

## بررسی تغییرات باد منجیل و جایگاه آن در توسعه پایدار منطقه

دکتر نسرين نیک‌اندیش<sup>۱</sup>، هدیه اکبری قمصری<sup>۲</sup>

### چکیده

باد همچون سایر عوامل آب و هوایی، جنبه‌های مختلف زندگی انسان‌ها را متأثر می‌سازد. روش تحقیق حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی بوده که با هدف بررسی روند تغییرات باد منجیل انجام شده است. پس از اخذ داده‌های روزانه سرعت باد ایستگاه منجیل طی دوره آماری ۱۹۹۳-۲۰۱۶، فراوانی سرعت باد حداکثر سالانه و ماهانه مورد بررسی قرار گرفت. از توزیع‌های لوگ نرمال، ویبول و کمترین مقدار حد به‌منظور تعیین توزیع چگالی احتمال سرعت باد استفاده و به‌منظور بررسی تغییرات احتمال وقوع انواع باد در سری زمانی، میانگین و واریانس‌ها در منحنی‌های تابع چگالی احتمال مقایسه شد. برای به‌دست آوردن معادله خط روند، مدل چندجمله‌ای درجه ۳ برای سال و تمام ماه‌ها بهترین برازش را نشان داد. نتایج به‌دست آمده نشان داد، تقریباً به جز ماه دسامبر تمام ماه‌های سال شرایط توفانی را تجربه می‌کنند. مدل توزیع ویبول بر داده‌های ماه‌های آوریل، جولای، اوت و سپتامبر، مدل توزیع کمترین مقدار حد بر داده‌های ژوئن و مدل لوگ نرمال بر سایر ماه‌ها بهترین برازش را دارند. جهت باد غالب شمالی است. مقایسه میانگین و واریانس‌ها در دو مقطع زمانی ۲۰۰۴-۱۹۹۳ و ۲۰۱۶-۲۰۰۵ نشان داد، کاهش میانگین در تمام ماه‌ها باعث کاهش احتمال وقوع تندبادها و افزایش وقوع نسیم در زمستان و پاییز و کاهش احتمال وقوع توفان‌ها و افزایش تندبادها در بهار و تابستان می‌شود. از سوی دیگر، افزایش واریانس در ماه‌های آوریل، ژوئن، جولای و نوامبر حاکی از افزایش احتمال وقوع فرین‌های زیاد و کم است. پیش‌بینی‌ها نشان داد، سرعت باد دارای نوسانات دوره‌ای است. استیلاي باد منجیل در بیش از ۳۱۰ روز از سال می‌تواند سبب برخورداری منطقه از پتانسیل‌های لازم درجهت هر گونه توسعه شود.

جغرافیا و توسعه، شماره ۵۹، تابستان ۱۳۹۹  
تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۰۷  
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۳۰  
صفحات: ۱۷۰-۱۴۹



واژه‌های کلیدی:

سرعت باد، منجیل، تغییر اقلیم، لوگ نرمال، روند.

### مقدمه

کنکاش قرار دهند (Chang, 2015: 435). این پدیده در مناطقی با پوشش گیاهی تنک و سازندهای سست زمین‌شناسی به‌صورت عامل فرسایشی و مخرب سبب هدررفت خاک و تهدید زیست‌بوم‌های این مناطق می‌شود (Gülersoy, 2010: 209). گاهی می‌تواند به‌واسطه انرژی زیاد و مکانیزم پیچیده خودزمانی که سرعت آن به بیش از ۴۸ نات برسد، به توفان تبدیل شود. توفان یکی از مخاطره‌آمیزترین بلايای طبیعی است که منشأ آب و هوایی دارد (قائمی، ۱۳۷۱: ۷). باد به‌واسطه ماهیت عوامل ایجادکننده، از تغییرپذیری بالایی برخوردار است.

باد مانند متغیرهای اقلیمی دیگر جنبه‌های مختلف زندگی انسان‌ها را متأثر می‌سازد. باد جریان هوایی است که به‌منظور ایجاد تعادل میان کانون‌های مختلف فشار و دما که ناشی از توزیع ناهمگون انرژی گرمایی است، ایجاد می‌شود (Yilmaz, 2008: 122). ویژگی‌های این پدیده همواره در آمایش سرزمین به‌ویژه در بحث مکان‌یابی و استقرار سکونتگاه‌ها، صنایع، فضای سبز و سایر مؤلفه‌های سرزمین، می‌تواند به‌عنوان عامل تأثیرگذار ایفای نقش کند. بسیاری از کشورهای جهان، منابع انرژی پاک مانند باد را بیشتر مورد توجه و

می‌سازد. بدون شک باد مانند بسیاری از پدیده‌ها، معلول مجموعه‌ای از عوامل است. چنانچه به هر دلیلی این عوامل تغییر یابند، باد نیز تغییر ماهیت داده و ویژگی‌های آن تحت تأثیر قرار می‌گیرند؛ بنابراین شناخت دقیق عوامل مؤثر بر پیدایش، تداوم و استمرار باد و روند تغییرات آن در جهت استفاده بهینه در برنامه‌ریزی‌ها لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

کشور ما با دارا بودن موقعیت فضایی و ویژگی‌های زمین‌ریخت‌شناسی خاص خود از یک طرف در مسیر بادهایی است که از خارج از محدوده‌های سیاسی به آن وارد می‌شوند و از سوی دیگر، شدیداً متأثر از بادهایی است که با عنوان بادهای محلی نامیده شده و در نتیجه وجود شرایط خاص ایجاد شده‌اند.

تنوع ناهمواری‌ها در پهنه این سرزمین سبب ایجاد تفاوت‌های فشار و دما شده که موتور محرکه ایجاد باد می‌شوند. یکی از مهم‌ترین مناطق بادخیز، منجیل است که باد محلی آن شهرت جهانی دارد. منجیل به شهر توربین‌های بادی ایران و شهر انرژی گیلان معروف است. این باد محلی اغلب در بهار و تابستان با فراوانی بیشتری و در پاییز و زمستان با فراوانی کمتری می‌وزد. از قدیم معروف به «هفت باد منجیل» بوده و شدت آن به اندازه‌ای است که درختان زیتون را اغلب به یک سمت خم می‌کند.

با توجه به اهمیت سرعت باد، تحقیقات متعددی در مورد شناخت این پدیده و تعیین مدل‌های مناسب چگالی احتمال و تعیین روند تغییرات سرعت باد در جهان و کشور صورت گرفته است؛ به‌عنوان نمونه، می‌توان به تحقیقات مارسلو و همکاران (۲۰۱۷) در مورد استفاده از تحلیل روند داده‌های ۵۰ ساله سرعت بادهای شدید برای برزیل، وانگ و همکاران (۲۰۱۶) در مورد به‌کارگیری مدل‌های پارامتری و ناپارامتری برای توزیع احتمال سرعت باد، در چین، بیلر و همکاران (۲۰۱۵) در مورد استفاده از توزیع دو

برای طراحی توربین بادی و مکان‌یابی استقرار توربین و برآورد تولید انرژی، توزیع احتمال سرعت باد بسیار اهمیت دارد. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که سرعت باد مهم‌ترین پارامتر برای تولید برق است؛ بنابراین قبل از ارزیابی پتانسیل انرژی باد در یک منطقه ویژه، تعیین دقیق توزیع احتمال سرعت باد ضروری است. توزیع سرعت باد در مکان‌های گوناگون و مقاطع مختلف زمانی الزاماً از یک مدل تابع چگالی احتمال و تابع توزیع تجمعی تبعیت نمی‌کند. مدل‌های متناسب می‌توانند ضمن آشکارسازی ویژگی‌ها و رفتارسنجی باد، پیش‌بینی و احتمال وقوع باد را نیز میسر سازند. مدل‌های پیش‌بینی تحت تأثیر تغییر، اقلیم تغییر خواهند کرد. در بحث تغییر اقلیم، غالباً تغییر دما و بارش مورد توجه قرار می‌گیرند؛ در حالی که باد نیز به‌نوعی دستخوش تغییر می‌شود، زیرا تغییر اقلیم تغییر حرکت‌های اتمسفری، بیلان تابش و الگوهای باد را به‌همراه دارد. براندون بارتون در مطالعات خود به کاهش ۵ تا ۱۵ درصدی باد در سه دهه اخیر اشاره کرده است (Barton, 2014: 95). مقایسه خروجی مدل‌های تابع چگالی احتمال در دوره‌های مختلف زمانی می‌تواند اثرگذاری تغییر اقلیم بر ویژگی‌های باد را بهتر آشکار کند. تغییر سرعت باد که ناشی از تغییر اقلیم است، می‌تواند تولید انرژی و به تبع آن جنبه‌های دیگر را تحت تأثیر قرار دهد. در دانمارک کشوری که بیشترین سهم را در تولید برق از انرژی باد دارد، برآورد شده است که تغییر در یک متر بر ثانیه سرعت باد می‌تواند تولید برق را تا ۴۵۰ مگاوات تغییر دهد (Malte Humpert, 2011). از آنجایی که منحنی‌های تابع چگالی احتمال سرعت باد تحت تأثیر تغییر اقلیم شکل‌های متفاوتی به خود می‌گیرند؛ بنابراین مقایسه منحنی‌ها در دوره‌های زمانی مختلف، ضمن آشکارسازی وجوه تمایز ویژگی‌های آماری سرعت باد در دوره‌های مزبور، چگونگی و روند تغییرات را نیز مشخص

ویژگی باد منجیل با نگرش جغرافیایی مورد توجه برخی دیگر از محققان قرار گرفته است. مسعودیان (۲۰۱۱) منجیل را به عنوان تنها ایستگاه پرباد در کشور معرفی می‌کند که دارای رفتار فصلی بوده و در طول روز نیز سرعت آن تغییر می‌کند. در مقابل، فرج‌زاده (۱۳۹۰) برای بررسی توزیع زمانی و مکانی توفان‌ها و بادهای شدید در ایران، داده‌های سمت و سرعت باد ۳۳ ایستگاه سینوپتیک را در یک دوره ۴۰ ساله بررسی کرده و نتیجه گرفته شده که بیشترین فراوانی بادهای شدید در کشور در مناطق شرق و جنوب شرق است. به نظر می‌رسد طول دوره آماری کمتر از ۴۰ سال ایستگاه سینوپتیک منجیل مانع از بررسی این ایستگاه در تحقیق مزبور شده است.

در مورد نقش باد در گردشگری، تحقیقات محدودی صورت گرفته است که می‌توان به تحقیقات خارجی دو فریتاس (۲۰۰۳) در مورد جنبه‌های مختلف اقلیم گردشگری و تأثیر فیزیکی و حرارتی باد، ماتزاراکیس (۲۰۰۶) در مورد اطلاعات اقلیمی و هواشناسی برای گردشگری با تأکید بر دما، رطوبت و سرعت و جهت باد به عنوان مرتبط‌ترین متغیرهای اقلیمی با گردشگری، بیکن (۲۰۱۰) در مورد اهمیت هوا و آب و هوا و نقش مثبت و منفی باد در گردشگری، وستبرگ (۲۰۱۳) در مورد تأثیر مزارع بادی دور از ساحل و توریسم پایدار در اطراف مدیترانه در فرانسه، میچالدیو (۲۰۱۶) در مورد اندرکنش تغییر اقلیم و توریسم در یونان اشاره کرد.

تمامی مطالعاتی که در زمینه باد منجیل در ایران انجام شده، بر استفاده از این پدیده به عنوان انرژی پاک آن تأکید دارد. پژوهش حاضر با هدف بررسی روند تغییرات باد منجیل و با فرض اینکه در بستر زمان دارای روند بوده و روند آن نزولی است، مورد بررسی قرار گرفته است.

