شاهرود	۰/۸۳	۰/۸٤	۰/٦٥	همدان	۰/٥۸	۱/۱۹	۰/۹۰
زاهدان	۰/٤۸	۱/۳۸	۱/۰۳	یزد	۰/۷۱	۰/۹۰	۰/٦۷

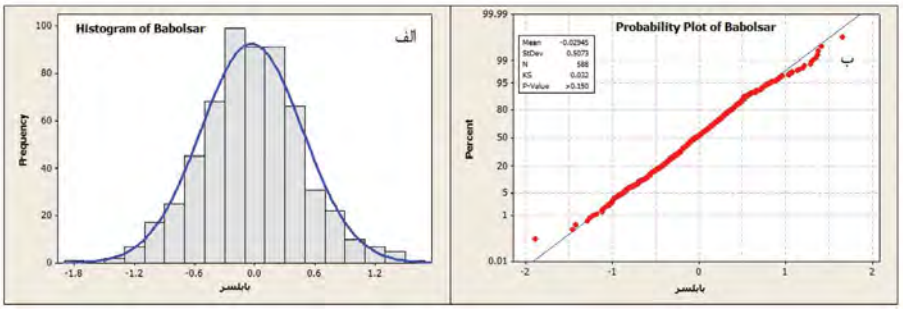
علاوه بر مقدار ضریب تبیین و مقادیر خطا برای صحت سنجی مدل، شرط نرمال بودن باقیمانده‌های مدل (تفاوت بین مقادیر واقعی و برآورد شده توسط مدل) نیز مورد بررسی قرار گرفت.

جهت بررسی نرمال بودن باقیمانده‌های این مدل در ایستگاه‌های مورد بررسی از آزمون کلموگروف- اسمیرنوف استفاده شد. این آزمون در اصل برای مقایسه توزیع یک نمونه با توزیعی که برای جامعه فرض شده است به کار می‌رود، ولی در بسیاری از پژوهش‌ها برای بررسی نرمال بودن سری‌های زمانی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرض صفر (H0) این آزمون دلالت بر نرمال بودن داده‌ها دارد که آن را در سطح خطای ۱٪ آزمون می‌کنیم.

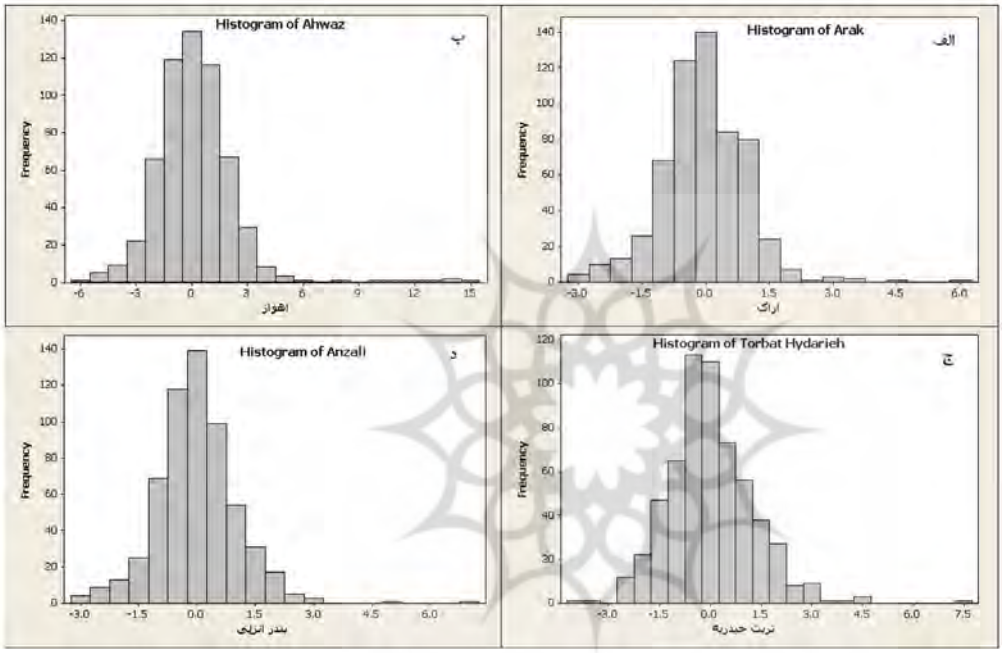
بنابراین اگر مقدار P-value در آزمون بزرگتر یا مساوی ۰/۰۱ بدست آید، در این صورت دلیلی برای رد فرض صفر مبتنی بر اینکه داده نرمال است، وجود نخواهد داشت. به عبارت دیگر توزیع داده‌ها نرمال خواهد بود.

