

تحلیل آماری و پیش‌بینی احتمال وقوع طوفان‌های شدید با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سری‌های جزئی (مطالعه موردی : منطقه سیستان)

تقی طاوسی*، استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
کوهزاد رئیس پور، دانشجوی دکترای اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

چکیده

حدود ۹۰ درصد از بلایای طبیعی که در جهان رخ می‌دهند در ارتباط با عوامل اقلیمی است و در میان آن‌ها، طوفان‌ها بعد از سیل، حدود ۳۰ درصد از سهم این بلایا را به خود اختصاص می‌دهد. این پدیده یکی از مخاطره‌آمیزترین بلایای طبیعی است که منشأ اقلیمی داشته و همه ساله خسارات مالی و جانی جبران‌ناپذیری را تحمل می‌نماید. منطقه سیستان یکی از مناطق طوفان‌خیز است که در جنوب شرق ایران و در شمال استان سیستان و بلوچستان واقع شده است. به منظور بررسی آماری طوفان‌های با سرعت مساوی و بیشتر از 24 m/s (پایه طوفان در مقیاس بیوفورت) و پیش‌بینی احتمال وقوع طوفان‌های شدید به روش تجزیه و تحلیل سری‌های جزئی (Partial series)، از داده‌های بادسنجی ایستگاه سینوپتیک زابل طی یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۵۹-۱۳۸۸) استفاده گردید. صحت و همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون دنباله‌ها (RunTest) تأیید شد. از میان داده‌های ثبت شده در طول دوره آماری، ۱۶۲ روز طوفانی مشاهده شد. بیشترین روزهای طوفانی مربوط به سال ۱۳۶۲ با ۶۴ روز طوفانی است. در کل سه مورد از طوفان‌ها، دارای سرعت بیشینه 40 m/s (144 km/h) بوده که بیانگر شدت طوفان‌ها در منطقه سیستان می‌باشد. فصل تابستان و تیرماه از بیش‌ترین و فصل زمستان و دی ماه از کمترین روزهای طوفانی فصلی و ماهانه برخوردار بودند. ترسیم گلطوفان سالانه و فصلی به کمک نرم‌افزار WRPLOT نشان داد جهت طوفان‌های چیره منطقه، شمال شمال غربی (NNW)، شمال (N) و شمال غربی (NW) می‌باشد. نتایج، احتمال وقوع شدیدترین طوفان‌های سیستان را در دوره‌های بازگشت مختلف پیش‌بینی می‌کند. احتمال وقوع بالاترین سرعت طوفان در یک دوره بازگشت صد ساله در سیستان، تا 42 m/s (151 km/h) پیش‌بینی می‌شود. بنابراین، در برنامه‌ریزی‌های محیطی و ایمن‌سازی سازه‌ها بایستی وقوع این مخاطره طبیعی را مد نظر قرار داد تا در صورت وقوع، خسارات وارده به حداقل ممکن کاهش یابد.

واژگان کلیدی

مخاطرات طبیعی، طوفان، سری‌های جزئی، گلطوفان، سیستان.

۱- مقدمه

در سراسر جهان بلایا و مخاطراتی است که همواره جان و مال بشر را در معرض خطر قرار می دهد. در میان این بلایا، طوفان یکی از مخاطره آمیزترین آن ها می باشد و در ردیف بلایایی قرار دارد که منشأ آب و هوایی دارند (قائمی و عدل، ۱۳۷۱: ۷). پژوهش ها نشان می دهند که حدود ۹۰ درصد از بلایای طبیعی جهان در ارتباط با عوامل اقلیمی بوده و در میان آن ها، طوفان ها بعد از سیل (۳۵ درصد)، حدود ۳۰ درصد از سهم این بلایا را به خود اختصاص می دهد (سازمان هواشناسی، ۱۳۸۵: ۱۴). طوفان به آشفتگی شدید جوی و اختلال شدید هوا گفته می شود که بر اثر حرکت شدید باد و در جریان دو جبهه ی هوای سرد و گرم تولید می شود. شدت بادهای طوفانی به قدری زیاد است که به صورت امواج هوایی سریع به حرکت در می آید و در مسیر خود باعث قطع درختان، خرابی ساختمان ها و شکستن شیشه ها می شود و مناطق وسیعی را در هم می کوبد (رازجویان، ۱۳۸۶: ۵). سرعت طوفان گاه به صدها کیلومتر در ساعت می رسد (Lin, 2002: 52). در این میان می توان به طوفان ۸۵/۵/۱۸ زابل، ۸۷/۲/۱۷ دهلران، ۸۸/۱۰/۱۶ اردبیل، ۸۸/۱۲/۳ گلپایگان، ۸۸/۱۲/۲۴ در شهرستان های ماکو، نقده و پیرانشهر، ۸۸/۱۲/۲۶ مهاباد، ۸۹/۱/۹ در زنجان و اردبیل و ۸۹/۲/۲۰ در اردبیل اشاره نمود. این طوفان ها، علاوه بر ایجاد خسارات مالی زیاد به تأسیسات، شبکه ها و مناطق مسکونی، باعث کشته شدن حدود ۱۰ نفر و زخمی شدن بیش از ۱۰۰ نفر گردید (سایت آفتاب، ۱۳۸۹). آمار و ارقام بیانگر اهمیت بسیار زیاد مسئله است. گرچه بلایای طبیعی اصولاً ماهیتی پیچیده دارند و در شرایط کنونی بسیاری از آن ها خارج از کنترل انسان به نظر می رسند؛ اما میزان آسیب پذیری نتیجه عملکرد عوامل انسانی است و همان طوری که گفته شده پیشگیری از حادثه، بهتر از واکنش در مقابله حادثه است، بنابراین ارتقای دانش و آگاهی های عمومی، خود عامل مهمی در کاهش اثرات طوفان محسوب می گردد.

درک درست از پدیده ی طوفان، منجر به پیش بینی، پیشگیری و تقابل منطقی و درست با آن خواهد شد. به عبارت دیگر، به کمینه رساندن خطرات ناشی از رخداد طوفان، با انتخاب راهکارهای مؤثر ممکن خواهد بود. به هر حال سؤال اصلی پژوهش این است که: آیا پیش بینی وقوع شدیدترین طوفان های یک محل در دوره های بازگشت مختلف امکان پذیر است؟

۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

هنگامی که هوای قسمتی از زمین گرم تر از نواحی مجاور باشد، حجم آن افزایش می یابد. یعنی در جهت عمودی حرکت کرده و گسترش می یابد. در منطقه گرم شده، در روی زمین، مولکول های هوا در اثر کسب انرژی حرارتی گرم و سبک شده و صعود می کنند؛ بنابراین فشار هوا در روی زمین نسبت به نواحی مجاور کمتر شده و در نتیجه بر روی منطقه گرم، مراکز کم فشار یا فروبار ایجاد شده به عکس بر روی منطقه سرد، مرکز پرفشار یا فرا بار پدید می آید (جعفرپور، ۱۳۸۵: ۱۱۲). پس هوا از منطقه پرفشار به منطقه کم فشار جریان پیدا می کند. شیب تغییرات فشار عامل اصلی حرکت هوا به صورت باد است. هر چه شیب تغییرات فشار میان مراکز فشار بیش تر باشد منجر به افزایش سرعت باد خواهد شد. هرگاه سرعت باد از آستانه های مشخصی که در این تحقیق مقیاس بوفورت (Beaufort) ملاک عمل قرار گرفته است، عبور نماید، بستگی به میزان سرعت، به آن عناوین مختلفی از باد آرام تا هاریکن اطلاق می شود (جدول ۱). سرعت یک کمیت

برداری است که دارای دو مؤلفه سمت و تندی می‌باشد. تندی باد برحسب متر بر ثانیه، گره بر ثانیه، کیلومتر بر ساعت، مایل بر ساعت و... اندازه‌گیری می‌شود. در مورد بادهای شدید و طوفان‌ها، واحد کیلومتر بر ساعت نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (مهدوی، ۱۳۸۵: ۷۸). جهت باد نیز بر حسب درجه و شانزده جهت اصلی و فرعی به ترتیب شامل شمال، شمال شرقی، شرق، جنوب شرقی، جنوب، جنوب غربی، غرب، شمال غربی و... اندازه‌گیری می‌شود (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۶: ۱۸۷).

جدول ۱. طبقه بندی سرعت باد بر اساس شاخص بیوفورت

نیروی بیوفورت	سرعت			شرح وضعیت	
	M/S	Mi/h	Knot		
۰	۰/۵	۱	۱	Calm	وضعیت آرام
۱	۰/۵-۱/۵	۱-۳	۱-۳	Light air	هوای سبک
۲	۲-۳	۴-۷	۴-۶	Light breeze	نسیم سبک
۳	۳/۵-۵	۸-۱۲	۷-۱۰	Gentle breeze	نسیم ملایم
۴	۵/۵-۸	۱۳-۱۸	۱۱-۱۶	Moderate breeze	باد خفیف
۵	۸/۵-۱۰/۵	۱۹-۲۴	۱۷-۲۱	Fresh breeze	نسیم خنک
۶	۱۱-۱۳/۵	۲۵-۳۱	۲۲-۲۷	Strong breeze	باد تند
۷	۱۴-۱۶/۵	۳۲-۳۸	۲۸-۳۳	Moderate gale	باد نسبتاً شدید
۸	۱۷-۲۰	۳۹-۴۶	۳۴-۴۰	Fresh gale	باد شدید
۹	۲۰/۵-۲۳/۵	۴۷-۵۴	۴۱-۴۷	Strong gale	تندیاد
۱۰	۲۴-۲۷/۵	۵۵-۶۳	۴۸-۵۵	Whole gale	طوفان
۱۱	۲۸-۳۱/۵	۶۴-۷۲	۵۶-۶۳	Storm	طوفان شدید
۱۲-۱۷	>۳۲	> ۷۲	> ۶۴	Hurrican	طوفان بسیار شدید

مأخذ: علیزاده و همکاران، ۱۳۸۶

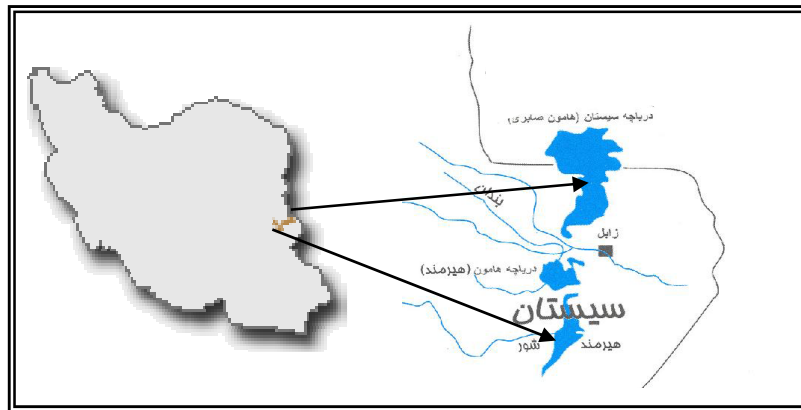
بشر از ابتدای خلقت با بلایای طبیعی دست به گریبان بوده است و همواره سعی نموده تا با شناخت آن‌ها، حوادث ناشی از آن را به گونه‌ای کاهش دهد. یکی از عواملی که همیشه مورد بررسی و تحقیق بوده باد و پدیده‌های مربوط به آن است. طوفان به عنوان یکی از پدیده‌های اقلیمی، نقش بسیار مؤثری در زندگی انسان و برنامه‌ریزی‌های حال و آینده او داشته و همواره یکی از پایه‌های مطالعاتی برنامه‌ریزی محیطی می‌باشد. طوفان یکی از بلایای طبیعی است که وقوع آن طی سال‌های گذشته خسارات سنگینی بر زیرساخت‌های توسعه کشور ایران وارد ساخته است. بنابراین شناخت و بررسی طوفان که نقش به‌سزایی در زیست بوم داشته و به عنوان یکی از مخاطرات طبیعی، اثرات سیستمی در محیط زیست دارد، ضروری به نظر می‌رسد. باد که عامل اصلی ایجاد آن، شیب تغییرات فشار بین نقاط پرفشار و کم فشار می‌باشد (کاویانی و علیجانی، ۱۳۸۶: ۱۴۷). هنگامی که سرعتش از یک آستانه مشخص بیش‌تر شود، فعالیت تخریبی آن آغاز شده و منجر به وقوع طوفان می‌گردد (Hangen, 1976: 107). نیروهای باد در طول سال و حتی در طول روز تا حد زیادی تغییر می‌نمایند (Zobeck, 1991: 112). به منظور تعیین سهم بادهای شدید و طوفانی، دانستن ویژگی‌های باد منطقه (عمدتاً سرعت و جهت) در طول شبانه روز ضروری بوده و بنابراین توزیع فراوانی سرعت باد در هر منطقه حائز اهمیت است (Stewart & Essenwanger, 1987: 1633). مرجانی با استفاده از نقشه‌های همدید، عامل مؤثر بر وقوع طوفان در خراسان را، وجود مرکز کم فشار در نقاط مختلف ایران می‌داند (مرجانی، ۱۳۷۲: ۱۴). دایان با انجام روش‌های آماری و خوشه‌بندی بر روی طوفان‌های شدید در اسرائیل، سه نوع طوفان با ویژگی‌های تخریبی را شناسایی کرده است (Dayan, 1986: 537). بررسی عوامل ژنتیکی بادهای ۱۲۰ روزه

