



روند سرعت باد در ایران

سهراب قائدی^{*۱}

۱. استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول: s.ghaedi@scu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۰۶

چکیده

بررسی روند سرعت باد و تحلیل اثر آن می‌تواند شاخص مناسبی برای بیان تغییرات محیطی مرتبط با حرکت هوا باشد. هرگونه افزایش یا کاهش سرعت باد طی زمان می‌تواند بر کشاورزی، فرسایش خاک، تولید انرژی بادی، ساختمان سازی، سلامت روانی و غیره تاثیر گذار باشد. در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از سرعت باد ۹۶ ایستگاه همدید ایران در طول دوره آماری ۳۰ سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷، روند و شیب خط سرعت باد با به‌کارگیری آزمون غیرپارامتری من-کندال و برآوردگر شیب خط سن ارزیابی شد. پهنه‌بندی میانگین سالانه سرعت باد نشان داد که بر اساس مقیاس بیوفورت، چهار پهنه بادخیز در ایران می‌توان تشخیص داد. هرچند روند سرعت باد در ایران از الگوی زمانی و مکانی مشخصی پیروی نمی‌کند، ولی در نیمه شمالی و مناطق کوهستانی کشور این روند مشهودتر است. در ماه‌های مهر و دی با حدود ۵۰٪ از ایستگاه‌های کشور بیشترین، و در جولای با حدود ۳۸٪ کمترین وسعت روند مثبت دیده می‌شود. بیشترین وسعت روند منفی مربوط به ماه جولای با ۱۳٪ و کمترین آن مربوط به ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، اکتبر و دسامبر به میزان ۶/۲۵٪ است. به طور کلی، ایستگاه‌های دارای روند مثبت در کشور ۴۳٪ و مناطقی با روند منفی ۹/۳٪ از کل پهنه کشور است. بررسی شیب سرعت باد نشان داد که ۷۵٪ از کل کشور با شیب مثبت و ۲۵٪ از کشور با شیب منفی روبرو هستند که به صورت دو نوار ممتد از جنوب تا شمال کشور گسترده شده‌اند. بیشترین شیب مثبت و منفی به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های گرگان و چابهار است.

واژگان کلیدی: روندیابی؛ آزمون من-کندال؛ شیب خط سن

■ مقدمه

پژوهش‌هایی که در زمینه تغییرات آب و هوایی انجام گرفته، بیشتر بر روی یک یا چند عنصر آب‌وهوایی به‌ویژه دما و بارش بوده است و این درحالی است که هرگونه دگرگونی، تغییر و یا روند در آب‌وهوا نتیجه ترکیبی از کارکرد عناصر آب‌وهوایی با یکدیگر است (۳۲). تغییرات سرعت بادهای سطحی می‌تواند روی فرسایش، انرژی باد، سازه‌ها، تبخیر و تعرق و ... تاثیر گذارد (۳۱).

تبخیر و تعرق در سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک چون ایران سموجب تلفات شدید آب به‌ویژه در بخش کشاورزی می‌شود که باد از مهمترین عامل افزایش آن می‌باشد (۳۰). باد یکی از عامل‌های مهم فرسایش خاک در مناطق خشک و نیمه خشک است که به دلیل محدودیت پوشش گیاهی در این نواحی، قادر است بر اثر کاوش، ذرات قابل انتقال خاک را با خود حمل و منجر به ایجاد فرسایش بادی شود (۳۹). همچنین پدیده گردوغبار که در سال‌های اخیر بسیاری از مناطق ایران و بویژه غرب و جنوب غرب کشور را درگیر پیامدهای منفی خود کرده است، ناشی از فرسایش بادی و معلق شدن ذرات بسیار ریز خاک در هواست. باد همچنین می‌تواند بر ساختمان‌ها نیرو وارد کند و در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان از آن به عنوان یکی از بارهای ساختمان نام برده شده است و قوانینی برای محاسبه و کاهش اثرات آن بیان شده است. شرایط دمایی و رطوبتی باد اثرات متفاوتی بر سلامت انسان دارد. بادهای خنک با تحریک پوست موجب افزایش جریان خون در بدن می‌شود، اما بادهای گرم و مرطوب مانع تعریق و به دنبال آن مانع خنک شدن بدن از راه دفع عرق است و برای تندرستی زیان آور است و باد خشک، چه گرم و چه سرد، سبب تحریک سیستم عصبی می‌شود (۲۲).

با توجه به ویژگی‌های پزشکی و سلامت باد شمال، میل به این باد در همه‌الگوهای شهرشناسی ایرانی مشاهده می‌شود. همچنین باد جنوب که بر طبق معیارهای پزشکی باد نامطلوبی است در همه‌طراحی‌ها سعی در دفع آن شده است. به همین ترتیب باد شرق و

غرب نیز بسته به شرایط اقلیمی در جذب یا دفع آن جهت‌گیری شده است (۹).

با توجه به اینکه بسیاری از مناطق ایران دارای شرایط خشک و نیمه‌خشک هستند، می‌توان گفت که پیامدهای نامطلوب باد بیش از پیامدهای مطلوب آن در کشور است که این شرایط نامطلوب در صورت روند مثبت سرعت باد، تشدید خواهد شد. در زمینه روند سرعت باد در جهان بیشتر بر انرژی باد و مقدار تاثیر آن بر تولید انرژی بادی تاکید شده است. مطالعه میانگین سالانه سرعت باد در کشور انگلستان نشان داد که روند کاهشی معناداری در سرعت باد مشاهده می‌شود و در نتیجه مقدار تولید انرژی باد کاهش یافته است (۲۳).

پژوهش روند سرعت وزش باد سطحی استرالیا با روش رگرسیون خطی مشخص کرد که ۸۸٪ از ایستگاه‌های واقع در عرض‌های میانی استرالیا روند کاهشی و ۱۲٪ از مناطق مرکزی و جنوبی روند افزایشی داشته‌اند (۱۹). بررسی روند بادهای سطحی در کانادا نشان داد که در بیشتر مناطق غربی و جنوبی کانادا در تمام فصل‌ها روند وزش باد کاهشی و در بیشتر مناطق مرکزی و شمالی در تمام فصل‌ها و در مناطق دریایی در فصل‌های گذار، روند افزایشی بوده است (۳۳). مطالعه سرعت باد در جزیره مک کواری واقع در اقیانوس جنوبی به منظور دریانوردی، روند آن را افزایشی نشان می‌دهد (۱۰). مطالعه تندبادهای کشور چین در فاصله سال‌های ۲۰۰۴-۱۹۵۶ بیانگر آن است که روند رخداد تند بادهای سالانه و فصلی تروپوسفر و استراتوسفر پایینی در کشور چین به ویژه در فصل بهار کاهش چشمگیری داشته است (۳۷). روند سرعت باد سطحی کشور برزیل نشان دهنده روند‌های مثبت و منفی متفاوت همچنین پژوهش‌های دیگری در مناطقی از جمله: ایالات متحده آمریکا (۱۶، ۲۵، ۲۶)؛ مناطق مرکزی مدیترانه و آدریاتیک (۲۴)؛ سواحل غربی کانادا (۳۲)؛ چین (۳۵)، (۱۱)، فنلاند (۱۷)، جنوب شرق آلمان (۱۸) و در جمهوری چک (۴)؛ روند کاهشی سرعت باد و در برخی از مناطق دیگر از جمله در اقیانوس‌های جهان (۳۸) و مناطق استوایی (۳۴) روند افزایشی سرعت باد را نشان داده‌اند.

همچنین روش‌های متعددی برای میان‌یابی وجود دارد که در اینجا از روش کریجینگ معمولی^۱ برای این منظور استفاده شد. کریجینگ روش تخمینی است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار است (۵). میان‌یابی کریجینگ با شرط احراز صلاحیت‌های اولیه و لازم می‌تواند بهترین میانگین موزون از یک پهنه را ارائه نماید. در زمینه پهنه‌بندی متغیرهای اقلیمی کارهای زیادی انجام شده است ولی کمتر به پهنه‌بندی باد پرداخته شده است. در همین زمینه برای پهنه‌بندی اقلیمی جنوب غرب کشور با تاکید بر باد، از روش کریجینگ معمولی استفاده شده و هفت پهنه اقلیمی با سرعت بادهای متفاوت به دست آمده است (۱۳).

هدف از پژوهش حاضر بررسی تغییرات زمانی و مکانی سرعت باد در تمام طول دوره آماری موجود ایستگاه‌های همدید کشور است تا آگاهی نسبتاً کاملی از این تغییرات محیطی در تمام پهنه ایران به دست آید و بتوان متناسب با نوع تغییرات برنامه‌ریزی مناسب و درستی انجام داد.

■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

یکی از مشکلات بررسی روند، نبود داده‌های آماری طولانی مدت ایستگاه‌های اندازه‌گیری داده‌های مربوط به پارامتر مورد نظر است که موجب می‌گردد پژوهشگران از ایستگاه‌های منتخب استفاده کنند و در نتیجه تمام پهنه یک منطقه، بررسی نگردد.

در پژوهش حاضر برای تعیین روند سرعت باد در ایران از داده‌های میانگین ماهانه و سالانه سرعت باد ۹۶ ایستگاه همدید سازمان هواشناسی کشور برای یک دوره ۳۰ ساله بین سالهای ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷ استفاده شد.

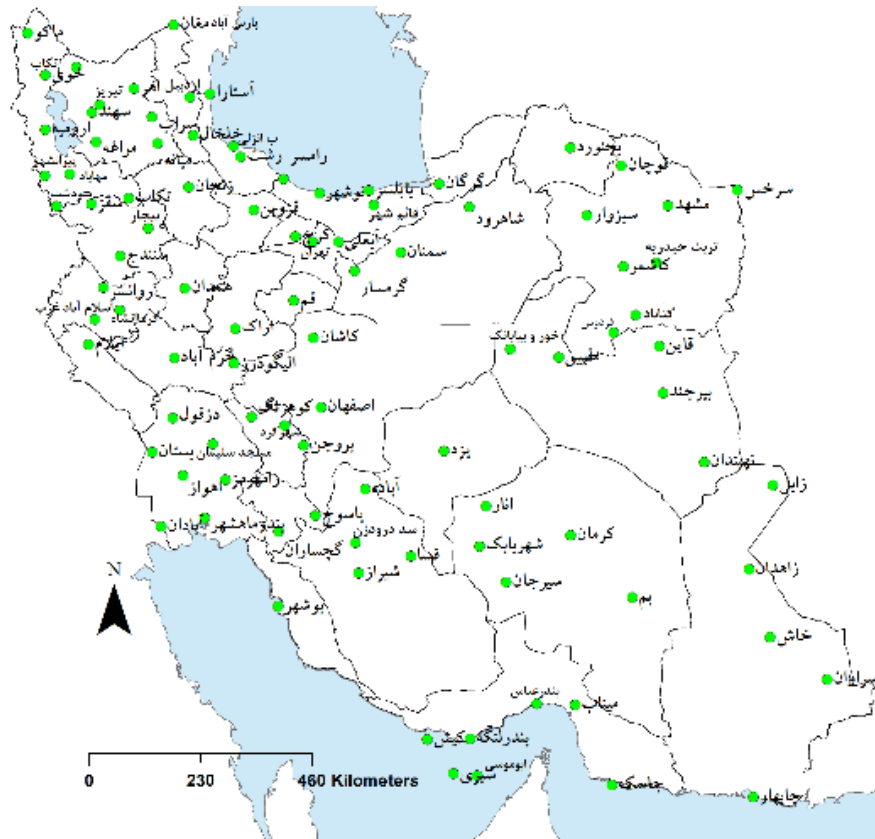
موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. هرچند روش‌های زیادی برای بازسازی داده‌ها وجود دارد، ولی به منظور پیشگیری از نتایج نادرست به دلیل بازسازی داده‌ها، سال‌های با نبود آماری در این پژوهش حذف شدند.

در ایران نیز پژوهش‌هایی در این زمینه صورت گرفته است از جمله: بررسی سرعت باد در چند شهر بزرگ ایران که عنوان شد سرعت باد علاوه بر تغییر پذیری شدید، با روند کاهشی نیز همراه بوده است و دلایل آن را جزایر گرمایی، گسترش شهرها و تغییرات ساختاری شهرها دانسته‌اند (۲۷). پژوهش روند سه عنصر دما، بارش و رطوبت نسبی و پارامتر سرعت باد در سه ایستگاه شیراز، اصفهان و تبریز نشان داد که روند سرعت باد در شیراز کاهشی و در دو ایستگاه دیگر بدون روند است (۱۴).

مطالعه تغییرات زمانی سرعت باد در چهل ایستگاه همدید ایران تا سال ۲۰۰۵ با روش من-کندال به این نتیجه رسید که ۷۰٪ ایستگاه‌ها دارای روند بوده‌اند و روند افزایشی سرعت باد در زمستان بیش از سایر فصل‌ها و در تابستان کمتر بوده است و بیشترین روند کاهشی در فصل پاییز و کمترین آن در فصل تابستان بوده و به‌طور کلی روند افزایشی بیش از روند کاهشی بوده است (۵). در بررسی روند تغییرات سرعت باد در هفت ایستگاه شمال غرب ایران نتیجه شد که روند تغییرات در این منطقه ناهمگن و در دو ایستگاه ارومیه و خوی روند سرعت باد کاهشی و در اردبیل و زنجان روند افزایشی بوده است (۲۸). روندیابی باد در بیست و دو ایستگاه منتخب ایران به این نتیجه رسید که تعداد ایستگاه‌های با روند منفی بیش از روند مثبت است و به‌طور کلی دریافتند که روند سرعت باد در اکثر ایستگاه‌های ایران کاهشی است (۲۰).

هرچند پژوهش‌هایی در رابطه با روند سرعت باد در ایران انجام شده است، ولی در این پژوهش‌ها از چند ایستگاه منتخب استفاده شده و یا دوره‌های زمانی کوتاه بوده است و از سوی دیگر شیب تغییرات نیز محاسبه نشده است. برای محاسبه روند آزمون‌های متعددی وجود دارد. یکی از بهترین این روشها آزمون من-کندال است که سازمان هواشناسی جهانی نیز استفاده از آن را توصیه کرده است (۳۶).

^۱ Ordinary kriging



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی

روش کار

در پژوهش حاضر از آزمون من-کندال برای محاسبه روند استفاده شد. از آنجا که این آزمون یک روش ناپارامتری است، فرض بهنجاری داده‌ها در آن نیاز نیست. این آزمون تنها معناداری و جهت روند را آزمون می‌کند و بزرگی روند را نشان نمی‌دهد (۲۱)؛ بنابراین در پژوهش حاضر از برآوردگر شیب سن برای تعیین شیب خط (بزرگی روند) استفاده شد. فرضیه صفر در این آزمون نبود روند را تأیید می‌کند، مشاهدات به طور تصادفی در زمان مرتب شده‌اند و در فرض مقابل، یک روند یکنواخت افزایشی و یا کاهشی در داده‌ها را تأیید می‌نماید. آزمون من-کندال بر اساس رابطه (۱) محاسبه گردید:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k) \tag{1}$$

در این رابطه، n طول سری زمانی داده‌های سرعت وزش باد و X_k و X_j دو داده متوالی k ام Z ام سری زمانی و k نامساوی Z و کوچکتر از n است، بنابراین طبق رابطه (۱) با قبول فرض H_0 ، توزیع S در حد توزیع $\infty \rightarrow S$ بهنجار

محسوب می‌شود. Sgn تابع علامت از رابطه (۲) محاسبه شد:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases} \tag{2}$$

اگر تعداد داده‌ها بیش از ۱۰ باشد ($n > 10$) میانگین داده‌ها صفر است. پراش داده‌ها از رابطه (۳) ب-دست می‌آید:

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \tag{3}$$

در رابطه (۳) عامل‌ها عبارتند از:

t اندازه‌ی بازه زمانی در سری داده‌ها، m بیانگر تعداد سری‌هایی با دستکم یک داده تکراری و $\sum t$ مجموع سری زمانی داده‌هاست.

آماره آزمون بهنجار Z از رابطه (۴) به دست آمد:

$$Q = \frac{Q_{[N+1]}}{2} \quad (7)$$

و اگر N زوج باشد، از رابطه (۸) استفاده می‌شود:

$$Q = \frac{1}{2} \left(\frac{Q_N}{2} + \frac{Q_{N+2}}{2} \right) \quad (8)$$

ایستگاه‌ها نماینده نقاط هستند، بنابراین برای بسط نقاط به پهنه در پهنه بندی سرعت باد از روش میانبایی کریجینگ معمولی استفاده شد. در این روش برای هریک از ایستگاه‌های درون و برون یک پهنه برحسب فاصله و موقعیت آن وزن آماری مشخصی در نظر گرفته می‌شود به گونه ای که واریانس تخمین آن کمینه باشد (۸).

با توجه به اینکه داده‌های استفاده شده در پژوهش حاضر پراکنشی نامنظم داشتند و این روش، روشی محلی - احتمالی، رسا، خطی و نارایب و با واریانس کمینه در یک نقطه است، از این روش استفاده شد (۲). به منظور سنجش درستی میانبایی، روش اعتبار سنجی متقابل^۱ به کار گرفته شد و به دلیل این که روش کریجینگ معمولی دارای کمترین خطا و انحراف میان یابی بود، در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفت.

در محاسبه روند بر اساس آزمون من-کندال، اگر مقادیر به دست آمده بیش از $+1/96$ باشد، روند مثبت که به معنای افزایش مقدار یا تعداد رخداد یک پدیده است، در نظر گرفته می‌شود. مقادیر کمتر از $-1/96$ به مفهوم روند منفی و در نتیجه کاهش مقدار یا تعداد رخداد پدیده مورد نظر و مقادیر بین این دو عدد به معنی نبود روند یا خنثی در جریان باد منظور گردید.

نتایج و بحث

پهنه بندی سرعت باد در ایران

گسترش ایران در عرض‌های زیاد جغرافیایی، ویژگی‌های توپوگرافی و شرایط آب‌وهوایی متفاوت موجب تفاوت سرعت باد در مناطق مختلف شده است.

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (4)$$

در رابطه (۴) S مربوط به علامت‌های تفاوت مقادیر با یکدیگر و $\sqrt{\text{Var}(s)}$ پراش S در رابطه (۳) است. معناداری آماری روند با ارزیابی مقدار Z انجام می‌گردد. مقدار مثبت / منفی Z یک روند رو به بالا / پایین را مشخص می‌کند.

برای تعیین یکنواختی روند در سطح معناداری α ، اگر قدر مطلق Z بیشتر از $Z_{1-\alpha/2}$ باشد، فرضیه صفر می‌شود؛ یعنی اگر $|z| \geq Z_{\alpha/2}$ باشد، فرض وجود روند پذیرفته می‌شود.

در فاصله اطمینان 95% ($\alpha=0.05$) اگر $|Z| \geq 1/96$ و در فاصله اطمینان 99% ($\alpha=0.01$) اگر $|Z| \geq 2/575$ باشد، فرض وجود روند پذیرفته می‌گردد. مقادیر مثبت روند صعودی و مقادیر منفی روند نزولی سری را نشان می‌دهد.

شیب خط سن

آزمون من-کندال تنها وجود روند را نشان می‌دهد و برای محاسبه شیب واقعی که میزان تغییر در واحد زمان است از روش ناپارامتری ساده سن (۲۵) استفاده گردید. این شیوه در جایی به کار می‌رود که فرض خطی بودن روند پذیرفته شود و بصورت رابطه (۵) زیر بیان می‌شود:

$$f(t) = Q_t + B \quad (5)$$

عامل‌های رابطه (۵) عبارتند از Q شیب و B ثابت خط یا همان عرض از مبدأ. شیب هر جفت از داده متوالی سری از رابطه (۶) برآورد گردید:

$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{j - k}, j > k \quad (6)$$

که عامل‌های آن همانند رابطه (۱) است. اگر N فرد باشد، برآوردگر شیب سن از رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

¹ Cross validation

ایستگاه‌های دارای روند مثبت مناطقی از شمال شرق تا شمال غرب کشور، سواحل جنوب غربی دریای مازندران، در امتداد زاگرس تا مناطق مرکزی و نیز دو ایستگاه سیری و بندرعباس را در جنوب شامل می‌شود. روند منفی پراکنش منظمی نداشته و در ایستگاه‌های چابهار، قاین، خورویبابانک، بجنورد، سردشت و گچساران دیده می‌شود. در سایر ماه‌ها نیز تقریباً با اختلاف نه چندان زیادی روند مثبت در همین مناطق تکرار شده است.

در ماه‌های اکتبر و ژانویه به ترتیب با ۴۸ و ۴۷ ایستگاه بیشترین و در ژولای و مارس با ۳۷ و ۳۹ ایستگاه، کمترین روند مثبت دیده می‌شود.

بطور کلی نظم فصلی خاصی در تعداد ایستگاه‌ها با روند مثبت دیده نمی‌شود. روندهای مثبت در وهله نخست به معنای افزایش گرادیان فشار بین مراکز کم فشار و پرفشار و سپس کاهش اصطکاک سرعت باد در این مناطق است.

در محدوده روند افزایشی مناطق مرکزی کشور که از البرز مرکزی تا شمال استان اصفهان را در بردارد، نشان از افزایش گرادیان فشار بین مناطق مرتفع کوهستانی البرز و مناطق بیابانی جنوب آن است که به احتمال بیانگر افزایش دمای مناطق جنوبی و گرادیان شدیدتر فشار در این مناطق است.

این محدوده که از شمال شرق تا شمال غرب و نیز مناطقی در سواحل شرقی و غربی دریای مازندران را دربرمی‌گیرد ناشی از افزایش اختلاف فشار بین این مناطق و پرفشارهای مناطق مرتفع البرز و دریای خزر است.

پهنه‌بندی سالانه سرعت باد در ایران در شکل ۱ نشان داده شده است.

متوسط سالانه سرعت باد در ایران بر اساس یافته‌های پژوهش بین ۱/۲۲ تا ۵/۵۱ متر بر ثانیه متغیر است، که بر اساس مقیاس بیوفورت به چهار طبقه تقسیم گردید (۱).

کمینه سرعت باد در گوشه شمال غربی ایران در غرب دریاچه ارومیه و به ویژه سواحل جنوب شرقی دریای مازندران می‌وزد. بیشینه سرعت باد نیز در زابل و منجیل رخ داده است. بیشترین پهنه مربوط به سرعت ۳ تا ۵ متر بر ثانیه است که حدود ۵۵ درصد از پهنه کشور را در بر می‌گیرد. مساحت هریک از پهنه‌های باد خیز ایران در جدول ۱ آورده شده است.

روند ماهانه سرعت باد

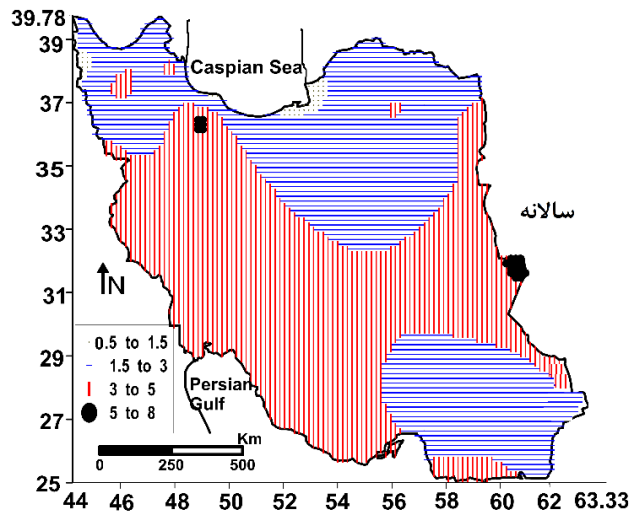
با استفاده از روش من-کندال روند ماهانه سرعت وزش باد برای هریک از ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه گردید. روند ماهانه سرعت وزش باد به ترتیب برای ماه‌های ژانویه تا دسامبر که با اختلاف حدود ۱۰ روز برابر با برج‌های دی تا آذر خورشیدی است، در شکل ۳ آورده شده است.

در این شکل‌ها سه گوش‌های آبی رنگ رو به پایین نشان دهنده روند منفی و سه گوش‌های قرمز رو به بالا نمایانگر روند مثبت هستند.

تعداد ماهانه و سالانه روند سرعت وزش باد در پهنه ایران بررسی شد (جدول ۱) در ماه ژانویه ۴۷ ایستگاه دارای روند مثبت و ۶ ایستگاه با روند منفی روبرو بوده‌اند.

جدول ۱. طبقه‌ها و مساحت پهنه‌های باد خیز در ایران بر اساس مقیاس بیوفورت

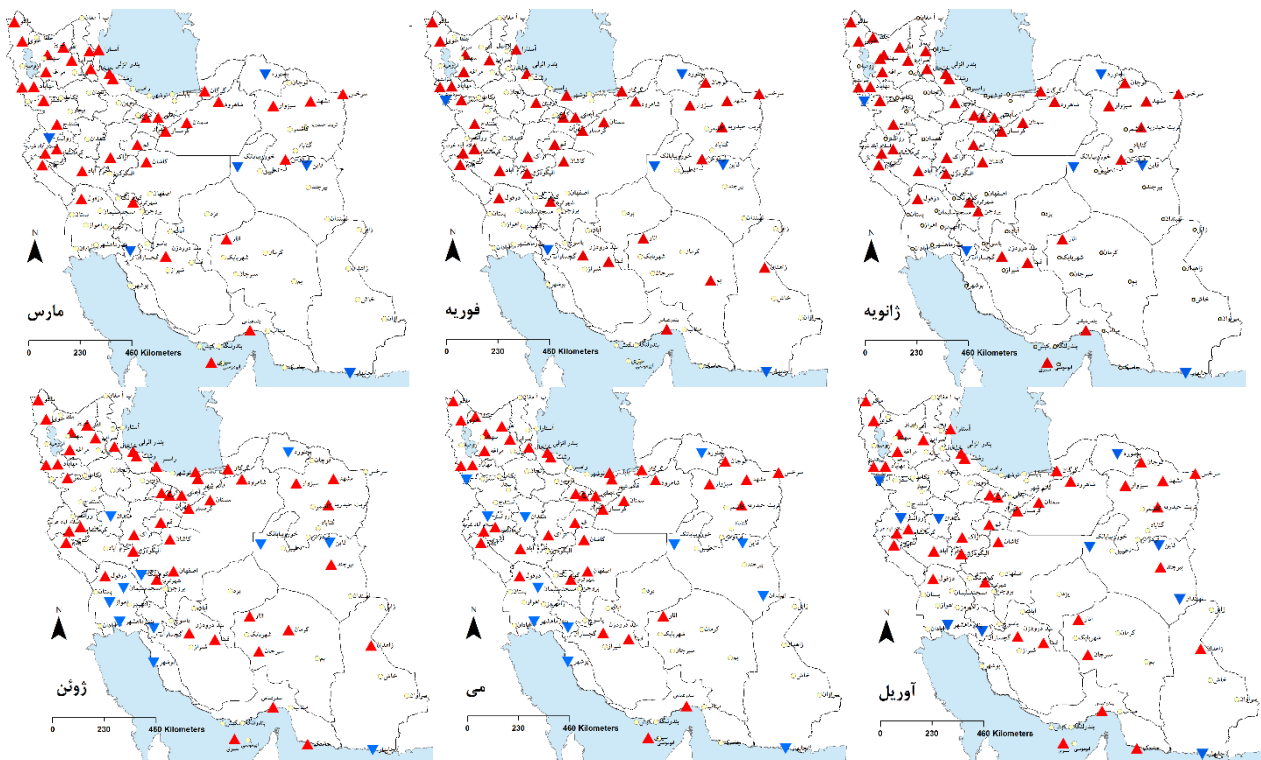
طبقه‌بندی سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه	۰/۵-۱/۵	۱/۵-۳	۳-۵	۵-۸
پهنه بر حسب درصد	۱/۱	۴۳/۶	۵۴/۹	۰/۴



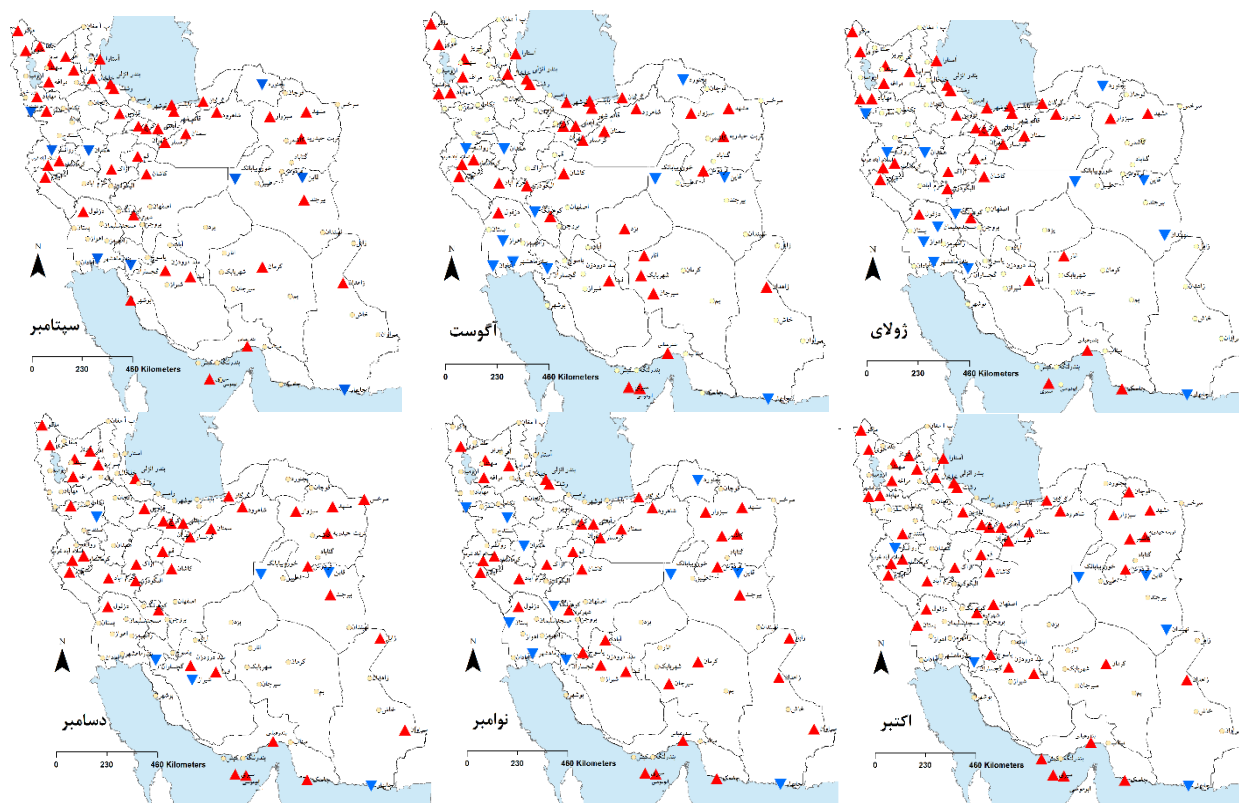
شکل ۲. پهنه بندی سرعت میانگین سالانه باد در ایران

تغییرات سرعت باد در سطح زمین (۳) نتیجه گرفته شده است که افزایش رخداد گرد و غبار می‌تواند منجر به کاهش میانگین سرعت باد گردد. در جنوب غرب کشور نیز روند منفی در بیشتر ماه‌های سال شاید به دلیل پیامد افزایش رخداد گردوغبار در منطقه باشد که موجب افزایش بار معلق موجود در هوا و در نتیجه کاهش سرعت باد گردیده است که جا دارد بررسی‌های دینامیکی بیشتری در این مورد صورت گیرد.

بیشترین تراکم ایستگاه‌ها با روند منفی مربوط به جنوب غرب کشور است که در ماه می ۴ ایستگاه را برمی‌گیرد و تا ماه آگوست با ۵ ایستگاه ادامه می‌یابد. در ایستگاه‌های چابهار، خوروبابانک و گچساران در همه ماه‌ها، و در ایستگاه بجنورد بجز در اکتبر و دسامبر، روند منفی است. کمترین تعداد ایستگاه‌ها با روند منفی مربوط به ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، اکتبر و دسامبر با ۶ ایستگاه می‌باشد. در پژوهشی به منظور بررسی علل



شکل ۳. روند ماهانه سرعت وزش باد در ایران، در این شکل‌ها سه گوش‌های قرمز رنگ رو به بالا نشان دهنده روند مثبت و سه گوش‌های آبی رنگ رو به پایین نشان دهنده روند منفی است



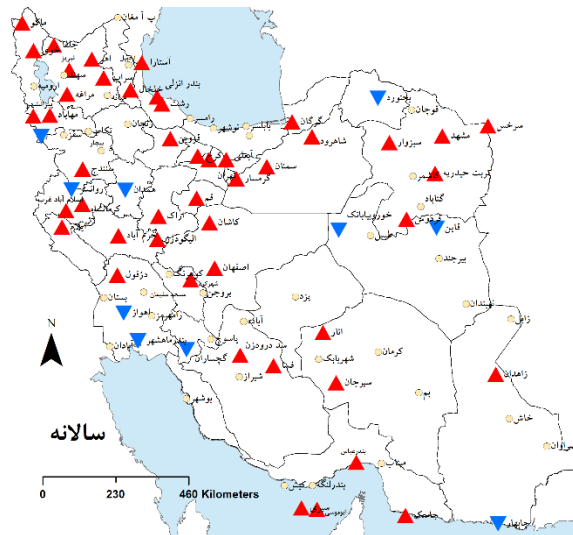
ادامه شکل ۳. روند ماهانه سرعت وزش باد در ایران، در این شکل ها سه گوش های قرمز رنگ رو به بالا نشان دهنده روند مثبت و سه گوش های آبی رنگ رو به پایین نشان دهنده روند منفی است

روند سالانه سرعت باد

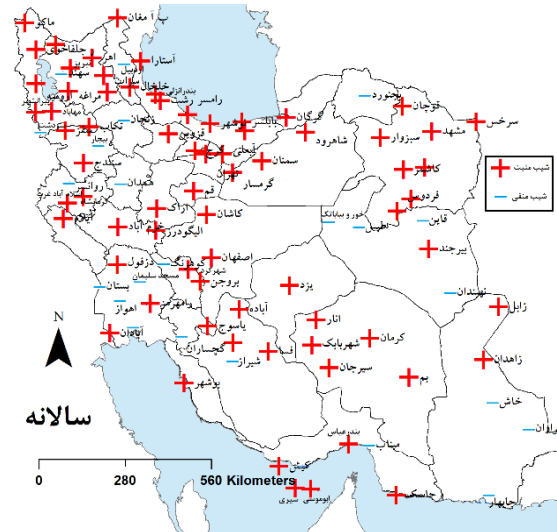
روند سالانه وزش باد در ایران در شکل ۴ نشان داده شده است. از ۹۶ ایستگاه مورد بررسی در پژوهش حاضر، ۴۷ ایستگاه روند مثبت، ۱۰ ایستگاه روند منفی و ۳۹ ایستگاه هیچ روندی را نشان نمی دهند. همانند روندهای ماهانه، ایستگاه های واقع بر مناطق کوهستانی البرز و زاگرس و مناطق مجاورشان، محدوده هایی از مناطق مرکزی از اصفهان تا کرمان، سواحل جنوب غربی و جنوب شرقی دریای مازندران، سواحل جنوبی و جزیره های ابوموسی و سیری و نیز ایستگاه زاهدان با روند مثبت همراه بوده اند. پراکنش ایستگاه های همراه با روند منفی منظم نیست و در چابهار، قاین، بجنورد، خور و بیابانک، سردشت، همدان، روانسر، اهواز، بندرماهشهر و گچساران دیده می شوند.

شیب خط سرعت باد

بر اساس برآوردگر شیب خط سن و در سطح اطمینان ۹۵٪، در ۷۲ ایستگاه یعنی ۷۵٪ از ایستگاه های مورد مطالعه شیب خط بیش از صفر یعنی مثبت و در ۲۴ ایستگاه یعنی ۲۵٪ باقیمانده از سایر ایستگاه ها شیب خط کمتر از صفر و به مفهوم شیب منفی است. مناطق با شیب مثبت در همه مناطق کشور و با شرایط آب و هوایی و ناهمواری متفاوت و شیب منفی در بین مناطق دارای شیب مثبت مشاهده می شود که در شکل ۵ ارائه شده است. بیشترین شیب مثبت مربوط به ایستگاه گرگان به مقدار ۰/۰۹۸ و بیشترین شیب منفی مربوط به چابهار به مقدار ۰/۰۵۲- است.



شکل ۴. روند سالانه وزش باد در ایران در طول دوره آماری مورد مطالعه



شکل ۵. شیب خط سرعت باد در پهنه ایران در طول دوره آماری مورد مطالعه براساس برآوردگر شیب خط سن

جدول ۲. تعداد ایستگاه‌های دارای روند مثبت، منفی و بدون روند در طول دوره مطالعه

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
۴۷	۴۱	۳۹	۴۰	۴۱	۴۵	۳۷	۴۰	۴۲	۴۸	۴۰	۴۰	۴۷
۴۳	۴۹	۵۱	۴۶	۴۳	۴۰	۴۶	۴۵	۴۵	۴۲	۴۵	۵۰	۳۹
۶	۶	۶	۱۰	۱۲	۱۱	۱۳	۱۱	۹	۶	۱۱	۶	۱۰

شده است. ایستگاه گرگان که بین مناطق کوهستانی البرز و دریای مازندران قرار گرفته است، به دلیل افزایش گرادیان فشار بین این مناطق (۱۵)، شیب افزایشی بالایی را نشان می‌دهد. کاهش روند سرعت باد در ایستگاه چابهار می‌تواند به دلیل تغییر دمای آبهای دریای عمان و خشکی‌های مجاور آن و در نتیجه کاهش گرادیان فشار در این منطقه باشد.

بررسی روند و شیب خط ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که ایستگاه گرگان و چابهار به ترتیب دارای بیشترین روند مثبت و منفی هستند. در ایستگاه گرگان بطور متوسط در هر سال به میزان 0.098 متر بر ثانیه بر سرعت باد افزوده شده است و این درحالی است که سرعت متوسط باد در این ایستگاه $1/33$ متر بر ثانیه است. از سوی دیگر در ایستگاه چابهار با کاهش 0.052 متر بر ثانیه در هر سال، دارای بیشترین روند منفی بوده که در جدول ۴ آورده

جدول ۴. آماره‌های مربوط به ایستگاه‌های دارای بیشینه شیب مثبت و منفی سرعت باد

ایستگاه	متوسط شیب خط	عرض از مبدا (ثابت خط)	کمینه شیب در سطح ۹۹٪	بیشینه شیب در سطح ۹۹٪	کمینه شیب در سطح ۹۵٪	بیشینه شیب در سطح ۹۵٪
گرگان	۰/۰۹۸	۰/۳۴۴	۰/۰۶۳	۰/۱۲۲	۰/۰۷۷	۰/۱۱۷
چابهار	- ۰/۰۵۲	۳/۴۹	- ۰/۰۷۵	- ۰/۰۲۷	- ۰/۰۶۵	- ۰/۰۳۳

کمترین آن مربوط به ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، اکتبر و دسامبر به میزان ۶/۲۵٪ می‌باشد.

بطور میانگین در تمام طول سال در ۴۳٪ از ایستگاه‌های کشور روند افزایشی در سرعت باد دیده شد. روند منفی در پهنه‌ای کوچکتر از کشور رخ داده است و بطور کلی در ۹/۳٪ از کل کشور روند منفی وزش باد دیده می‌شود. در ۷۵٪ از کل ایستگاه‌های مورد مطالعه شیب خط سرعت باد مثبت و در بقیه ایستگاه‌ها شیب خط منفی بوده است. بیشترین شیب خط مثبت مربوط به ایستگاه گرگان به میزان ۰/۰۹۸ افزایش سرعت باد (متر بر ثانیه) در هر سال و بیشترین شیب منفی مربوط به ایستگاه چابهار با ۰/۰۵۲ - کاهش سرعت باد در سال است. کاهش سرعت باد در منطقه چابهار که توان تولید انرژی باد را در سواحل گسترده خود دارد، می‌تواند منجر به کاهش تولید انرژی بادی در این منطقه شود. تغییرات سرعت باد می‌تواند در نتیجه تغییرات گرادیان فشار و میزان اصطکاک باشد که در هر منطقه با توجه به شرایط محیطی متفاوت است (۱۲).

در سواحل شمالی کشور تغییر دمای آبهای دریای خزر (۱۵)، مناطق کوهستانی و سواحل قرار گرفته بین این مناطق منجر به روند افزایشی بسیاری از ایستگاه‌های این منطقه شده است. در خوزستان افزایش گردوغبار موجب افزایش اصطکاک و در نتیجه کاهش سرعت باد گردیده است. به نظر می‌رسد روند کاهش پهنای آبی دریاچه ارومیه (۷) که به عنوان تعدیل کننده دمای محیط در منطقه به شمار می‌رود، منجر به برهم خوردن توازن دمایی منطقه و افزایش گرادیان فشار و در نتیجه افزایش سرعت باد گردیده است که با پژوهش‌های

نتایج این پژوهش در مقایسه با بررسی تغییرات زمانی باد در ۴۰ ایستگاه همدید کشور در بازه زمانی ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۵، در شصت درصد موارد مغایرت نشان می‌دهد (۵).

در مقایسه با پژوهش روند در ۲۲ ایستگاه منتخب مورد بررسی در بازه زمانی ۱۹۶۶-۲۰۰۵ از سوی پژوهشگران، بجز در ایستگاه‌های آبادان، مشهد و بندرانزلی در سایر ایستگاه‌ها نتایج هم‌خوانی ندارند (۲۰). همچنین در مقایسه با بررسی روند سرعت سالانه باد در هفت ایستگاه شمال غرب ایران طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۶۱، تنها ایستگاه سقز با پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد (۲۶). این احتمال وجود دارد که تفاوت سال‌های آماری در پژوهش‌ها، موجب تفاوت در نتایج شده باشد.

نتیجه‌گیری

مهمترین عامل مؤثر در کاهش یا افزایش سرعت باد، تغییرات گرادیان فشار است. تغییرات سرعت باد می‌تواند به عنوان نشانه‌ای از تغییرات آب‌وهوایی مورد توجه قرار گیرد که در زمینه انرژی باد، فرسایش، بروز آتش سوزی‌ها، تبخیر و تعرق، سلامت جسمی و روحی انسان و ... تاثیرگذار است.

در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های سرعت باد در پهنه ایران روند سرعت وزش باد با استفاده از روش من کندال در سطح اطمینان ۹۵٪ و شیب خط با استفاده از برآوردگر شیب سن محاسبه گردید.

در ماه‌های اکتبر و ژانویه با حدود ۵۰٪ از ایستگاه‌های مورد مطالعه بیشترین، و در ژولای با حدود ۳۸٪ کمترین وسعت روند مثبت دیده می‌شود. بیشترین درصد ایستگاه‌های با روند منفی مربوط به ماه ژولای با ۱۳٪ و

مختلف مخاطرات محیطی از جمله فرسایش بادی، تبخیر و تعرق، مسائل آلودگی‌های مناطق شهری، آشکارسازی تغییرات اقلیمی و هرگونه برنامه‌ریزی که به این داده‌ها نیاز دارند، مورد استفاده قرار گیرد.

سینوپتیک و دینامیک بهتر می‌توان به علل و عوامل آن پی برد.

نتایج این پژوهش که شناخت آماری نسبتاً جامع از تغییرات زمانی و مکانی سرعت باد در تمام پهنا جغرافیایی ایران و با استفاده از تمامی ایستگاه‌های با دوره آماری مناسب به دست می‌دهد، می‌تواند در زمینه‌های

■ References

1. Alizadeh, A., Kamali, Gh. A., Mousavi, F. & Mousavi-Bygi, M. (2006). *Weather and climate*, Mashhad: Ferdowsi University (in Farsi).
2. Asakereh, H. (2009). Kriging application in climatic element interpolation (a case study: Iran precipitation in 1996.12.16), *Geography and development*, 6 (12), 25- 42 (in Farsi).
3. Bichet, A., Wild, M., Folini, D., & Schar C. (2012). Causes for decadal variations of wind speed over land: Sensitivity studies with a global climate model, *Geophysical research letter*, 39(11), 1-6.
4. Brazdil, R., Chroma, K., Dobrovolny, P., & Tolasz, R. (2009). Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961-2005, *Climatology*, 29 (2), 223-242.
5. Ghahreman, N., & Gharekhani, A. (2010). Trend analysis of mean wind speed in different climatic regions of Iran, *irrigation and drainage*, 1(4), 31-43 (in Farsi).
6. Ghohroodi Tali M. (2002). Assessment of interpolation by Kriging Method, *physical geography research*, 34 (43), 95-108 (in Farsi).
7. Golzari Parto, L. (2015). Simulating the Consequences of Lake Urmia's drying up on Downfall in Northwest of Iran, *Geography and Environmental Hazards*, 4 (14), 137-147 (in Farsi).
8. Isaaks, E.H., & Srivastava R.M. (1990). *An Introduction to Applied Geo statistics*, London: Oxford University.
9. Hamzehnejad, M., Rabbani M., & Torabi T. (2015). Wind's Role in Human Health in Islamic Medicine Approach and Its Impact on Locating and Structure of Iranian Traditional Cities, *Naghsh-e Jahan*, 5 (1), 43-57 (in Farsi).
10. Hande, L.B., Siems, S.T., & Manton, M.J. (2012). Observed trends in wind speed over the Southern Ocean, *geophysical research letters*, 39 (11), 1-5.
11. Jiang, Y., Luo, Y., Zhao, Z., & Tao, S. (2010). Changes in wind speed over China during 1956–2004. *Theoretical and Applied Climatology*, 99 (421), 421–430.
12. Kavyani, M.R., & Alijani, B. (2000). *The fundamental of climatology*, Tehran: SAMT (in Farsi).
13. Khodaghohli, M. & Saboohi, R. (2014). Climatic zonation with emphasis on wind parameters in Illam, Khuzestan and Booshehr provinces, *watershed engineering and management*, 5 (4), 289-298 (in Farsi).
14. KHordadi, M., Eslamiyan, S., & Abedi Koopace, J. (2007). Investigation of the trend of meteorological parameters in several regions of Iran, *Technical workshop on the effects of climate change in water management*, *TWECCWRM01-TWECCWRM01_006.html* 1-7 (in Farsi).

15. Khoshakhlagh, F., Shakouri Katigari A., Hadinejad Saboori SH., Farid Mojtahedi N., Momen Pour F., & Asadi Oskuee E. (2016). Trend of the Caspian Sea surface temperature changes, *Natural Environment Change*, 2 (1), 57- 66.
16. Klink, K. (1999). Trends in mean monthly maximum and minimum surface wind speeds in the coterminous United States, 1961 to 1990. *Climate Research*, 13 (3), 193–205.
17. Kohler, M., Metzger, J. & Kalthoff N. (2017). Trends in temperature and wind speed from 40 years of observations at a 200-m high meteorological tower in Southwest Germany, *Climatology*, 38 (1), 23-34.
18. Laapas, M. & Venalainen A. (2017). Homogenization and trend analysis of monthly mean and maximum wind speed time series in Finland, 1959–2015, *Climatology*, 37 (14), 4803-4813.
19. Mc Vivar, T., Van Niel, T.G., Li, L.T., Roderick, M.L., Rayner, D.P., Ricciardulli, L., & Donohue, R.J. (2008). Wind speed climatology and trends for Australia, 1975-2006: Capturing the stilling phenomenon and comparison with near surface reanalysis output, *Geophysical Research Letters*, 35 (20), 1-6.
20. Mirabbasi Najafabadi, R., & Dinpajoh, Y. (2015). Analysis of the Wind Speed Trend over Iran, *Geography and Planning*, 19 (52), 277-301 (in Farsi).
21. Movahedy, S. (2012). Analysis of precipitation trends in the central Kavir basin of Iran during 1951-2008, *Desert ecosystems*, 2 (1), 47-56.
22. Naseri, M., Rezayizadeh, H., Choupani, R., & Anoushirvani, M. (2013). A Review on Iranian Traditional Medicine Principles, Tehran: *Iranian traditional medicine* (in Farsi).
23. Palutikof, P. J., Kelly, M. P., Davies, D.T., & Halliday, A. J. (1987). Impacts of spatial and temporal wind speed variability on wind energy output, *Applied Meteorology*, 26 (9), 1124-1133.
24. Pirazzoli, PA., & Tomasin A. (2003). Recent near-surface wind changes in the central Mediterranean and Adriatic areas. *Climatology*, 23 (8), 963–973.
25. Pryor, SC., Barthelmie, R.J., Young, DT., Takle, E.S., Arritt, R.W., Flory, D. Gutowski, W.J., Nunes, A., & Roads, J. (2009). Wind speed trends over the contiguous USA. *Geophysical Research- Atmospheres*, 114 (D14105), 1-18.
26. Pryor, S.C., & Ledolter J. (2010). Addendum to wind speed trends over the contiguous United States, *Geophysical Research- Atmospheres*, 115 (D10103), 1-7.
27. Rahimzadeh F., & Pedram M. (2010). Reduction of wind power due to long term variation of wind speed in Esfahan province, *Naghshe Jahan*, 34 (70 and 71), 53-62 (in Farsi).
28. Rezayi Banafsheh, M., Javan K.H., & Zeinali B. (2011). Trend analysis of wind speed in the north west of Iran, *physical geography*, 4 (13), 27-36 (in Farsi).
29. Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *American Statistical Association*, 63 (324), 1379–1389.
30. Talebi, A., Poormohammadi S., & Rahimian M.H. (2010). Investigation of effective factors on reference evapotranspiration using sensitivity analysis of FAO-Penman-Monteith equation (case study: Yazd, Tabas and Marvast stations), *physical geography research*, 42 (73), 97-110 (in Farsi).
31. Troccoli, A., & Muller K. (2012). Long-term wind speed trends over Australia, *Climate*, 25, 171-184.
32. Tuller, S.E. (2004). Measured wind speed trends on the west coast of Canada. *Int journal of Climatology*, 24, 1359–1374.

33. Wan, H.; Wang, X.L. & Swail, V.R. (2010). Homogenization and trend analysis of Canadian near-surface wind speeds, *Climate*, 23 (1175), 1209-1225.
34. Wentz, F.J., Ricciardulli L., Hilburn K. & Mears C. (2007). How much more rain will global warming bring? *Science*, 317 (5835), 233–235.
35. Xu, M., Chang, C., Fu, C., Qi, Y., Robock, A., Robinson, D., & Zhang, H. (2006). Steady decline of East Asian monsoon winds, 1969–2000: evidence from direct ground measurements of wind speed. *Geophysical Research-Atmospheres*, 111 (D2411), 1-8.
36. Yenigun, K., Gumus, V., & Bulut, V. (2008). Trends in stream flow of the Euphrates basin, Turkey, *Water Management*, 161 (4), 189-198.
37. Ying, J., Yong, L., & Zongci, Z. (2013). Maximum wind speed changes over China. *Acta Meteorology Sinica*, 27(1), 63–74.
38. Young, I.R., Zieger, S., & Babanin, A.V. (2011). Global trends in wind speed and wave height, *Science*, 332 (6028), 451–455.
39. Zehatabian, Gh., Javadi, M.R., Ahmadi, H., & Azarnivand, H. (2007). Investigation on effect of wind erosion on increasing of desertification Intensity and presenting of regional desertification model in Mahan basin, *Pajouhesh & Sazandegi*, 19 (3), 65-75 (in Farsi).

Wind Speed Trends in Iran

S. Ghaedi^{1*}

1. Assistant professor of climatology, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

* Corresponding Author: s.ghaedi@scu.ac.ir

Received date: 12/08/2018

Accepted date: 27/12/2018

Abstract

Investigation of wind speed trend and analysis of its effective can be a suitable index to environmental variability related to air movement. Any increase or decrease in wind speed over time can impact on agriculture, soil erosion, wind energy production, construction, mental health, and etc. In this study, wind speed trends and line slope by using Mann-Kendall nonparametric test and Sen's slope estimator were evaluated using wind speed data from 96 synoptic stations of Iran during their recorded period. Zoning of annual mean wind speed showed that four wind regions could be detected in Iran. Although the wind trend in Iran has no a certain temporal pattern, but in the northern half and mountain regions of the country, the trend is more pronounced. January and October with about 50% of the total station, and July and March with about 38% were observed maximum and minimum of the positive trends in the study area, respectively. Most of the area with negative trend is related to July by 13% and lowest is related to January, February, March and October by 6.25%. Generally, the positive trend is 43% and areas with negative trends is 9.3% of the total area of the country. Wind speed slope investigation shows that 75% of the country has positive slope and 25% of the country is with negative slope that have been expanded in all regions of the country. Most positive and negative slope is related to Gorgan and Chabahar Stations, respectively.

Keywords: Routing; Mann-Kendall test; Sen Slope estimator