نتایج این آزمون برای ایستگاه بابلسر که کمترین مقدار خطا را دارا بود به همراه بافت نگار باقیمانده‌ها در نگاره ۳ آورده شده است. مقدار P-value برای آزمون کلموگروف- اسمیرنوف معادل ۰/۱۵ بدست آمده، بنابراین فرض صفر (H0) رد نشده و با اطمینان می‌توان نرمال بودن باقیمانده‌های مدل در این ایستگاه را تأیید کرد. نگاره ۳- ب همچنین برازش باقیمانده‌های مدل بر خط (نمودار احتمال- احتمال) حاصل از آزمون کلموگروف- اسمیرنوف را در این ایستگاه نشان می‌دهد.

هر چه نقاط بر خط بهتر انطباق داشته باشند نشان دهنده این است که داده‌ها به نرمال نزدیک ترند. به خوبی مشاهده می‌گردد که داده‌ها به خوبی بر خط منطبق هستند. بنابراین از نظر کیفی نیز می‌توان از نرمال بودن مقادیر باقیمانده‌های مدل اطمینان یافت.



نگاره ۳ - بافت نگار و نمودار احتمال- احتمال باقیمانده‌ها برای ایستگاه بابلسر



نگاره ٤ - بافت نگار باقیمانده‌ها برای ایستگاه‌های اهواز، بندر انزلی، اراک، تربت حیدریه

نتایج نشان داد که باقیمانده‌های مدل در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه نرمال یا نزدیک به نرمال می‌باشند. ولی در برخی ایستگاه‌ها مانند اهواز، بندر انزلی، اراک و تربت حیدریه بافت نگار باقیمانده‌های مدل، حاکی از آن است که توزیع مانده‌ها اندکی بسمت راست چولگی دارند (نگاره ٤ الف تا د).

قابل ذکر است که الزاماً نرمال بودن باقیمانده‌های مدل تأیید کننده کارایی مناسب مدل نیست، زیرا ممکن است مدلی تمام مقادیر را با خطای زیاد ولی بصورت یکنواخت برای تمام داده‌ها برآورد کند که منجر به نرمال شدن مانده‌ها می‌شود.

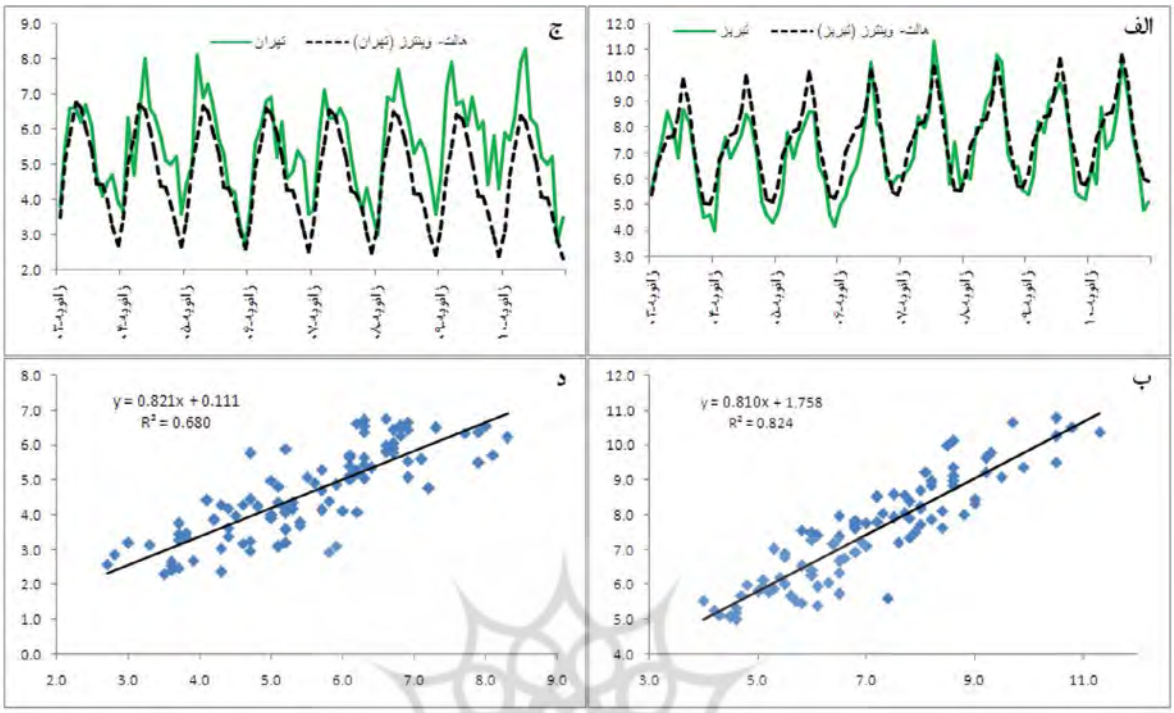
بنابراین مقدار ضریب تبیین و شاخص‌های بیان کننده مقدار خطا مانند RMSE و MAE نیز باید مد نظر قرار گیرند.

