بررسی احتمال رخداد توفان‌های فرین در دریاهای ساحلی مورد: کرانه‌های شبه جزیره بوشهر

تقی طاوسی[۱]
محمود خسروی[۲]
زینب لطفی پور[۳]

۱، ۲. گروه اقلیم شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

***مسئول مکاتبات:**
t.tavousi@gep.usb.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۳۰
کد مقاله: ۱۳۹۳۰۱۰۱۷۳
این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دانشجویی می‌باشد.

چکیده

توفان‌های شدید یکی از پدیده‌های طبیعی است که روی محیط زیست آبزیان نقش به سزایی دارد و برای دریانوردانی که به اکوسیستم‌های دریایی وابستگی دارند نیز یک مخاطره محسوب می‌شود. در این پژوهش جهت بررسی احتمال رخداد تندبادهای فرین کرانه‌های بندر بوشهر با مدل آماری تجزیه و تحلیل سری‌های جزیی (Partial series)، آمار روزانه بیشینه سرعت باد ایستگاه هواشناسی دریایی بوشهر در سال‌های (۱۳۸۹- ۱۳۵۶) فراهم شد. صحت و همگنی داده‌ها با کمک آزمون دنباله‌ها (Run Test) انجام شد. در این مدل، توفان‌هایی که میانگین فراوانی آن‌ها بین ۳ تا ۵ بار در سال باشد، پایه پیش بینی را می‌سازند. بنابراین، سرعت باد پایه ۱۸ متر بر ثانیه تعیین شد. چرا که ماتریس داده‌های دیده‌بانی شده در محیط (Mat lab)، گویای این است که مجموع فراوانی رخداد تندبادهای با سرعت برابر یا بیش‌تر از سرعت پایه، ۱۳۹ روز در دوره آماری (میانگین سالانه ۴/۱ روز) بوده است. در این میان، سال ۱۳۷۲ خورشیدی با ۲۰ روز توفانی، دارای بیش‌ترین فراوانی رخداد تندباد بود. بررسی فراوانی شمار تندبادها در بازه ماهانه و فصلی بیانگر این است که مرداد و شهریور کم‌ترین و اردیبهشت از بیش‌ترین روز توفانی برخوردارند. زمستان نیز توفانی‌ترین (۳۹ درصد) و تابستان کم توفان‌ترین فصل (۲ درصد) بوشهر به شمار می‌روند. پیش‌بینی رخداد روزهای توفانی نشان می‌دهد با احتمال رخداد بیش از ۹۹ درصد در دوره بازگشت یک ساله، سرعت تندبادهای حدی از ۲۲ متر در ثانیه بیش‌تر خواهد بود. تندترین توفان‌های بوشهر که مدل برای دوره بازگشت صد ساله پیش‌بینی کرده است می‌تواند به ۳۵/۴۱ متر در ثانیه بالغ شود.

واژگان کلیدی: بادهای فرین، دریای ساحلی، مدل سری‌های جزیی، بوشهر.

مقدمه

در حال حاضر پدیده‌های فرین آب و هوایی در کانون توجه پژوهشگران قرار دارند زیرا فراوانی، مدت و حساسیت آستانه‌های اقلیمی افزایش یافته است. پژوهش‌ها گویای این مهم است که نزدیک به ۹۰ درصد از رخداد مخاطرات طبیعی جهان، آب و هوایی هستند. اهمیت بررسی رخداد سرعت‌های فرین باد به ویژه در پهنه‌های کم و بیش هموار مانند کرانه‌های دریایی در این است که توفان بیش از ۳۰ درصد از سهم مخاطره‌های آب و هوایی را در برمی‌گیرد و پس از سیل (۳۵ درصد) رتبه دوم این گروه را دارد (Houghton *et al., 1996*).

توفان‌های شدید یکی از پدیده‌های طبیعی است که بر محیط زیست آبزیان نقش به سزایی دارد و برای دریانوردانی که به اکوسیستم‌های دریایی وابستگی دارند نیز یک مخاطره محسوب می‌شود. توفان یک پدیده آب و هوایی است که نقشی برجسته در زندگی انسان و برنامه‌ریزی‌های حال و آینده او دارد و همواره یکی از پایه‌های برنامه‌ریزی محیطی می‌باشد (کاویانی و علیجانی، ۱۳۸۶). تندباد که از آشفتگی شدید اتمسفری و

اختلال شدید هوا ناشی می‌شود، جریان بسیار شدیدی از هواست که در مسیر خود افتادن درختان، فرو ریختن ساختمان‌ها، شکستن شیشه‌ها و ... را موجب می‌گردد و مناطق وسیعی را در هم می‌کوبد (رازجویان، ۱۳۸۶).

رخداد تندبادهای با سرعت بیش از ۱۰۰ کیلومتر در ساعت در گستره ایران زمین دور از انتظار نیست. در این میان می‌توان به رخداد توفان‌های هیجدهم مرداد سال ۱۳۸۵ شهر زابل، هفدهم اردیبهشت ۱۳۸۷ دهلران، شانزدهم آذر ۱۳۸۸ اردبیل، سوم اسفند ۱۳۸۸ گلپایگان، بیست و چهار اسفند ۱۳۸۸ شهرستان‌های ماکو، نقده و پیرانشهر، بیست و ششم اسفند ۱۳۸۸ مهاباد، نهم فروردین ۱۳۸۹ استان‌های زنجان و اردبیل، بیست اردیبهشت ۱۳۸۹ شهر اردبیل اشاره نمود (طاوسی و رئیس پور، ۱۳۸۹).

پژوهش‌های فراوانی برای شناخت ویژگی تندبادها در ایران و کشورهای دیگر انجام گرفته است. بررسی عامل طبیعی آتش سوزی‌های جنگل‌ها و مراتع آمریکا گویای نقش بارز صاعقه‌های ناشی از توفان‌های تندری می‌باشد (Geshunove and Westerling, 2003). وان دن برینک (Van Den Brink) و اپستیق (Opesteegh) اثر کلی بادهای سریع در مقیاس همدیدی در اقلیم حال و آینده را ارزیابی کردند. آن‌ها در کار خود بادهایی با سرعت خیلی زیاد با دوره‌های بازگشت ۱۰۳ ساله را ارزیابی و تحلیل نموده‌اند (Brink *et al*., 2004).