پارامتری ویبول برای ارزیابی انرژی باد در ترکیه، اورادا و همکاران (۲۰۱۵) به کارگیری مدل کاپا و گاما برای امارات متحده عربی، بچانگ (۲۰۱۱) در مورد کاربرد دو تابع گاما و ویبول برای بررسی سرعت باد در تایوان و در کشور می‌توان به تحقیقات جهانبخش و همکاران (۱۳۹۴) در ارزیابی پنج روش برآورد پارامترهای توزیع ویبول در مورد سرعت باد استان آذربایجان شرقی، رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۰) در مورد استفاده از آزمون من‌کنندال برای تحلیل روند سرعت باد ایستگاه‌های شمال غرب ایران و قهرمان و قره‌خانی (۱۳۸۹) در مورد بررسی روند تغییرات سرعت باد در ایران به روش پارامتری و ناپارامتری اشاره کرد.

مسعودیان (۱۳۹۱) منجیل را به عنوان تنها ایستگاه پرباد در کشور معرفی می‌کند که دارای رفتار فصلی بوده و در طول روز نیز سرعت آن تغییر می‌کند. با توجه به مقوله ضرورت بهره‌گیری از انرژی‌های نو در راستای حفاظت از محیط زیست، انرژی حاصل از باد منجیل توجه برخی از محققان را به خود جلب کرده است. مصطفی پور و همکاران (۲۰۰۸) در مورد امکان بهره‌برداری از انرژی باد منجیل تحقیق کرده‌اند. ایشان با بررسی آماری سرعت باد در شش ایستگاه، علی‌آباد، بابائین، جرنندق، اسفستان، جیرنده و میرخوند در ارتفاع ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متری نتیجه گرفته‌اند که منجیل یکی از بهترین مکان‌ها برای نصب توربین بادی و ایجاد مزرعه بادی در جهان است. علمداری و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی آماری داده‌های باد ۶۸ ایستگاه سینوپتیک با استفاده از روش همبستگی در نظر گرفتن برخی از شرایط محلی و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌های سرعت متوسط و انرژی باد را ترسیم کردند و نشان دادند نواحی شرقی و شمال غربی ایران به دلیل واقع شدن در مسیر بادهای شدید، پتانسیل خوبی برای احداث توربین‌های بادی دارند.

## داده‌ها و روش‌ها

فراوانی، احتمال وقوع و دوره بازگشت تندبادها و توفان‌ها می‌توانند در زمینه‌های مختلف کارایی داشته باشند. برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از انرژی باد، تدوین تقویم گردشگری، ایمن‌سازی مسکن و مزارع از جمله زمینه‌های کاربرد آنها است. بدین منظور از طریق تحلیل تابع چگالی احتمال، مدل‌های مناسب احتمالاتی برای سال و ماه‌های مختلف تعیین شده و نکویی برازش مدل‌ها براساس آزمون‌های کلموسمیرو و آندرسن دارلینگ تأیید شدند.

روش تحقیق حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی است. پس از اخذ داده‌های روزانه سرعت باد ایستگاه منجیل طی دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۹۳ از سازمان هواشناسی کشور، با استفاده از مقیاس طبقه‌بندی بوفورت، میانگین سرعت باد حداکثر سالانه و ماهانه با واحد کیلومتر بر ساعت در نرم‌افزار اکسل طبقه‌بندی و مورد بررسی قرار گرفت. مقیاس بوفورت<sup>۱</sup> ابتدا برای استفاده دریانوردان طرح‌ریزی شد و سپس در خشکی نیز مورد استفاده قرار گرفت. این مقیاس، مقیاس تجربی سرعت باد است که توسط دریانوردان سنجیده می‌شود و براساس آن سرعت و شدت باد، به ۱۳ قسمت از ۰ تا ۱۲ تقسیم می‌شود. درجه صفر آن را «آرام» و درجه دوازده را «توفان بسیار شدید» نامیدند.

### - تحلیل سرعت باد با توابع چگالی احتمال

رابطه ۱:

$$f(x) = \frac{\beta (x - \lambda)^{\beta - 1}}{\alpha^{\beta}} \exp \left[ - \left( \frac{x - \lambda}{\alpha} \right)^{\beta} \right], \quad x > \lambda, \alpha > 0, \beta > 0$$

$\alpha$  = پارامتر مقیاس،  $\beta$  = پارامتر شکل،  $\lambda$  = پارامتر حد،  $e$  = پایه لگاریتم نرمال

توزیع احتمال سرعت باد سطح زمین یک تابع ریاضی است که دامنه و فراوانی نسبی سرعت باد در یک مکان ویژه را شرح می‌دهد. این تابع برای محاسبه جریان‌های سطحی، فرین‌های باد و انرژی باد دارای اهمیت است. سرعت وزش باد، ماهیتی تصادفی دارد که برای مدل‌سازی آن، تعیین تابع توزیع چگالی احتمال یا تابع توزیع تجمعی احتمال مناسبی که بهترین برازش را بر داده‌ها داشته‌باشد، ضروری است. توزیع نرمال در زمینه تحلیل‌های آماری، خواص بسیار ساده‌ای دارد؛ از این رو در بسیاری مواقع فرض بر این است که سری‌های زمانی اقلیمی از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. در این صورت فرض می‌شود که فراوانی مقادیر بیشتر از میانگین به‌صورت متقارن به اندازه فراوانی مقادیر کمتر از میانگین در دو سمت میانگین توزیع شده‌اند. این ویژگی برای بسیاری از متغیرهای اقلیمی نظیر باد و بارش صادق نیست. برخی از محققان در تحلیل‌هایشان مدل‌های توزیع ویبول دو پارامتری و رایلی<sup>۱</sup> را به‌کار برده و آنها را به‌عنوان مدل مناسب برای تحلیل سرعت باد پیشنهاد می‌دهند. در مقابل، برخی دیگر نشان داده‌اند که نمی‌توان برای تمام رژیم‌های بادی از توزیع‌های مزبور استفاده کرد. در این تحقیق توزیع‌های ویبول (رابطه ۱)، لوگ نرمال (رابطه ۲) و کمترین مقدار حد<sup>۲</sup> (رابطه ۳) مورد استفاده قرار گرفت:

$$f(x) = \frac{\exp\{-[\log(x-\theta) - \zeta]^2 / (2\sigma^2)\}}{\sigma(x-\theta) \sqrt{2\pi}}, \quad x > \theta, \sigma > 0$$

رابطه ۲:

$$f(x) = \frac{1}{\theta} e^{-(x+\xi)/\theta} \exp(e^{-(x+\xi)/\theta})$$

رابطه ۳:

$\sigma$  = پارامتر مقیاس،  $\zeta$  = پارامتر  
موقعیت  $\theta$  = پارامتر حد،  $c$  = پایه لگاریتم نرمال

یکی از روش‌های تحلیل روند استفاده از مدل‌های رگرسیونی است. تحلیل رگرسیونی، روشی آماری برای بررسی رابطه متغیرها و به‌طور کلی پژوهش‌های علی است. در این روش رابطه متغیر یا متغیرهای مستقل با متغیر وابسته نشان داده می‌شود. ساده‌ترین مدل رگرسیون، مدل رگرسیون خطی است که تنها شامل یک متغیر مستقل و یک متغیر وابسته با رابطه خطی است. برخی از روندهای مهم عبارت‌اند از:

خطی (رابطه ۴)؛

$$Y = m \cdot x + b$$

رابطه ۴:

که  $m$  شیب خط و  $b$  عدد ثابت (عرض از مبدأ) است. این روند حاکی از آن است که متغیر موردنظر با نسبتی ثابت در حال افزایش یا کاهش است. لگاریتمی (رابطه ۵)؛

$$Y = c \cdot \ln x + b$$

رابطه ۵:

که  $b$  و  $c$  اعداد ثابت هستند. این خط روند هنگامی که متغیر به‌سرعت افزایش یا کاهش یافته و سپس ثابت می‌شود، استفاده می‌شود.

چند جمله‌ای (رابطه ۶)؛

$$Y = b + c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3 + \dots + c_n x^n$$

رابطه ۶:

که در آن  $c$  عدد ثابت است. این روند هنگامی که متغیر دارای نوسان است، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### -توابع چگالی احتمال و تغییر اقلیم

یکی از کاربردهای منحنی‌های تابع چگالی احتمال بررسی تغییر متغیر در بازه زمانی است. اگرچه روند درازمدت اقلیم وابسته به رخداد یک توفان بسیار شدید نیست؛ اما بررسی تغییرات احتمال وقوع انواع باد در سری زمانی می‌تواند تغییر اقلیمی را آشکار کند. بدین‌منظور میانگین‌ها و واریانس‌ها در منحنی‌های تابع چگالی احتمال مقایسه شد تا گرایش متغیر به کم یا زیاد و درنهایت نوع روند کاهشی یا افزایشی تعیین شود. در این صورت تغییر اقلیم، حاصل تغییر در میانگین، واریانس یا هر دو آن‌ها و در نتیجه تغییر در مقادیر انتهایی توزیع است. تغییر در میانگین، یک نوع جابه‌جایی در شکل توزیع فراوانی را نشان می‌دهد و هیچ‌گونه دگرگونی در تغییرپذیری رخ نمی‌دهد؛ اما در صورت ثبات میانگین، افزایش واریانس می‌تواند موجب افزایش تغییرپذیری و افزایش احتمال و قدر مطلق فرین‌های انتهایی شود. در صورت تغییر میانگین و واریانس ضمن جابه‌جایی میانگین، احتمال مقادیر فرین (دنباله‌های توزیع) نیز تغییر می‌یابد.

### تحلیل روند با مدل‌های رگرسیونی

روند یا تمایل بلندمدت عبارت است از تحول متغیر مورد مطالعه در یک دوره طولانی بدون در نظر گرفتن تغییرات دوره‌ای، فصلی و نامنظم که نشان‌دهنده کاهش یا افزایش بلندمدت یک سری زمانی است.

نمایی (رابطه ۷)؛

$$Y=C.e^{bx} \quad \text{رابطه ۷:}$$

که  $b$  و  $c$  اعداد ثابت هستند و  $e$  مبنای لگاریتم نپرین است ( $e=2.71$ ). این روند زمانی که افزایش یا کاهش متغیر با یک نسبت به طور مداوم افزایش یابد، بسیار مفید است. برای به دست آوردن معادله خط روند، مدل‌های رگرسیون خطی، لگاریتمی، چندجمله‌ای درجه ۲ (مربعی)، چندجمله‌ای درجه ۳ (مکعبی)، ترکیبی، نمایی و توانی بر داده‌ها برازش داده شد. با توجه به ضریب تعیین تعدیل شده، مدل چندجمله‌ای درجه ۳ (مکعبی) برای سال و تمام ماه‌ها به ویژه برای ماه‌های ژوئن، جولای و اوت بهترین برازش را نشان می‌دهد. معنی دار بودن معادلات با استفاده از  $P$ -value تأیید شد. براساس این مدل برای سه دوره، پیش‌بینی انجام شد.

### نتایج و بحث

#### - بررسی فراوانی و احتمال وقوع و دوره بازگشت آشفستگی‌های جوی

فراوانی، احتمال وقوع و دوره بازگشت انواع سرعت باد حداکثر مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت و یافته‌های زیر به دست آمد. سرعت باد حداکثر ماه ژانویه از ۳۹/۵ (نسیم شدید) تا ۱۰۰/۵ (توفان) کیلومتر بر ساعت متغیر است. در این ماه از سال به علت کاهش تضادهای اقلیمی بین پهنه ساحلی دریای خزر و نواحی کم‌ارتفاع جنوب منجیل شرایط توفانی کمتر ایجاد می‌شود؛ از این رو فقط در سال‌های ۱۹۹۷ و ۲۰۰۰ شرایط توفانی حاکم بوده است. میانگین سرعت باد در این ماه ۶۶/۵ کیلومتر بر ساعت

است. علت باد در این ماه با سایر ماه‌ها متفاوت بوده و غالباً تحت تأثیر جریان‌های غربی است. با این حال، مقایسه داده‌ها با میانگین نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۹ سرعت باد روند کاهشی را دنبال می‌کند (جدول ۱). در این موقع از سال انتظار مواجهه با شرایط نسیم و تندباد بیش از توفان است.