صحت سنجی مدل

جهت صحت سنجی نتایج در دوره مشاهداتی،دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ از سری‌های زمانی حذف و بر اساس سال‌های باقیمانده بوسیله مدل هالت- وینترز دوباره برآورد گردید. نتایج این تحلیل بصورت نمونه برای دو ایستگاه تهران و تبریز در نگاره ۵ ارائه شده است که نشان دهنده برآورد مناسب مقادیر واقعی در دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ توسط مدل است.

پیش‌بینی سرعت باد در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۰

نتایج صحت سنجی مدل هالت- وینترز نشان داد که این مدل در بیشتر ایستگاه‌ها به خوبی توانسته است مقدار سرعت باد را برآورد نماید. بنابراین در بخش حاضر، از



نگاره ۵- صحت سنجی مدل در دوره مشاهداتی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ در ایستگاه تبریز (الف و ب) و ایستگاه تهران (ج و د)

این مدل برای پیش‌بینی سرعت باد در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ استفاد شد.

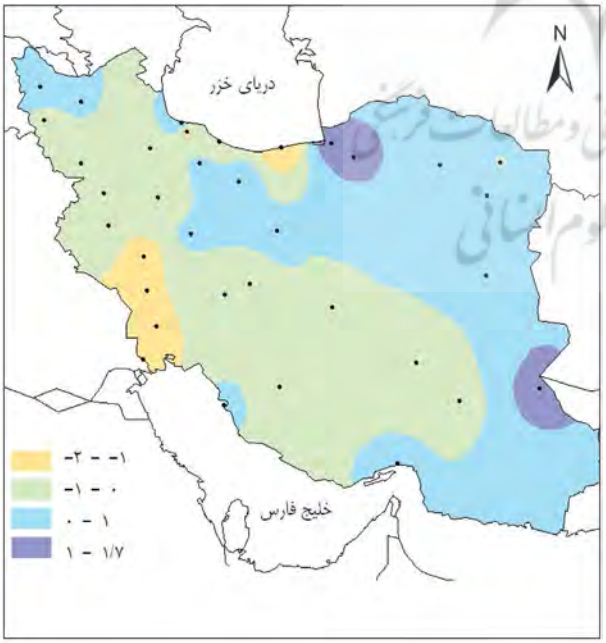
مقادیر ضرایب مدل برای تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. بنابراین با توجه به اثبات کارایی مناسب مدل هالت- وینترز می‌توان با قرار دادن ضرایب بدست آمده در روابط این مدل، از آن برای پیش‌بینی سرعت باد استفاده نمود. نتایج پیش‌بینی مدل برای دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ در نگاره ٦ ارائه شده است. نتایج حاکی از این است که سرعت ماهانه باد در ایستگاه‌های واقع در مناطق غربی و مرکزی و برخی ایستگاه‌های شمالی کشور تا سال ۲۰۲۰ روندی کاهشی خواهند داشت. در حالیکه ایستگاه‌های واقع در نیمه شرقی و نواحی جنوبی البرز روندی افزایشی خواهند داشت. به عبارت دیگر می‌توان گفت که سرعت باد در بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک شرق کشور در آینده، افزایش خواهد یافت در حالیکه مناطق کوهستانی و معتدل غرب کشور با کاهش سرعت باد روبرو خواهند شد. در شمال غرب کشور برعکس نتایج نیمه غربی، دو ایستگاه تبریز و خوی تا سال ۲۰۲۰ با افزایش سرعت باد مواجه خواهند شد که این افزایش با مثبت بودن روند تغییرات سرعت باد در شرق ترکیه (*IPCC, 2013*) همخوانی دارد. رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۰) نیز نشان داند که در دوره ۲۰۰۵- ۱۹٦۱ سرعت باد در ایستگاه اردبیل افزایشی است.