کاربرد نوعی سیستم استنباطی برای محاسبه نیرو و سرعت باد در منطقه آناتولی مرکزی در ترکیه به کار گرفته شده که تحت عنوان ANFIS و بر اساس ویژگی طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها، سرعت باد اندازه‌گیری شده و نیز ویژگی ناهموار بودن سطوح، قدرت و سرعت باد پیش‌بینی می‌شود (Cam, 2005). در پژوهشی با عنوان تحلیل وضعیت همدیدی موثر در انتقال گرد و غبار شمال آفریقا از روی دریای مدیترانه به جنوب و مرکز اروپا مشخص شد که کاربرد روش‌های همدیدی در دامنه‌ی گسترده‌ای از موضوعات از قبیل پیش‌بینی آب و هوا، ایمنی رفت و آمد خودروها، کشاورزی، زیست‌شناسی دریایی، مسائل بهداشتی و مهم‌تر از همه در پیش‌بینی پدیده‌های گرد و غبار می‌تواند مفید باشد (Lin, 2002).

تا کنون چندین پژوهش با استفاده از مدل آماری تجزیه و تحلیل سری‌های جزیی (Partial series) انجام شده است و توانایی این مدل را برای پیش‌بینی احتمال رخداد تندبادهای فرین در دوره‌های بازگشت کوتاه مدت و بلند مدت به روشنی آشکار ساخته است. چنان که نتایج تحلیل آماری سرعت توفان‌های شدید دشت سیستان در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله نشان داد که وزش تندبادهایی با سرعت نزدیک به ۱۴۴ کیلومتر در ساعت در دشت کم و بیش هموار سیستان محتمل است (طاوسی و رئیس‌پور، ۱۳۸۹). لطفی‌پور (۱۳۹۱) نیز با کمک این روش آماری به تحلیل همدید بادهای شدید شهرستان بوشهر پرداخته است. همچنین تندبادهای شرق اصفهان بر پایه بررسی بیشینه روزانه سرعت باد با مدل آماری تجزیه و تحلیل سری‌های جزیی و نیز با استفاده از مدل ویبول بررسی شده است. این پژوهش احتمال وزش بادهایی با سرعت ۲۰ تا ۳۰ متر در ثانیه را برای منطقه شرق اصفهان پیشگویی کرده است (خدابنده، ۱۳۹۲). باید گفت شرق اصفهان بخشی از چاله گاوخونی را تشکیل می‌دهد که باد در آن به آسانی کانالیزه می‌شود. در ضمن فرودگاه بین المللی شهید بهشتی اصفهان نیز در همین بخش جای گرفته است. دست آورد پژوهش دیگری که سری‌های جزیی بیشینه روزانه سرعت باد در استان کرمانشاه را با روش تجزیه و تحلیل سری‌های جزیی تحلیل کرده، گویای این است که احتمال وزش بادهای شدید در هر سال با سرعتی دست کم برابر با ۱۸ متر در ثانیه در استان کرمانشاه نزدیک به ۱۰۰ درصد است (طاوسی و همکاران، ۱۳۹۲).

اهمیت کاهش پیامدهای ناگوار توفان در هر محل مستلزم بررسی سرعت، جهت و پراکندگی فصلی وزش بادهای فرین در آن جاست. ضرورت پیشگیری از ویرانی‌های زیست محیطی، شناخت ویژگی‌های توفان‌های هر محل و افزایش دقت در پیش‌بینی رخداد بادهای فرین را آشکار می‌سازد. بنابراین مطالعه و شناخت تندبادها و پیش‌بینی احتمال رخداد آن‌ها طی دوره‌های بلند مدت ضروری به نظر می‌رسد. شناخت این پدیده می‌تواند به تعیین آستانه آسیب‌پذیری سازه‌های بندری، برنامه‌ریزی کارهای مربوط به ماهیگیری، زیست‌شناسی دریا، بازرگانی، گردشگری، طراحی سازه‌های مقاوم، کاهش خسارات و مدیریت اکوسیستم‌های دریایی کمک کند.

هدف این پژوهش، پیش بینی رخداد تندبادهای فرین کرانه‌های دریایی بوشهر به منظور پیشگیری از آسیب‌های زیست محیطی است. توفان‌های شدیدی که نه تنها روی محیط زیست آبزیان خلیج فارس نقش به سزایی دارند که برای دریانوردان، ماهیگیران و هر آنچه که به

اکوسیستم‌های دریایی این محل وابستگی دارند نیز یک مخاطره محسوب می‌شود. به هر روی، با تعیین احتمال سرعت وزش بادهای فرین دریایی بوشهر در دوره‌های بازگشت مختلف می‌توان آسیب‌های زیست محیطی آن را به کمینه ممکن کاهش داد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی آماری تندبادهای فرین کرانه‌های بوشهر، داده‌های روزانه بیشینه سرعت باد ثبت شده در ایستگاه هواشناسی همدید دریایی بوشهر در سال‌های (۱۳۸۹- ۱۳۵۶) به عنوان نمونه انتخاب شد. این پایگاه با بلندی ۸/۴ متر ارتفاع از سطح دریا در عرض جغرافیایی ۲۸:۵۴ شمالی و طول ۵۰:۴۹ خاوری جای دارد. در گام نخست صحت سنجی و آزمون همگنی داده‌های روزانه باد با استفاده از آزمون دنباله‌ها (Run Test) انجام شد. با توجه به اینکه در برخی از سال‌ها چندین تندباد رخ می‌دهد که سرعت آن‌ها از بالاترین سرعت توفان در سال‌های دیگر بزرگ‌تر است و بایستی از نظر جلوگیری از خسارات آن‌ها و ایمنی سازه‌ها مد نظر قرار گیرند. بنابراین برای پیش‌بینی احتمال رخداد بزرگ‌ترین توفان‌ها از مدل تجزیه و تحلیل سری‌های جزیی (Partial series) استفاده شد. به همین منظور، داده‌های بیشینه سرعت روزانه باد در محیط Mat lab در یک ماتریس قرار گرفت و بدون توجه به تاریخ رخداد، از بزرگ به کوچک مرتب گردید. شرط درستی کاربرد این مدل آماری چنین است که میانگین رخداد پدیده‌های فرین (λ) مانند شمار روزهای توفانی باید بین ۳ تا ۵ بار در بازه مشخص زمانی قرار گیرد (در این پژوهش واحد سال گزینش شده است). به سخن دیگر، درست نمایی مدل‌سازی آماری تندبادهای گزینش شده با روش سری‌های جزیی، مشروط به وجود رابطه ۱ است (مهدوی، ۱۳۸۶) :

رابطه ۱: $۳ < \lambda < ۵$

λ = در اینجا، میانگین سالانه رخداد تندبادهای فرین در دوره آماری بر حسب روز است.

