

تحلیل رفتار آماری و همدیدی شدیدترین باد فرساینده‌ی شمال غرب ایران

برومند صلاحی*^۱^۱ گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت:

۹۴/۰۶/۲۸

اصلاح:

۹۵/۰۷/۲۳

پذیرش:

۹۵/۰۸/۰۲

وقوع بادهای فرساینده در شمال غرب ایران، همواره سبب خسارت به تأسیسات شهری و مزارع کشاورزی شده است. چنانچه بتوان رفتار و الگوهای همدیدی مولد بادهای توفنده را شناسایی نمود، می‌توان راهکارهای لازم را برای مواجهه با این پدیده مخرب اندیشید. در این پژوهش، سریع‌ترین بادهای فرساینده و ضریب پایداری آن در ایستگاه‌های منتخب شمال غرب کشور مورد تحلیل قرار گرفت. با بهره‌گیری از تحلیل آماره-های توصیفی، روند لگاریتمی و پلی‌نومیال مرتبه‌ی ۶ داده‌ها، مدل مناسب برای پیش‌بینی این بادهای آرائه شد. برای شناخت دقیق دلایل همدیدی وقوع بادهای فرساینده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه، نقشه‌های هم‌ارتفاع ژئوپتانسیل و بردار باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال جو و هم‌فشارهای سطح زمین برای روزهای وقوع باد فرساینده تفسیر شد. نتایج بررسی آماری نشان دادند که توزیع داده‌ها سرعت باد، از توزیع‌های دوپارامتری ویبول و نرمال تبعیت می‌کنند. نتایج روند لگاریتمی و پلی‌نومیال مرتبه‌ی ۶ داده‌ها همچنین نشان دهنده وجود روند افزایشی بادهای فرساینده در ایستگاه‌های اردبیل و زنجان و روند کاهش ضریب پایداری باد در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی بود. تحلیل‌های همدید همچنین نشان دادند که بادهای فرساینده‌ی ایستگاه‌های مورد بررسی، با وجود گرادیان فشار در سطح دریا، استقرار ناوه‌ی نسبتاً عمیق و وجود رودباد جبهه‌ی قطبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ارتباط هستند.

واژگان کلیدی:

بادهای فرساینده

تحلیل آماری

تحلیل همدیدی

شمال غرب ایران

۱- مقدمه

بادهای فرساینده یکی از بلاهای جوی است که همه ساله خسارت‌های بسیار زیادی را در سطح جهان به وجود می‌آورد. بر اساس آمار سازمان‌های بین‌المللی صلیب سرخ و هلال احمر، از سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۴ هر ساله بیش از ۵۶ میلیارد دلار خسارت از طریق بادهای فرساینده در بخش‌های مختلف جهان وارد شده است. طی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۶، به طور متوسط، همه ساله بیش از ۴۰ هزار نفر جان خود را در اثر این پدیده از دست داده‌اند (حسینی، ۱۳۷۹). بر اساس بررسی‌های به عمل آمده، از سال ۱۹۷۰ تاکنون، بر تعداد و شدت بادهای فرساینده افزوده شده است (Webster et al., 2005). از این‌رو پیش‌بینی می‌شود که در آینده نیز بر تعداد و شدت بادهای فرساینده افزوده شود (جعفری، ۱۳۸۷). باد توفنده و فرساینده، اثرات مخربی بر روی زندگی انسانی و محیط زیست در سطح محلی و منطقه‌ای دارد. شمال غرب ایران در مسیر عبور سامانه‌ها و جریان‌های گوناگون جوی است و در سال‌های اخیر، با نابهنجاری‌های اقلیمی از جمله رخداد رو به افزایش بادهای توفنده و فرساینده همراه بوده است. در این منطقه، بادهای توفنده و فرساینده همیشه با خسارت‌هایی همراه بوده است به گونه‌ای که این بادهای منطقه‌ی مورد مطالعه، سومین بلیه‌ی جوی و اقلیمی بعد از سیل و سرمازدگی بوده و بیشترین خسارت‌ها را وارد می‌نماید. وقوع بادهای

* نویسنده مسئول رایانامه: bromand416@yahoo.com

توفنده و فرساینده در شمال غرب کشور علاوه بر فرسایش خاک، به کرات سبب بروز پدیده‌ی کولاک و کاهش دید افقی در حواشی شهر و جاده‌های کوهستانی، شکستن شاخ و برگ درختان و شیشه‌های منازل، فروریختن دیوارهای ساختمان‌های در حال احداث، تعطیلی مدارس، شکستن تیرها و کابل‌های برق و تلفن و به تبع آن، قطع مکرر برق و تلفن، ایراد خسارت به امکانات و تأسیسات شهری، شیوع امراض تنفسی، ریوی و... آلوده شدن فضای شهری و مزارع کشاورزی، لغو برخی پروازهای فرودگاه‌ها و بروز تصادفات جاده‌ای در محورهای مواصلاتی شده است. بر اساس گزارش اداره‌ی کل هواشناسی استان اردبیل، طی سال‌های ۱۳۵۵ لغایت ۱۳۸۴، فقط در استان اردبیل حدود ۲۷۲۱ باد تند و توفنده ثبت شده است. خسارات مالی ناشی از توفان، فقط در استان اردبیل طی سال‌های ۱۳۷۴ لغایت ۱۳۸۳ بالغ بر ۲۳۵ میلیارد ریال بوده است. چنانچه بتوان الگوهای همدیدی مولد بادهای توفنده و فرساینده را شناسایی نمود، می‌توان با پیش‌بینی دقیق‌تر زمان، مکان و شدت آن، تمهیدات لازم را برای مواجهه با این پدیده‌ی مخرب اندیشید و هشدارهای لازم را برای ایمن شدن در مقابل اثرات مخرب آن صادر نمود لذا در این پژوهش سعی بر آن است تا با بررسی رفتار وزش بادهای توفنده و فرساینده در شمال غرب کشور، مدل آماری برای پیش‌بینی وقوع بادهای توفنده و فرساینده مشخص و الگوهای همدیدی مولد آن استخراج گردد.