سیستان نشان داده است که طوفان های سریع با سرعت حدود ۸۰ گره در ثانیه هنگامی رخ می دهد که منطقه ای تاوایی مثبت بادهای غربی در مجاورت زبانه کم فشار فرعی موسمی قرار گیرد (خسروی و سلیقه، ۱۳۸۴: ۱). نتایج حاصل از آنالیز داده ها، بیانگر بیشترین احتمال وقوع بادهای فرساینده شهر زابل به ترتیب در ماه های جولای و آگوست با جهت شمال شمال غربی (NNW) بوده است (گندمکار و همکاران، ۱۳۸۶: ۹۶). با مطالعه پیش بینی ساعتی سرعت و جهت باد ایستگاه زابل با استفاده از زیر مدل وضعیت هوا در مدل WEPS، با احتمال ۹۹ درصد، توزیع فراوانی ویبول، مدلی قابل قبول برای پیش بینی سرعت و جهت بادهای فرساینده در منطقه زابل بوده است (مصطفی و همکاران، ۱۳۸۷: ۸۵). با توجه به موقعیت شهرستان زابل و قرارگیری آن در دشت سیستان، وقوع طوفان کراراً اتفاق می افتد. رخداد بادهای صدوبیست روزه از ویژگی های ذاتی منطقه است و معمولاً از اوایل خرداد شروع و تا اوایل مهر به پایان می رسند (علیجانی، ۱۳۸۵: ۷۶). بنابراین تشکیل طوفان های شدید شن و ماسه در این منطقه، مطالعه و شناخت شدیدترین طوفان های به وقوع پیوسته و پیش بینی احتمال وقوع آن ها را طی دوره های بلند مدت، ضروری می نماید. با شناخت این پدیده می توان در تعیین آستانه آسیب پذیری سازه ها در مناطق شهری و روستایی، طراحی سازه های مقاوم در آینده، کاهش خسارات و مدیریت آن، به وضعیت مطلوب دست یافت.

۳- موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، سیستان، در جنوب شرق ایران و شمال استان سیستان و بلوچستان واقع می باشد که به لحاظ اقلیمی در گروه اقلیم بیابانی میانه قرار گرفته است (احمدی، ۱۳۷۰، ۱۴). در دشت سیستان همان طوری که شکل (۱) نشان می دهد علاوه بر شهرهای مهم و پرجمعیت زابل، زهک، دوست محمد، هیرمند و ادیمی، بخش های مهمی مانند شیب آب، پشت آب، لوتک و بنجار به همراه بیش از ۷۰۰ روستا در این منطقه استقرار یافته اند (آمارنامه استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۸۵: ۴۲). وسعت منطقه حدود ۱۵۱۹۵ کیلومتر مربع و اراضی قابل کشت آن (در صورت وجود جریان آب در رود هیرمند) ۱۴۰ هزار هکتار است که ۶۷/۲ درصد از اراضی کشاورزی استان را به خود اختصاص داده است (اکبری مقدم و اعتصام، ۱۳۷۰: ۱۸). براساس آمار ۳۰ ساله هواشناسی زابل (۲۰۰۹-۱۹۸۰)، در این منطقه، به طور متوسط سالیانه بیش از ۳۰۰ روز خشکی وجود دارد. اقلیم آن به روش های گوسن و سلیانینوف، بیابانی و به روش کوپن، خشک بسیار گرم با تابستان خشک و به روش تحلیل خوشه ای بسیار کم بارش، گرم و خشک می باشد (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۶: ۱۴۶). از خصوصیات مهم اقلیمی این منطقه می توان به وزش بادهای تند (بادهای ۱۲۰ روزه سیستان)، میانگن تعداد روزهای آفتابی سالیانه بیش از ۲۶۰ روز، تابش زیاد آفتاب، دامنه زیاد تغییرات دما در شبانه روز، بارندگی متوسط سالیانه ناچیز (۶۴ میلی متر) با پراکندگی نامناسب، بالا بودن دما و تعداد ساعات آفتابی زیاد نام برد (سلیقه، ۱۳۸۲: ۴۲). مجموعه این عوامل باعث شده تا این منطقه بیشترین مقدار تبخیر بالقوه سالانه کشور (۵۰۰۰-۴۰۰۰ میلی متر در سال) را داشته باشد (راشکی و همکاران، ۱۳۸۶: ۷۵). باد ۱۲۰ روزه سیستان سهمناک ترین باد ایران بوده که سرعت وزش آن گاهی به بیش از ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت می رسد. سرچشمه این باد از فلات پامیر و صحاری هرات بوده و از سرحد شرقی افغانستان وارد خاک ایران می شود (رفاهی، ۱۳۸۵: ۱۱۷). وجود کوه ها و دریاچه در شمال سیستان و کویرهای خشک در منطقه جنوبی نیز شیو حرارتی بالایی را ایجاد کرده است (میری، ۱۳۸۴، ۴۳). از بین رفتن نیزارها در ناحیه شمال سیستان که خود عامل تثبیت بستر دریاچه محسوب می گردد، از یک سو باعث افزایش شیو حرارتی در سال های کم آب و

خشک و از طرف دیگر، وزش بادهای ۱۲۰ روزه را با شدت‌های بسیار بالا، برای منطقه سیستان به ارمغان آورده است (رئیس‌پور و همکاران، ۱۳۸۹، ۶۷).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در جنوب شرق ایران

۴- داده‌ها و روش شناسی

برای بررسی وضعیت طوفان در منطقه سیستان، از داده‌های بادسنجی ۳ ساعته سرعت و جهت باد ایستگاه سینوپتیک زابل، طی دوره‌ی آماری ۳۰ ساله (۱۳۵۹-۱۳۸۸) استفاده گردید. دوره آماری مذکور، کامل و فاقد نبود آماری بوده است (جدول ۲).

جدول ۲. مشخصات ایستگاه مورد مطالعه در منطقه سیستان

نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	دوره آماری	نوع ایستگاه
زابل	۴۸۹	۶۱ : ۲۹	۳۱ : ۰۳	۳۰ ساله (۱۳۵۹ - ۱۳۸۸)	سینوپتیک

در داده‌های هواشناسی، زاویه باد بر حسب درجه مشخص گردیده، اما نوع جهت تعیین نشده است، از این رو، در ابتدا زاویه‌های باد به صورت جهت مشخص گردید. در این پژوهش ۱۶ جهت باد مورد ارزیابی قرار گرفتند که تفاوت زاویه هر جهت باد با جهت بعدی ۲۲/۵ درجه خواهد بود. از طرفی واحد سرعت در داده‌های هواشناسی گره یا گره دریایی می‌باشد که یک گره معادل ۰/۵۱۵ متر بر ثانیه است؛ بنابراین داده‌های سرعت باد از واحد گره، به متر بر ثانیه تبدیل گردید. پس از تنظیم جدول ماتریس داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار SPSS داده‌ها مرتب گردید. برای انتخاب روزهای طوفانی، سرعت مینا 24 m/s ، براساس مقیاس بیوفورت (جدول ۲) و مورد تأیید سازمان هواشناسی (wmo) در نظر گرفته شد. بنابراین بادهای با سرعت مینا و شدیدتر از آن به عنوان روزهای طوفانی محاسبه گردید. صحت و همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون دنباله‌ها (Run Test) حاصل گردید. پس از انجام تحلیل‌های آماری، به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های بادسنجی، از نرم‌افزار WRPLOT ver 5.2 که برای انجام محاسبات آماری و رسم گلباد طراحی شده است، استفاده شد. با استفاده از قابلیت نرم‌افزار مذکور و با در نظر گرفتن سرعت مینا 24 m/s برای طوفان، به‌ترسیم گلطوفان در مقیاس‌های زمانی سالانه و فصلی اقدام گردید. با محاسبه سرعت مینای طوفان به جای سرعت پایه گلباد (حذف بادهای با سرعت کمتر از طوفان)، گلبادی حاصل می‌شود که گلطوفان نام دارد. سپس برای پیش‌بینی