سرعت پایه (W_0) تندبادهای گزینش شده برای هر محل باید با مقیاس بافورت نیز هم‌خوانی داشته باشد. یعنی سرعت تندباد پایه در سطحی باشد که با داشتن شرط رابطه ۱، همچنان در گروه تندبادها و توفان‌های مقیاس بافورت نیز جای گیرد (جدول ۱).

پس از تعیین سرعت تندباد پایه، نخست روزهایی را که بیشینه سرعت باد برابر با سرعت تندباد پایه و یا بیش‌تر از آن بود، به عنوان روز رخداد تندباد فرین جدا شدند. سپس با کمک سرعت هریک از تندبادهای حدی (W_i)، میانگین سرعت تندبادهای فرین ($\overline{W}$) در دوره آماری مورد مطالعه محاسبه شده است.

رابطه ۲: $\lambda = \frac{M}{N}$

رابطه ۳: $\beta = \sum_{i=1}^{M}(W_i - W_0)/M$

رابطه ۴: $\overline{W} = \left(W_0 + (\beta \times \ln\lambda)\right) + (0.5772 \times \beta)$

در اینجا:

M = شمار روزهای رخداد تند بادهای فرین با سرعت باد مساوی یا بیش از سرعت باد پایه؛ N = دوره آماری به سال؛

λ = میانگین سالانه شمار روزهای توفانی با سرعت باد مساوی یا بیش از سرعت باد پایه؛ ۰/۵۷۷۲ = ثابت اولر (Euler Constant)؛

W_i = سرعت هر یک از تندبادهای فرین دیده بانی شده به متر در ثانیه؛ W_0 = سرعت پایه تندبادهای حدی به متر در ثانیه؛

β = ضریبی که به انحراف از سرعت پایه باد بستگی دارد؛ $\overline{W}$ = میانگین سرعت تندبادهای فرین با سرعت بیش از سرعت پایه باد.

جدول ۱: طبقه‌بندی سرعت باد به متر در ثانیه بر پایه مقیاس بافورت*.

نام باد	واژه همتا	سرعت	نیروی بافورت
هوای آرام	Calm	۰/۵	۰
هوای سبک	Light air	۰/۵–۱/۵	۱
نسیم سبک	Light breeze	۲–۳	۲
نسیم ملایم	Gentle breeze	۳/۵–۵	۳
نسیم	Moderate breeze	۵/۵–۸	۴
نسیم خنک	Fresh breeze	۸/۵–۱۰/۵	۵
نسیم تند	Strong breeze	۱۱–۱۳/۵	۶
باد	Moderate gale	۱۴–۱۶/۵	۷
تند باد	Fresh gale	۱۷–۲۰	۸
تندباد شدید	Strong gale	۲۰/۵–۲۳/۵	۹
توفان	Whole gale	۲۴–۲۷/۵	۱۰
توفان شدید	Storm	۲۸–۳۱/۵	۱۱
توفان بسیار شدید	Hurricane	۳۲<۰۰۰	۱۲–۱۷

*منبع: (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۰).

به کمک این مدل آماری می‌توان احتمال رخداد سرعت تندبادهای فرین را برای دوره‌های بازگشت متفاوت پیش بینی کرد (طاوسی و رئیس پور، ۱۳۸۹).

رابطه ۵: $$W_T = (W_0 + (\beta \times Ln\lambda) + (\beta \times LnT)$$

در اینجا:

T = دوره بازگشت به سال و $(\beta \times \ln T)$ = ضریب تناوب دوره بازگشت مشخص به سال.

W_T = احتمال رخداد سرعت تندبادهای فرین در دوره بازگشت مشخص به سال و بر حسب متر در ثانیه.

نتایج

پیش از هر بحثی، یادآوری این نکته لازم است که به توصیه هواشناسی جهانی به بادهایی توفان اطلاق می‌شود که سرعت آن‌ها از ۱۵ متر در ثانیه فراتر باشد. اما از آنجایی که هدف این مقاله بررسی شدیدترین بادهای سالانه پایگاه هواشناسی دریایی بوشهر است، بنابراین دقت شده که بادهای مورد پیش بینی دارای دو شرط زیر باشد:

شرط نخست: این که سرعت بادهای مورد بررسی بایستی بیش‌تر از ۱۵ متر در ثانیه باشد تا توصیه سازمان هواشناسی جهانی و نیز سازمان هواشناسی کشور ایران لحاظ شود.

شرط دوم: همان گونه که در بیان روش پژوهش آمده است و بر پایه هدف پژوهش، سرعت پایه شدیدترین بادهای دیده‌بانی شده در دوره آماری (۱۳۸۹ – ۱۳۶۵) به گونه‌ای انتخاب شده که میانگین فراوانی رخداد آن‌ها در سال بین ۳ تا ۵ بار باشد تا شرط رخداد بادهای فرین در بازه زمانی سالانه در روش آماری سری‌های جزیی برآورده شود. بنابراین سرعت روزانه بیشینه باد که طی ۱۰۵۹۲ روز به ثبت رسیده بود، بدون توجه به تاریخ رخداد از بزرگ به کوچک مرتب شد. سپس تعداد ۱۳۹ مورد از بزرگ‌ترین بادهای دیده‌بانی شده به عنوان توفان‌های