سرعت باد حداکثر ماه فوریه از ۴۳ (نسیم شدید) تا ۹۳/۵ (توفان) کیلومتر بر ساعت متغیر است. در این ماه مانند ژانویه شرایط توفانی کمتر ایجاد می‌شود؛ بنابراین در سه مورد، شرایط توفان از سال ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۸ حاکم بوده است. میانگین سرعت باد در این ماه ۷۰ کیلومتر بر ساعت است. مقایسه داده‌ها با میانگین نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۸ سرعت باد روند کاهشی را دنبال می‌کند (جدول ۱). سرعت باد حداکثر ماه مارس از ۵۴ (تندباد ملایم) تا ۱۲۶ (توفان خیلی شدید) کیلومتر بر ساعت متغیر است. ماه مارس زمان گذر از فصل زمستان به بهار بوده و شروع گرمایش است؛ از این رو بروز تغییرات محسوس در سرعت باد دور از انتظار نیست. دامنه تغییرات این ماه نسبت به ماه‌های قبل افزایش یافته و دامنه داده‌ها به حدود ۷۲ کیلومتر بر ساعت می‌رسد. در هشت مورد از دوره آماری شرایط ایجاد توفان مهیا شده است.

در شش مورد، از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۱ و ۲۰۰۴ شرایط توفان و در دو مورد، سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ توفان خیلی شدید حاکم بوده است. میانگین سرعت باد حداکثر ۸۰/۵ کیلومتر بر ساعت است. مقایسه داده‌ها با میانگین نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۷ سرعت باد روند کاهشی محسوس را دنبال می‌کند (جدول ۱).

جدول ۱: مشخصات و احتمال وقوع سرعت باد حداکثر ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس

ژانویه			فوریه			مارس			سال
میانگین سرعت (کیلومتر بر ساعت)			میانگین سرعت (کیلومتر بر ساعت)			میانگین سرعت (کیلومتر بر ساعت)			
دامنه تغییرات (کیلومتر بر ساعت)			دامنه تغییرات (کیلومتر بر ساعت)			دامنه تغییرات (کیلومتر بر ساعت)			
لوگ نرمال			لوگ نرمال			لوگ نرمال			
سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	احتمال f(x)	احتمال تجمعی P(X ≤ x)	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	احتمال f(x)	احتمال تجمعی P(X ≤ x)	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	احتمال f(x)	احتمال تجمعی P(X ≤ x)	
۶۸	۴/۵۵	۶۸/۵۶	۸۶/۵	۲/۲۳	۸۶/۰۷	۷۵/۵	۴/۳۱	۴۲/۳	۱۹۹۳
۶۵	۵/۶۸	۴۸/۳۵	۶۸/۵	۵/۰۶	۴۹/۵۷	۷۲	۴/۲۳	۳۳/۹۷	۱۹۹۴
۷۹	۲/۹۴	۸۳/۱	۶۱	۴/۹۱	۲۹/۷۴	۷۹	۴/۱۹	۵۰/۵۸	۱۹۹۵
۶۱	۵/۷	۳۷/۲۲	۹۰	۱/۷۱	۸۹/۸۸	۷۲	۴/۲۳	۳۳/۹۷	۱۹۹۶
۹۰	۱/۱۵	۹۴/۴۶	۹۳/۵	۱/۲۸	۹۲/۷۷	۹۷	۲/۲۱	۵۲/۴۸	۱۹۹۷
۵۷/۵	۵/۲۵	۲۶/۵	۹۳/۵	۱/۲۸	۹۲/۷۷	۹۰	۳/۱	۷۲/۱۹	۱۹۹۸
۷۲	۴/۵۵	۶۸/۵۶	۸۳	۲/۸۳	۸۱/۱۷	۹۰	۳/۱	۷۲/۱۹	۱۹۹۹
۱۰۱	۰/۳۵	۹۸/۴۶	۸۳	۲/۸۳	۸۱/۱۷	۹۷	۲/۲۱	۵۲/۴۸	۲۰۰۰
۷۲	۴/۵۵	۶۸/۵۶	۸۶/۵	۲/۲۳	۸۶/۰۷	۹۳/۵	۲/۶۵	۷۷/۷۷	۲۰۰۱
۷۲	۴/۵۵	۶۸/۵۶	۷۹	۳/۴۸	۷۵/۰۵	۱۲۶	۰/۲۹	۹۸/۳۱	۲۰۰۲
۷۹	۲/۹۴	۸۳/۱	۶۱	۴/۹۱	۲۹/۷۴	۱۱۸/۵	۰/۵۲	۹۶/۶۷	۲۰۰۳
۶۸/۵	۵/۲۵	۵۹	۷۲	۴/۶۸	۵۹/۰۷	۹۰	۲/۲۱	۵۲/۴۸	۲۰۰۴
۵۷/۵	۵/۲۵	۲۶/۵	۵۴	۳/۴۳	۱۳/۱۷	۷۹	۴/۱۹	۵۰/۵۸	۲۰۰۵
۷۲	۴/۵۵	۶۸/۵۶	۶۴/۵	۵/۱۶	۳۹/۵۸	۸۶/۵	۳/۵۴	۶۵/۷۳	۲۰۰۶
۶۵	۵/۶۸	۴۸/۳۵	۷۲	۴/۶۸	۵۹/۰۷	۵۴	۱/۴۴	۴/۴۱	۲۰۰۷
۷۲	۴/۵۵	۶۸/۵۶	۵۷/۵	۴/۳۱	۲۰/۷۳	۷۵/۵	۴/۳۱	۴۲/۳	۲۰۰۸
۶۱	۵/۷	۳۷/۲۲	۴۳	۰/۷۷	۱/۵۲	۶۴/۵	۳/۴۶	۱۸/۷۸	۲۰۰۹
۵۷/۵	۵/۲۵	۲۶/۵	۶۱	۴/۹۱	۲۹/۷۴	۷۹	۴/۱۹	۵۰/۵۸	۲۰۱۰
۳۹/۵	۰/۴۱	۰/۶۳	۵۷/۵	۴/۳۱	۲۰/۷۳	۵۴	۱/۴۴	۴/۴۱	۲۰۱۱
۵۰	۳/۱۷	۹/۸	۶۴/۵	۵/۱۶	۳۹/۵۸	۶۴/۵	۳/۴۶	۱۸/۷۸	۲۰۱۲
۵۰	۳/۱۷	۹/۸	۵۰/۵	۲/۴۳	۷/۴۷	۶۴/۵	۳/۴۶	۱۸/۷۸	۲۰۱۳
۵۷/۵	۵/۲۵	۲۶/۵	۶۱	۴/۹۱	۲۹/۷۴	۷۵/۵	۴/۳۱	۴۲/۳	۲۰۱۴
۵۴	۴/۳۳	۱۷/۰۵	۵۴	۳/۴۲	۱۳/۱۲	۵۴	۱/۴۳	۴/۴۱	۲۰۱۵
۷۲	۴/۵۶	۶۸/۴۳	۸۲/۵	۲/۸۴	۸۱/۰۹	۸۶	۳/۵۴	۶۵/۷۳	۲۰۱۶
نسیم شدید	تندباد ملایم	تندباد	تندباد شدید	توفان	توفان خیلی شدید				
۳۹-۴۹	۶۱-۵۰	۷۴-۶۲	۸۸-۷۵	۱۰۲-۸۹	+۱۱۸				

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

۸۴/۶ درصد و دوره بازگشت آن ۱/۱۸ سال، در ماه فوریه با سرعت ۵۰-۸۸ کیلومتر بر ساعت ۸۲ درصد و دوره بازگشت ۱/۲۲ سال و در ماه مارس با سرعت

بر اساس تحلیل تابع چگالی احتمال که نشان داد مدل لوگ نرمال مناسب‌ترین مدل برای این توزیع در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس است، احتمال وقوع باد در ماه ژانویه با سرعت ۳۹-۸۸ کیلومتر بر ساعت



۸۸-۵۰ کیلومتر بر ساعت ۶۸/۳۵ درصد و دوره بازگشت ۱/۴۶ سال، بیش از سایر بادها است.

پس از بررسی و تحلیل سرعت باد حداکثر ماهانه و سالانه نتایج به دست آمده نشان داد که بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹ سرعت باد روند کاهشی پیدا کرده است؛ بنابراین دوره آماری به دو دوره ۲۰۰۴-۱۹۹۳ و ۲۰۱۶-۲۰۰۵ تقسیم و مورد مقایسه قرار گرفت.

کاهش میانگین در توزیع چگالی احتمال ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس در مقطع زمانی ۱۹۹۳-۲۰۰۴ احتمال وقوع تندبادها و پس از آن توفان‌ها بیشترین سهم را داشته و احتمال وقوع توفان‌های بسیار شدید تقریباً فقط در مارس وجود دارد. در مقطع زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۶ در ژانویه احتمال وقوع توفان‌ها و تندبادها کاهش یافته، اما احتمال وقوع نسیم افزایش چشمگیری می‌یابد. در فوریه و مارس ضمن کاهش درصد احتمال وقوع توفان‌ها و به صفر رسیدن احتمال وقوع توفان‌های بسیار شدید، احتمال وقوع تندبادها و نسیم افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند.

سرعت باد حداکثر آوریل از ۵۴ (تندباد ملایم) تا ۱۲۲ (توفان خیلی شدید) کیلومتر بر ساعت متغیر است. ۵۰ درصد دوره آماری شرایط ایجاد توفان مهیا شده است؛ یعنی در شش مورد، در سال‌های ۱۹۹۴، ۱۹۹۶، ۱۹۹۸، ۲۰۰۱، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۹ شرایط توفان، چهار مورد در سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۰، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۶ شرایط توفان شدید و دو مورد در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۳ توفان خیلی شدید حاکم بوده است. میانگین سرعت در این ماه ۸۶ کیلومتر بر ساعت است. مقایسه داده‌ها با میانگین نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۷ سرعت باد روند کاهشی محسوسی را دنبال می‌کند (جدول ۲).

تحلیل تابع چگالی احتمال نشان داد، مدل ویبول مناسب‌ترین مدل برای توزیع در ماه آوریل است. براساس این توزیع احتمال وقوع بادهای کمتر از ۵۰ کیلومتر بر ساعت ۴/۹۷ درصد و دوره بازگشت آن ۲۰ سال، تندبادها ۴۸/۶۳ درصد و دوره بازگشت آن ۲ سال، توفان‌ها ۴۱/۳۳ درصد و دوره بازگشت آن‌ها ۲/۴۲ سال و احتمال وقوع توفان‌های خیلی شدید ۵/۰۵ درصد و دوره بازگشت ۲۰ سال است.

سرعت باد حداکثر در ماه می از ۶۱ (تندباد ملایم) تا ۱۲۶ (توفان بسیار شدید) کیلومتر بر ساعت متغیر است. ۳۷/۵ درصد دوره آماری شرایط ایجاد توفان مهیا شده است؛ یعنی در چهار مورد سال‌های ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۸ و ۲۰۰۵ شرایط توفان، در چهار مورد سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۲ شرایط توفان شدید و در یک مورد سال ۲۰۰۳ با بیش از ۱۱۸ کیلومتر بر ساعت توفان بسیار شدید حاکم بوده است. میانگین ۸۶ کیلومتر بر ساعت است. مقایسه داده‌ها با میانگین نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۷ سرعت باد روند کاهشی محسوسی را دنبال می‌کند (جدول ۲).

تحلیل تابع چگالی احتمال نشان داد، مدل لوگ نرمال مناسب‌ترین مدل برای توزیع است. براساس این توزیع، احتمال وقوع بادهای کمتر از ۵۰ کیلومتر بر ساعت ۰/۷۸ درصد و دوره بازگشت آن ۱۲۸ سال، تندبادها ۵۹/۳۱ درصد و دوره بازگشت آن ۱/۶۸ سال، توفان‌ها ۳۴/۳۵ درصد و دوره بازگشت آن‌ها ۲/۹۱ سال و احتمال وقوع توفان‌های بسیار شدید ۵/۵۶ درصد و دوره بازگشت ۱۸ سال است.