احتمال وقوع طوفان های شدید، از روش موسوم به تجزیه و تحلیل سری های جزئی (Partial series) استفاده شده است (مهدوی، ۱۳۸۶: ۸۱). در این روش با مطرح نمودن این استدلال که در بعضی از سال ها طوفان هایی رخ می دهد که سرعت آن ها از سرعت بیشنه در بعضی از سال ها بزرگ ترند $3 \leq \lambda(f) = m/n \leq 5$ و می باید به منظور جلوگیری از خسارت های احتمالی و نیز ایمن سازی سازه ها مد نظر قرار گیرند. تاکنون در پژوهش های صورت گرفته توسط محققین و بکارگیری روش هایی مانند توزیع نرمال، توزیع گمبل و توزیع ویبول، تنها حداکثر سرعت طوفان هر سال در نظر گرفته می شد. در این تحقیق به روش تجزیه و تحلیل سری های جزئی، ابتدا طوفان های بالاتر از یک سرعت پایه، انتخاب گردیده و بدون توجه به سالی که در آن اتفاق افتاده اند ردیف شده و از رابطه ویبول احتمال وقوع آن ها محاسبه گردید؛ سپس در بررسی طوفان های شدید با دوره بازگشت معین و با استفاده از سال های آماری مشخص (۱۳۸۸-۱۳۵۹)، طوفان پایه (W_0) به نحوی انتخاب گردید که سالانه به طور میانگین بین ۳ تا ۵ بار طوفان های شدیدتر از آن اتفاق افتاده باشد. در این روش صحت نتایج منوط به برقراری شرط می باشد که در این تحقیق برقرار بوده است. در گام دیگر آمار تمام طوفان هایی که بیش از مقدار مینا (W_0) است استخراج گردید. با در نظر گرفتن کلیه طوفان های با سرعت بیش از سرعت پایه (W_0) که با (W_i) مشخص شده است، متوسط وقوع آن ها در سال با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید. برای پیش بینی سرعت طوفان با دوره بازگشت مورد نظر از معادله (۲) و سرعت متوسط طوفان های پیش بینی شده از معادله (۳) استفاده گردید (مهدوی، ۱۳۸۶، ۸۹) که نتایج کلی در جدول (۳) آمده است.

$$\lambda(f) = \frac{M}{N} \quad \text{معادله (۱) (مهدوی، ۱۳۸۶، ۸۹):}$$

$$W_T = (W_0 + (\beta \times Ln\lambda) + (\beta \times LnT)) \quad \text{معادله (۲)}$$

$$\bar{W} = (W_0 + (\beta \times Ln\lambda) + (0.5772 \times \beta)) \quad \text{معادله (۳)}$$

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

که در آن ها:

$\lambda(f)$: متوسط روزهای طوفانی با سرعت بیش از سرعت پایه (بیش از ۲۴ m/s) در طول دوره آماری؛

M : فراوانی روزهای طوفانی با سرعت بیش از سرعت پایه طی دوره آماری؛

N : طول دوره آماری؛

W_T : پیش بینی سرعت باد با دوره بازگشت T ؛

T : دوره بازگشت؛

W_0 : سرعت طوفان پایه به متر بر ثانیه؛

β : ضریبی که به انحراف از عدد پایه بستگی دارد؛

Ln : لگاریتم نپیرین؛

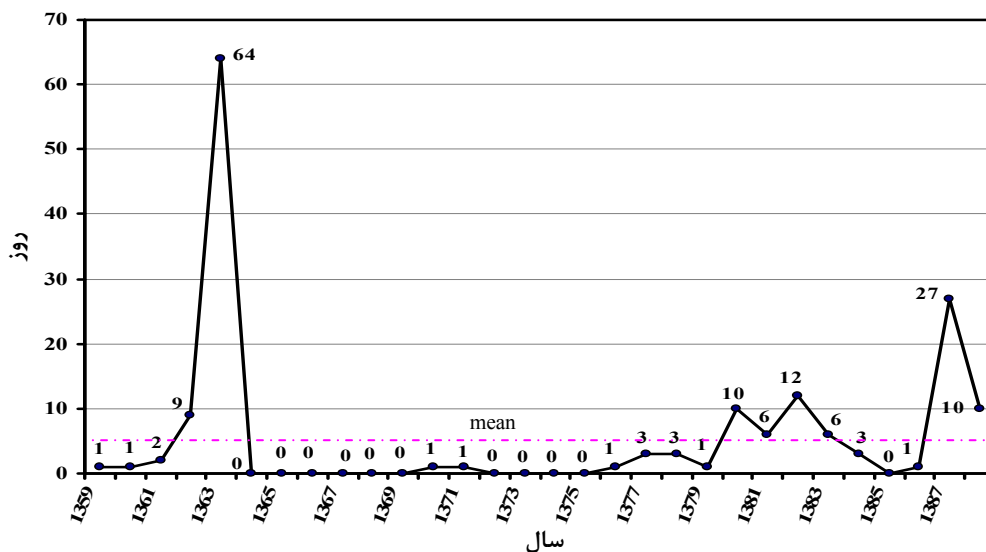
$(\beta * LnT)$: ضریب تناوب؛

\bar{W} : میانگین سرعت طوفان های پیش بینی شده؛

W_e : سرعت طوفان‌های مشاهده شده با سرعت بیش از سرعت مینا؛
0.5772: ثابت اولر (Euler Constant)