مطالعات مختلفی در سطح ایران و جهان در زمینه‌ی بادهای توفنده و فرساینده صورت گرفته است. Harnak و همکاران (۱۹۹۷) با استفاده از آزمون T استاندارد و تحلیل سینیوپتیک به تجزیه و تحلیل بادهای شدید ایالت یوتا پرداختند به این نتیجه رسیدند که هم‌زمان با رخداد بادهای گرم و شدید در ایالت یوتا، در ترازهای بالای جو، فرودی به منطقه نزدیک می‌شود و در وقوع بادهای شدید فصل گرم آن ایالت مؤثر است. آن‌ها همچنین دریافتند که شرایط سینیوپتیک جو و توپوگرافی محلی نقش مهمی در تولید بادهای شدید آن منطقه دارند. Mctanish و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از تحلیل سینیوپتیک و تکنیک سنجش از دور به تجزیه و تحلیل طوفان گرد و غبار ۲۳ اکتبر ۲۰۰۲ استرالیا پرداختند. آن‌ها در کنار تبخیر و تعرق بالا، کسری شدید رطوبت خاک و کاهش پوشش گیاهی، وجود فرابار در مرکز استرالیا و شمال نیوزیلند و وجود کم‌فشار در میان این دو پرفشار و تشکیل و تقویت جبهه سرد در جنوب و شرق استرالیا را در وقوع توفند ۲۳ اکتبر ۲۰۰۲ مؤثر دانستند.

Emanuel (۲۰۰۵) به این نتیجه رسید که شدت و قدرت تخریب‌کننده‌ی توفندهای حاره‌ای دنیا در طول ۳۰ سال گذشته دو برابر شده است. وی همچنین نشان داد که شاخص تخریب بالقوه طوفان به طور قابل توجهی از اواسط ۱۹۷۰ افزایش یافته است. او با اشاره به سیگنال آب و هوای اظهار داشت که گرم شدن کره زمین در آینده ممکن است به روند رو به رشد طوفان‌های جوی مخرب منجر شود. Omidvar و همکار (۲۰۱۲) با استفاده از نقشه‌های سینیوپتیک سطح زمین و ترازهای ۵۰۰ و ۸۵۰ سطح هکتوپاسکال و نیز داده‌های مربوط به سمت و سرعت باد، دید افقی، رطوبت، دما و فشار هوا، به بررسی همدید توفان ماسه در دشت یزد - اردکان پرداختند و دریافتند که وجود کم‌فشارهای دینامیکی، فرارفت هوای سرد و نیز گرادبان فشار در سطح زمین موجب بروز توفان ماسه در دشت یزد - اردکان شده است. Hamidi و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی بادهای منطقه خاور میانه، به تجزیه و تحلیل سینیوپتیک طوفان‌های گرد و غبار برخاسته از بادهای شدید پرداختند و ضمن تحلیل سیستم‌های فشار حاکم بر آن منطقه، سه الگوی اصلی سینیوپتیک برای طوفان‌های گرد و غبار منطقه خاور میانه را نیز شناسایی کردند. Daneshfaraz و همکاران (۲۰۱۳) چهار توزیع مختلف بر بادهای حداکثر سالانه ایستگاه سینیوپتیک ارومیه برآزش داد و از بین توزیع‌های مورد بررسی، توزیع ویبول را برای تعیین احتمالات سرعت‌های باد آن ایستگاه مناسب دانستند. Hopley و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تهدیدات ناشی از فرسایش بادی در مالی پرداختند. آن‌ها با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس، مخاطرات فصلی باد را در آن منطقه طبقه‌بندی کردند. Akhzari و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی طوفان گرد و غبار فراگیر در منطقه غرب ایران پرداختند. آن‌ها از شاخص نرمال تفاوت شوری (NDSI) برای تعیین تغییرات در شوری اراضی منطقه و نیز از مدل RBFN برای ارزیابی شدت فرسایش بادی استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که تغییرات منفی در