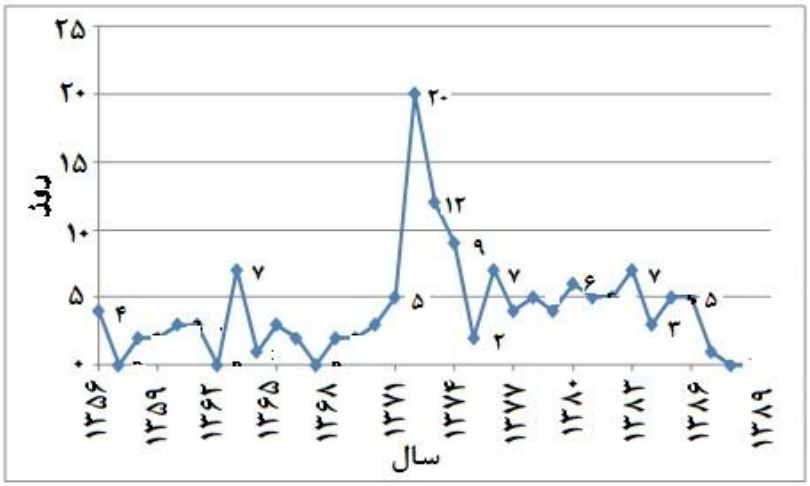
حدی پایگاه هواشناسی دریایی بوشهر برگزیده شدند. بدین ترتیب سرعت پایه توفان‌های حدی مورد مطالعه ۱۸ متر در ثانیه با میانگین رخداد ۴/۱ روز در سال تعیین شد.

توزیع توفان‌های حدی پایگاه دریایی بوشهر در سال‌های مورد مطالعه بین صفر تا ۲۰ روز متغیر بوده است. سال ۱۳۷۲ خورشیدی با داشتن ۲۰ روز توفان حدی، نزدیک به ۱۵ درصد از سرعت‌های فرین باد را داشته و نخستین رتبه فراوانی تندبادهای حدی را بدست آورده است. در صورتی که در پنج سال ۱۳۸۹، ۱۳۸۸، ۱۳۶۷، ۱۳۶۲ و ۱۳۵۷ که در دوره ۳۴ ساله آماری نزدیک به ۱۵ درصد دوره را در بر می‌گیرند، سرعت باد به آستانه ۱۸ متر در ثانیه نرسیده است (شکل ۱). خاطر نشان می‌شود که شدیدترین توفان کرانه‌های دریایی شبه جزیره بوشهر که سرعت باد تا ۳۵ متر در ثانیه (۱۲۶ کیلومتر در ساعت) رسیده است، در روز هفتم آبان سال ۱۳۷۲ خورشیدی دیده‌بانی شده است. پس سال ۱۳۷۲ هم دارای شدیدترین و هم دارای فراوان‌ترین تندبادهای فرین در دوره آماری مورد مطالعه بوده است.

بررسی پراکندگی وزش تندبادهای فرین در فصول و برج‌های گوناگون سال نیز گویای این است که دو فصل زمستان و بهار به ترتیب با ۳۸/۸ و ۳۶/۷ درصد (در مجموع ۷۵/۵ درصد)، بیش‌ترین فراوانی وزش تندبادهای فرین را در خود دارند. برج اردیبهشت با فراوانی ۲۴ روز توفان حدی در دوره آماری، بیش‌ترین توفان‌های شدید را دارد. پس از آن اسفند با فراوانی ۲۲ روز، فروردین و آبان هر کدام با ۲۰ روز و بهمن با داشتن ۱۹ روز تندبادهای فرین مورد توجه قرار می‌گیرند (جدول ۱).

اگر با توجه به طبقه بندی بافورت به بررسی این توفان‌های فرین پرداخته شود، بیش‌ترین فراوانی در دسته «تندبادها» با نیروی ۸ بافورت جای می‌گیرند. زیرا ۸۵ روز یا بیش از ۶۱ درصد از مورد از بادهای فرین دیده‌بانی شده دارای سرعتی میان ۲۰ – ۱۸ متر در ثانیه بودند. با افزایش سرعت تندبادها از فراوانی آن‌ها کاسته می‌شود تا جایی که فراوانی توفان‌های بسیار شدید در دوره آماری ۳۴ ساله به یک روز کاهش یافته است (جدول ۳).

بررسی جهت وزش تندبادهای فرین پایگاه هواشناسی بوشهر گویای این است که نزدیک به ۴۰ درصد از تندبادهای سالانه از سوی شمال باختری می‌وزند. گلباد سالانه نشان می‌دهد که امکان وزش توفان‌های با نیروی بیش‌تر از ۱۰ بافورت از جهات باختر، شمال باختر، شمال، جنوب و جنوب خاوری وجود دارد (شکل ۲).



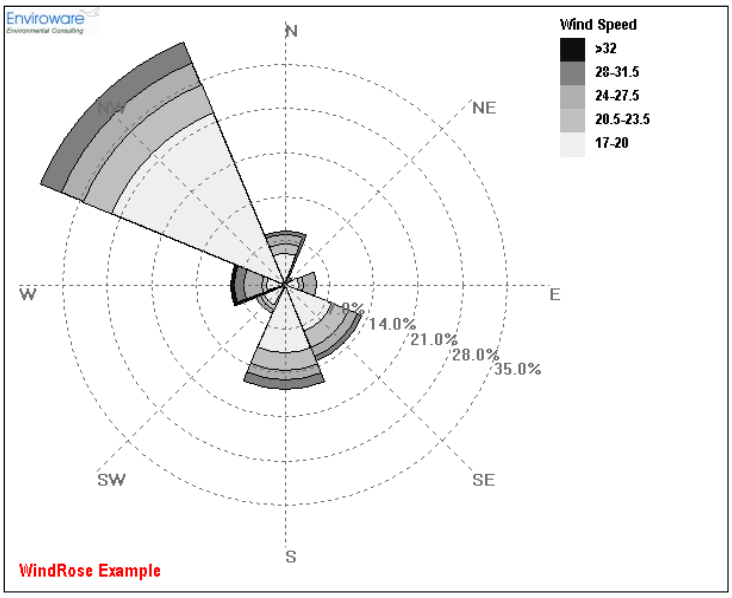
شکل ۱: فراوانی روزهای توفان حدی کرانه دریایی بوشهر (۱۳۸۹- ۱۳۵٦).

جدول ۲: پراکندگی فصلی و ماهانه تندبادهای فرین کرانه‌های بوشهر (۱۳۸۹ - ۱۳٦٥).