سرعت باد حداکثر ماه ژوئن از ۶۱ (تندباد ملایم) تا ۱۱۸/۵ (توفان بسیار شدید) کیلومتر بر ساعت متغیر است. در ۱۳ مورد دوره آماری شرایط ایجاد توفان مهیا شده است؛ یعنی در ده مورد سال‌های



داده‌است. میانگین سرعت باد در این ماه ۸۸ کیلومتر بر ساعت بوده و مقایسه داده‌ها با میانگین نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۷ سرعت باد روند کاهشی محسوسی را دنبال می‌کند (جدول ۲).

۱۹۹۳ تا ۱۹۹۸ و ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶ شرایط توفان، در سه مورد سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۰ و ۲۰۰۲ با شرایط توفان شدید و در یک مورد سال ۲۰۰۱ توفان بسیار شدید با سرعت بیش ۱۱۸ کیلومتر بر ساعت رخ

جدول ۲: مشخصات و احتمال وقوع سرعت باد حداکثر ماه‌های آوریل، می و ژوئن

سال	آوریل			می			ژوئن		
	میانگین سرعت (کیلومتر بر ساعت)			میانگین سرعت (کیلومتر بر ساعت)			میانگین سرعت (کیلومتر بر ساعت)		
	دامنه تغییرات (کیلومتر بر ساعت)			دامنه تغییرات (کیلومتر بر ساعت)			دامنه تغییرات (کیلومتر بر ساعت)		
	ویبول			لوگ نرمال			مدل توزیع		
	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	احتمال f(x)	احتمال P(X ≤ x)	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	احتمال f(x)	احتمال P(X ≤ x)	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	احتمال f(x)	احتمال P(X ≤ x)
۱۹۹۳	۸۶/۵	۳/۴۷	۴۸/۸۳	۸۲/۵	۴/۱۴	۴۶/۹۵	۹۰	۴/۲۹	۴۸/۰۹
۱۹۹۴	۹۰	۳/۵	۵۵/۶۱	۸۶/۵	۳/۹۵	۵۴/۸۳	۹۰	۴/۲۹	۴۸/۰۹
۱۹۹۵	۶۱	۱/۶۵	۱۲/۳۵	۸۲/۵	۴/۱۴	۴۶/۹۵	۹۰	۴/۲۹	۴۸/۰۹
۱۹۹۶	۹۰	۳/۵	۵۵/۶۱	۹۳/۵	۳/۲۵	۶۸/۹۱	۹۳/۵	۴/۵۷	۵۶/۷۳
۱۹۹۷	۷۹	۳/۱۴	۳۵/۸۹	۱۰۰/۵	۲/۴	۷۹/۸۹	۱۰۰/۵	۴/۳۹	۷۴/۵۱
۱۹۹۸	۹۰	۳/۵	۵۵/۶۱	۹۷	۲/۸۳	۷۴/۸۲	۱۰۰/۵	۴/۳۹	۷۴/۵۱
۱۹۹۹	۱۰۸	۲/۲۸	۸۵/۳۱	۱۰۸	۱/۶۳	۸۷/۶۶	۱۰۸	۳/۰۲	۸۹/۲۶
۲۰۰۰	۱۱۵	۱/۴۶	۹۲/۵۷	۱۱۵	۱/۰۳	۹۲/۷۶	۱۰۸	۳/۰۲	۸۹/۲۶
۲۰۰۱	۱۰۰/۵	۳	۷۴/۹۸	۱۱۵	۱/۰۳	۹۲/۷۶	۱۱۸/۵	-۰/۵۶	۹۹/۰۴
۲۰۰۲	۱۰۸	۲/۲۸	۸۵/۳۱	۱۱۵	۱/۰۳	۹۲/۷۶	۱۰۸	۳/۰۲	۸۹/۲۶
۲۰۰۳	۱۲۲/۵	-۰/۷۸	۹۶/۸۶	۱۲۶	-۰/۴۷	۹۶/۹۶	۱۰۰/۵	۴/۳۹	۷۴/۵۱
۲۰۰۴	۱۰۰/۵	۳	۷۴/۹۸	۷۹	۴/۱۷	۳۸/۸۶	۹۷	۴/۶۳	۶۵/۷
۲۰۰۵	۱۱۸/۵	۱/۰۹	۹۵/۰۵	۹۰	۳/۶۴	۶۲/۲۱	۱۰۰/۵	۴/۳۹	۷۴/۵۱
۲۰۰۶	۱۰۸	۲/۲۸	۸۵/۳۱	۸۶/۵	۳/۹۵	۵۴/۸۳	۹۳/۵	۴/۵۷	۵۶/۷۳
۲۰۰۷	۶۵	۴/۹۶	۱۵/۸۶	۷۲	۳/۶۷	۲۳/۴	۶۸/۵	۱/۶۴	۱۴
۲۰۰۸	۶۸/۵	۲/۲۸	۱۹/۹۷	۷۲	۳/۶۷	۲۳/۴	۷۵/۵	۲/۴۳	۲۱/۸۲
۲۰۰۹	۹۰	۳/۵	۵۵/۶۱	۷۲	۳/۶۷	۲۳/۴	۶۸/۵	۱/۶۴	۱۴
۲۰۱۰	۶۱	۱/۶۵	۱۲/۳۵	۶۴/۵	۲/۵۳	۱۱/۲۱	۶۴/۵	۱/۳۲	۱۱/۱۴
۲۰۱۱	۶۱	۱/۶۵	۱۲/۳۵	۶۴/۵	۲/۵۳	۱۱/۲۱	۷۲	۲	۱۷/۵۳
۲۰۱۲	۵۴	۱/۱	۷/۰۵	۶۱	۱/۸۷	۶/۹۳	۶۱	۱/۰۶	۸/۸۳
۲۰۱۳	۶۱	۱/۶۵	۱۲/۳۵	۶۸/۵	۳/۱۵	۱۶/۷۵	۶۴/۵	۱/۳۲	۱۱/۱۴
۲۰۱۴	۶۸/۵	۲/۲۸	۱۹/۹۷	۶۴/۵	۲/۵۳	۱۱/۲۱	۶۸/۵	۱/۶۴	۱۴
۲۰۱۵	۷۲	۲/۵۹	۲۴/۶۲	۶۸/۵	۳/۱۵	۱۶/۶۶	۷۲	۲	۱۷/۴۷
۲۰۱۶	۸۲/۵	۳/۳۴	۴۲/۱	۷۹	۴/۱۷	۳۸/۶۷	۹۷	۴/۶۳	۶۵/۵۱
مقیاس بوفورت (k/h)	تندباد ملایم	تندباد	تندباد شدید	توفان	توفان شدید	توفان خیلی شدید			
	۵۰-۶۱	۶۲-۷۴	۷۵-۸۸	۸۹-۱۰۲	۱۰۳-۱۱۷	+۱۱۸			

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

۲۰۰۵ با شرایط توفان، در سال‌های ۱۹۹۵ و ۱۹۹۹ توفان شدید و در یک مورد سال ۱۹۹۴ توفان بسیار شدید رخ داده‌است. در ۵۰ درصد دوره آماری شرایط برای ایجاد توفان و در ۵۰ درصد دیگر دوره آماری شرایط ایجاد تندباد فراهم شده‌است. میانگین سرعت باد در ماه اوت ۸۲/۵ کیلومتر بر ساعت است. مقایسه داده‌ها با میانگین نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۶ سرعت باد روند کاهشی محسوسی را دنبال می‌کند (جدول ۳).

سرعت باد حداکثر ماه سپتامبر از ۵۴ (تندباد ملایم) تا ۱۱۵ (توفان شدید) کیلومتر بر ساعت متغیر است. ۴۱/۶۷ درصد دوره آماری شرایط ایجاد توفان مهیا شده‌است. در ۸ مورد سال‌های ۱۹۹۳، ۱۹۹۵، ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۰، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۵ شرایط توفان ملایم، در ۲ مورد سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۴ شرایط توفان شدید حاکم بوده‌است. در ۵۸/۳۳ درصد دوره آماری شرایط برای ایجاد تندباد فراهم شده‌است. میانگین سرعت باد ۸۰/۵ کیلومتر بر ساعت است. مقایسه داده‌ها با میانگین نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۶ سرعت باد روند کاهشی محسوسی را دنبال می‌کند (جدول ۳).

براساس تحلیل تابع چگالی احتمال که نشان داد مدل ویبول مناسب‌ترین مدل برای این توزیع در ماه‌های جولای، اوت و سپتامبر است که در ماه جولای احتمال وقوع نسیم و کمتر از آن ۰/۸۱ درصد و دوره بازگشت آن ۱۲۳ سال، تندبادها ۶۷/۱۲ درصد و دوره بازگشت آن ۱/۵ سال، توفان‌ها ۳۲/۰۶ درصد و دوره بازگشت آن‌ها ۳ سال و توفان‌های بسیار شدید تقریباً صفر، در ماه اوت وقوع نسیم و کمتر از آن ۵/۳ درصد و دوره بازگشت آن ۱۸/۸۷ سال، تندبادها ۵۵/۶ درصد و دوره بازگشت آن ۱/۸ سال، توفان‌ها ۳۷/۰۶ درصد و دوره بازگشت آن‌ها ۲/۷ سال و توفان‌های

تحلیل تابع چگالی احتمال نشان داد، مدل کم‌ترین مقدار حد، مناسب‌ترین مدل برای توزیع است. براساس این توزیع احتمال وقوع بادهای کمتر از ۵۰ کیلومتر بر ساعت، ۴/۲۳ درصد و دوره بازگشت آن ۲۳/۶۴ سال، تندبادها ۴۱/۴۳ درصد و دوره بازگشت آن ۲/۴۱ سال، توفان‌ها ۵۳/۳۲ درصد و دوره بازگشت آن‌ها ۱/۸۷ سال و احتمال وقوع توفان‌های بسیار شدید ۱ درصد و دوره بازگشت ۱۰۰ سال است.

در مقطع زمانی ۱۹۹۳-۲۰۰۴ احتمال وقوع نسیم در آوریل اندک و در ماه‌های می و ژوئن تقریباً صفر است. بیشترین احتمال وقوع در این ماه‌ها به توفان‌ها و بعد از آن به تندبادها اختصاص دارد. احتمال وقوع توفان‌های بسیار شدید وجود داشته و به‌ویژه در ماه می درخور توجه است. در مقطع زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۶ احتمال وقوع نسیم در ماه‌های آوریل و می افزایش یافته و بیشترین احتمال وقوع به تندبادها اختصاص می‌یابد. احتمال وقوع توفان‌ها و توفان‌های بسیار شدید به شدت کاهش می‌یابد؛ به‌طوری‌که احتمال وقوع توفان‌های بسیار شدید در ماه می تقریباً صفر می‌شود.

سرعت باد حداکثر ماه جولای از ۶۴/۵ (تندباد) تا ۱۰۰/۵ (توفان) کیلومتر بر ساعت متغیر است. ۵۰ درصد دوره آماری شرایط ایجاد توفان با دامنه ۱۰۲-۸۹ از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۴ و سال ۲۰۱۶ مهیا شده‌است. در ۵۰ درصد دوره آماری، شرایط تندباد ایجاد شده‌است. میانگین سرعت باد در این ماه ۸۲/۵ کیلومتر بر ساعت است. مقایسه داده‌ها با میانگین نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۷ سرعت باد روند کاهشی محسوسی را دنبال می‌کند (جدول ۳).

سرعت باد حداکثر ماه اوت از ۶۱ (تندباد ملایم) تا ۱۲۶ (توفان بسیار شدید) کیلومتر بر ساعت متغیر است. در سال‌های ۱۹۹۳، ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۷ و ۲۰۰۰ تا

درصد و دوره بازگشت آن‌ها ۲/۹۸ سال و احتمال وقوع توفان‌های بسیار شدید ۸۲ درصد و دوره بازگشت آن‌ها ۱۱۳ سال است.