در صد پوش گیاهی و شور شدن خاک، وقوع طوفان‌های گرد و غبار در منطقه غرب ایران را بیشتر کرده است. Mezosi و همکاران (۲۰۱۵) در منطقه هانگاری مجارستان، با استفاده از حساسیت خاک، پوشش گیاهی و باد و نیز با استفاده از منطق فازی، تفاوت‌های ناحیه‌ای در حساسیت فرسایش بادی آن منطقه را مورد بررسی قرار دادند و مناطق حساس به فرسایش را شناسایی نمودند. Laszlo و همکاران (۲۰۱۶) به ارزیابی جامع فضایی فرسایش بادی در هونگاری مجارستان پرداختند. آن‌ها از آزمایش‌های تونل باد در تحلیل فرسایش‌پذیری نمونه‌های مختلف خاک در سراسر کشور مجارستان استفاده کردند و دریافتند که حدود ۱۰ درصد از مساحت مجارستان را می‌توان به عنوان مناطق مستعد فرسایش بادی شناسایی کرد.

آل احمد (۱۳۷۴) استقرار زبانه‌های پرفشار سیبری را علت ایجاد بادهای توفندهی دریای خزر می‌داند. حسین‌زاده (۱۳۷۶) در توجیه همدید بادهای ۱۲۰ روزهی سیستان، وجود کم‌فشار قوی در جنوب شرق ایران و مراکز پرفشار خزر و ارتفاعات شمال شرق خارج از ایران را عامل اصلی می‌داند. صلاحی (۱۳۸۳) احتمالات واقعی وقوع باد در ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل را با استفاده از تابع چگالی احتمال ویبول برازش داد و آن تابع را در برآورد احتمالات واقعی وقوع باد آن منطقه مناسب دانست. ذوالفقاری (۱۳۸۴) دریافت که وجود فرود در ترازهای بالایی جو با وقوع بادهای شدید استان قم در ارتباط بوده است. رجبی و همکاران (۱۳۸۴) با استفاده از گل باد، گل ماسه و تحلیل‌های همدید، بادهای فرسایندهی ایستگاه‌های سینوپتیک زاهدان، خاش و نهبندان را بررسی نمودند. رجبی و همکاران (۱۳۸۴) به منظور تحلیل نقطه‌ای بادهای فرساینده اقدام به ترسیم دسته منحنی-های شدت سرعت - مدت - فراوانی باد W-IDF در ایستگاه شرق اصفهان نمودند. آن‌ها جهت تحلیل آماری از دو توزیع دو پارامتری و دو توزیع سه پارامتری شامل توزیع گمبل، گامای دو پارامتری، ویبول و پیرسون نوع سوم استفاده نموده و مقادیر سرعت‌های حداکثر باد در پایه زمانی مختلف برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال را پیش بینی کردند.

اسلامیان و همکاران (۱۳۸۴) به این نتیجه رسیدند که از بین توابع توزیع ۳ و ۲ پارامتری، توابع لجستیک و نرمال بهترین برازش را با توزیع سرعت بادهای ایستگاه‌های سینوپتیک محدوده استان اصفهان دارند. بختیاری و همکاران (۱۳۸۴) از تابع توزیع احتمال ویبول برای پیش‌بینی سرعت باد در ارتفاع دو متری در منطقه‌ی کرمان استفاده کردند. رجبی و همکاران (۱۳۸۴)، روابط شدت - مدت - فراوانی بادهای فرسایندهی فصلی ایستگاه شرق اصفهان را تحلیل نمودند. اختصاصی و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از گلباد، گل‌طوفان و گلماسه، فرسایش بادی در حوضه‌ی دشت یزد - اردکان را مطالعه نمودند و جهت حرکت ماسه‌های روان در آن ناحیه را مشخص نمودند. امیدوار (۱۳۸۵) و به این نتیجه رسید که در کم‌فشارهای دینامیک، جریان‌های قائم هوا به تبع آن ناپایداری شدید جو سبب ایجاد طوفان‌های شدید در دشت یزد - اردکان می‌گردند.

همتی (۱۳۸۵) این نتیجه رسید که وقوع بادهای توفنده و مخرب در اسفندماه چند سال گذشته در شهرستان‌های مشکین‌شهر و اردبیل قابل تأمل است. میرزاصطفی و همکاران (۱۳۸۷) سرعت و جهت بادهای فرسایندهی منطقه‌ی زابل را بررسی نمودند و توزیع ویبول را توزیعی مناسب برای پیش‌بینی سرعت باد آن منطقه دانستند. جعفری (۱۳۸۷) به این نتیجه رسید که در ایستگاه‌های بابلسر، رشت، انزلی و گرگان، روند روزهای توفندی در طول ۵۰ سال گذشته، افزایشی بوده است. براتی و عاشوری (۱۳۸۸) در طراحی الگوهای همدید شدیدترین بادهای کرانه‌های جنوبی دریای خزر (سال‌های ۶۸-۱۳۶۶)، به این نتیجه رسیدند که محورهای فرود طی روزهای اوج باد در غرب دریای خزر دیده می‌شوند. امیدوار (۱۳۸۹) عبور سامانه‌ی کم‌فشار با جبهه‌ی سرد و خشک از سمت غرب و شمال غرب همراه با وجود ناوه در ترازهای ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال و نیز ناپایداری‌های محلی را عامل بادهای شدید و طوفانی منطقه‌ی یزد می‌داند. نوری و انواری (۱۳۹۰) بادهای فرساینده کریدور جزینک به منظور کنترل عوامل بازدارنده توسعه سیستان را مورد بررسی قرار دادند و به برآورد پتانسیل حمل ماسه و به تعیین برآیند بادهای فرساینده آن کریدور پرداختند. حنیفه‌پور و همکاران (۱۳۹۲) تأثیر شدت و مدت خشکی بر وضعیت باد و فرسایش بادی در اراضی کشاورزی شهرستان دامغان را مورد ارزیابی قرار دادند. احمدپناه و همکاران (۱۳۹۳) بادهای فرساینده جنوب دامغان و رژیم آن‌ها