۵- یافته‌های تحقیق

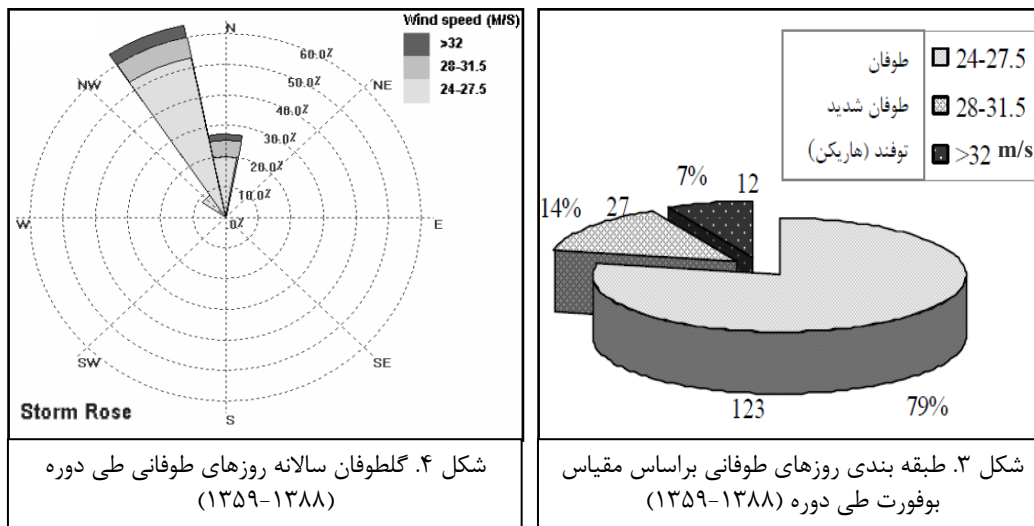
با بررسی آماری روزهای طوفانی با سرعت مینا (24 m/s) و شدیدتر از آن طی دوره آماری مورد مطالعه (۱۳۸۸-۱۳۵۹)، همان طوری که شکل (۲) نشان می‌دهد، کل مشاهدات ۱۶۲ روز بوده است. در میان سال‌های آماری، سال‌های ۱۳۶۲ و ۱۳۸۷ به ترتیب با ۶۴ و ۲۷ روز، دارای بیش‌ترین وقوع طوفان می‌باشند. طی این دوره بسیاری از سال‌ها فاقد روزهای طوفانی بوده‌اند. میانگین روزهای طوفانی طی دوره آماری مذکور $5/4$ روز بوده است که اکثر سال‌ها از تعداد روزهای طوفانی کمتری نسبت به میانگین برخوردار بوده‌اند. براساس بررسی آماری ۳ ساعته باد در ایستگاه زابل، حداکثر سرعت باد ثبت شده در این ایستگاه ۷۹ گره (40 m/s) بوده است، که در میان روزهای ثبت شده، سرعت طوفان در روزهای ۲۹ و ۳۰ بهمن ماه ۱۳۶۲ و ۲۶ خرداد ماه ۱۳۶۳ به مقدار مذکور (40 m/s) رسیده است. یک رژیم بسیار جالب روزانه هم در سری زمانی طوفان‌ها در ایستگاه زابل مشاهده شده است، به این ترتیب که بیش از ۷۵ درصد از روزهای طوفانی در ساعت ۳ تا ۹ به وقت گرینویچ (حدود ۶ صبح تا ۱۲ ظهر به وقت محلی) رخ داده‌اند.



شکل ۲: نمودار سالانه روزهای طوفانی با سرعت مینا (24 m/s) و شدیدتر در ایستگاه زابل طی دوره آماری، (۱۳۸۸-۱۳۵۹)

شکل (۳) طبقه‌بندی روزهای طوفانی را براساس مقیاس بیوفورت از سال ۱۳۵۹ تا ۱۳۸۸ نشان می‌دهد. براساس این نمودار، روزهای طوفانی با سرعت ($27/5 - 24 \text{ m/s}$) از بیش‌ترین فراوانی برخوردار بوده به طوری که از کل مشاهدات، تعداد ۱۲۳ روز ۷۹ را به خود اختصاص داده‌اند. در طبقات بعدی، طوفان شدید ($31/5 - 28 \text{ m/s}$) تعداد ۲۷ روز (۱۴٪) و توفند (32 m/s) که شدیدترین روزهای طوفانی را در بر می‌گیرد، تعداد ۱۲ روز ۷٪ از کل مشاهدات را شامل شده است. گلطوفان سالانه‌ی حاصل از تعداد روزهای طوفانی در طول دوره آماری (۱۳۸۸-۱۳۵۹) در شکل (۴) آمده است. گلطوفان مذکور براساس سرعت پایه (24 m/s) به جای سرعت پایه گلباد (حذف بادهای با سرعت کمتر از مقدار مذکور) حاصل شده است. همان گونه که مشاهده

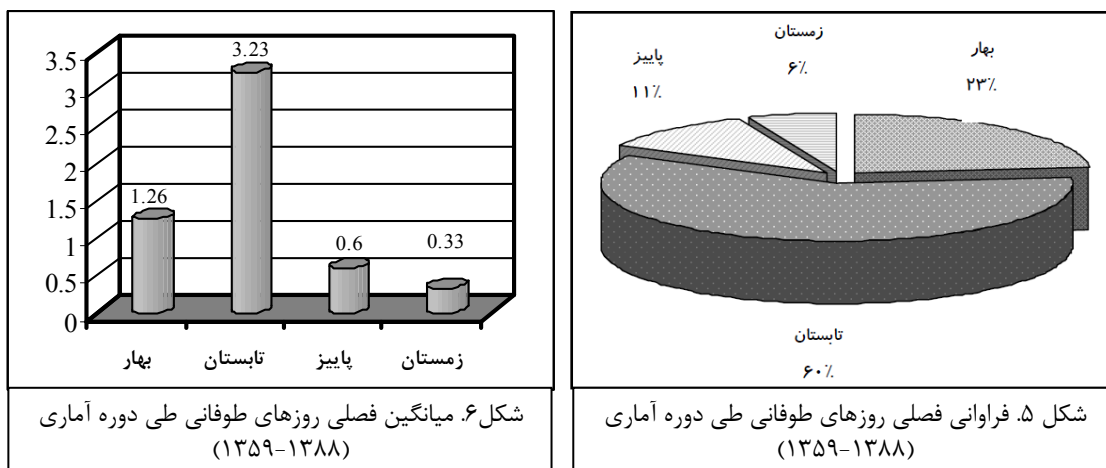
می شود، تمامی طوفان های مشاهده شده متعلق به جهت های باد غالب منطقه، یعنی شمال شمال غربی (NNW)، شمال (N)، و شمال غربی (NW) بوده است. درحقیقت این جهات، مطابق با جهت وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است.



شکل ۴. گلطوفان سالانه روزهای طوفانی طی دوره (۱۳۵۹-۱۳۸۸)

شکل ۳. طبقه بندی روزهای طوفانی براساس مقیاس بوفورت طی دوره (۱۳۵۹-۱۳۸۸)

در بررسی فصلی طوفان ها، همان طوری که شکل های (۵ و ۶) نشان می دهند، تابستان طوفان خیزترین فصل منطقه سیستان است. پس از تابستان، بهار در اولویت بعدی قرار می گیرد و در فصل زمستان تعداد روزهای طوفانی به کمترین تعداد خود می رسد. به طور کلی ۸۳ درصد طوفان های منطقه سیستان در دوره گرم (تابستان و بهار) و ۱۷ درصد در دوره سرد سال (پاییز و زمستان) اتفاق می افتند (شکل ۵). به لحاظ میانگین فصلی نیز فصل تابستان با میانگین ۳/۲۳ روز در ردیف اول و فصل زمستان با میانگین ۰/۳۳ روز کمترین مقدار را شامل شده است (شکل ۶).

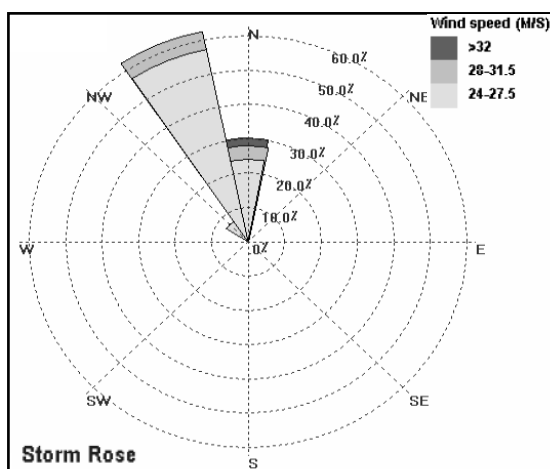


شکل ۶. میانگین فصلی روزهای طوفانی طی دوره آماری (۱۳۵۹-۱۳۸۸)

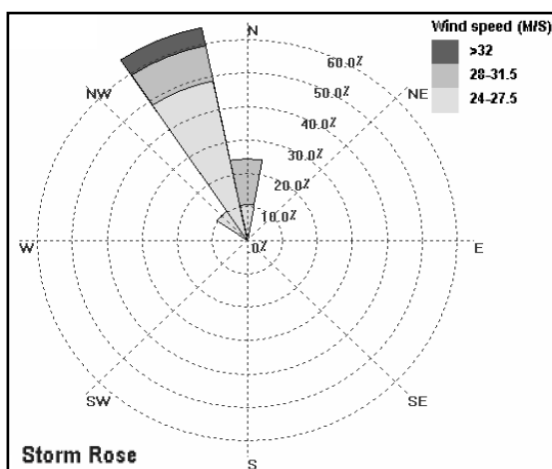
شکل ۵. فراوانی فصلی روزهای طوفانی طی دوره آماری (۱۳۵۹-۱۳۸۸)

گلطوفان های فصلی حاصل از تعداد روزهای طوفانی در فصول مختلف سال نیز در شکل های (۷ تا ۱۰) آمده است. در گلطوفان فصل بهار، ۶۵ درصد از روزهای طوفانی دارای جهت شمال شمال غربی (NNW)، ۲۵ درصد دارای جهت شمال (N)، و ۱۰ درصد دارای جهت شمال غربی (NW) بوده اند (شکل ۷). در گلطوفان

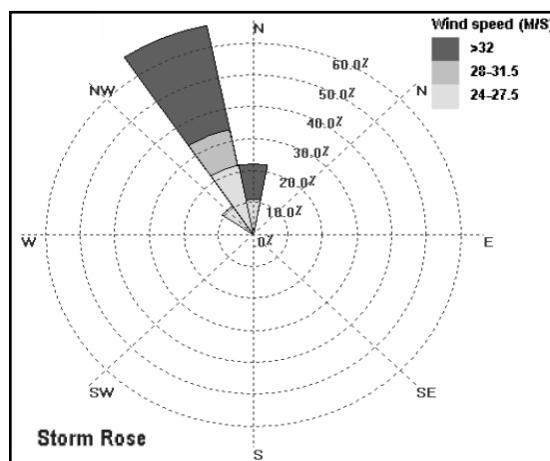
فصل تابستان، ۶۳ درصد دارای جهت شمال شمال غربی (NNW)، ۳۰ درصد دارای جهت شمال (N)، و ۷ درصد دارای جهت شمال غربی (NW) است (شکل ۸). در دوره سرد سال (پاییز و زمستان) جهات وزش طوفان‌ها، وضعیتی مشابه با دوره گرم سال (بهار و تابستان) دارند. گلطوفان فصل پاییز، بیانگر وقوع ۶۹ درصد از روزهای طوفانی با جهت شمال شمال غربی (NNW)، ۱۹ درصد با جهت شمال (N)، و ۱۲ درصد با جهت شمال غربی (NW) است (شکل ۹). ۶۸ درصد از روزهای طوفانی فصل زمستان دارای جهت شمال شمال غربی (NNW)، ۲۲ درصد با جهت شمال (N)، و ۱۰ درصد شمال غربی (NW) می‌باشد (شکل ۱۰). گلطوفان‌های فصلی ایستگاه زابل طی دوره آماری (۱۳۵۹-۱۳۸۸) نشان می‌دهد که همه طوفان‌های با سرعت 24 m/s و بالاتر، در جهات بین دو زاویه $292/5$ درجه تا $22/5$ درجه می‌وزند. این وضعیت به خوبی نشان می‌دهد که جهات وزش تمامی طوفان‌های با ویژگی مذکور، مطابق با جهت وزش بادهای ۱۲۰ روزه می‌باشد.



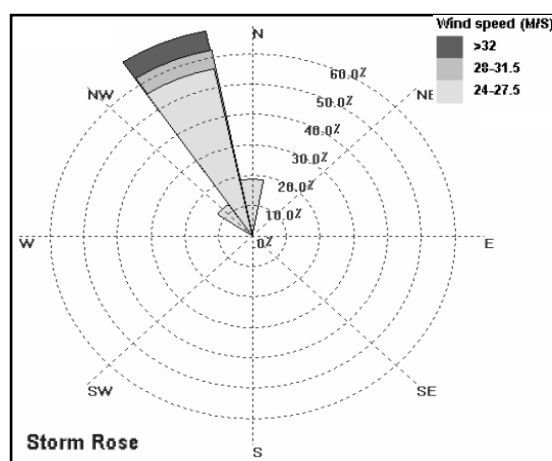
شکل ۸. گلطوفان فصل تابستان طی دوره آماری (۱۳۵۹-۱۳۸۸)



شکل ۷. گلطوفان فصل بهار طی دوره آماری (۱۳۸۸-۱۳۵۹)