فصل	درصد فراوانی	فراوانی		درصد فراوانی	ماه
بهار	۳۶/۷	۵۱	۲۰	۱۴/۴	فروردین
			۲۴	۱۷/۳	اردیبهشت
			۷	۵	خرداد
تابستان	۲/۲	۳	۲	۱/۴	تیر
			۰	۰	مرداد
			۱	۰/۷	شهریور
پاییز	۲۲/۳	۳۱	۳	۲/۲	مهر
			۲۰	۱۴/۴	آبان
			۸	۵/۸	آذر
زمستان	۳۸/۸	۵۴	۱۳	۹/۴	دی
			۱۹	۱۳/۷	بهمن
			۲۲	۱۵/۸	اسفند
سالانه	۱۰۰	۱۳۹		۱۰۰	سالانه

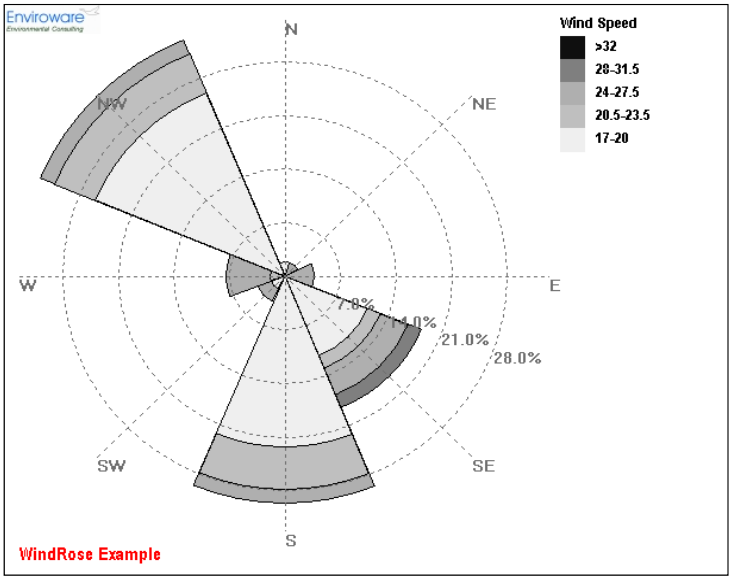
جدول ۳: فراوانی تندبادهای فرین کرانه‌های بوشهر با توجه به نیروی بافورت*.

نیروی بافورت	نام باد	سرعت	فراوانی به روز	درصد فراوانی
۸	تند باد	۱۸-۲۰	۸۵	۶۱/۲
۹	تندباد شدید	۲۰/۵-۲۳/۵	۲۱	۱۵/۱
۱۰	توفان	۲۴-۲۷/۵	۲۰	۱۴/۴
۱۱	توفان شدید	۲۸-۳۱/۵	۱۲	۸/۶
۱۲-۱۷	توفان بسیار شدید	۳۲<۰۰۰	۱	۰/۷
*دوره آماری (۱۳۸۹ - ۱۳۶۵)			۱۳۹	۱۰۰



شکل ۲: گلباد سالانه توفان‌های حدی دریایی بوشهر (۱۳۸۹ - ۱۳٦٥).

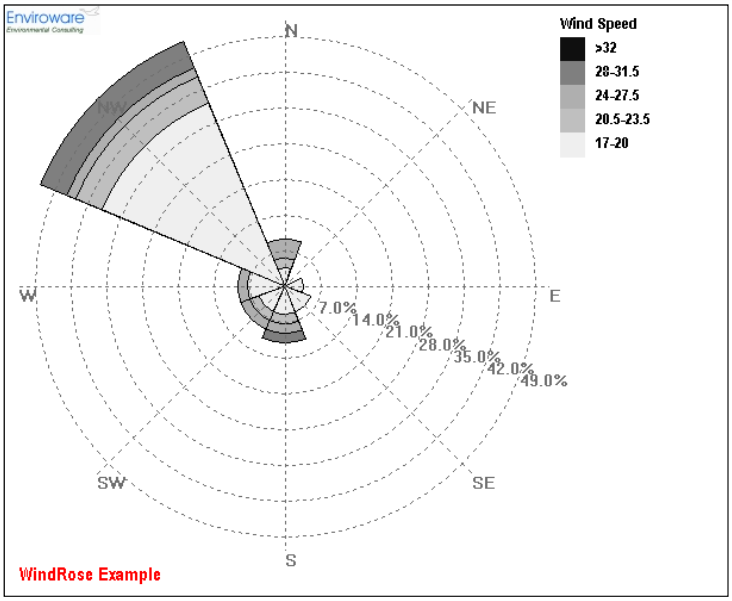
گلباد پرشمارترین فصل تندبادهای فرین یعنی زمستان نشان می‌دهد که گر چه جهت شمال باختری با ۳۵ درصد، بیش‌ترین فراوانی را دارد و جهت چیره تندبادهای حدی این فصل است. اما سرعت تندبادهای شمال باختری از نیروی ۱۰ بافورت فراتر نرفته است در صورتی که شدیدترین تندبادهای زمستانی از سوی با شدت ۱۱ بافورت از سوی جنوب خاوری وزیده‌اند (شکل ۳).



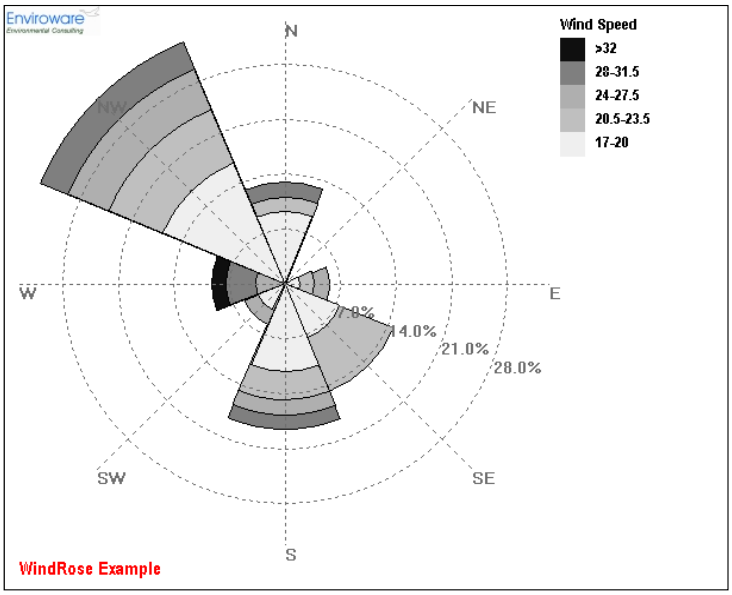
شکل ۳: گلباد تندبادهای فرین فصل زمستان (۱۳۸۹ - ۱۳٦٥).

جهت شمال باختری جهت چیره وزش تندبادهای حدی فصل بهار و پاییز است که به ترتیب ۵۲ و ۳۵ درصد از فراوانی داده‌های دیده‌بانی شده این دو فصل را به خود اختصاص داده است. باید یادآوری کرد که شدیدترین باد دوره آماری با جهت باختری مربوط به فصل پاییز (آبان) است (شکل‌های ۴ و ۵).

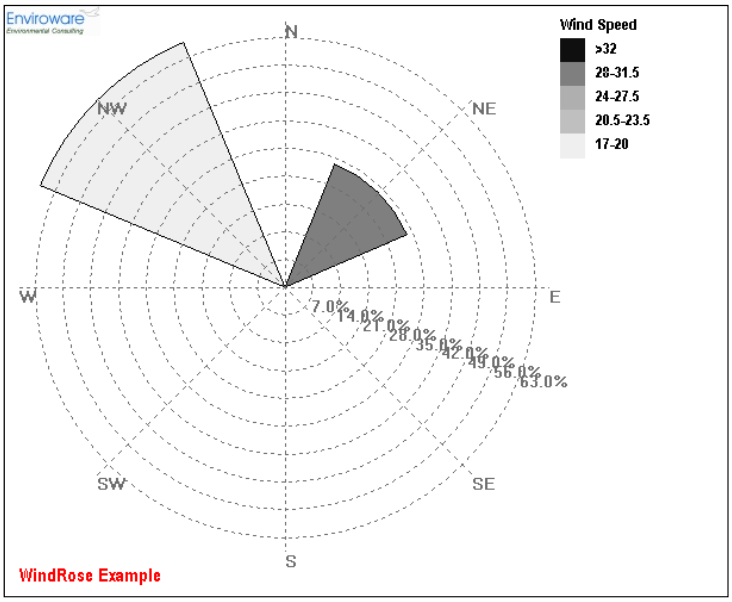
تابستان از یک سو در پایین‌ترین مرتبه فصلی از نظر فراوانی تندبادهای حدی جای دارد و در برج مرداد هیچ تندباد حدی ثبت نشده است. از سوی دیگر، شدت تندبادهای تابستانی نسبت به فصول دیگر کم‌تر است. چنان که بادهای شمال باختری که مانند فصول دیگر، جهت چیره این فصل به شمار می‌رود از ۲۰ متر در ثانیه بالاتر نبوده است. شدیدترین بادهای تابستانی که از سوی شمال خاوری وزیده‌اند نیز از نیروی ۹ بافورت یعنی «تندبادهای شدید» فراتر نرفته است (شکل ۶).



شکل ٤: گلباد تندبادهای فرین فصل بهار (۱۳۸۹ – ۱۳٦٥).

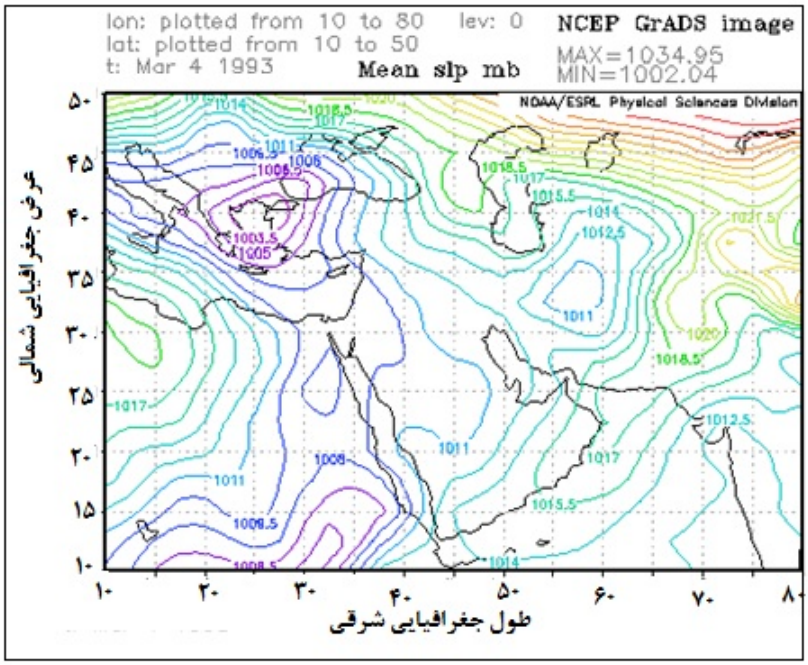


شکل ٥: گلباد تندبادهای فرین فصل پاییز (۱۳۸۹ – ۱۳٦٥).



شکل ٦: گلباد تندبادهای فرین فصل تابستان (۱۳۸۹ - ۱۳٦٥).

برای نمونه، شکل ۷ (نقشه تراز دریا روز ۱۴ اسفند ۱۳۷۱ خورشیدی) گویای گسترش زبانه‌های پرفشاری است که از ارتفاعات هیمالیا به سوی عرض‌های جنوبی تا دریای عمان پیشروی کرده است. در همین روز یک هسته کم‌فشار در نیمه شرقی ایران شکل گرفته که می‌توان آن را پیشروی کم فشار مدیترانه به سوی شرق تلقی کرد. از این رو تصادم این دو توده هوا در محل که به روشنی در نقشه مشخص است، شرایط را برای تشکیل ناپایداری پویشی (دینامیکی) و وقوع توفان شدید با سرعت ۳۰ متر بر ثانیه فراهم نموده است (لطفی‌پور، ۱۳۹۱).



شکل ۷: نقشه همفشار تراز دریا در روز توفانی ١٤ اسفند ۱۳۷۱ خورشیدی.

به منظور پیش‌بینی تندبادهای فرین کرانه‌های دریایی شبه جزیره بوشهر که با مدل آماری سری‌های جزیی انجام گرفته است. فراوانی (M) تندبادهای حدی با سرعت پایه ۱۸ متر در ثانیه برابر با ۱۳۹ داده ثبت شده مربوط به بیشینه سرعت روزانه باد بود که در ۳۴ سال دوره آماری بطور میانگین در هر سال ۴/۱ بار رخ داده است (رابطه ۲) و با رابطه ۱ سازگاری دارد.