بسیار شدید ۲/۰۴ درصد و دوره بازگشت آن‌ها ۴۳/۴۷ سال و در ماه سپتامبر احتمال وقوع نسیم ۵/۱ درصد و دوره بازگشت آن ۱۹/۴۷ سال، تندبادها ۶۰/۴۵ درصد و دوره بازگشت آن ۱/۶۵ سال، توفان‌ها ۳۳/۵۹

جدول ۳: مشخصات و احتمال وقوع سرعت باد حداکثر ماه‌های جولای، اوت و سپتامبر

سپتامبر			اوت			جولای			سال
میانگین سرعت (کیلومتر بر ساعت)			میانگین سرعت (کیلومتر بر ساعت)			میانگین سرعت (کیلومتر بر ساعت)			
دامنه تغییرات (کیلومتر بر ساعت)			دامنه تغییرات (کیلومتر بر ساعت)			دامنه تغییرات (کیلومتر بر ساعت)			
مدل توزیع			مدل توزیع			مدل توزیع			
احتمال تجمعی $P(X \leq x)$	احتمال $f(x)$	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	احتمال تجمعی $P(X \leq x)$	احتمال $f(x)$	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	احتمال تجمعی $P(X \leq x)$	احتمال $f(x)$	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	
۶۷/۸۶	۳/۹۳	۹۰	۶۳/۰۷	۳/۷۵	۹۰	۳۴/۳۳	۵/۵۵	۷۹	
۱۸/۴۴	۲/۴۸	۶۴/۵	۹۹/۴۸	۰/۲	۱۲۶	۷۱/۶۳	۶/۳۲	۹۰	
۶۷/۸۶	۳/۹۳	۹۰	۹۱/۴۱	۱/۷۹	۱۰۸	۷۱/۶۳	۶/۳۲	۹۰	
۴۴/۱۲	۳/۹۸	۷۹	۷۶/۷۲	۳/۲	۹۷	۷۱/۶۳	۶/۳۲	۹۰	
۸۱/۶۸	۳/۱	۹۷	۷۰/۱۶	۳/۵۳	۹۳/۵	۹۱/۲۷	۳/۴۸	۹۷	
۷۵/۱۸	۳/۵۸	۹۳/۵	۵۵/۶۹	۳/۸۳	۸۶/۵	۷۱/۶۳	۶/۳۲	۹۰	
۸۱/۶۸	۳/۱	۹۷	۹۱/۴۱	۱/۷۹	۱۰۸	۹۶/۴۳	۱/۸۸	۱۰۰/۵	
۸۷/۱۶	۲/۵۳	۱۰۰/۵	۷۶/۷۲	۳/۲	۹۷	۹۱/۲۷	۳/۴۸	۹۷	
۶۰/۰۳	۴/۱۱	۸۶/۵	۶۳/۰۷	۳/۷۵	۹۰	۵۸/۸۳	۶/۷۳	۸۶	
۸۷/۱۶	۲/۵۳	۱۰۰/۵	۷۰/۱۶	۳/۵۳	۹۳/۵	۷۱/۶۳	۶/۳۲	۹۰	
۹۴/۳	۱/۳۹	۱۰۸	۶۳/۰۷	۳/۷۵	۹۰	۹۱/۲۷	۳/۴۸	۹۷	
۹۸/۳۸	۰/۵۶	۱۱۵	۷۰/۱۶	۳/۵۳	۹۳/۵	۸۲/۸۷	۵/۱۴	۹۳/۵	
۷۵/۱۸	۳/۵۸	۹۳/۵	۶۳/۰۷	۳/۷۵	۹۰	۳۴/۳۳	۵/۵۵	۷۹	
۲۹/۷۹	۳/۳۴	۷۲	۱۷/۸۲	۲/۲۸	۶۴/۵	۵۸/۸۳	۶/۷۳	۸۶/۵	
۱۸/۴۴	۲/۴۸	۶۴/۵	۱۷/۸۲	۲/۲۸	۶۴/۵	۱۱/۲۶	۲/۴۷	۶۸/۵	
۲۳/۷	۲/۹۲	۶۸/۵	۲۸/۱۴	۳/۰۲	۷۲	۱۶/۹۴	۳/۴	۷۲	
۱۸/۴۴	۲/۴۸	۶۴/۵	۲۲/۶۱	۲/۶۶	۶۸/۵	۱۱/۲۶	۲/۴۷	۶۸/۵	
۱۴/۰۳	۲/۰۶	۶۱	۱۳/۷۵	۱/۹۱	۶۱	۷/۲۴	۱/۷۱	۶۴/۵	
۲۳/۷	۲/۹۲	۶۸/۵	۱۷/۸۲	۲/۲۸	۶۴/۵	۱۱/۲۶	۲/۴۷	۶۸/۵	
۱۸/۴۴	۲/۴۸	۶۴/۵	۱۳/۷۵	۱/۹۱	۶۱	۷/۲۴	۱/۷۱	۶۴/۵	
۱۴/۰۳	۲/۰۶	۶۱	۱۳/۷۵	۱/۹۱	۶۱	۳۴/۳۳	۵/۵۵	۷۹	
۱۸/۴۴	۲/۴۸	۶۴/۵	۱۷/۸۲	۲/۲۸	۶۴/۵	۱۶/۹۴	۳/۴	۷۲	
۷/۵۴	۱/۳	۵۴	۱۳/۶۹	۱/۹	۶۱	۱۱/۲۶	۲/۴۶	۶۸/۵	
۴۴/۰۲	۳/۹۷	۷۹	۴۰/۹۴	۳/۶	۷۹	۷۱/۴۱	۶/۳۳	۹۰	
توفان خیلی شدید	توفان شدید	توفان	تندباد شدید	تندباد	تندباد ملایم	مقیاس بوفورت (k/h)			
+۱۱۸	۱۱۷-۱۰۳	۱۰۲-۸۹	۸۸-۷۵	۷۴-۶۲	۶۱-۵۰				

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

متغیر است. در مجموع این ماه فاقد توفان بوده است. در چهار مورد سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ شرایط برای ایجاد نسیم و در سایر موارد شرایط تندباد فراهم بوده است. میانگین سرعت باد ماه دسامبر ۶۲ کیلومتر بر ساعت است که مقایسه داده‌ها با میانگین نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۷ سرعت باد روند کاهشی محسوسی را دنبال می‌کند (جدول ۴).

بر اساس تحلیل تابع چگالی احتمال که نشان داد، مدل لوگ نرمال مناسب‌ترین مدل برای این توزیع در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر است که در ماه اکتبر احتمال وقوع نسیم شدید و کمتر از آن ۰/۹۴ درصد و دوره بازگشت آن ۱۰۶ سال، تندبادها ۸۷/۳۳ درصد و دوره بازگشت آن ۱/۱۴ سال، توفان‌ها ۱۱/۵۷ درصد و دوره بازگشت آنها ۸/۴ سال توفان‌های بسیار شدید تقریباً صفر، در ماه نوامبر احتمال وقوع نسیم شدید و کمتر از آن ۵/۳ درصد و دوره بازگشت آن ۱۸/۸۷ سال، تندبادها ۹۱/۵۹ درصد و دوره بازگشت آن ۱/۰۹ سال، توفان‌ها ۳/۱۱ درصد و دوره بازگشت آنها ۳۲/۱۵ سال و توفان‌های بسیار شدید تقریباً صفر و در ماه دسامبر احتمال وقوع تندبادهای با ۸۱/۸۵ درصد و دوره بازگشت آن ۱/۲۲ سال بیش از سایر بادها است. در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر در مقطع زمانی ۱۹۹۳-۲۰۰۴ احتمال وقوع توفان‌های بسیار شدید و نسیم به ترتیب صفر و کم، اما احتمال وقوع تندبادها و سپس توفان‌ها بیشتر است. در مقطع زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۶ احتمال وقوع تندبادها در نوامبر و دسامبر کاهش یافته، اما در اکتبر به طور چشمگیری افزایش می‌یابد؛ به طوری که می‌توان گفت، حداکثر بادهای این ماه به صورت تندباد ظاهر می‌شوند. احتمال وقوع نسیم در نوامبر و دسامبر افزایش قابل توجهی یافته است.

در ماه‌های جولای، اوت و سپتامبر در مقطع زمانی ۱۹۹۳-۲۰۰۴ بیشترین احتمال وقوع مربوط به توفان‌ها و سپس تندبادها است. احتمال وقوع نسیم در ماه سپتامبر به مقدار خیلی کم و احتمال وقوع توفان‌های بسیار شدید در ماه اوت و به مقدار اندک در ماه سپتامبر وجود دارد. در مقطع زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۶ احتمال وقوع تندبادها بیش از ۹۵ درصد است که به معنای کاهش چشمگیر احتمال وقوع توفان‌ها است. اگرچه احتمال وقوع نسیم به صفر رسیده است، اما احتمال وقوع توفان‌های بسیار شدید در هر سه ماه وجود دارد.

سرعت باد حداکثر ماه اکتبر از ۵۷/۵ (تندباد ملایم) تا ۹۷ (توفان) کیلومتر بر ساعت متغیر است. ۲۵ درصد دوره آماری شرایط ایجاد توفان مهیا شده است. در ۶ مورد سال‌های ۱۹۹۵، ۱۹۹۷، ۱۹۹۹، ۲۰۰۰، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ شرایط توفان حاکم بوده است. در ۷۵ درصد دوره آماری شرایط برای ایجاد تندباد فراهم شده است. میانگین سرعت باد در ماه اکتبر ۷۴ کیلومتر بر ساعت بوده و مقایسه داده‌ها با میانگین نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۵ سرعت باد روند کاهشی محسوسی را دنبال می‌کند (جدول ۴).

سرعت باد حداکثر ماه نوامبر از ۴۳ (نسیم شدید) تا ۹۰ (توفان) کیلومتر بر ساعت متغیر است. در دو مورد سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۱۶ و در یک مورد سال ۲۰۱۰ به ترتیب شرایط برای ایجاد توفان و نسیم شدید فراهم بوده است. در سایر موارد شرایط تندباد حاکم بوده است. میانگین سرعت باد در این ماه ۶۸ کیلومتر بر ساعت است که مقایسه داده‌ها با میانگین نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۶ سرعت باد روند کاهشی را دنبال می‌کند (جدول ۴).

سرعت باد حداکثر ماه دسامبر از ۳۹/۵ (نسیم شدید) تا ۸۶/۵ (تندباد شدید) کیلومتر بر ساعت

جدول ۴: مشخصات و احتمال وقوع سرعت باد حداکثر ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر

دسامبر			نوامبر			اکتبر			سال		
۶۲	میانگین سرعت (کیلومتر بر ساعت)	۶۸	میانگین سرعت (کیلومتر بر ساعت)	۷۴	میانگین سرعت (کیلومتر بر ساعت)						
۳۹/۵-۸۶/۵	دامنه تغییرات (کیلومتر بر ساعت)	۴۳-۹۰	دامنه تغییرات (کیلومتر بر ساعت)	۵۷/۵-۹۷	دامنه تغییرات (کیلومتر بر ساعت)						
لوگ نرمال	مدل توزیع	لوگ نرمال	مدل توزیع	لوگ نرمال	مدل توزیع						
احتمال تجمعی $P(X \leq x)$	احتمال $f(x)$	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	احتمال تجمعی $P(X \leq x)$	احتمال $f(x)$	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	احتمال تجمعی $P(X \leq x)$	احتمال $f(x)$	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)			
۲۵/۵۵	۴/۷۵	۵۴	۱۰/۳۶	۲/۹۹	۵۴	۴۵/۶۲	۶/۲۷	۷۲	۱۹۹۳		
۷۸/۱۹	۴/۳۵	۷۲	۲۶/۸۶	۵/۴۷	۶۱	۱۳/۳۷	۴/۰۱	۶۱	۱۹۹۴		
۲۵/۵۵	۴/۷۵	۵۴	۳۸/۴۱	۶/۳۳	۶۴/۵	۸۹/۶۵	۲/۲۸	۹۰	۱۹۹۵		
۴۶/۷	۵/۸۸	۶۱	۶۳/۶۶	۶/۲۲	۶۸/۵	۵۷/۵۳	۵/۹	۷۵/۵	۱۹۹۶		
۷۸/۱۹	۴/۳۵	۷۲	۹۰/۵۸	۲/۷۸	۸۲/۵	۸۹/۶۵	۲/۲۸	۹۰	۱۹۹۷		
۹۷/۳	۰/۹۲	۸۶/۵	۹۷/۵	۰/۹۷	۹۰	۶۸/۳۹	۵/۱۲	۷۹	۱۹۹۸		
۷۸/۱۹	۴/۳۵	۷۲	۶۳/۶۶	۶/۲۲	۷۲	۹۳/۳۶	۱/۵۷	۹۳/۵	۱۹۹۹		
۷۸/۱۹	۴/۳۵	۷۲	۶۳/۶۶	۶/۲۲	۷۲	۸۹/۶۵	۲/۲۸	۹۰	۲۰۰۰		
۷۸/۱۹	۴/۳۵	۷۲	۸۳/۹۸	۴/۰۴	۷۹	۶۸/۳۹	۵/۱۲	۷۹	۲۰۰۱		
۹۱/۲	۲/۳۶	۷۹	۶۳/۶۶	۶/۲۲	۷۲	۹۵/۸۶	۱/۰۴	۹۷	۲۰۰۲		
۶۸/۸۵	۵/۲۳	۶۸/۵	۵۱/۰۹	۶/۶۱	۶۸/۵	۷۷/۳۱	۴/۱۵	۸۲/۵	۲۰۰۳		
۹۱/۲	۲/۳۶	۷۹	۶۳/۶۶	۶/۲۲	۷۲	۸۹/۶۵	۲/۲۸	۹۰	۲۰۰۴		
۶۸/۸۵	۵/۲۳	۶۸/۵	۷۴/۹	۵/۲۸	۷۵/۵	۴۵/۶۲	۶/۲۷	۷۲	۲۰۰۵		
۵۸/۱	۵/۷۸	۶۴/۵	۳۸/۴۱	۶/۳۳	۶۴/۵	۶/۹۲	۲/۶۳	۵۷/۵	۲۰۰۶		
۶/۴۴	۱/۸۶	۴۳	۵۱/۰۹	۶/۶۱	۶۸/۵	۱۳/۳۷	۴/۰۱	۶۱	۲۰۰۷		
۱۰/۹	۲/۷۶	۴۶/۵	۱۷/۳۹	۴/۲۶	۵۷/۵	۲۲/۴۳	۵/۲۶	۶۴/۵	۲۰۰۸		
۲۵/۵۵	۴/۷۵	۵۴	۱۷/۳۹	۴/۲۶	۵۷/۵	۱۳/۳۷	۴/۰۱	۶۱	۲۰۰۹		
۳/۵۴	۱/۱۵	۳۹/۵	۱/۳	۰/۵۵	۴۳	۲۲/۴۳	۵/۲۶	۶۴/۵	۲۰۱۰		
۲۵/۵۵	۴/۷۵	۵۴	۳۸/۴۱	۶/۳۳	۶۴/۵	۴۵/۶۲	۶/۲۷	۷۲	۲۰۱۱		
۲۵/۵۵	۴/۷۵	۵۴	۱۷/۳۹	۴/۲۶	۵۷/۵	۱۳/۳۷	۴/۰۱	۶۱	۲۰۱۲		
۳۵/۵۷	۵/۵۱	۵۷/۵	۶۳/۶۶	۶/۲۲	۷۲	۳۳/۵۳	۶/۰۷	۶۸/۵	۲۰۱۳		
۳۵/۵۷	۵/۵۱	۵۷/۵	۵۱/۰۹	۶/۶۱	۶۸/۵	۲۲/۴۳	۵/۲۶	۶۴/۵	۲۰۱۴		
۶/۴۱	۱/۸۵	۴۳	۱۰/۲۹	۲/۹۷	۵۴	۱۳/۲۴	۳/۹۹	۶۱	۲۰۱۵		
۶۸/۱۸	۵/۲۷	۶۸	۷۴/۹	۵/۲۸	۹۰	۴۵/۶۲	۶/۲۷	۷۲	۲۰۱۶		
توفان			تندباد شدید			تندباد			تندباد ملایم	نسیم شدید	مقیاس
۱۰۲-۸۹			۸۸-۷۵			۷۴-۶۲			۶۱-۵۰	۳۹-۴۹	بوفورت (k/h)

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

تحلیل تابع چگالی احتمال نشان داد، مدل ویبول مناسبترین مدل است که براساس این توزیع احتمال وقوع نسیم شدید و کمتر از آن ۱/۳ درصد و دوره بازگشت آن ۷۷ سال، تندبادها ۲۹/۸۹ درصد و دوره بازگشت آن ۳/۳۴ سال، توفانها ۵۵/۱۲ درصد و دوره بازگشت آنها ۱/۸۱ سال و توفانهای بسیار شدید ۱۳/۶۹ درصد و دوره بازگشت ۷/۳ سال است.

سرعت باد حداکثر سالانه از ۶۴/۵ (تندباد) تا ۱۲۶ (توفان خیلی شدید) کیلومتر بر ساعت متغیر می‌باشد. ۸ سال تندباد، ۴ سال توفان، ۶ سال توفان شدید و ۵ سال توفان بسیار شدید غالب بوده‌است. میانگین حداکثر سالانه ۹۷ کیلومتر بر ساعت بوده‌است که مقایسه داده‌ها با میانگین نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۷ سرعت باد، روند کاهشی محسوسی را دنبال می‌کند (جدول ۵).

جدول ۵: مشخصات و احتمال وقوع سرعت باد حداکثر سالانه

سال	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	احتمال f(x)	احتمال تجمعی P(X ≤ x)	سال	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	احتمال f(x)	احتمال تجمعی P(X ≤ x)
۱۹۹۳	۹۰	۳/۲۱	۳۳/۰۲	۲۰۰۵	۱۱۸/۵	۲/۴۴	۸۶/۶۱
۱۹۹۴	۱۲۶	۱/۴۳	۹۴/۱	۲۰۰۶	۱۰۸	۳/۶۳	۶۸/۵۱
۱۹۹۵	۱۰۸	۳/۶۳	۶۸/۵۱	۲۰۰۷	۷۲	۱/۴۷	۱۰/۳۸
۱۹۹۶	۱۱۵/۵	۳/۷۱	۴۶/۵۶	۲۰۰۸	۷۵/۵	۱/۷۹	۱۳/۵۴
۱۹۹۷	۱۱۰	۳/۸۱	۵۳/۸۹	۲۰۰۹	۹۰	۳/۲۱	۳۳/۰۲
۱۹۹۸	۱۱۰	۳/۸۱	۵۳/۸۹	۲۰۱۰	۷۹	۲/۱۴	۱۷/۳۶
۱۹۹۹	۱۰۸	۳/۶۳	۶۸/۵۱	۲۰۱۱	۷۲	۱/۴۷	۱۰/۳۸
۲۰۰۰	۱۱۵	۲/۹۲	۸۱/۳۹	۲۰۱۲	۶۴/۵	۰/۹۳	۵/۷۷
۲۰۰۱	۱۱۸/۵	۲/۴۴	۸۶/۶۱	۲۰۱۳	۷۹	۲/۱۴	۱۷/۳۶
۲۰۰۲	۱۲۶	۱/۴۳	۹۴/۱	۲۰۱۴	۷۵/۵	۱/۷۹	۱۳/۵۴
۲۰۰۳	۱۲۶	۱/۴۳	۹۴/۱	۲۰۱۵	۷۲	۱/۴۷	۱۰/۳۴
۲۰۰۴	۱۱۵	۲/۹۲	۸۱/۳۹	۲۰۱۶	۹۷	۳/۷۱	۴۶/۴۴
تندباد	۶۲-۷۴			توفان	۸۹-۱۰۲		
تندباد شدید	۷۵-۸۸			توفان شدید	۱۰۳-۱۱۷		
توفان خیلی شدید							۱۱۸+

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

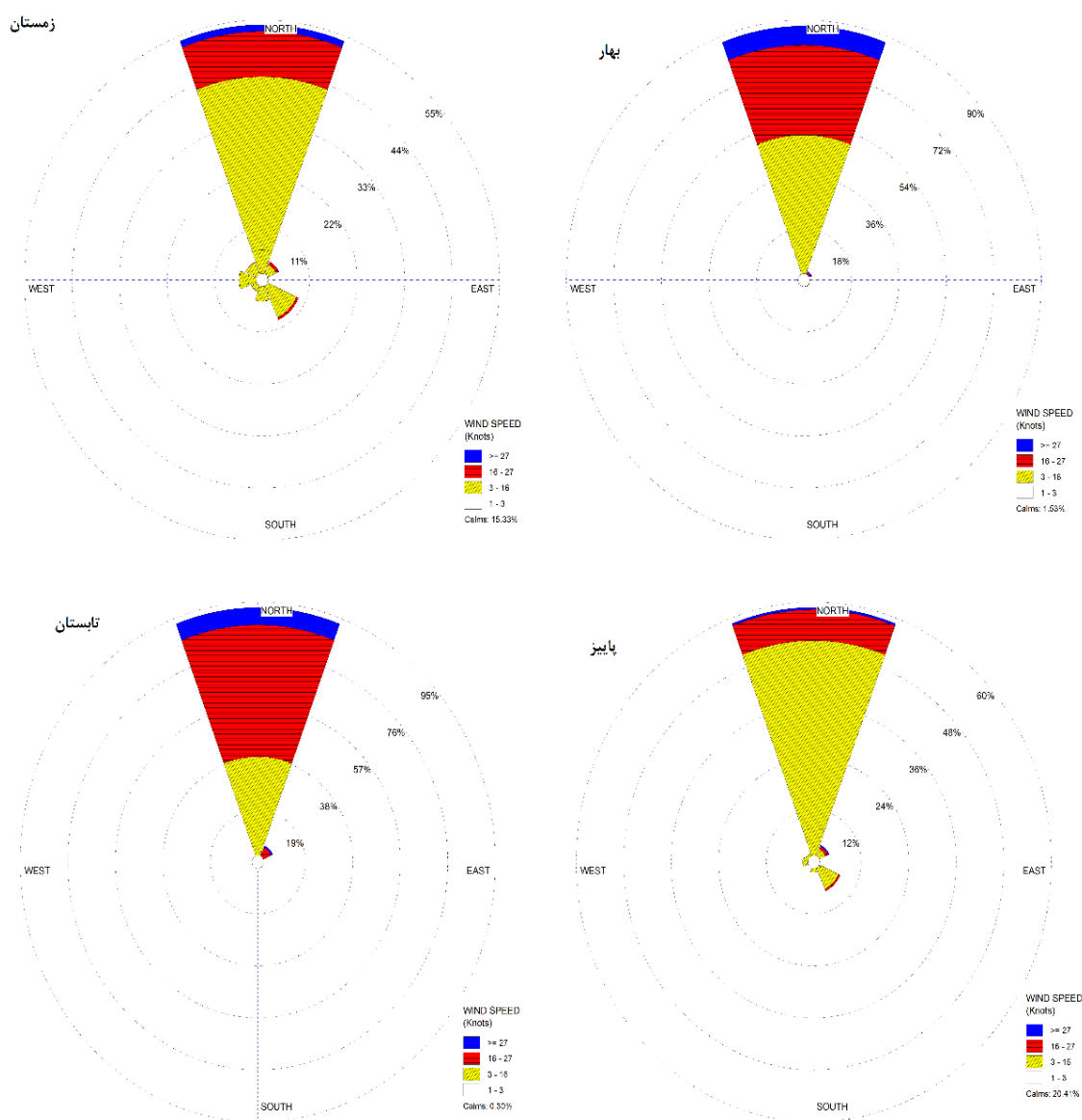
درصد است. جهت باد غالب در این فصل، ۵۸ درصد شمالی و باد نایب غالب با ۷ درصد فراوانی جنوب شرقی است.

فصل زمستان با ۱۵/۳ درصد باد آرام و بیش از ۸۳ درصد نسیم و ۱/۵ درصد تندباد آشفته‌گی کمتری داشته و بعد از پاییز آرام‌ترین فصل محسوب می‌شود. میانگین باد ۷/۵ نات، جهت باد غالب با ۵۴ درصد شمالی و نایب غالب با ۹ درصد جنوب شرقی است.