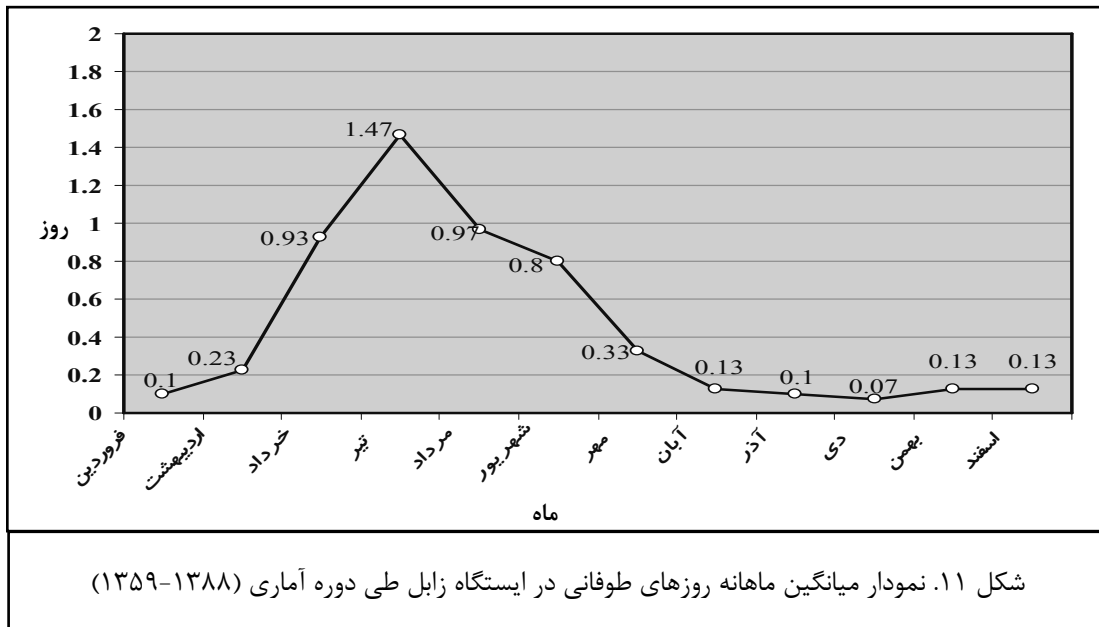


شکل ۱۰. گلطوفان فصل زمستان طی دوره آماری (۱۳۵۹-۱۳۸۸)



شکل ۹. گلطوفان فصل پاییز طی دوره آماری (۱۳۸۸-۱۳۵۹)

در بررسی ماهانه طی دوره آماری (۱۳۵۹-۱۳۸۸)، همان طوری که شکل (۱۱) نشان می‌دهد، ماه تیر با میانگین ۱/۴۷ روز بیش‌ترین و دی‌ماه با میانگین ۰/۰۷ از کمترین میانگین برخوردار بوده است. براساس این شکل، افزایش روزهای طوفانی با سرعت 24 m/s و بیش‌تر، به تدریج از فروردین آغاز شده و در تیرماه به حداکثر مقدار خود می‌رسند. بیش‌ترین روزهای طوفانی در بازه‌ی زمانی خرداد تا شهریور اتفاق می‌افتد. این وضعیت مطابق زمان وزش بادهای ۱۲۰ روزه در منطقه سیستان می‌باشد.



آخرین مورد در این تحقیق، پیش‌بینی احتمال وقوع طوفان‌های با سرعت بالاتر از سرعت مبنا (24 m/s) بوده است. نتایج حاصل از پیش‌بینی در بازه‌های زمانی مختلف، که براساس معادلات معرفی شده در روش تحقیق (معادلات ۲ و ۳) صورت گرفته است، به اختصار در جدول شماره (۳) آمده است. پیش‌بینی می‌شود در یک دوره بازگشت ۱ ساله، با احتمال نزدیک به ۱۰۰ درصد، طوفانی با سرعت $28/27 \text{ m/s}$ به وقوع پیوندد. بنابراین در منطقه سیستان، همه ساله می‌توان شاهد طوفانی بود که با سرعت حداقل $28/27 \text{ m/s}$ اتفاق بیفتد. پیش‌بینی احتمال وقوع طوفان، برای دوره‌های بازگشت با بازه زمانی طولانی‌تر (۲ تا ۱۰۰ سال)، از احتمال وقوع طوفان با سرعت‌های بیش‌تر خبر می‌دهد، به این مفهوم که یک رابطه خطی و مستقیم میان این دو برقرار می‌باشد، هرچند که با طولانی‌تر شدن دوره بازگشت، درصد احتمال وقوع ضعیف‌تر می‌گردد؛ به طوری که در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، پیش‌بینی می‌شود با احتمال ۱ درصد، طوفانی با سرعت نزدیک به 42 m/s در منطقه سیستان اتفاق بیفتد. گرچه درصد احتمال وقوع طوفان با سرعت مذکور خیلی ضعیف می‌باشد، اما احتمال اینکه طوفانی با سرعت قید شده، در یک بازه زمانی ۱۰۰ ساله رخ دهد، دور از انتظار نیست؛ بنابراین در برنامه‌ریزی‌های محیطی منطقه، باید احتمال وقوع طوفان‌های با سرعت بیش از 42 m/s را در نظر گرفت تا با ایمنی‌سازی سازه‌ها، در صورت وقوع طوفانی با خصوصیات مذکور، خساراتی به تأسیسات وارد نگردد.

جدول ۳. میانگین سرعت و پیش بینی احتمال وقوع طوفانهای با سرعت بیش از ۲۴m/s با دوره بازگشت T به روش تجزیه و تحلیل سریهای جزئی (Partial Series)

P%= 1/T: (درصد احتمال)	۱	۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۹۹/۹۹
T: (دوره بازگشت به سال)	۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲	۱
LnT: لگاریتم نپرین دوره بازگشت	۴/۶۰۵	۳/۹۱۲	۲/۹۹۵	۲/۳۰۲	۱/۶۰۹	۰/۶۹۳	۰
$\beta * \text{Ln}T$: (ضریب تناوب)	۱۳/۷۲	۱۱/۶۶	۸/۹۳	۶/۸۶	۴/۸	۲/۰۷	۰
$W_T (M/S)$: (طوفان بیش بینی شده)	۴۱/۹۹	۳۹/۹۳	۳۷/۲	۳۵/۱۳	۳۳/۰۷	۳۰/۳۴	۲۸/۲۷
$\lambda(f) = 4/2$	$\beta = 2/98$	$\beta * \text{Ln}\lambda = 4/27$			$W_0 = 24$		
$\bar{W} = 30 (M/S)$	M=۱۲۶	N=۳۰			$\text{Ln}\lambda(f) = 1/42$		