بیشترین افزایش سرعت باد در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ در ایستگاه گرگان و به مقدار ۱/۸ متر در ثانیه خواهد بود. میانگین سرعت باد در این ایستگاه در دوره آماری ۱۹٦۰ تا ۲۰۱۰ برابر با ۲/٤ متر بر ثانیه است. با توجه به پیش‌بینی‌های انجام شده این مقدار تا سال ۲۰۲۰ به ٤/۲ متر بر ثانیه افزایش خواهد یافت. نتایج پیش‌بینی حاصل از مدل هالت- وینترز همچنین نشان می‌دهد که بیشترین مقدار کاهش سرعت باد عموماً در مناطق جنوب غربی کشور رخ خواهد داد. برای نمونه سرعت باد در دوره مورد مطالعه (۱۹٦۱ تا ۲۰۱۰) در ایستگاه آبادان ٦/۳۱ متر بر ثانیه می‌باشد که این مقدار تا سال ۲۰۲۰ به ٤/٤۸ متر بر ثانیه کاهش خواهد یافت.

نتایج گزارش هیأت بین دولتی تغییر اقلیم (۲۰۱۳) برای بسیاری از مناطق دنیا نیز حاکی از وجود هر دو حالت

جدول ۲-مقادیر ضرایب مدل هالت- وینترز برای تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی

ایستگاه	alpha	Beta	Gamma	ایستگاه	alpha	Beta	Gamma
اصفهان	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۲۲	شیراز	۰/۲۹	۰/۰۱	۰/۱۳
تبریز	۰/۲٤	۰/۰۲	۰/۲۳	قزوین	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۲۳
ارومیه	۰/۲۷	۰/۰۲	۰/۲۳	سنندج	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۱٤
خوی	۰/۲۲	۰/۰۳	۰/۱۵	سقز	۰/۲۷	۰/۰۱	۰/۳۵
شهرکرد	۰/۲٦	۰/۰۱	۰/۲٤	کرمان	۰/٤٤	۰/۰۱	۰/۰۸
بوشهر	۰/۲۱	۰/۰۱	۰/۱٤	بم	۰/۵۷	۰/۰۱	۰/۲۷
تهران	۰/۲۲	۰/۰۱	۰/۱۸	کرمانشاه	۰/۲۹	۰/۰۳	۰/۱۷
بیرجند	۰/۳٤	۰/۰۱	۰/۳۷	گرگان	۰/٤۷	۰/۰۱	۰/۳۹
مشهد	۰/۳۷	۰/۰۱	۰/۱۸	رشت	۰/۳۱	۰/۰٤	۰/۲۷
سبزوار	۰/٤۲	۰/۰۱	۰/۳۵	انزلی	۰/۲۲	۰/۰۱	۰/۱۵
تربت حیدریه	۰/۹	۰/۰۱	۰/۷٦	خرم آباد	۰/۲۵	۰/۰۳	۰/٤۳
اهواز	۰/٦۲	۰/٦۱	۰/۰۲	رامسر	۰/٤۰	۰/۰۱	۰/۲۱
آبادان	۰/۰۰	۰/۹٦	۰/٤۱	بابلسر	۰/۳۱	۰/۰۱	۰/۱٤
دزفول	۰/۲۰	۰/۰٤	۰/۲۰	اراک	۰/۲۳	۰/۰۱	۰/۱٤
زنجان	۰/۳٦	۰/۰۳	۰/۲٦	بندرعباس	۰/٤۳	۰/۰۱	۰/۳۱
شاهرود	۰/۵۸	۰/۰۱	۰/٤٤	همدان	۰/۲٦	۰/۰۱	۰/۲۲
زاهدان	۰/۱۷	۰/۰٤	۰/۲۳	یزد	۰/۳٤	۰/۰۱	۰/۲۵



نگاره ٦ - مقادیر تغییرات پیش‌بینی شده توسط مدل هالت- وینترز تا سال ۲۰۲۰ (برحسب متر بر ثانیه)

افزایشی و کاهشی در مقدار سرعت باد است، ولی در ارتباط با تغییرات سرعت باد در ایران گزارشی ارائه نشده است.