انحراف تندبادهای حدی بوشهر از سرعت باد پایه که ضریب (β) نام دارد، برابر با ۲/۹ متر در ثانیه بدست آمده است (رابطه ۳). بر پایه این ضریب، میانگین سرعت تندبادهای فرین دیده‌بانی شده ۲۳/۷۳ متر در ثانیه (۸۵/۴ کیلومتر در ساعت) محاسبه شده است (رابطه ۴)، یعنی میانگین سرعت بادهای حدی بوشهر در مقیاس بافورت دارای نیروی ۱۰ بوده و در گروه «توفان» جای دارند.

بر پایه ضریب تناوب دوره بازگشت مشخص به سال، ضریب (β) و سرعت پایه تندبادهای فرین (۱۸ متر در ثانیه)، سرعت تندبادهای حدی در دوره‌های بازگشت ۱ تا ۱۰۰ ساله محاسبه شدند (رابطه ۵). احتمال رخداد سرعت تندبادهای فرین پیش‌بینی شده با دوره بازگشت پیوندی وارونه دارد و از رابطه ۶ پیروی می‌کند:

رابطه ۶: $P\% = \frac{1}{T} \times 100$

کاربرد این مدل نشان داد که با احتمال ۹۹/۹۹ درصد، هر ساله توفانی با سرعت ۲۲/۱ متر در ثانیه (۷۹/۵ کیلومتر در ساعت) خواهد وزید. به سخن دیگر، کرانه‌های دریایی بندر بوشهر در خلیج فارس همه ساله شاهد وزش تندبادهای شدید با نیروی ۹ بافورت خواهد بود.

احتمال رخداد تندبادهای فرین با سرعت بیش‌تر با دوره‌های بازگشت با بازه زمانی طولانی‌تر (۲ تا ۱۰۰ سال) پیوندی همسو دارد. یعنی با افزایش دوره برگشت سالانه، احتمال وزش توفان‌هایی با مقیاس بافورت بزرگ‌تر نیز بیش‌تر می‌شود. هر چند که با طولانی‌تر شدن دوره بازگشت، درصد فراوانی احتمال رخداد کمتر است. به طوری که پیش‌بینی می‌شود در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با احتمال ۱ درصد، توفان بسیار شدیدی با سرعت ۴/ ۳۵ متر بر ثانیه یعنی بیش از ۱۲۷ کیلومتر در ساعت، کرانه‌های دریایی شبه جزیره بوشهر را در نوردد (جدول ۴).

جدول ٤: احتمال رخداد تندبادهای فرین کرانه‌های دریایی بوشهر.

P%	۱	۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۹۹/۹۹
T	۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲	۱
LnT	۴/۶۰۵	۳/۹۱۲	۲/۹۹۵	۲/۳۰۲	۱/۶۰۹	۰/۶۹۳	۰
β*LnT	۱۳/۳۵	۱۱/۳۴	۸/۶۸	۶/۶۷	۴/۶۶	۲	۰
W_T m/s	۳۵/۴۱	۳۳/۴	۳۰/۷	۲۸/۷	۲۶/۷	۲۴/۱	۲۲/۱
W_T k/h	۱۲۷/۵	۱۲۰/۲	۱۱۰/۷	۱۰۳/۴	۹۶/۲	۸۶/۸	۷۹/۵
نیروی بافورت	۱۲ تا ۱۷		۱۱		۱۰		۹
نام باد	توفان بسیار شدید		توفان شدید		توفان		تندباد شدید
N =۳۴	سال		β = ۲/۹				
M = ۱۳۹	روز		$ln\ \lambda$ = ۱/۴۱				
λ = ۴/۱	روز		β .$ln\ \lambda$= ۴/۰۸				
W_0 = ۱۸	متر در ثانیه		$\overline{W}$= ۲۳/۷				متر در ثانیه

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه در برخی از سال‌ها چندین تندباد رخ می‌دهد که سرعت آن‌ها از بالاترین سرعت توفان در سال‌های دیگر بزرگ‌تر است و بایستی از نظر جلوگیری از خسارات آن‌ها و ایمنی سازه‌ها مد نظر قرار گیرند. بنابراین برای پیش‌بینی احتمال رخداد بزرگ‌ترین توفان‌ها از مدل تجزیه و تحلیل سری‌های جزیی (Partial series) استفاده شد. در مقایسه با روش ANFIS که بر اساس ویژگی طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها، و همچنین ویژگی ناهمواری سطوح سرعت باد که برای پیش‌بینی نیرو و سرعت باد در منطقه آناتولی مرکزی در ترکیه به کار رفته است (Cam, 2005)؛ مدل تجزیه و تحلیل سری‌های جزیی برای پیش‌بینی سرعت باد در ایستگاه دریایی بوشهر که سطحی کم و بیش هموار دارد، ساده‌تر و مناسب‌تر است. همچنین در مقایسه با روش‌های همدیدی که برای پیش‌گویی وضع هوا، کشاورزی، زیست‌شناسی دریایی، مسائل بهداشتی و... استفاده شده‌اند، روش‌های آماری از جمله سری‌های جزیی نیز توانسته‌اند پارامترهای آب و هوایی و هیدرولوژی را در هر محل به خوبی پیش‌بینی کنند.

در مقایسه با سریع‌ترین تندبادهای مناطق مرکزی ایران مانند یزد (۲۹ متر در ثانیه) و منطقه سیستان (۴۰ متر در ثانیه)، پیش‌بینی رخداد توفان‌های دریایی بوشهر که در دوره بازگشت صد ساله به ۳۵ متر در ثانیه بالغ می‌شود دارای اهمیت ویژه است. زیرا وزش سریع تندبادها در مناطق کم و بیش هموار دریایی و ساحلی بوشهر می‌تواند سازه‌های بندری، برنامه‌ریزی کارهای مربوط به ماهیگیری، محیط زیست شناسی دریا، بازرگانی، گردشگری و اکوسیستم‌های دریایی را با مخاطره جدی روبرو نماید. توفان‌های شدیدی که نه تنها روی محیط زیست آبزیان خلیج فارس نقش به سزایی دارند که برای دریانوردان، ماهیگیران و هر آنچه که به اکوسیستم‌های دریایی این محل وابستگی دارند نیز یک مخاطره محسوب می‌شود.

بررسی فراوانی شمار تندبادهای فرین در بازه ماهانه و فصلی بیانگر این است که برج مرداد کم‌ترین و اردیبهشت از بیش‌ترین روز بادهای حدی برخوردارند. زمستان نیز پرشمارترین (۳۹ درصد) و تابستان کم شمارترین فصل (۲ درصد) وزش بادهای فرین بوشهر به شمار می‌روند. بر پایه مدل تجزیه و تحلیل سری‌های جزئی (Partial series)، تندبادهایی که میانگین شمار رخداد سالانه آن‌ها در دوره آماری (۱۳۸۹ – ۱۳۵۶) بین ۳ تا ۵ بار در سال بود، در مجموع در ۱۳۹ روز دیده‌بانی شده‌اند. بنابراین سرعت پایه تندبادهای حدی کرانه‌های دریایی بوشهر ۱۸ متر بر ثانیه (۶۴/۸ کیلومتر در ساعت) تعیین شد. کاربرد این مدل نشان داد که با احتمال ۹۹/۹۹ درصد، هر ساله توفانی با سرعت ۲۲/۱ متر در ثانیه (۷۹/۵ کیلومتر در ساعت) خواهد وزید. به سخن دیگر، کرانه‌های دریایی بندر بوشهر در خلیج فارس همه ساله شاهد وزش تندبادهای شدید با نیروی ۹ بافورت خواهد بود. نتایج نشان داد که بیش‌ترین سرعت تندبادهای این شهر که با احتمال یک درصد برای دوره بازگشت صد ساله پیش بینی شده است می‌تواند سرعتی بیش از ۳۵ متر در ثانیه داشته باشد که با نیروی ۱۲ تا ۱۷ بافورت در طبقه توفان‌های بسیار شدید جای می‌گیرد.

منابع

آذری، ف.، ۱۳۶۳. کدها و روش‌های دیده‌بانی در هواشناسی. تهران، مرکز آموزش هواشناسی و علوم جو.

خدابنده، ا.، ۱۳۹۲. تحلیل همدید تندبادهای شرق شهرستان اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

خسروی، م. و سلیقه، م.، ۱۳۸٤. اثرات اکولوژیکی و زیست محیطی بادهای ۱۲۰ روزه سیستان. طرح پژوهشی، پژوهشکده علوم زمین و جغرافیا، انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان.

رازجویان، م.، ۱۳۸٦. آسایش در پناه باد. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.

رحیم زاده، ف. و فتاحی، ا.، ۱۳۸٤. بررسی تغییر پذیری اقلیمی در ایران با بهره گیری از مدل‌های آماری. تحقیقات منابع آب ایران.

رنجبر، ا.، پورجعفر، م. ر. و خلیجی، ک.، ۱۳۸۹. خلاقیت‌های طراحی اقلیمی متناسب با جریان باد در بافت قدیم بوشهر. مجله باغ نظر، شماره ۱۳، صفحات ۳۵-۱۷.

سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۵. مرکز پژوهش مخاطرات اقلیمی. بولتن علمی سازمان هواشناسی کشور، شماره ۳ و ۴، تابستان ۱۳۸۵، صفحات ۲۶- ۱۷.

طاوسی، ت.، رئیس پور، ک. و بیگ رضایی، ا.، ۱۳۹۲. تحلیل آماری و پیش‌بینی احتمال وقوع بادهای شدید و توفانی استان کرمانشاه. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره پیاپی ۵۱، صفحات ۱۰۶-۹۳.

طاوسی، ت. و رئیس پور، ک.، ۱۳۸۹. تحلیل آماری و پیش بینی احتمال وقوع توفان‌های شدید با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سری‌های جزیی (مطالعه موردی: منطقه سیستان). مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دانشگاه سبزوار، زمستان ۱۳۸۹، شماره ۲، صفحات ۹۳-۱۰۵.

علیزاده، ا.، کمالی، غ.، موسوی، ف. و موسوی بایگی، م.، ۱۳۹۰. هوا و اقلیم شناسی. انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه فردوسی مشهد.

قائمی، ه. و عدل، ع.، ۱۳۷۱. ناپایداری و توفان‌های رعد و برق. سازمان هواشناسی کشور، صفحات ۱۰-۷.

کاویانی، م. ر. و علیجانی، ب.، ۱۳۸٦. مبانی آب و هواشناسی. سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی در دانشگاه‌ها (سمت).

لطفی‌پور، ز.، ۱۳۹۱. تحلیل همدید بادهای شدید شهرستان بوشهر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

مهدوی، م.، ۱۳۸۵. هیدرولوژی کاربردی (جلد دوم). چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران.

Arimoto, R., 2002. Relationships to source, troposphere chemistry, transport and deposition, Earth science, No 12, pp. 30.

Barkan, J. Alpert, P. Kutiel, H. and Kishcha, P., 2005. Synoptic of dust transportation days from Africa toward Italy and central Europe. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012) > Vol. 110 Issue D7, pp. 1-14.

Brink, H.W. Vanden, G. P. and Konnen, J. D., 2004. Opsteegh, statiscs of extreme synoptic scale wind speeds in ensemble simulations of current and future climate. Netherlands, pp. 4564- 4574.

Cam, E. Y. O., 2005. Prediction of wind speed and power in the central Anatolian region of the Turkey by adaptive veuro-fuzzy inference systems (Anfis), pp. 35-41.

Geshunove, A. L. and Westerling, T., 2003. Climate and Wildfire in the Western United State, Bulletin of American Meteorology Society, Vol. 84, No. 5, pp. 595-604.

Houghton, J. T., Meira Filho L. G., Callander, B. A., Harris, N., Kattenberg A., Maskell K., 1996. Climate Change. The Science of Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 572 p.

Jason, C. S., 2002. Synoptic and mesoscale structure of a Wasatch mountain winter storm, department of meteorology the University of Utah, December 2002.

Lin, G., 2002. Dust storm in the 1930 and sand storm in 1999 in the USA. Global Alarm; dust and sand storm from the world dry lands, pp. 160-170.

Romanoff, B., 1961. Dust storms in Gobi an Zone of Mongolia, The First PRC Mongolia Workshop on climate change in arid and semi - arid Region over the Central Asia. 21 p.

Stewart, D. A. and Essenwanger. O. M., 1987. Freqeuncy distribution of wind speed near the surface. Journal of Applied Meteorology No 17, pp. 633-642.