۶- نتیجه گیری

همان طور که ملاحظه گردید، وقوع طوفانهای با سرعت ۲۴m/s و بالاتر، در منطقه سیستان یک پدیده نسبتاً متداول و از خصوصیات ذاتی منطقه است، به طوری که طی یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۵۹-۱۳۸۸)، ۱۶۲ روز طوفانی با سرعت قید شده مشاهده شده است. در میان سالهای آماری، سال ۱۳۶۲ و ۱۳۸۷ به ترتیب دارای ۶۴ و ۲۷ روز، از بیشترین و در مقابل برخی از سالها هم فاقد روزهای طوفانی بودهاند. میانگین سالانه روزهای همراه با طوفان ۵/۴ روز بوده است. براساس بررسی دادههای بادسنجی، حداکثر سرعت باد ثبت شده ۴۰m/s و در روزهای طوفانی ۲۹ و ۳۰ بهمن ماه ۱۳۶۲ و ۲۰ خرداد ۱۳۶۳ رخ داده است. طبقه بندی روزهای طوفانی براساس مقیاس بیوفورت که از جمله مقیاسهای سازمان جهانی هواشناسی (WMO) است، ۷۹ درصد مشاهدات، از طوفانها دارای سرعت (۲۴-۲۷/۵)، ۱۴ درصد از سرعت (۲۸-۳۱/۵) و ۷ درصد از سرعت ۳۲ متر بر ثانیه و بالاتر برخوردار بودهاند. در بررسی فصلی طوفانها، فصل تابستان طوفان خیزترین و فصل زمستان کم طوفانترین فصل بوده است. در میان ماهها نیز تیرماه با میانگین ۱/۷۴ روز بیشترین و دی ماه با میانگین ۰/۰۷ روز از کمترین تعداد روزهای طوفانی برخوردار بوده است. نمودار گلطوفان سالانه و فصلی نشان داده است که جهات غالب رخداد طوفانها به ترتیب اولویت، شمال شمال غربی (NNW)، شمال (N) و شمال غربی (NW) بوده که منطبق با جهات وزش بادهای ۱۲۰ روزه در منطقه سیستان است. نتایج حاصل از پیش بینی احتمال وقوع طوفانهای با سرعت بالاتر از سرعت مبنا (۲۴m/s)، که به روش تجزیه و تحلیل سریهای جزئی (Partial series) در دورههای بازگشت مختلف انجام گرفته (جدول ۳)، نشان داده است با احتمال نزدیک به ۱۰۰ درصد در دوره بازگشت ۱ ساله طوفانی با سرعت ۲۸/۲۷m/s به وقوع بپیوندد. همچنین پیش بینی می شود در یک دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، با احتمال ۱ درصد طوفانی با سرعت نزدیک به ۴۲m/s در منطقه سیستان رخ دهد؛ بنابراین در برنامه ریزیها و مطالعات محیطی، لازم است احتمال وقوع طوفانهای با سرعت بیش از ۴۰m/s را در نظر گرفت تا ضمن ایمنی سازی سازهها، در صورت وقوع طوفانهای شدید، میزان خسارات را به حداقل ممکن تقلیل داد.

۷- فهرست منابع

- احمدی، حسن (۱۳۷۰)، نگرشی بر اقلیم سیستان، مرکز تحقیقات کشاورزی زابل، زابل.
- اکبری مقدم، حسین، و اعتصام، غلامرضا (۱۳۷۰)، کشاورزی و سیستان، مجموعه مقالات اولین همایش سیمای فردای سیستان، دانشکده کشاورزی زابل، صص ۶۸-۶۴.
- جعفرپور، ابراهیم (۱۳۸۵)، اقلیم شناسی، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- خسروی، محمود، و سلیقه، محمد (۱۳۸۴)، اثرات اکولوژیکی و زیست محیطی بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، طرح پژوهشی، پژوهشکده علوم زمین و جغرافیا، انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- رازجویان، محمود (۱۳۸۶)، آسایش در پناه باد، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- ۶- راشکی، علیرضا، و زرین، هدایت الله (۱۳۸۶)، پیامدهای بادهای ۱۲۰ روزه در خشکسالی های اخیر دشت سیستان، مجموعه مقالات همایش منطقه ای خشکسالی، پیامدها و راهکارهای مقابله با آن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند، بیرجند.
- رفاهی، حسینعلی (۱۳۸۵)، فرسایش بادی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- رئیس پور، کوهزاد، و طاوسی، تقی، و خسروی، محمود (۱۳۸۹)، بررسی تأثیر طوفان های شن به عنوان یکی از مهم ترین عوامل بازدارنده توسعه در منطقه سیستان، مجموعه مقالات همایش جغرافیا، توسعه و امنیت در جنوب شرق کشور، دانشگاه امام حسین (ع)، تهران.
- سازمان هواشناسی کشور (۱۳۸۵)، مرکز پژوهش مخاطرات اقلیمی، بولتن علمی، شماره ۳ و ۴، تابستان ۱۳۸۵، صص ۲۶-۱۷.
- سایت آفتاب (۱۳۸۹)، گزارش ستاد حوادث غیرمترقبه کشور از رخداد طوفان در ایران.
- سلیقه، محمد (۱۳۸۲)، توجه به باد در ساخت کالبد فیزیکی شهر زابل، فصلنامه جغرافیا و توسعه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، شماره ۱، صص ۴۲.
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۵)، آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- علیزاده، امین، و کمالی، غلامعلی (۱۳۸۶)، هوا و اقلیم شناسی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- قائمی، هوشنگ، و عدل، محمود (۱۳۷۱)، ناپایداری و طوفان های رعد و برق، سازمان هواشناسی کشور، تهران.
- کاویانی، محمدرضا، و علیجانی، بهلول (۱۳۸۶)، مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت، تهران.
- گندمکار، امیر، و کاویانی، محمدرضا، و مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۶)، بررسی انرژی باد در منطقه سیستان به منظور تولید انرژی بادی، مجله علوم انسانی دانشگاه اصفهان، جلد ۲۷، شماره ۶، صص ۱۰۴-۹۵.
- مرجانی، سید صدر الدین (۱۳۷۲)، بررسی سینوپتیکی بادهای شدید بیش از ۱۵ متر بر ثانیه در خراسان، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه تهران.
- مسعودیان، سید ابوالفضل، و کاویانی، محمدرضا (۱۳۸۶)، اقلیم شناسی ایران، انتشارات دانشگاه اصفهان، اصفهان.

- مصطفی، ناصر میرزا، و خلیلی، داور، و ناظم السادات، محمد جعفر (۱۳۸۷)، پیش‌بینی ساعتی سرعت و جهت بادهای فرساینده با استفاده از داده‌های ۳ ساعته، فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۵، شماره ۱، صص ۶۹-۸۵.
- معاونت برنامه‌ریزی استانداری (۱۳۸۵)، آمارنامه استان سیستان و بلوچستان، انتشارات مرکز آمار ایران، تهران.
- مهدوی، محمد (۱۳۸۵)، هیدرولوژی کاربردی (جلد اول)، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- مهدوی، محمد (۱۳۸۶)، هیدرولوژی کاربردی (جلد دوم)، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- میری، عباس (۱۳۸۴)، تعیین خسارت طوفان‌های گرد و غبار در شهرستان زابل، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- 24 - Dayan U. and Koch J.(1986), **A Synoptic analysis of the meteorological conditions affecting dispersion of pollutants emitted from tallstacksin the coastal plain of Israel**, pp: 537– 543.
- 25 - Hagen, L.J. (1976), **A wind erosion predication system to meet user needs** . j . soil water conserve .46: 106-11.
- 26 - Lin, Gguanghai. (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.
- 27 - Stewart, D.A. and Essenwanger. O.M. (1987), **Frequeuncy distribution of wind speed near the surface** . j .Appl. Meteor .17:633-642.
- 28 - Zobeck, T.M. (1991), **Soil properties affecting wind erosion**. J. Soil water conserve. 46: 112-118.