با توجه به اینکه منشاء یا محل برداشت ذرات گرد و غبار در بیشتر طوفان‌های گرد و غبار در نواحی مرکزی و شرقی کشور در خود منطقه قرار دارند، افزایش سرعت باد در نواحی شرقی و مرکزی کشور می‌تواند هشداری جهت افزایش شدت طوفان‌های گرد و غبار در این منطقه در آینده باشد.

از طرف دیگر کاهش سرعت باد در جنوب غرب کشور به دلیل تمرکز صنایع پتروشیمی و پالایشگاهی در آن منطقه می‌تواند منجر به افزایش شدت آلودگی هوا (ناشی از آلاینده‌های نفتی) در آن منطقه گردد. همچنین، از آنجایی که سرعت باد می‌تواند بر شدت تبخیر و تعرق نیز تأثیرگذار باشد، دو موضوع تلفات آب و برآورد نیاز آبی گیاهان برای آینده نیز باید مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف پیش‌بینی تغییرات سرعت باد کشور تا سال ۲۰۲۰ و با استفاده از داده‌های یک دوره ۵۰ ساله از ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ انجام شد.

مدل مورد استفاده، مدل هالت- وینترز بود که با توجه به مطالعات گذشته کارایی مناسبی برای پیش‌بینی عناصر آب و هوایی از خود نشان داده است.

نتایج نشان داد که، این مدل به خوبی توانسته تغییرات سرعت باد و حتی مقادیر حدی آن را در کشور برآورد نماید. علاوه بر این، مدل تغییرات ناگهانی اتفاق افتاده در ایستگاه را نیز به خوبی تشخیص داده و برآورد کرده است. مقدار ضریب تبیین برای مدل نیز بین ۰/۳۹ در آبادان تا ۰/۸۰ در ایستگاه بابلسر متغیر می‌باشد.

ارزیابی مقادیر خطا نشان داد که مقدار شاخص مجذور میانگین مربعات خطا برای ایستگاه‌های مورد بررسی بین ۱/۷۳ در ایستگاه آبادان تا ۰/۵۳ در ایستگاه بابلسر متغیر است. همچنین مقدار شاخص میانگین قدر مطلق خطا MAE نیز بین ۱/۳٤ برای ایستگاه آبادان و ۰/٤ برای ایستگاه بابلسر بدست آمد.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل هالت- وینترز بهترین نتیجه را برای ایستگاه بابلسر و ضعیف‌ترین نتیجه را برای ایستگاه آبادان بدست آورده است. نتایج آزمون کلموگروف- اسمیرنوف که جهت بررسی نرمال بودن باقیمانده‌های مدل استفاده شد، نشان داد که در بیشتر ایستگاه‌ها، باقیمانده‌های مدل نرمال هستند که نشان دهنده مناسب بودن مدل برای برآورد و پیش‌بینی سرعت باد در کشور می‌باشند.

با توجه به اینکه نتایج ارزیابی و صحت‌سنجی مدل حاکی از این بود که مدل در بیشتر ایستگاه‌ها به خوبی توانسته است مقدار سرعت باد را برآورد نماید، بنابراین از آن برای پیش‌بینی سرعت باد تا سال ۲۰۲۰ استفاد شد.

نتایج نشان داد که سرعت باد در ایستگاه‌های واقع در مناطق غربی و مرکزی و برخی ایستگاه‌های شمالی کشور تا سال ۲۰۲۰ روندی کاهشی خواهند داشت. در حالی که ایستگاه‌های واقع در نیمه شرقی و نواحی جنوبی البرز روندی افزایشی خواهند داشت. به عبارت دیگر می‌توان گفت که سرعت باد در بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک شرق کشور در آینده، افزایش خواهد یافت در حالیکه مناطق کوهستانی و معتدل غرب کشور با کاهش سرعت باد روبرو خواهند شد. بیشترین افزایش در متوسط سرعت باد در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ در ایستگاه گرگان و به مقدار ۱/۸ متر در ثانیه و بیشترین مقدار کاهش سرعت باد در مناطق جنوب غربی کشور رخ خواهد داد. برای نمونه سرعت باد در ایستگاه آبادان تا سال ۲۰۲۰ به ٤/٤۸ متر بر ثانیه کاهش خواهد یافت.