را تجزیه و تحلیل کردند. نتایج نشان داد که عمده بادهای حاکم بر آن منطقه از شمال غرب می‌وزند و بادهای شمالی و شرقی در رتبه‌های بعدی قرار دارند. نتایج حاصل از بررسی گلفوفان نیز نشان داد که بادهای شمال غربی از لحاظ فراوانی و شدت در یک جهت قرار دارند و وزش بادهای فرساینده با فراوانی ۲۴/۹۶ درصد از سمت شمال غربی می‌وزد. همچنین باد شمال غربی مهم‌ترین باد در جابجایی ذرات خاک و رسوبگذاری تپه‌های ماسه‌ای آن منطقه بود.

صادقی و همکاران (۱۳۹۴) به‌منظور تعیین رژیم باد دشت سمنان، از شاخص‌های یکسانی جهت باد (UD)، پتانسیل حمل ماسه (DP)، برآیند جهت بادهای فرساینده (RDD) و برآیند پتانسیل حمل (RDP) استفاده کردند. نتایج نشان داد که پتانسیل حمل ماسه بادی در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی بر اساس سرعت آستانه شش متر بر ثانیه نسبتاً زیاد است که نشان دهنده بودن پتانسیل زیاد بادهای فرسایش بادی و حمل ماسه در آن منطقه است. دودانگه و خانامانی (۱۳۹۴) به مدلسازی فرسایش بادی و تحلیل فراوانی بادهای فرساینده در ایران پرداختند. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۴) به مقایسه روش‌های برآورد پارامترهای توزیع ویبول برای بررسی احتمالات وقوع بادهای استان آذربایجان شرقی پرداختند و از پنج روش تخمین پارامترهای توزیع ویبول در مورد داده‌های باد، روش گشتاورها که مقدار آماره کی دو کمتری به دست می‌داد را روش مناسبی تشخیص داده دادند. نتایج مطالعات مذکور نشان دادند که در تحلیل آماری بادهای فرساینده، تابع توزیع ویبول نسبت به سایر توزیع‌های آماری، نتایج قابل قبولتری در برآورد احتمالات وقوع بادهای فرساینده دارد. بررسی‌ها همچنین نشان دادند که تحلیل‌های سینوپتیک می‌تواند روش مناسبی در علت‌یابی وقوع بادهای فرساینده باشد. با عنایت به اینکه شمال غرب ایران در اغلب ایام سال و به ویژه در هنگام تغییر شیف‌ت جریان‌های جوی، متأثر از بادهای فرساینده‌ای است که همواره بر محیط‌های طبیعی و انسانی آن منطقه اثرگذار بوده‌اند لذا در این پژوهش رفتار آماری و هم‌مدیدی شدیدترین باد فرساینده‌ی شمال غرب ایران به طور توأمان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۲- مواد و روش

در این پژوهش، داده‌های بادهای فرساینده در قالب سریع‌ترین بادهای مشاهده شده در ماه‌های مختلف سال در طول دوره‌ی آماری و نیز ضرایب پایداری باد در ایستگاه‌های منتخب شمال غرب ایران شامل ایستگاه‌های تبریز، اردبیل، ارومیه و زنجان به ترتیب از سال ۱۹۵۱، ۱۹۷۶، ۱۹۵۱ و ۱۹۵۵ تا سال ۲۰۰۵ مورد واکاوی قرار گرفت. در تحلیل آماری داده‌ها، شاخص‌های آماره‌های توصیفی داده‌ها شامل میانگین، انحراف معیار، ضریب چولگی و کشیدگی، پارامترهای تابع ویبول، توزیع احتمال داده‌ها در قالب ضریب و نمودار مورد بررسی قرار گرفت. توزیع ویبول، توزیعی دو پارامتری است. پارامتر C تحت عنوان پارامتر شکل و پارامتر k تحت عنوان پارامتر مقیاس موسوم است. واحد پارامتر مقیاس، متر در ثانیه است. پارامتر شکل نیز بدون واحد (بعد) است. شکل ساده شده‌ی تابع توزیع ویبول بدین صورت است (جمیل و همکاران، ۱۳۸۳):

$$P(V) = \left(\frac{K}{C}\right) \left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right] \quad (1)$$