جهت باد منجیل و سرعت آن به صورت فصلی مورد بررسی قرار گرفته و ضمن تأیید نظرات مسعودیان (۱۳۹۱)، در این راستا نتایج به شرح ذیل حاصل شد. آرام‌ترین فصل سال با میانگین سرعت ۶/۴ درصد پاییز بوده و وزش باد آرام با ۲۰/۴ درصد بیشتر از سایر فصل‌ها در این فصل مشاهده می‌شود. بیش از ۸۳ درصد پاییز نسیم جریان دارد که ۵۵ درصد آن نسیم ملایم است. درصد وقوع تندباد کمتر از یک

درصد تندباد دومین فصل ناآرام بوده و جهت باد غالب آن با ۸۸ درصد، شمالی است. به‌طورکلی جهت باد غالب منجیل با ۷۳ درصد فراوانی شمالی و باد نائب غالب با ۴ درصد جنوب‌شرقی و شمال‌شرقی است (شکل ۱).

ناآرام‌ترین فصل سال با میانگین سرعت ۱۷/۲۵ نات فصل تابستان است. این فصل تقریباً فاقد باد آرام است و بیشترین درصد تندباد را با ۷/۱ درصد دارد. بیش از نیمی از این فصل نسیم تند جریان دارد. جهت باد غالب با ۹۳ درصد، شمالی است. میانگین سرعت باد بهار ۱۳/۵ نات است. این فصل با ۱/۵ درصد باد آرام، ۵۵ درصد نسیم ملایم و ۷



شکل ۱: گلباد فصلی باد منجیل

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

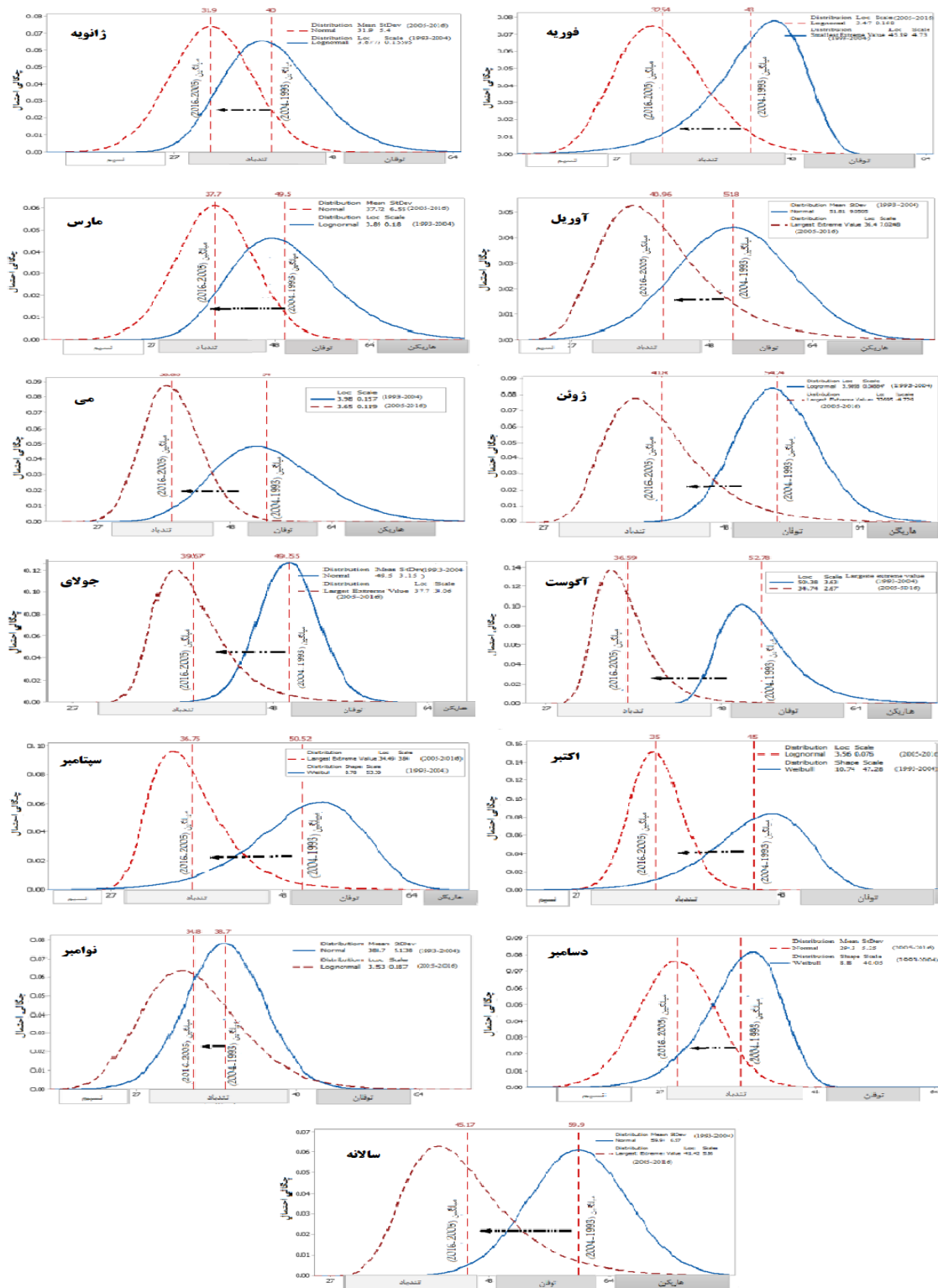


ژانویه، فوریه، مارس، می، اوت، سپتامبر، اکتبر و دسامبر است. بیشترین کاهش واریانس مربوط به اکتبر (۷۷- درصد) و کمترین کاهش مربوط به دسامبر (۰/۱۷ درصد) است. از آنجایی که کاهش واریانس به معنی کاهش تغییر پذیری است؛ بنابراین در مقطع زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۶ در ماه‌های مذکور کشیدگی توزیع کاهش و به تبع آن احتمال و فراوانی وقوع فرین‌ها نیز کاهش می‌یابد؛ بنابراین ضمن اینکه به علت کاهش در میانگین در شکل توزیع فراوانی جابه‌جایی رخ داده که سبب تغییر مکان میانگین به چپ و سرعت‌ها کم می‌شود، به علت کاهش واریانس نیز فاصله داده‌ها از میانگین کمتر می‌شود. در ماه‌های آوریل، ژوئن، جولای و نوامبر به همراه کاهش میانگین، واریانس افزایش یافته است. بیشترین افزایش مربوط به ماه‌های ژوئن و جولای و کمترین افزایش مربوط به نوامبر است. با وجود کاهش میانگین در ماه‌های مذکور در مقطع زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۶ با افزایش واریانس، کشیدگی توزیع نیز افزایش یافته و احتمال و فراوانی وقوع فرین‌ها نیز افزایش می‌یابد (شکل ۲).

## - تحلیل تغییر سرعت باد از طریق واکاوی توزیع چگالی احتمال

بررسی میانگین سرعت باد حداکثر در دو مقطع زمانی ۱۹۹۳-۲۰۰۴ و ۲۰۰۵-۲۰۱۶ بیانگر کاهش در میانگین است. این کاهش از ژانویه تا دسامبر به ترتیب ۲۰/۲۶، ۲۴/۴۵، ۲۳/۸۷، ۲۸/۱۸، ۲۰/۹۵، ۲۴/۷۹، ۳۰/۶۹، ۲۷/۲۵، ۲۱/۹۶، ۱۰/۰۶، ۲۲/۶۸ درصد است. بیشترین تغییر در میانگین مربوط به ماه اوت و کمترین تغییرات مربوط به ماه نوامبر است. سرعت باد حداکثر سالانه با کاهش ۲۴/۶ درصدی میانگین همراه بوده است. با کاهش میانگین یک نوع جابه‌جایی در شکل توزیع فراوانی رخ داده است که سبب می‌شود احتمال وقوع باد حداکثر در محل میانگین به مقادیر کمینه میل کند؛ در نتیجه احتمال وقوع بادهای با سرعت کمتر افزایش چشمگیر و بادهای با سرعت بیشتر کاهش یابد. لازم به ذکر است کاهش در میانگین در توزیع چگالی احتمال ماه‌های مختلف سال به گونه‌های مختلفی تأثیر گذاشته است.

بررسی واریانس در دو مقطع زمانی ۱۹۹۳-۲۰۰۴ و ۲۰۰۵-۲۰۱۶ بیانگر کاهش واریانس در ماه‌های



شکل ۲: مقایسه توزیع چگالی احتمال دو دوره ۱۹۹۳-۲۰۰۴ و ۲۰۰۵-۲۰۱۶

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

شد. براساس این مدل برای سه دوره پیش‌بینی انجام شد. پیش‌بینی حداکثر باد نسبت به داده‌های سال ۲۰۱۶ برای سال ابتدا ۲ دوره کاهش و سپس یک دوره افزایشی، ژانویه یک دوره کاهش، یک دوره ثابت و یک دوره افزایشی، ماه‌های مارس، آوریل، ژوئن، اوت، سپتامبر یک دوره کاهش و دو دوره افزایشی، می، جولای، اکتبر و دسامبر سه دوره افزایشی و نوامبر و فوریه یک دوره بدون تغییر و دو دوره افزایشی دارند (جدول ۶).

### پیش‌بینی از طریق معادله خط روند

برای به‌دست‌آوردن معادله خط روند، مدل‌های رگرسیون خطی، لگاریتمی، چندجمله‌ای درجه ۲ (مربعی)، چندجمله‌ای درجه ۳ (مکعبی)، ترکیبی، نمایی و توانی بر داده‌ها برازش داده شد. با توجه به ضریب تعیین تعدیل‌شده، مدل چندجمله‌ای درجه ۳ (مکعبی) برای سال و تمام ماه‌ها به‌ویژه برای ماه‌های ژوئن، جولای و اوت بهترین برازش را نشان می‌دهد. معنی‌دار بودن معادلات با استفاده از P-value تأیید

جدول ۶: معادلات خط روند سرعت حداکثر باد

زمان	معادله	ضریب R تعیین تعدیل‌شده	پیش‌بینی		
			۱	۲	۳
سال	$Y=0.016X^3-0.667X^2+7.81X+42.9$	۰/۵۴۷	۴۷/۴ ↓	۵۱/۴ ↓	۵۶/۶ ↑
ژانویه	$Y=0.01X^3-0.41X^2+3.99X+30.98$	۰/۳۴۷	۳۵/۷ ↓	۳۸/۹ →	۴۲/۹ ↑
فوریه	$Y=0.0146X^3-0.027X^2+4.03X+35.49$	۰/۵۳۷	۴۴/۵ →	۵۰/۵ ↑	۵۷/۸ ↑
مارس	$Y=0.0188X^3-0.786X^2+8.78X+25.1$	۰/۴۵۷	۴۴/۳ ↓	۴۹/۵ ↑	۵۶ ↑
آوریل	$Y=0.0172X^3-0.756X^2+8.72X+27.33$	۰/۴۴۶	۴۱/۷۹ ↓	۴۵/۵ ↑	۵۰/۴ ↑
می	$Y=0.0216X^3-0.8925X^2+9.424X+29.7$	۰/۷۵۸	۴۵ ↑	۵۱ ↑	۵۸/۷ ↑
ژوئن	$Y=0.0215X^3-0.85X^2+8.55X+33.8$	۰/۷۸۳	۵۲ ↓	۵۹ ↑	۶۷/۹ ↑
ژولای	$Y=0.0148X^3-0.064X^2+5.334X+27.64$	۰/۷۵۴	۵۰ ↑	۵۵/۵ ↑	۶۲ ↑
اوت	$Y=0.01X^3-0.36X^2+2.21X+52.55$	۰/۷۴۶	۴۱/۴ ↓	۴۵ ↑	۴۹/۶ ↑
سپتامبر	$Y=0.0155X^3-0.755X^2+7X+31.615$	۰/۵۷۶	۳۹/۵ ↓	۴۳/۳ ↑	۴۸/۲ ↑
اکتبر	$Y=0.0137X^3-0.045X^2+5.55X+30.675$	۰/۵۵۴	۴۲/۹ ↑	۴۷/۴ ↑	۵۲/۹ ↑
نوامبر	$Y=0.0168X^3-0.741X^2+6.52X+22.73$	۰/۵۰۸	۴۸/۱ →	۵۴/۸ ↑	۶۲/۷۴ ↑
دسامبر	$Y=0.0148X^3-0.587X^2+7.22X+22.63$	۰/۵۲	۳۷/۴ ↑	۳۷/۴ ↑	۴۲/۳۹ ↑