تغییرات سرعت باد در آینده می‌تواند بر شدت طوفان‌های گرد و غبار در نواحی مختلف کشور، افزایش یا کاهش شدت آلودگی هوا، شدت تبخیر و تعرق و همچنین بر نیاز آبی گیاهان در آینده اثرات قابل توجهی داشته باشد.

منابع و مآخذ

۱- آذر، مؤمنی؛ عادل، منصور، (۱۳۷۷) آمار و کاربرد آن در مدیریت. انتشارات سمت.چاپ اول، تهران.

۲- بنایان. محمد و دیگران. (۱۳۸۹) بررسی نوسان‌پذیری اقلیمی در شمال شرق ایران.نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). شماره ۱. دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۳۱-۱۱۸.

۳- خردادی. محمدجواد و دیگران. ۱۳۸٦. بررسی روند پارامترهای هواشناسی در چند منطقه از ایران. کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب.تهران.

٤- خورشیددوست، صنیعی؛ قویدل رحیمی؛ علی‌محمد، راحله، یوسف، (۱۳۸۸) پیش‌بینی دماهای کرانگین اصفهان با استفاده از روش سری‌های زمانی. فصلنامه فضای جغرافیایی. شماره ۲٦. اهر. ٤۸-۳۱.

۵- رحیم زاده. فاطمه و دیگران، (۱۳۸۵) بررسی تغییرات سرعت باد در ارتفاع ده متری از سطح زمین در تعدادی از شهرهای بزرگ کشور در دوره اقلیمی ۲۰۰۰-۱۹۵۱.مجله

علمی-ترویجی نیوار. تهران. شماره ٦٢ و ٦٣، ٢٠-٧.
٦- رحیم زاده. فاطمه و دیگران (١٣٨٨) برآورد انرژی باد درایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. شماره پیاپی ٣٥. شماره٣. اصفهان. ١٥٥-١٧٢.
٧- رضایی بنفشه. مجید و دیگران (١٣٩٠) بررسی روند تغییرات سرعت باد در شمال غرب ایران، نشریه جغرافیای طبیعی. شماره ١٣. دانشگاه تهران. ٣٦-٢٧.
٨- شیر غلامی. هادی و دیگران (١٣٨٣) بررسی روند تبخیر-تعرق گیاه مرجع در ایران.پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر. شماره سوم. مازندران. ٢٧-١١.
٩- عزیزی، روشن؛ قاسم، علی‌اصغر؛ (١٣٨٤) بررسی خشکسالی‌ها- ترسالی‌ها و امکان پیش‌بینی آنها با استفاده از مدل سری زمانی هالت - وینترز در استان هرمزگان.فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ٧٩.اصفهان. ٦٣-٤٨.
١٠- قهرمان، قره‌خانی؛ نوذر، ابوذر؛ (١٣٨٩) بررسی روند تغییرات زمانی سرعت باد در گستره اقلیمی ایران.مجله آبیاری و زهکشی ایران، شماره١. ٤٣-٣١.
١١- قویدل رحیمی. یوسف، (١٣٩١) مدل‌های زمانی تحلیل و پیش‌بینی دماهای فرین پایین تهران، فصلنامه فضای جغرافیایی. شماره ٣٧. اهر. ١٥٧- ١٤١.
12- Akinci, T. C. 2011. Short term wind speed forecasting with ANN in Batman. Turkey. In: Proceedings of Electronics and Electrical Engineering Conference. China. No. 1. (107), pp.41-45.
13- Alexandersson, H., Tuomenvirta, H., Schmith, T. and Iden, K. (2000), Trends of storms in NW Europe derived from an updated pressure data set. Climate research Clim Res 14, 71-73.
14- Barati, Hassan. Haroonabadi, Hossein. Zadehali, Reza. 2013. Wind speed forecasting in South Coasts of Iran: An Application of Artificial Neural Networks (ANNs) for Electricity Generation using Renewable Energy. Bull. Env. Pharmacol. Life Sci., 6, 30-37.
15- Brower, M.C. Michael, S. Barton,L. lorençLledó, Jason Dubois. A study of wind speed variability using global reanalysis data.2013.
16- Erdem, Ergin. Shi, Jing. Yidong, Peng. 2014. Short-Term Forecasting of Wind Speed and Power - A Clustering Approach. Industrial and Systems Engineering Research Conference. pp. 1-11.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی