

## پهنه‌بندی سرعت وزش باد بیشینه احتمالی در دوره بازگشت‌های مختلف در بخشی از مرکز ایران

محمد رضا اختصاصی<sup>۱</sup>، علی محمد قائمی‌نیا<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۱۷

### چکیده

باد یکی از پدیده‌های طبیعی با اهمیت در اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. گرچه پژوهش‌های زیادی در مورد بررسی سرعت و جهت وزش باد هر منطقه با استفاده از ترسیم گلباد انجام شده است، تعداد کمی از آن‌ها به بررسی احتمال وقوع باد در دوره بازگشت‌های مختلف پرداخته‌اند. تحلیل وقوع سرعت باد بیشینه در دوره بازگشت‌های مختلف، در انواع پروژه‌های عمرانی مانند احداث ساختمان‌های بلندمرتبه، بادشکن، تابلوهای تبلیغاتی در کنار بزرگراه‌ها و تمامی سازه‌های در معرض وزش باد برای محاسبه ریسک محتمل قابل استفاده خواهد بود. در این تحقیق، ابتدا با استفاده از داده‌های سرعت بیشینه باد ۲۲ ایستگاه سینوپتیک در کشور ایران به مرکزیت استان یزد و با استفاده از نرم‌افزار P10، بیشینه سرعت باد در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ ساله برآورد شد. با بررسی توزیع‌های آماری نرمال، لوگ نرمال، پیرسون، لوگ پیرسون و گمبل مشخص شد که توزیع گمبل در ۵۶٪ ایستگاه‌ها دارای کمترین خطای استاندارد و از این رو دارای کارآمدی بیشتری است. سپس با روش کریجینگ معمولی و درون‌یابی در محیط نرم‌افزاری Surfer 13.4 نقشه‌های هم‌سرعت باد در دوره بازگشت‌های مختلف تهیه شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که شدیدترین بادهای محتمل در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله متعلق به ایستگاه‌های اقلید (۵۹/۹ m/s)، سیرجان (۴۷/۳ m/s)، شهرضا (۴۳/۱ m/s)، کبوترآباد (۴۲/۸ m/s) و نطنز (۴۱/۶ m/s) است. از سوی دیگر، سرعت باد در دوره بازگشت‌های مختلف در نواحی غرب منطقه دارای شدت بیشتری است که دلیل اصلی را می‌توان شرایط سینوپتیکی و راه‌گذرهای توپوگرافی محلی برشمرد. همچنین روابط حاکم بر توزیع زمانی سرعت باد، رابطه لگاریتمی را بین سرعت و دوره بازگشت‌های مختلف نشان داد.

**واژه‌های کلیدی:** مناطق خشک، ریسک محتمل، توزیع گمبل، تندباد، یزد.

۱. استاد دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

۲. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، نویسنده مسئول / Email: a.ghaeminiya@yahoo.com

## مقدمه

طوفان یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در بین مخاطراتی همچون خشک‌سالی، سرمازدگی، سیل و زلزله در استان یزد است (منافزاده و همکاران، ۲۰۰۸). وقوع طوفان با سرعت ۷۶ کیلومتر در ساعت در اوایل سال ۱۳۷۹، خسارت‌های زیادی به بخش کشاورزی و باغداری استان یزد وارد کرد. این پدیده در سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۹ حدود ۱۲۷۰۹۲ میلیون ریال به این استان خسارت ایجاد کرده است (امیدوار، ۲۰۱۱). عالم (۲۰۰۱) میزان خسارت‌های سالانه طوفان در استان یزد را ۵۰ میلیارد ریال برآورد می‌کند. در مرکز دشت یزد (دشت سر پوشیده) سطح خاک کاملاً لخت و عاری از پوشش گیاهی و یا سنگریزه است. به‌همین دلیل بیشترین رخساره‌های فرسایش بادی در مرکز دشت یزد قابل مشاهده است. غالب طوفان‌ها نیز در محدوده ۱۰ تا ۱۵ کیلومتری مرکز این دشت شکل گرفته و حد فاصل شهرهای میبد تا یزد به طول ۵۰ تا ۷۰ کیلومتر را تحت تأثیر قرار می‌دهد (اختصاصی و همکاران، ۲۰۰۵). در منطقه رکن‌آباد شهرستان میبد که جاده ترانزیتی تهران - بندرعباس را در خود جای داده است، وقوع طوفان در ماه‌های فروردین و اردیبهشت باعث وارد آمدن خسارت‌های مالی و جانی می‌شود که برای نمونه می‌توان به تصادف‌های زنجیره‌ای ۲۲ دستگاه خودرو در فروردین ۱۳۷۶ و ۴۰ دستگاه خودرو در فروردین ۱۳۷۸ اشاره کرد (منافزاده و همکاران، ۲۰۰۸). تغییرات جوی، وقوع خشک‌سالی‌های گسترده، تغییر کاربری و رهاسازی اراضی از جمله مواردی است که اثرات منفی باد را به‌صورت فرسایش بادی و شکل‌گیری طوفان‌های گرد و خاک تشدید می‌کند.

برخی از خسارت‌های عمده تندباد را می‌توان سقوط تابلوهای تجاری و تبلیغاتی در سطح شهرها، جاده‌ها و بزرگراه‌ها، شکستن درختان و آسیب به خودروها، سقوط تیرهای برق و به‌دنبال آن، پارگی سیم و قطعی شبکه توزیع برق، تخریب دیوار و کنده شدن سقف برخی واحدهای مسکونی، تخریب تأسیسات، فضای سبز و مبلمان شهری، تخریب باغ‌ها و ریزش میوه محصولات سردرختی، از جا کنده شدن سازه‌های سبک و سقوط از ارتفاع، مسدود شدن

راه‌های ارتباطی و سقوط دکل‌های مخابراتی و شکستن آنتن‌های تلویزیون را نام برد.

گرچه فرسایش بادی متأثر از عوامل متعددی مانند شرایط زمین، توپوگرافی زمین، اقلیم و مدیریت انسان است، سرعت باد نقش اصلی را در تشدید فرسایش بادی ایفا می‌کند (ویس، ۱۹۹۶). به‌دلیل اهمیت وقوع طوفان در منطقه و ضرورت انجام اقدامات پیشگیرانه در جهت کاهش خسارت‌های ناشی از آن، مطالعه خصوصیات باد در این منطقه ضروری است. یکی از اهداف اصلی کنترل و کاهش فرسایش بادی، کاهش سرعت باد تا حدی است که نتواند موجب کنده‌شدن ذرات از سطح خاک شود (سرعت آستانه فرسایش). احداث بادشکن غیرزنده و موانع مصنوعی از روش‌های متداول در رسیدن به این هدف است. احداث بادشکن‌های پایدار که بتواند در مقابل نیروی باد از خود مقاومت نشان دهد، از ویژگی‌های یک پروژه موفق در امر تثبیت ماسه‌های روان است. به‌منظور طراحی بادشکن‌ها (ارتفاع، جهت، تراکم، طول، فاصله بادشکن‌ها با یکدیگر، نوع مصالح و...) شناخت خصوصیات باد در منطقه، اهمیت فراوانی دارد.

یکی از پارامترهای قابل توجه در این زمینه، وقوع سرعت‌های بالای باد در دوره بازگشت‌های مختلف است. نادیده گرفتن این پارامتر موجب شکست پروژه و اتلاف هزینه‌ها می‌شود. تجزیه و تحلیل فراوانی سرعت باد نقش مهمی در تحلیل ریسک خطر پروژه‌های احداث بادشکن با در نظر گرفتن عمر مفید آن‌ها (کورنلیس و گابریئلز، ۲۰۰۵) و برآورد حداکثر فرسایش و رسوب حمل شده (اختصاصی و عظیم‌زاده، ۲۰۰۷) ایفا می‌کند.

فتحی (۱۹۹۵) به منظور بهینه‌سازی طراحی خطوط انتقال نیرو، با در نظر گرفتن پدیده وقوع باد شدید به‌صورت یک فرایند تصادفی و استفاده از تئوری‌های احتمالات، روش‌های جدید برآورد بیشینه سرعت باد طراحی را توضیح داد. مدرس (۲۰۰۸) در پژوهش خود، به بررسی خصوصیات سرعت باد در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران پرداخت. وی با تهیه نقشه حداکثر سرعت باد در دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۰، ۵۰ و

پردازند. آن‌ها در این تحقیق به این نتیجه دست یافتند که احتمال وزش باد با سرعت بیشتر در مناطقی که راه آهن از پل‌های دره‌ای می‌گذرد، بیشتر است.

هدف اصلی از پژوهش حاضر، برآورد سرعت‌های بیشینه باد در دوره بازگشت‌های مختلف به منظور استفاده از ارقام به‌دست‌آمده در طراحی سازه‌های در معرض وزش طبیعی باد مانند بادشکن‌ها، ساختمان‌های بلندمرتبه، تابلوهای تبلیغاتی در کنار بزرگراه‌ها و تمامی سازه‌های در معرض وزش باد در بخشی از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران به مرکزیت استان یزد است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با وسعت حدود ۲۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع، بین عرض جغرافیایی ۲۸' ۲۹° تا ۵۹' ۳۳° شمالی و طول جغرافیایی ۱۸' ۵۱° تا ۵۸' ۵۶° شرقی قرار دارد (شکل ۱). این محدوده در مرکز ایران واقع شده است و بخشی از بیابان‌های بزرگ دشت کویر و دشت لوت را دربرمی‌گیرد. میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه‌های واقع در منطقه مورد مطالعه به ۲/۴ متر بر ثانیه می‌رسد. ایستگاه‌های اردستان و ناین به ترتیب با میانگین سالانه سرعت باد ۳/۸ و ۳/۶ متر بر ثانیه دارای بیشترین میانگین سرعت باد و ایستگاه‌های کاشان و یاسوج به ترتیب با ۰/۶ و ۱/۴ متر بر ثانیه دارای کمترین میانگین سرعت باد هستند.

این منطقه به‌علت شرایط اقلیمی و موقعیت جغرافیایی در نواحی خشک و بیابانی ایران قرار داشته و میانگین بارش سالانه ایستگاه‌ها (بدون لحاظ ایستگاه یاسوج) ۱۳۹ میلی‌متر است. خشکی زیاد خاک و درصد پوشش گیاهی اندک در منطقه باعث شده امکان استقرار موانع زنده طبیعی کمتر وجود داشته و وزش باد در منطقه یکی از پدیده‌های رایج باشد. از سوی دیگر، مناطقی در این محدوده همواره در معرض طوفان‌های گردوغبار است. ایجاد ابرهای غلیظ از گردوغبار در دشت یزد - اردکان در طول سال به‌طور متداول و فراوان به‌دلیل وزش باد دیده می‌شود (امیدوار، ۲۰۰۱b).

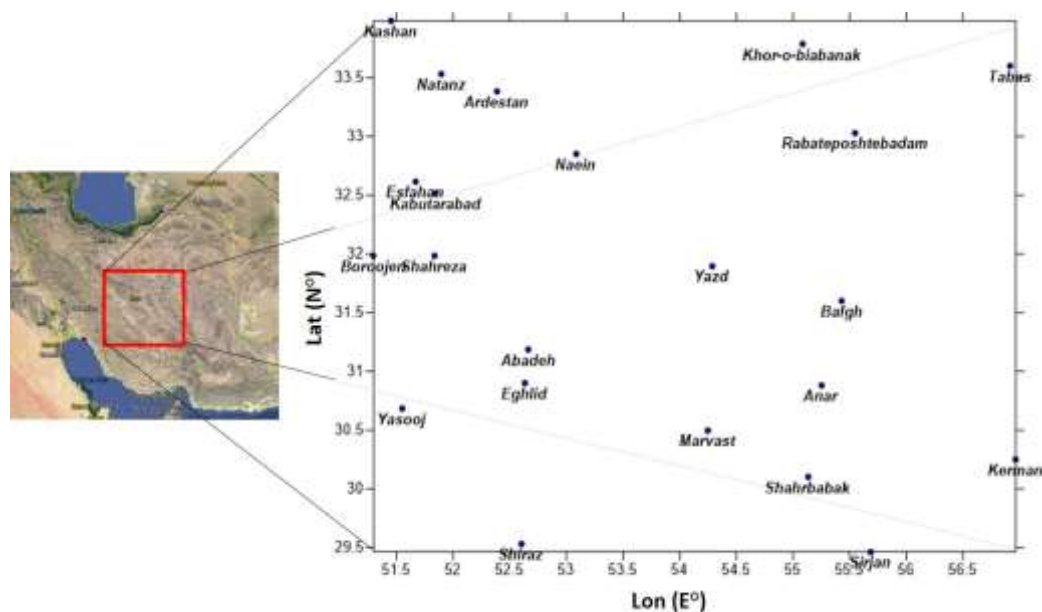
۱۰۰ ساله به این نتیجه دست یافت که بخش‌های مرکز، جنوب غرب و شمال غرب منطقه مورد مطالعه می‌توانند بخش‌های آسیب‌پذیرتری در برابر فرسایش بادی نسبت به دیگر بخش‌ها باشند (مدرس، ۲۰۰۸). طالبی (۲۰۰۶) در تحلیل آماری وزش طوفان در استان یزد در دوره آماری ۱۹۸۰-۱۹۹۹ میلادی به این نتیجه دست یافت که با وزش باد با سرعت ۵۱/۸ کیلومتر بر ساعت، خصوصیات و ویژگی‌های طوفان در پهنه استان یزد مشاهده می‌شود و دید افقی به کمتر از یک کیلومتر کاهش می‌یابد. بررسی‌های بیشتر وی همچنین نشان داد که بیشترین و کمترین فراوانی وقوع طوفان به ترتیب در ساعت‌های ۱۲ و ۰۳ گریجویخ رخ داده‌اند و ماه‌های می (اردیبهشت) و مارس (اسفند) به ترتیب با ۳۴ و ۳۱ مورد وزش طوفان، بیشترین فراوانی را داشته‌اند.

امیدوار (۲۰۰۱b) به‌منظور کاهش اثرات مخرب وقوع طوفان‌های گردوغبار و بادهای شدید در دشت یزد - اردکان به مطالعه و تعیین الگوهای جوی حاکم بر آن پرداخت. وی وجود گرادیان فشار بین نواحی مرکزی و جنوب ایران و وجود ناوهای با دامنه‌های عمیق در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در غرب ایران و منطقه مورد مطالعه، همچنین ریزش هوای سرد از ابرهای کومولونیمبوس را سبب ایجاد ناپایداری و بادهای شدید همراه با پدیده گرد و خاک در منطقه می‌داند.

ساکر<sup>۱</sup> (۲۰۰۲) خطوط هم‌سرعت بیشینه باد با دوره بازگشت ۵۰ سال را برای کشور فرانسه ترسیم کرد. وی به این نتیجه دست یافت که سرعت باد در بخش مرکزی ساحل اقیانوس اطلس در این دوره بازگشت به ۱۰۸ Km/h می‌رسد. اسکالانت (۲۰۰۸) با استفاده از ۴۵ ایستگاه هواشناسی در کشور هلند به برآورد سرعت بیشینه باد در دوره بازگشت‌های ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال پرداخت.

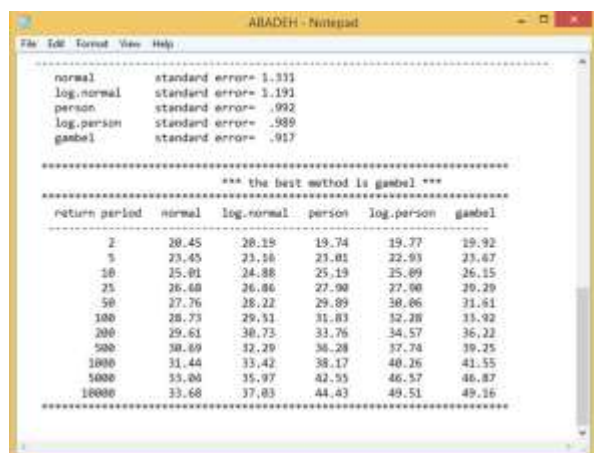
گاتی و میلر<sup>۲</sup> (۲۰۰۷) با توجه به اهمیت تهیه نقشه سرعت باد طرح، به بررسی سرعت باد در دوره بازگشت ۵۰ ساله در قاره اروپا پرداختند. فردا و سولاری (۲۰۱۰) به منظور تعیین خطر باد در طول خطوط راه آهن رم - ناپل در کشور ایتالیا به تجزیه و تحلیل احتمالاتی سرعت و جهت باد

1. Sacre
2. Gatey & Miller



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور ایران، نقاط ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در تحقیق (جدول ۱) را نشان می‌دهد.

خطای استاندارد<sup>۲</sup> (SE) برآورد بود، برای تخمین سرعت باد در دوره بازگشت‌های مختلف انتخاب شد. خطای استاندارد نشان‌دهنده پراکندگی سرعت‌های بیشینه باد برآورد شده توسط هریک از توزیع‌های آماری مورد بررسی است. شکل (۲) نمایی از خروجی نرم‌افزار P10 را نشان می‌دهد. در پایان به منظور پهنه‌بندی خطوط هم‌سرعت بیشینه باد، از نرم‌افزار Surfer 13.4 با استفاده از روش کریجینگ معمولی استفاده شد.



شکل (۲): خروجی نرم‌افزار P10 در برنامه Notepad

#### داده‌های مورد استفاده

به منظور انجام این تحقیق، ابتدا داده‌های بیشینه سرعت باد متعلق به ۲۲ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی واقع در محدوده، با مرکزیت استان یزد، از پایگاه اینترنتی سازمان هواشناسی کشور به نشانی [www.irimo.ir](http://www.irimo.ir) در قسمت محصولات و خدمات هواشناسی اخذ شد. چهار ایستگاه بافق، رباط پشت‌بادام، مروست و یزد در داخل استان یزد و مابقی در نزدیک‌ترین ایستگاه‌های مجاور استان واقع شده‌اند.

داده‌های ۲۲ ایستگاه با پایه زمانی مشترک از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۴ میلادی انتخاب شد و کمبود داده‌ها به مدت سه سال نخست در ایستگاه مروست، از روش رگرسیون سال‌های بعد بازسازی گردید. جدول (۱) موقعیت و ویژگی‌های سرعت باد را در ایستگاه‌های مورد استفاده نشان می‌دهد.

#### تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور برآورد سرعت‌های بیشینه باد در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله، توزیع‌های آماری نرمال، لوگ نرمال، پیرسون، لوگ پیرسون و گمبل در نرم‌افزار P10 مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس توزیعی که دارای کمترین

جدول (۱): موقعیت جغرافیایی و خصوصیات سرعت باد (۱۰ متری) در ایستگاه‌های مورد استفاده

| ایستگاه        | عرض جغرافیایی<br>(درجه، دقیقه شمالی) | طول جغرافیایی<br>(درجه، دقیقه شرقی) | ارتفاع از سطح<br>دریا (متر) | میانگین بیشینه سرعت<br>باد (m/s)* | بیشینه سرعت باد<br>ثبت شده (m/s) |
|----------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| آباده          | ۳۱° ۱۱'                              | ۵۲° ۴۰'                             | ۲۰۳۰/۰                      | ۱۴/۴                              | ۳۰/۰                             |
| اردستان        | ۳۳° ۲۳'                              | ۵۲° ۲۳'                             | ۱۲۵۲/۴                      | ۱۵/۴                              | ۳۰/۰                             |
| اصفهان         | ۳۲° ۳۷'                              | ۵۱° ۴۰'                             | ۱۵۵۰/۴                      | ۱۲/۰                              | ۳۰/۰                             |
| اقلید          | ۳۰° ۵۴'                              | ۵۲° ۳۸'                             | ۲۳۰۰/۰                      | ۱۶/۵                              | ۵۵/۰                             |
| انار           | ۳۰° ۵۳'                              | ۵۵° ۱۵'                             | ۱۴۰۸/۸                      | ۱۳/۶                              | ۳۰/۰                             |
| بافق           | ۳۱° ۳۶'                              | ۵۵° ۲۶'                             | ۹۹۱/۴                       | ۱۱/۳                              | ۲۶/۰                             |
| بروجن          | ۳۱° ۵۹'                              | ۵۱° ۱۸'                             | ۲۲۳۰/۰                      | ۱۰/۶                              | ۲۸/۰                             |
| خور و بیابانک  | ۳۳° ۴۷'                              | ۵۵° ۰۵'                             | ۸۴۵/۰                       | ۱۱/۳                              | ۲۷/۰                             |
| رباط پشت بادام | ۳۳° ۰۲'                              | ۵۵° ۳۳'                             | ۱۱۸۷/۰                      | ۱۱/۵                              | ۲۷/۰                             |
| سیرجان         | ۲۹° ۲۸'                              | ۵۵° ۴۱'                             | ۱۷۳۹/۴                      | ۱۳/۳                              | ۵۰/۰                             |
| شهر بابک       | ۳۰° ۰۶'                              | ۵۵° ۰۸'                             | ۱۸۳۴/۱                      | ۱۳/۲                              | ۲۷/۰                             |
| شهرضا          | ۳۱° ۵۹'                              | ۵۱° ۵۰'                             | ۱۸۴۵/۲                      | ۱۶/۳                              | ۳۵/۰                             |
| شیراز          | ۲۹° ۳۲'                              | ۵۲° ۳۶'                             | ۱۴۸۴/۰                      | ۱۱/۹                              | ۳۰/۰                             |
| طبس            | ۳۳° ۳۶'                              | ۵۶° ۵۵'                             | ۷۱۱/۰                       | ۱۱/۳                              | ۳۰/۰                             |
| کاشان          | ۳۳° ۵۹'                              | ۵۱° ۲۷'                             | ۹۸۲/۳                       | ۹/۷                               | ۲۷/۰                             |
| کبوترآباد      | ۳۲° ۳۱'                              | ۵۱° ۵۱'                             | ۱۵۴۵/۰                      | ۱۳/۳                              | ۳۵/۰                             |
| کرمان          | ۳۰° ۱۵'                              | ۵۶° ۵۸'                             | ۱۷۵۳/۸                      | ۱۵/۴                              | ۳۰/۰                             |
| مروست          | ۳۰° ۳۰'                              | ۵۴° ۱۵'                             | ۱۵۴۶/۶                      | ۱۲/۱                              | ۲۸/۰                             |
| نائین          | ۳۲° ۵۱'                              | ۵۳° ۰۵'                             | ۱۵۴۹/۰                      | ۱۳/۰                              | ۲۵/۰                             |
| نطنز           | ۳۳° ۳۲'                              | ۵۱° ۵۴'                             | ۱۶۸۴/۹                      | ۱۳/۰                              | ۳۵/۰                             |
| یاسوج          | ۳۰° ۴۱'                              | ۵۱° ۳۳'                             | ۱۸۱۶/۳                      | ۱۲/۳                              | ۲۸/۰                             |
| یزد            | ۳۱° ۵۴'                              | ۵۴° ۱۷'                             | ۱۲۳۷/۲                      | ۱۱/۸                              | ۲۸/۰                             |

\* برای تبدیل واحد سرعت به کیلومتر بر ساعت (Km/h) داده‌ها باید در عدد ۳/۶ ضرب شود.

## نتایج

موردمطالعه بود (۱۲ ایستگاه)، از خروجی‌های این توزیع استفاده شد (جدول ۳). نتایج نشان داد ایستگاه‌های اقلید، سیرجان، شهرضا، کبوترآباد و نطنز به ترتیب با ۵۹/۹۲، ۴۷/۳۲، ۴۳/۱۱، ۴۲/۸۰ و ۴۱/۶۲ متر بر ثانیه (به ترتیب معادل ۲۱۵/۷، ۱۷۰/۳، ۱۵۵/۲، ۱۵۴/۱ و ۱۴۹/۸ کیلومتر بر ساعت) دارای بیشترین سرعت باد در دوره بازگشت صدساله هستند. شکل‌های (۳) تا (۸) خطوط هم سرعت بیشینه باد را در دوره بازگشت‌های مختلف نشان می‌دهد.

نتایج به دست آمده از کاربرد نرم‌افزار P10 مبنی بر انتخاب مناسب‌ترین توزیع آماری حاکم بر داده‌های سرعت باد (جدول ۱)، نشان داد که خطای استاندارد برآورد هر توزیع آماری در ایستگاه‌های مختلف، یکسان نیست (جدول ۲). بنابراین به منظور افزایش دقت در پهنه‌بندی سرعت‌های بیشینه باد در کل منطقه در دوره بازگشت‌های مختلف، به دلیل آنکه توزیع گمبل دارای کمترین خطای استاندارد در بیشتر ایستگاه‌های

جدول (۲): خطای استاندارد (SE) توزیع‌های آماری مختلف در برآورد سرعت باد در دوره بازگشت‌های موردنظر

| خطای استاندارد |            |        |           |       | ایستگاه        |
|----------------|------------|--------|-----------|-------|----------------|
| گمبل           | لوگ پیرسون | پیرسون | لوگ نرمال | نرمال |                |
| ۰/۹۱           | ۰/۹۸       | ۰/۹۹   | ۱/۱۹      | ۱/۳۳  | آباده          |
| ۰/۹۶           | ۰/۸۷       | ۰/۸۸   | ۰/۸۵      | ۰/۸۶  | اردستان        |
| ۱/۱۵           | ۱/۰۸       | ۱/۰۶   | ۱/۴۵      | ۱/۶۳  | اصفهان         |
| ۲/۸۱           | ۲/۶۳       | ۲/۶۱   | ۳/۳۲      | ۳/۷۹  | اقلید          |
| ۱/۱۳           | ۱/۰۰       | ۱/۰۰   | ۱/۰۱      | ۰/۹۸  | انار           |
| ۱/۲۰           | ۱/۰۶       | ۱/۱۰   | ۱/۱۴      | ۱/۱۰  | باقق           |
| ۱/۲۲           | ۱/۲۴       | ۱/۲۳   | ۱/۴۲      | ۱/۶۰  | بروجن          |
| ۰/۷۸           | ۰/۸۴       | ۰/۸۵   | ۰/۸۶      | ۰/۹۴  | خور و بیابانک  |
| ۰/۷۹           | ۰/۹۰       | ۰/۸۹   | ۱/۰۸      | ۱/۲۶  | رباط پشت بادام |
| ۴/۸۵           | ۴/۰۵       | ۳/۸۰   | ۴/۸۹      | ۵/۴۵  | سیرجان         |
| ۰/۷۰           | ۰/۸۲       | ۰/۸۴   | ۰/۸۹      | ۱/۰۴  | شهر بابک       |
| ۱/۲۱           | ۱/۳۱       | ۱/۳۲   | ۱/۵۵      | ۱/۸۲  | شهرضا          |
| ۱/۲۹           | ۱/۲۰       | ۱/۱۸   | ۱/۶۱      | ۱/۸۵  | شیراز          |
| ۱/۱۱           | ۱/۰۳       | ۱/۰۴   | ۱/۰۳      | ۱/۰۴  | طیس            |
| ۰/۸۵           | ۰/۹۸       | ۱/۰۰   | ۰/۹۸      | ۱/۱۹  | کاشان          |
| ۱/۲۰           | ۱/۴۳       | ۱/۴۲   | ۱/۳۵      | ۱/۶۴  | کیوترآباد      |
| ۰/۹۲           | ۰/۶۶       | ۰/۶۶   | ۰/۷۰      | ۰/۶۴  | کرمان          |
| ۱/۰۹           | ۱/۱۴       | ۱/۱۳   | ۱/۳۱      | ۱/۴۶  | مروست          |
| ۰/۵۴           | ۰/۶۴       | ۰/۶۴   | ۰/۷۵      | ۰/۸۵  | نابین          |
| ۰/۶۶           | ۰/۸۵       | ۰/۸۸   | ۰/۸۷      | ۱/۰۵  | نطنز           |
| ۰/۸۴           | ۰/۸۴       | ۰/۸۵   | ۰/۸۲      | ۰/۸۷  | یاسوج          |
| ۰/۸۴           | ۰/۹۷       | ۰/۹۸   | ۱/۰۹      | ۱/۲۶  | یزد            |

\* خانه‌های تیره، کمترین خطای استاندارد را نشان می‌دهد.

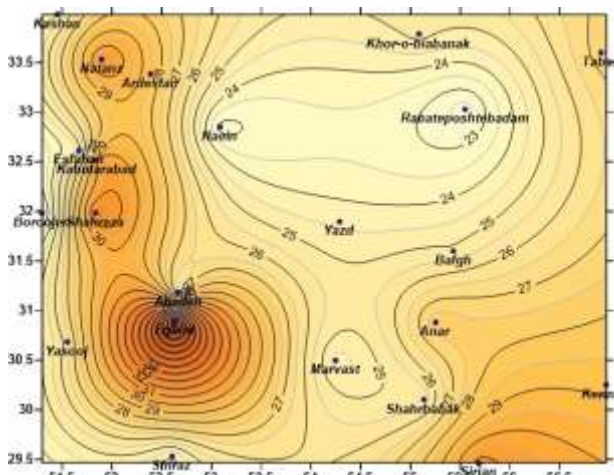
جدول (۳): برآورد بیشینه سرعت باد (متر بر ثانیه) در دوره بازگشت‌های مختلف در ایستگاه‌های موردبررسی

| ایستگاه        | دوره بازگشت (سال) |       |       |       |       |       |
|----------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                | ۱۰۰               | ۵۰    | ۲۵    | ۱۰    | ۵     | ۲     |
| آباده          | ۳۳/۹۲             | ۳۱/۶۱ | ۲۹/۲۹ | ۲۶/۱۵ | ۲۳/۶۷ | ۱۹/۹۲ |
| اردستان        | ۳۶/۴۰             | ۳۴/۰۶ | ۳۱/۷۱ | ۲۸/۵۴ | ۲۶/۰۳ | ۲۲/۲۴ |
| اصفهان         | ۳۲/۳۴             | ۲۹/۹۹ | ۲۷/۶۳ | ۲۴/۴۴ | ۲۱/۹۱ | ۱۸/۱۰ |
| اقلید          | ۵۹/۹۲             | ۵۴/۶۰ | ۴۹/۲۵ | ۴۲/۰۳ | ۳۶/۳۲ | ۲۷/۶۹ |
| انار           | ۳۸/۱۹             | ۳۵/۱۳ | ۳۲/۰۵ | ۲۷/۹۱ | ۲۴/۶۲ | ۱۹/۶۶ |
| باقق           | ۳۶/۲۸             | ۳۲/۹۷ | ۲۹/۶۳ | ۲۵/۱۳ | ۲۱/۵۷ | ۱۶/۱۹ |
| بروجن          | ۳۰/۰۳             | ۲۷/۶۱ | ۲۵/۱۷ | ۲۱/۸۸ | ۱۹/۲۸ | ۱۵/۳۵ |
| خور و بیابانک  | ۳۲/۲۲             | ۳۰/۱۳ | ۲۸/۰۳ | ۲۵/۲۰ | ۲۲/۹۵ | ۱۹/۵۷ |
| رباط پشت بادام | ۳۰/۰۷             | ۲۷/۷۴ | ۲۵/۳۹ | ۲۲/۲۲ | ۱۹/۷۱ | ۱۵/۹۲ |
| سیرجان         | ۴۷/۳۲             | ۴۲/۵۶ | ۳۷/۷۶ | ۳۱/۳۰ | ۲۶/۱۸ | ۱۸/۴۵ |
| شهر بابک       | ۳۳/۱۱             | ۳۰/۷۴ | ۲۸/۳۵ | ۲۵/۱۳ | ۲۲/۵۸ | ۱۸/۷۳ |

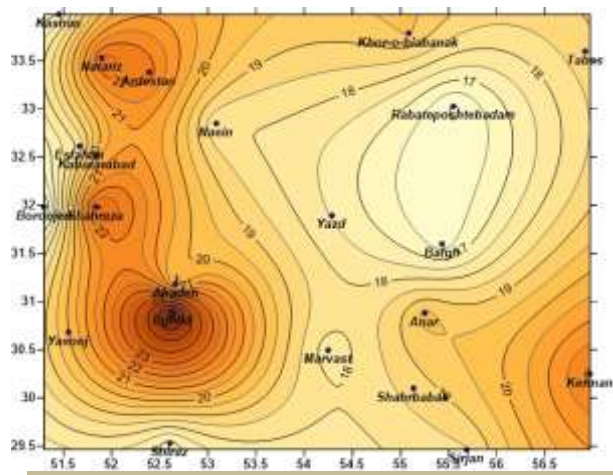


ادامه جدول (۳): برآورد بیشینه سرعت باد (متر بر ثانیه) در دوره بازگشت‌های مختلف در ایستگاه‌های مورد بررسی

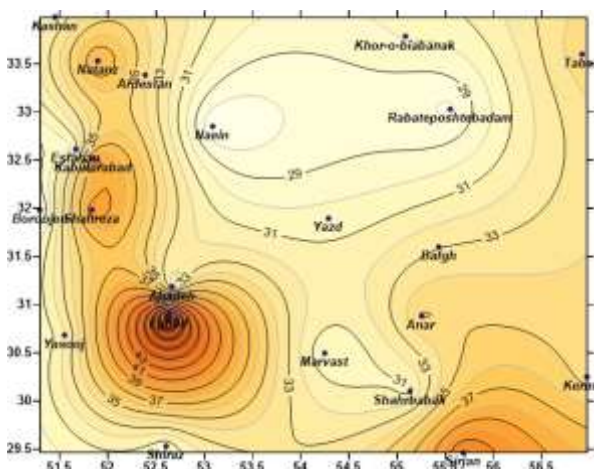
|       |       |       |       |       |       |           |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| ۲۳/۱۱ | ۳۹/۸۲ | ۳۶/۵۰ | ۳۲/۰۳ | ۲۸/۵۰ | ۲۳/۱۵ | شهرضا     |
| ۳۲/۸۶ | ۳۰/۲۱ | ۲۷/۵۴ | ۲۳/۹۵ | ۲۱/۱۰ | ۱۶/۸۰ | شیراز     |
| ۳۷/۹۴ | ۳۴/۷۹ | ۳۱/۶۱ | ۲۷/۳۳ | ۲۳/۹۴ | ۱۸/۸۲ | طیس       |
| ۳۴/۸۴ | ۳۱/۹۰ | ۲۸/۹۳ | ۲۴/۹۴ | ۲۱/۷۸ | ۱۷/۰۱ | کاشان     |
| ۴۲/۸۴ | ۳۹/۱۴ | ۳۵/۴۰ | ۳۰/۳۷ | ۲۶/۳۹ | ۲۰/۳۸ | کبوترآباد |
| ۳۷/۰۵ | ۳۴/۶۰ | ۳۲/۱۲ | ۲۸/۷۹ | ۲۶/۱۵ | ۲۲/۱۶ | کرمان     |
| ۳۲/۴۵ | ۳۰/۰۲ | ۲۷/۵۷ | ۲۴/۲۷ | ۲۱/۶۶ | ۱۷/۷۱ | مروست     |
| ۲۸/۷۱ | ۲۶/۹۴ | ۲۵/۱۷ | ۲۲/۷۷ | ۲۰/۸۷ | ۱۸/۰۰ | نابین     |
| ۴۱/۶۲ | ۳۸/۵۰ | ۳۵/۳۵ | ۳۱/۱۱ | ۲۷/۷۶ | ۲۲/۶۹ | نطنز      |
| ۳۳/۹۷ | ۳۱/۶۶ | ۲۹/۳۳ | ۲۶/۲۰ | ۲۳/۷۲ | ۱۹/۹۷ | یاسوج     |
| ۳۳/۰۴ | ۳۰/۴۷ | ۲۷/۸۸ | ۲۴/۳۹ | ۲۱/۶۳ | ۱۷/۴۶ | یزد       |



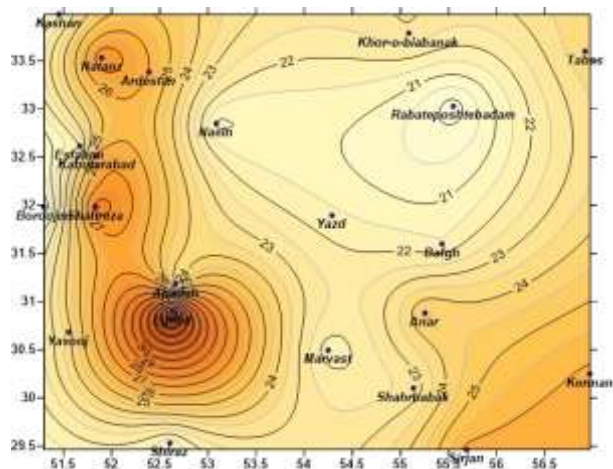
شکل (۵): بیشینه سرعت باد (متر بر ثانیه) در دوره بازگشت ۱۰ ساله



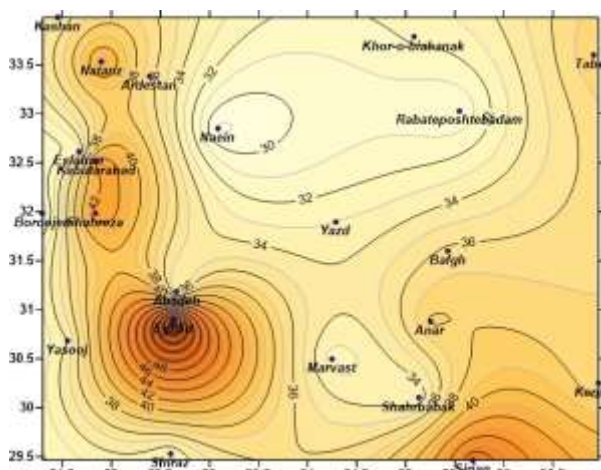
شکل (۳): بیشینه سرعت باد (متر بر ثانیه) در دوره بازگشت ۲ ساله



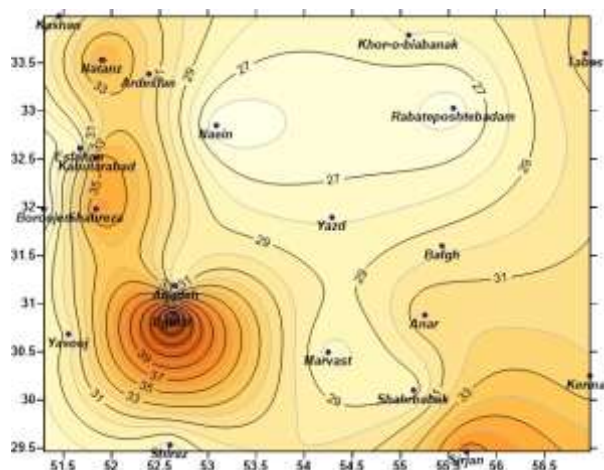
شکل (۶): بیشینه سرعت باد (متر بر ثانیه) در دوره بازگشت ۵۰ ساله



شکل (۴): بیشینه سرعت باد (متر بر ثانیه) در دوره بازگشت ۵ ساله



شکل (۸): بیشینه سرعت باد (متر بر ثانیه) در دوره بازگشت ۱۰۰ سال

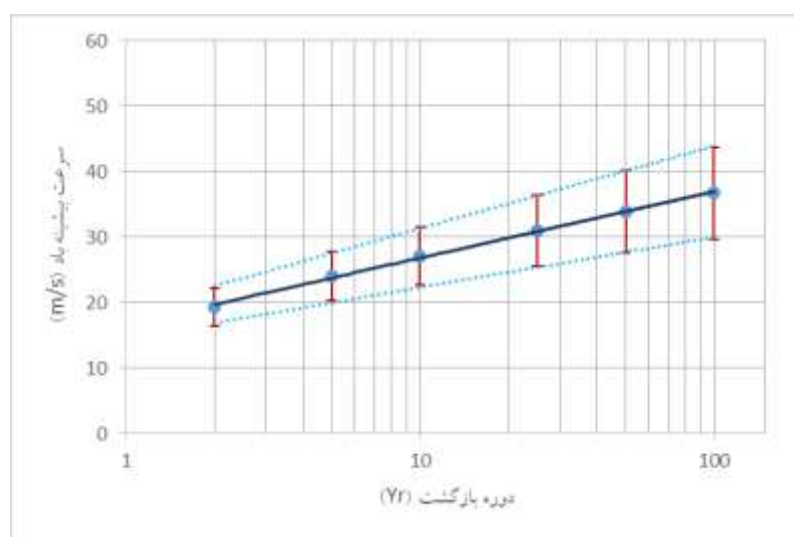


شکل (۷): بیشینه سرعت باد (متر بر ثانیه) در دوره بازگشت ۲۵ ساله

بازگشت‌های مختلف به دست آورد. نتایج نشان داد که سرعت بیشینه باد با افزایش دوره بازگشت افزایش می‌یابد، اما این افزایش به صورت خطی نبوده و در دوره بازگشت‌های بالاتر، بیشینه سرعت باد افزایش کمتری را نشان می‌دهد. تابع لگاریتمی دارای بیشترین ضریب تعیین ( $R^2$ ) در بین سایر توابع است (جدول ۴)؛ بنابراین برای آسان و سریع‌تر کردن محاسبه سرعت باد در منطقه، برای محور X در شکل ۸، مختصات لگاریتمی تعیین شده است. در این شکل با استفاده از انحراف معیار داده‌های برآورد شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه، فاصله عدم قطعیت برای برآوردها ترسیم شده است.

### بحث و نتیجه‌گیری

باد در نتیجه اختلاف فشار هوا ایجاد شده و تغییرات سرعت باد، بیانگر اختلاف فشار بیشتر و تغییرات جهت باد بیانگر موقعیت کانون‌های اختلاف فشار و یا اثرات کریدورهای توپوگرافی بر نحوه حرکت باد است. نگاه کلی روی نقشه‌های حاصل از توزیع سرعت باد در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که ایستگاه‌های واقع در غرب دارای بیشینه سرعت باد بیشتری در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ هستند، به طوری که از غرب به شرق از وقوع وزش باد بیشینه در دوره بازگشت‌های مختلف کاسته می‌شود. با استفاده از خروجی توزیع گمبل که در جدول (۳) آمده است، می‌توان روابط سرعت بیشینه باد را در دوره



شکل (۸): میانگین سرعت بیشینه باد در دوره بازگشت‌های مختلف به همراه ارائه فاصله عدم قطعیت برآورد در ایستگاه‌های مورد مطالعه



دیگر، یک مدیر پروژه باید توجه کافی به ریسک وقوع بادهای فرساینده در دوره عمر مفید سازه‌ها را داشته باشد تا پروژه‌های عمرانی با موفقیت انجام شود.

نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده این واقعیت است که در دوره بازگشت‌های بیش از ۵۰ سال، یعنی عمر مفید اغلب پروژه‌های بادشکن، سرعت باد به بیش از ۱۲۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد؛ لذا در صورتی که در طراحی بادشکن از سرعت‌های کمتری استفاده شود، ریسک‌پذیری خطر افزایش خواهد یافت. در پایان پیشنهاد می‌شود تا با اضافه کردن تعداد ایستگاه‌های بادسنجی در نقاط مرتفع‌تر و کوهستانی به‌خصوص در بخش‌های شمال شرقی استان، زمینه برای تحقیقات دقیق‌تر در آینده فراهم گردد.

با توجه به هدف ایجاد بادشکن در اطراف مزارع، در نظر گرفتن سرعت باد در دوره بازگشت‌های مختلف، یکی از نیازهای طراحی بادشکن‌هاست.

همچنین نتایج به‌دست‌آمده، در طراحی میزان مقاومت سازه‌های عمرانی و تابلوهای تبلیغاتی در کنار بزرگراه‌ها برای محاسبه میزان ریسک‌پذیری آن‌ها در مقابل تندباد قابل استفاده خواهد بود.

منحنی‌ها نشان دادند که سرعت باد در مناطق غربی در دوره بازگشت‌های مختلف از دیگر مناطق بیشتر است. اگرچه فرسایش بادی تنها به سرعت باد وابسته نیست، تجزیه و تحلیل فراوانی وقوع سرعت باد با یافتن نواحی در معرض خطر بیشتر فرسایش بادی، به مدیریت فرسایش بادی کمک خواهد کرد. این بررسی اهمیت تحلیل فراوانی وقوع باد را در کنترل فرسایش بادی نشان داد. به عبارت

## منابع

- Alaei Taleghani, M., 2006. Geomorphology of Iran, Third Edition, Ghomes Publishing, Tehran, pp: 381 (in Farsi).
- Alem, M. R., 2011. Islamic Republic News Agency (IRNA), News ID: 68986 (in Farsi).
- Amiri, I., Hosseini, S.M., Ekhtesasi, M.R. & Shahriari, A.R., 2001. Evaluation of synthetic and plant windbreaks on wind speed changes (Case study: Jiroft region), 2<sup>nd</sup> National Conference of wind erosion and dust storms, Proceedings, Yazd University (in Farsi).
- Cornelis, W.M., Gabriels, D., 2005. Optimal windbreaks design for wind-erosion control. *Journal of Arid Environment*, 61: 315–332.
- Ekhtesasi, M.R., Ahmadi, H., Feiznia, S. & Busche, D., 2005. Wind Erosion, Facies and Damages in Yazd –Ardakan Plain, *Iranian Journal of Natural Resources*, 57 (4): 567-581 (in Farsi).
- Ekhtesasi, M.R., Azimzadeh, H.R., 2007. Wind erosion control and stabilization of loose sands, Course notes of Natural Resources College, Yazd University press (in Farsi).
- Escalante-Sandoval, C., 2008. Bivariate estimation of extreme wind speeds, *Structural Safety*, 30: 481–492.
- Fathi, A.H., 1995. Determination of Severe wind speed in the design of transmission lines using the concepts of probability and statistics, *Research Journal of electricity*, No. 13, retrieved from <http://ganj.irandoc.ac.ir/articles/223667>.
- Freda, A., Solari, G., 2010. A pilot study of the wind speed along the Rome–Naples HS/HC railway line. Part 2- Probabilistic analyses and methodology assessment, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 98: 404–416.
- Gatey, D.A., Miller, C.A., 2007. An investigation into 50-year return period wind speed differences for Europe, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 95: 1040–1052.
- Iran Meteorological Organization, <http://irimo.ir> website, the statistics and information.
- Manafzadeh, S., Omidvar, K., Alipur Msahian, H., Montazeri, M. A. & Varasteh, A.A. 2008. Geography of Yazd, 8<sup>th</sup> Edition, Iranian Textbook publishing company.
- Modarres, R., 2008. Regional maximum wind speed frequency analysis for the arid and semi-arid regions of Iran, *Journal of Arid Environments*, 72: 1329–1342.
- Omidvar, K., 2001 (1). An analyses of extreme wind and storms of Yazd, *Human Sciences modares*, 14 (1): 83- 105 (in Farsi).

15. Omidvar, K., 2001 (2). Study and determine weather patterns dust storm event (Case Study: Yazd-Ardakan plain), 2<sup>nd</sup> National Conference of wind erosion and dust storms, Proceedings, Yazd University (in Farsi).
16. Sacre, C., 2002. Extreme wind speed in France: the '99 storms and their consequences, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90: 1163–1171.
17. Talebi, M.S., 2006. Statistical analysis of the wind storm in Yazd province, 1<sup>st</sup> National Conference of wind erosion and dust storms, Proceedings, Yazd University (in Farsi).
18. WEPS, 1996. Wind erosion prediction system, Kansas State University, URL page: <http://weru.ksu.edu>.

## Mapping of possible maximum wind speed at different return periods in the central part of Iran

Mohammad Reza Ekhtesasi<sup>1</sup>, Ali Mohammad Ghaemina<sup>2\*</sup>

Received: 8/7/2017

Accepted: 25/7/2017

### Abstract

Wind is one of the important natural phenomena in arid and semi-arid ecosystems of the world. Although several studies have been conducted using the wind speed and direction to provide wind rose in each area, only a few of them investigated the possibility of wind speed at different return periods. Analysis of the maximum wind speed at different return periods, in a variety of projects such as the construction of high-rise buildings, windbreaks, billboards along highways and all structures that are expose to wind, will be used to calculate risk-taking. In this study, using data from maximum wind speed of 22 synoptic stations in Iran in the centrality of Yazd province and by using the P10 software, maximum wind speed were estimated in the return periods of 2, 5, 10, 25, 50 and 100 years. By examining the Normal, Lognormal, Pearson, Log Pearson and Gamble statistical distributions, it was found that the Gamble distribution in 56% of stations have the lowest standard error and so it is more efficient. Then, with the method of ordinary kriging interpolation on Surfer 13.4 software, maps of wind speed at different return periods were prepared. The results revealed that the strongest possible winds in 100 years return period belong to Eghlid (59.9 m/s), Sirjan (47.3 m/s), Shahreza (43.1 m/s), Kabootarabad (42.8 m/s) and Natanz (41.6 m/s) stations. On the other hand, wind speed at different return periods in the west areas of the region has more intensity and the main reason can be described by synoptic conditions and local topographic corridors. Also relations governing the temporal distribution of wind speed, indicated logarithmic relationship between speed and different return periods.

**Keywords:** Arid region, possible risk, Gumbel distribution, Gust, Yazd.

1. professor, Yazd University

2. Ph.D. Candidate of combat to desertification, Yazd University; Email: [a.ghaemina@yahoo.com](mailto:a.ghaemina@yahoo.com)