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

### نتیجه

آوریل است. ماه‌های مارس، آوریل، می، ژوئن و اوت توفان‌های بسیار شدید را نیز تجربه می‌کنند. همچنین پراکنش از حالت‌های مختلف باد سبب تنوع مدل‌های تابع چگالی احتمال در ماه‌های سال شد که ماه‌های نوامبر و دسامبر تنها ماه‌هایی از سال بوده‌اند که

بررسی باد حداکثر نشان داد، تقریباً به‌جز ماه دسامبر تمام ماه‌های سال شرایط توفانی را تجربه می‌کنند. کمترین احتمال رخداد توفان‌ها در ماه‌های نوامبر، ژانویه و فوریه و بیشترین در ماه‌های ژوئن و

امکان توسعه گردشگری پایدار به ویژه اکوتوریسم و بررسی روش‌های مناسب برای بهره‌گیری از خاصیت خنک‌کنندگی باد با طراحی مناسب سکونتگاه‌ها پیشنهاد می‌شود؛ به‌عنوان مثال در زمینه گردشگری، باد منجیل سبب خلق فضایی می‌شود که منطقه می‌تواند جولانگاه دوستداران ورزش‌های آبی- بادی شده و بستر مناسبی برای توسعه آن در زمینه ورزش‌های بهاری، تابستانی و توریسم ورزشی فراهم کند. استیلای باد منجیل در بیش از ۳۱۰ روز از سال سبب برخورداری منطقه از هوای سالم شده که از هر لحاظ نیز حائز اهمیت است.

در مجموع باد منجیل می‌تواند به‌عنوان یکی از جنبه‌های مهم توسعه منطقه باشد. متأسفانه به این پدیده منحصر به فرد به‌عنوان یک عامل منفی نگاه می‌شود؛ در حالی که می‌توان با برنامه‌ریزی بهینه، در راستای توسعه منطقه، بهترین استفاده را از آن کرد.

### منابع

- جهانبخش، سعید؛ یعقوب دین‌پژوه؛ مجید رضایی‌بنفشه؛ مرضیه اسمعیل‌پور (۱۳۹۴). مقایسه روش‌های برآورد پارامترهای توزیع ویبول جهت انرژی باد در استان آذربایجان شرقی، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۶، پیاپی ۵۹، شماره ۳، صفحات ۸۰-۶۱

<http://ensani.ir/fa/article/346256>

- رضایی‌بنفشه، سعید؛ خدیجه جوان؛ بتول زینالی (۱۳۹۰). بررسی روند تغییرات سرعت باد در شمال غرب ایران، فصلنامه جغرافیای طبیعی لار، سال ۴، شماره ۱۳، صفحات ۲۶-۲۷.

- طاووسی، تقی؛ کوهزاد رئیس‌پور (۱۳۸۹). تحلیل آماری و پیش‌بینی احتمال وقوع توفان‌های شدید با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سری‌های جزئی (مطالعه موردی: منطقه سیستان)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره اول، شماره ۲، صفحات ۱۰۵-۹۳.

<http://journals.hsu.ac.ir/jarhs/article-1-68-fa.html>

داده‌های آن‌ها دارای توزیع نرمال است. رفتارسنجی داده‌های حداکثر باد در سایر ماه‌ها نشان می‌دهد وقوع داده‌های فرین بالا در حد توفان‌های شدید و پایین در حد نسیم و کمتر از آن باعث شده است که مدل‌های توزیع نرمال بهترین برازش را بر داده‌ها نداشته باشند. مدل توزیع ویبول بر داده‌های ماه‌های آوریل، جولای، اوت و سپتامبر، مدل توزیع کمترین مقدار حد بر داده‌های ژوئن و مدل لوگ نرمال بر سایر ماه‌ها بهترین برازش دارند. جهت باد غالب منجیل شمالی است. بررسی داده‌های سرعت حداکثر باد منجیل در دو مقطع زمانی ۱۹۹۳-۲۰۰۴ و ۲۰۰۵-۲۰۱۶ نشان‌دهنده تغییر محسوس میانگین و واریانس است. کاهش میانگین در تمام ماه‌ها به معنی تمایل منحنی فراوانی به مقادیر کمینه است که سبب کاهش احتمال وقوع تندبادها و افزایش وقوع نسیم در زمستان و پاییز و کاهش احتمال وقوع توفان‌ها و افزایش تندبادها در بهار و تابستان می‌شود. همراه با کاهش میانگین در ماه‌های آوریل، ژوئن، جولای و نوامبر، افزایش واریانس در ماه‌های مذکور حاکی از تغییرپذیری بالا و افزایش احتمال وقوع فرین‌های زیاد و کم است.

تحلیل روند و پیش‌بینی با اتکاء بر رفتار فعلی و پیشین باد نشان داد، از میان مدل‌های رگرسیونی، مدل چندجمله‌ای درجه ۳ (مکعبی) برای سال و تمام ماه بهترین برازش را نشان می‌دهد. براساس این مدل، سرعت باد دارای نوسانات دوره‌ای است و حداکثر سرعت باد در سال‌های آتی با افت و خیزهایی مواجه است.

با توجه به نتایجی که بیان شد، اگرچه سرعت باد در دهه گذشته کاهش یافته است؛ اما هنوز شهر منجیل دارای پتانسیل بالایی برای بهره‌برداری از باد در زمینه‌های مختلف است؛ از این رو بررسی راهکارهای افزایش تولید انرژی پاک از طریق انرژی باد، بررسی

- Chang, T. P. (2011). Estimation of wind energy potential using different probability density functions. *Applied Energy*, 88(5), 1848-1856.  
<https://ideas.repec.org/a/eee/appene/v88y2011i5p1848-1856.html>
- Chang, T.-J., Chen, C.-L., Tu, Y.-L., Yeh, H.-T., & Wu, Y.-T. (2015). Evaluation of the climate change impact on wind resources in Taiwan Strait. *Energy Conversion and Management*, 95, 435-445.  
[https://www.researchgate.net/publication/276452313\\_Evaluation\\_of\\_the\\_climate\\_change\\_impact\\_on\\_wind\\_resources\\_in\\_Taiwan\\_Strait](https://www.researchgate.net/publication/276452313_Evaluation_of_the_climate_change_impact_on_wind_resources_in_Taiwan_Strait)
- De Freitas, C. R. (2003), Tourism climatology: evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector. *International Journal of Biometeorology*, 48(1).  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12739109/>
- GÜLERSOY, T., & ÇETİN, N. S. (2010). Menemen bölgesinde rüzgar türbinleri için Rayleigh ve Weibull dağılımlarının kullanılması. *Politeknik Dergisi*, 13(3).  
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/politeknik/issue/33086/368229>
- Masoodian, S. (2011). The climate of Iran. Sharia Toos publication, p193.  
<https://scholar.google.com/citations?user=-N2LhoAAAAJ&hl=en>
- Matzarakis, A. (2006), Weather-and climate-related information for tourism. *Tourism and Hospitality Planning & Development*, 3(2).  
[https://www.researchgate.net/publication/233758628\\_Weather-and\\_Climate-Related\\_Information\\_for\\_Tourism](https://www.researchgate.net/publication/233758628_Weather-and_Climate-Related_Information_for_Tourism)
- Michailidou, A. V., Vlachokostas, C., & Moussiopoulos, N. (2016), Interactions between climate change and the tourism sector: Multiple-criteria decision analysis to assess mitigation and adaptation options in tourism areas. *Tourism Management*, 55.  
<https://ideas.repec.org/a/eee/touman/v55y2016icp1-12.html>
- فرج‌زاده. منوچهر؛ م رازی (۱۳۹۰). بررسی توزیع زمانی و مکانی توفان‌ها و بادهای شدید در ایران، نشریه پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی). دوره بیست و چهارم. شماره ۲. صفحات ۳۲-۲۲.  
<https://www.sid.ir/Fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=152451>
- قهرمان. نوذر؛ ابوذر قره‌خانی (۱۳۸۹). بررسی روند تغییرات زمانی سرعت باد در گستره اقلیمی ایران، محله آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۱. جلد ۴. صفحات ۴۳-۳۱.  
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=106839>
- مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۹۱). آب و هوای ایران. شریعه توس.  
<https://www.gisoom.com/book/1842450>
- Alamdari, P., Nematollahi, O., & Mirhosseini, M. (2012). Assessment of wind energy in Iran: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 836-860.  
<https://scholar.google.com/citations?user=QL9SwkYAAAAJ&hl=uk>
- Barton, B. T. (2014). Reduced wind strengthens top-down control of an insect herbivore. *Ecology*, 95(9), 2375-2381.  
<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1890/13-2171.1>
- Becken, S. (2010), The importance of climate and weather for tourism: literature review *Land Environmental & people*.  
[https://www.researchgate.net/publication/47929582\\_The\\_importance\\_of\\_climate\\_and\\_weather\\_for\\_tourism\\_literature\\_review](https://www.researchgate.net/publication/47929582_The_importance_of_climate_and_weather_for_tourism_literature_review)
- Bilir, L., Imir, M., Devrim, Y., & Albostan, A. (2015). Seasonal and yearly wind speed distribution and wind power density analysis based on Weibull distribution function. *international journal of hydrogen energy*, 40(44), 15301-15310.  
<https://scholar.google.com/citations?user=VF4bA5sAAAAJ&hl=fa>

- Wang, J., Hu, J., & Ma, K. (2016). Wind speed probability distribution estimation and wind energy assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 881-899.  
<https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v60y2016icp881-899.html>
- Westerberg, V. Jacobsen, J. B. & Lifran, R. (2013), The case for offshore wind farms, artificial reefs and sustainable tourism in the French mediterranean. *Tourism Management*, 34.  
[http://macroeointern.dk/pdf-reprints/Westerberg\\_TM\\_2013.pdf](http://macroeointern.dk/pdf-reprints/Westerberg_TM_2013.pdf)
- Yılmaz, V., & Çelik, H. E. (2008). A statistical approach to estimate the wind speed distribution: the case of Gelibolu region.  
<https://www.semanticscholar.org/paper/A-Statistical-Approach-to-Estimate-the-Wind-Speed-Yilmaz-%C3%87elik/a51d96faab1d59205673e082465de7b3d42d3757>
- Morgan, E. C., Lackner, M., Vogel, R. M., & Baise, L. G. (2011). Probability distributions for offshore wind speeds. *Energy Conversion and Management*, 52(1), 15-26.  
<https://pennstate.pure.elsevier.com/en/publications/probability-distributions-for-offshore-wind-speeds>
- Mostafaeipour, A., & Abarghoeei, H. (2008). Harnessing wind energy at Manjil area located in north of Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(6), 1758-1766.  
<https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v12y2008i6p1758-1766.html>
- Ouarda, T. B. M. J., Charron, C., Shin, J. Y., Marpu, P. R., Al-Mandoos, A. H., Al-Tamimi, M. H., ... & Al Hosary, T. N. (2015). Probability distributions of wind speed in the UAE. *Energy Conversion and Management*, 93, 414-434.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890415000400>
- Pes, M. P., Pereira, E. B., Marengo, J. A., Martins, F. R., Heinemann, D., & Schmidt, M. (2017). Climate trends on the extreme winds in Brazil. *Renewable Energy*, 109, 110-120.  
<https://ideas.repec.org/a/eee/renene/v109y2017icp110-120.html>