که در آن V سرعت باد، C فاکتور مقیاس و K فاکتور شکل است. با برقراری رابطه‌ی خطی بین مقادیر سرعت باد و احتمال وقوع آن به صورت $Y = Ax + b$ ، مقادیر X و Y که به ترتیب معرف سرعت و احتمال وقوع تجربی هستند، به صورت

$$X = \ln(V_i), \quad Y = \ln\{-\ln[1 - P(v)]\} \quad (2)$$

قابل محاسبه هستند (جمیل و همکاران، ۱۳۸۳). در نهایت، مقادیر A و B رابطه‌ی رگرسیون به صورت زیر با فاکتورهای مقیاس و شکل تابع ویبول مرتبط و محاسبه می‌شوند (پرخیال، ۱۳۷۶):

$$C = \exp\left(\frac{-B}{A}\right) \quad (۳)$$

$$A = \frac{n \sum_{i=1}^n XiYi - \sum_{i=1}^n Xi \sum_{i=1}^n Yi}{n \sum_{i=1}^n Xi^2 - \left(\sum_{i=1}^n Xi\right)^2} = K \quad (۴)$$

$$B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Yi - \frac{A}{n} \sum_{i=1}^n Xi \quad (۵)$$

شایان ذکر است که داده‌های سریع‌ترین بادهای در ایستگاه تبریز در دسترس نبود لذا در تحلیل این متغیر، ایستگاه‌های اردبیل، زنجان و ارومیه مد نظر قرار گرفتند. در تحلیل همبندی بادهای فرساینده، سریع‌ترین باد مشاهده شده در طول دوره‌ی آماری سه ایستگاه مورد مطالعه که سرعت بیش از ۱۰ متر در ثانیه داشتند و در نوع خود، فرساینده محسوب می‌شدند به عنوان شاخص انتخاب شد. در تحلیل همبندی، از نقشه‌های هم‌فشار سطح زمین، هم‌ارتفاع و بردار باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال که از وب سایت <http://www.esrl.noaa.gov> اخذ شده است استفاده گردید. به دلیل محدودیت صفحات مقاله، از ارائه‌ی نقشه‌های هم‌ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال اجتناب شده اما در تحلیل‌ها بدان توجه شده است.

۳- یافته‌ها (نتایج)

نتایج آماره‌های توصیفی سریع‌ترین بادهای ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. بر اساس این جدول، ایستگاه اردبیل دارای بیشترین متوسط سریع‌ترین باد (۲۵/۳ متر در ثانیه) بوده است. با این حال، این ایستگاه بیشترین انحراف معیار سریع‌ترین باد را نیز نسبت به سایر ایستگاه‌ها داشته است و این حکایت از متغیر بودن فراوانی‌های داده‌های سریع‌ترین باد این ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌ها در طول دوره‌ی آماری است. بر اساس آماره‌ی کولموگروف-اسمیرنوف و سطح معنی‌داری مربوطه، با عنایت به بزرگ‌تر بودن مقدار sig از ۵ درصد، فرض تبعیت توزیع داده‌های سرعت‌های سریع‌ترین باد ایستگاه‌های مورد بررسی از توزیع نرمال در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد نمی‌شود. مقادیر فاکتورهای شکل و مقیاس توزیع دوپارامتری ویبول و نیز نمودار توزیع احتمال مشاهده شده نسبت به توزیع مورد انتظار (شکل ۱)، حاکی از قبول فرض صفر (تبعیت توزیع داده‌ها از توزیع ویبول) است. به نظر می‌رسد توزیع سرعت‌های باد در ایستگاه اردبیل نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه، تبعیت بیشتری از توزیع نرمال و ویبول دارد. جدول ۳، درصد پایداری سریع‌ترین بادهای ایستگاه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، بیشترین ضریب پایداری متعلق به ایستگاه اردبیل (۳۲/۳ درصد) و کمترین آن متعلق به ایستگاه ارومیه (۲۴ درصد) بوده است. ایستگاه زنجان و ارومیه به ترتیب کمترین و بیشترین انحراف معیار پایداری باد را داشته‌اند. آماره‌ی کولموگروف-اسمیرنوف و سطح معنی‌داری مربوطه، مقادیر فاکتورهای شکل و مقیاس توزیع دوپارامتری ویبول و نیز نمودار توزیع احتمال مشاهده شده نسبت به توزیع مورد انتظار (شکل ۲)، حاکی از تبعیت توزیع داده‌های ضرایب پایداری ایستگاه‌های مورد بررسی (غیر از ایستگاه ارومیه) از توزیع‌های نرمال و ویبول است.

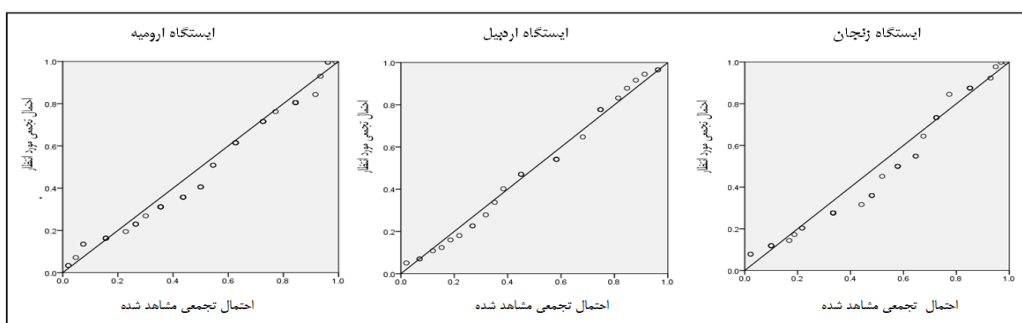
جدول ۱: آماره‌های توصیفی سریع‌ترین بادهای

میانگین	اردبیل	تبریز	زنجان	ارومیه
	۱۶/۷۱	۱۴/۹۱	۱۴/۴۲	۱۲/۳۵

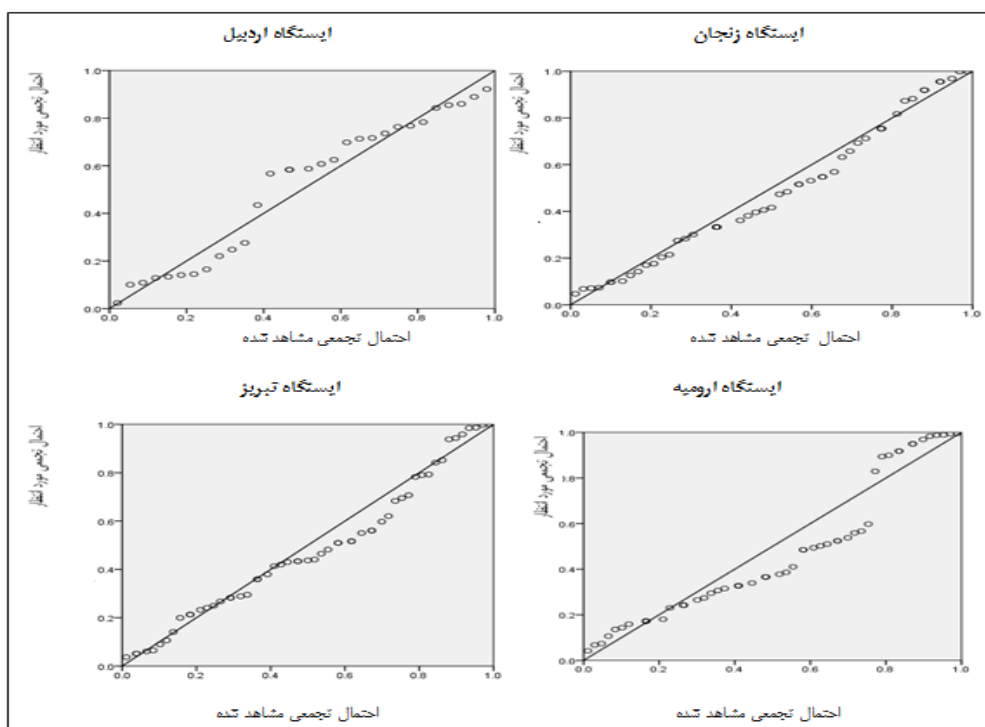
۱/۲۳	۰/۵۶	۰/۸۵	۱/۴۷	خطای استاندارد میانگین
۹/۱۵	۴	۶/۳۶	۸/۰۹	انحراف معیار
۱/۳۱	۰/۶	۱/۰۲	-۰/۷۱	ضریب چولگی
۰/۵۷	۰/۱	۱/۱	-۱/۲۵	ضریب کشیدگی
۱۳/۵۷	۱۵/۸۳	۱۶/۶۸	۱۹/۱۵	فاکتور مقیاس ویبول
۱/۷۱	۴/۳۳	۲/۸۳	۱/۹۳	فاکتور شکل ویبول
۷۴/۰۸	۲۷/۷۳	۴۴/۱	۴۸/۴۱	ضریب تغییرات
۱/۸۶	۰/۶۳	۱/۱	۰/۷۵	آماره کلموگروف اسمیرنوف
۰/۰۰۲	۰/۸۱	۰/۱۷	۰/۶۱	سطح معنی‌داری

جدول ۲: آماره‌های توصیفی ضریب پایداری باد

ارومیه	زنجان	اردبیل	
۱۶/۶	۱۵/۳	۲۵/۳	میانگین
۰/۵۴۲	۰/۶۰۸	۱/۰۳	خطای استاندارد میانگین
۴/۰۳	۴/۳۴	۵/۶۶	انحراف معیار
۰/۹۱	۰/۸۵	۰/۰۰۴	ضریب چولگی
۱/۹۴	۰/۴۷	-۰/۸۷	ضریب کشیدگی
۱۸/۱۶	۱۶/۸۲	۲۷/۵	فاکتور مقیاس ویبول
۴/۹۸	۴/۱۹	۵/۰۹	فاکتور شکل ویبول
۲۴/۲	۲۸/۳	۲۲/۳	ضریب تغییرات
۰/۸۲	۱/۰۴	۰/۵۶	آماره کلموگروف اسمیرنوف
۰/۴۹	۰/۲۲	۰/۹۰	سطح معنی‌داری



شکل ۱: توزیع احتمال ویبول در ایستگاه‌های مورد بررسی برای متغیر سرعت



شکل ۲: توزیع احتمال ویبول در ایستگاه‌های مورد بررسی برای متغیر پایداری

جدول ۳، میزان همبستگی سریع‌ترین بادهای ایستگاه‌های مورد بررسی با همدیگر را نشان می‌دهد. معنی‌دار نبودن همبستگی سرعت‌های باد ایستگاه‌های مورد بررسی، حاکی از استقلال شرایط مؤثر بر وقوع باد در ایستگاه‌های مورد بررسی است. همبستگی پایداری سرعت‌های باد در ایستگاه‌های مورد مطالعه با همدیگر، بیشتر و معنی‌دارتر از همبستگی سرعت‌های باد بود. جدول ۴، میزان همبستگی بین پایداری بادهای ایستگاه‌های مورد بررسی با همدیگر را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، ایستگاه زنجان با ایستگاه‌های تبریز و ارومیه دارای همبستگی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد (خطای ۱ درصد) بوده است این در حالی است که ایستگاه اردبیل، فاقد همبستگی معنی‌دار با ایستگاه‌های زنجان و تبریز بوده و با ایستگاه ارومیه نیز در سطح اطمینان ۹۴ درصد معنی‌دار است.

جدول ۳: همبستگی سرعت باد

ارومیه	زنجان	اردبیل	
-۰/۲۵۸ ns	۰/۱۴۹ ns	۱	اردبیل
۰/۰۸۶ ns	۱	۰/۱۴۹ ns	زنجان
۱	۰/۰۸۶ ns	-۰/۲۵۸ ns	ارومیه

ns: همبستگی غیر معنی‌دار در سطح خطای ۵ درصد

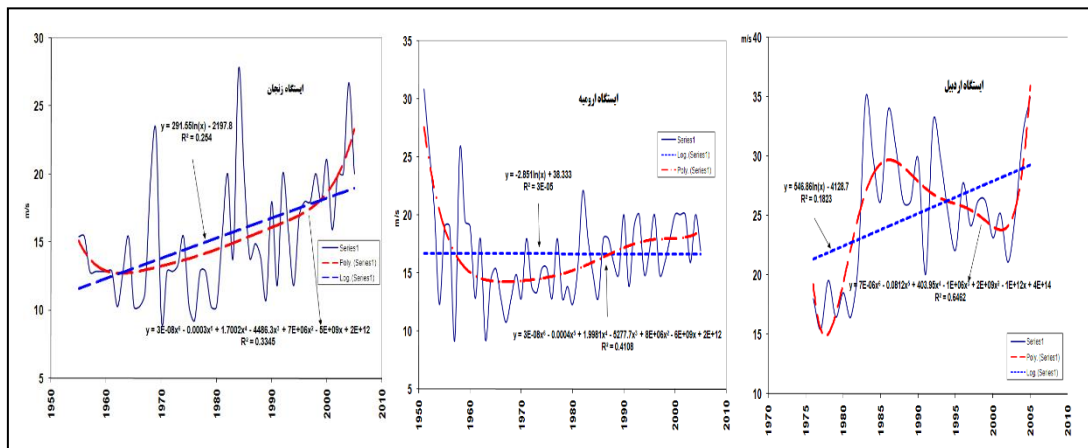
جدول ۴: همبستگی پایداری باد

ارومیه	زنجان	تبریز	اردبیل	
۰/۳۵۲ ns	-۰/۰۷۹	۰/۱۵۹ ns	۱	اردبیل
۰/۵۳۴**	۰/۴۳۶**	۱	۰/۱۵۹ ns	تبریز
۰/۴۲۴**	۱	۰/۴۳۶**	-۰/۰۷۹ ns	زنجان
۱	۰/۴۲۴**	۰/۵۳۴**	۰/۳۵۲ ns	ارومیه

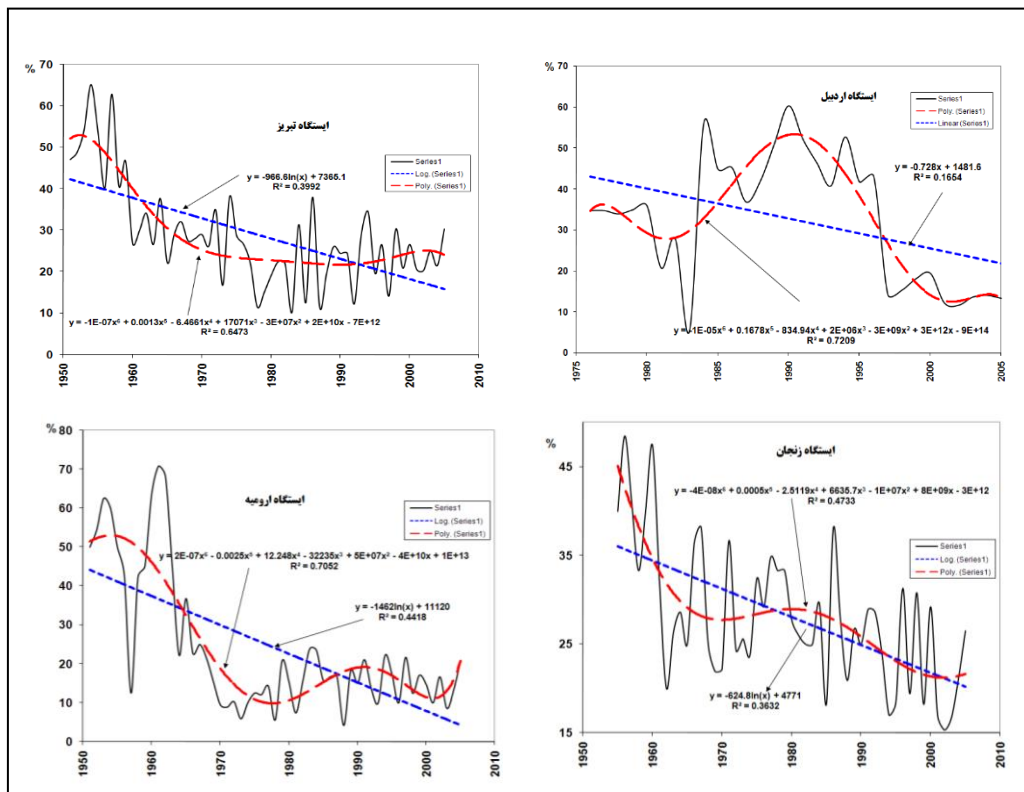
ns همبستگی غیر معنی‌دار در سطح خطای ۵ درصد

** همبستگی معنی‌دار در سطح خطای ۱ درصد

شکل شماره ۳، روند لگاریتمی و پلی‌نومیال مرتبه‌ی ۶ داده‌های سریع‌ترین بادهای مشاهده شده‌ی ایستگاه‌های مورد بررسی به انضمام معادلات پیش‌بینی و ضرایب تعیین تولید شده توسط دو مدل مذکور را آشکار می‌سازد. بر اساس این شکل، در ایستگاه‌های زنجان و اردبیل، روند افزایشی و در ایستگاه ارومیه، روند کاهشی نامحسوس و بطئی در داده‌های سریع‌ترین بادهای مشاهده شده دیده می‌شود. در تمامی ایستگاه‌ها، مدل پلی‌نومیال مرتبه‌ی ۶، دارای مقدار ضریب تعیین بیشتری نسبت به مدل لگاریتمی بوده و این حاکی از قدرتمند و کارا بودن مدل پلی‌نومیال مرتبه‌ی ۶ در پیش‌بینی مقادیر سریع‌ترین بادهای ایستگاه‌های مذکور در مقایسه با مدل لگاریتمی نسبت به زمان است. روند تغییرات سرعت‌های باد در ایستگاه اردبیل در مدل پلی‌نومیال مرتبه‌ی ۶، دارای افت و خیزهای ملموس‌تری نسبت به دیگر ایستگاه‌هاست.



شکل ۳: روند لگاریتمی و پلی‌نومیال مرتبه‌ی ۶ داده‌های سریع‌ترین بادهای مشاهده شده



شکل ۴: روند لگاریتمی و پلی‌نومیال مرتبه‌ی ۶ پایداری‌های بادهای مشاهده شده

شکل ۴ نیز مبین رفتار لگاریتمی و پلی‌نومیال مرتبه‌ی ۶ ضرایب پایداری بادهای مشاهده شده‌ی ایستگاه‌های مورد بررسی است. بر اساس این شکل، در تمامی ایستگاه‌ها، ضریب پایداری باد روند کاهشی را نشان می‌دهد و این نشان از ناپایداری‌تر شدن رفتار باد در سال‌های آتی است. مدل پلی‌نومیال مرتبه‌ی ۶، بیشتر از مدل لگاریتمی قادر به پیش‌بینی مقادیر ضرایب پایداری بادهای ایستگاه‌های مورد بررسی در آینده نسبت به زمان است.

جدول ۵، سمت، سرعت و تاریخ وقوع سریع‌ترین بادهای مشاهده شده در منطقه‌ی مورد مطالعه در طول دوره‌ی آماری مورد نظر را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، در ایستگاه زنجان، اولویت جهت وزش سریع‌ترین بادهای منطقه، جهت جنوب غربی و سپس جهت شمال شرقی است. در ایستگاه اردبیل و ارومیه نیز همین جهت، سمت‌های باد غالب این ایستگاه‌ها را تشکیل می‌دهند. در هر سه ایستگاه، در نیمه‌ی سرد سال، بادهای غربی و جنوب غربی و در فصول گرم سال، بادهای شرقی و شمال شرقی به طور نسبی وزش دارند. با عنایت به محدودیت صفحات مقاله، در هر ماه، سریع‌ترین باد ثبت شده در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره‌ی آماری، انتخاب و مورد تحلیل قرار گرفته است. به خاطر همین محدودیت و نیز تعدد نقشه‌ها، از ارائه و تفسیر تمامی نقشه‌های همدید متعلق به همه‌ی ماه‌های سال اجتناب گردید و فقط به تحلیل همدید ۲ نوع نقشه هم‌فشار سطح زمین و بردار باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای دارای سریع‌ترین باد در نیمه‌ی سرد و گرم سال پرداخته شده است.

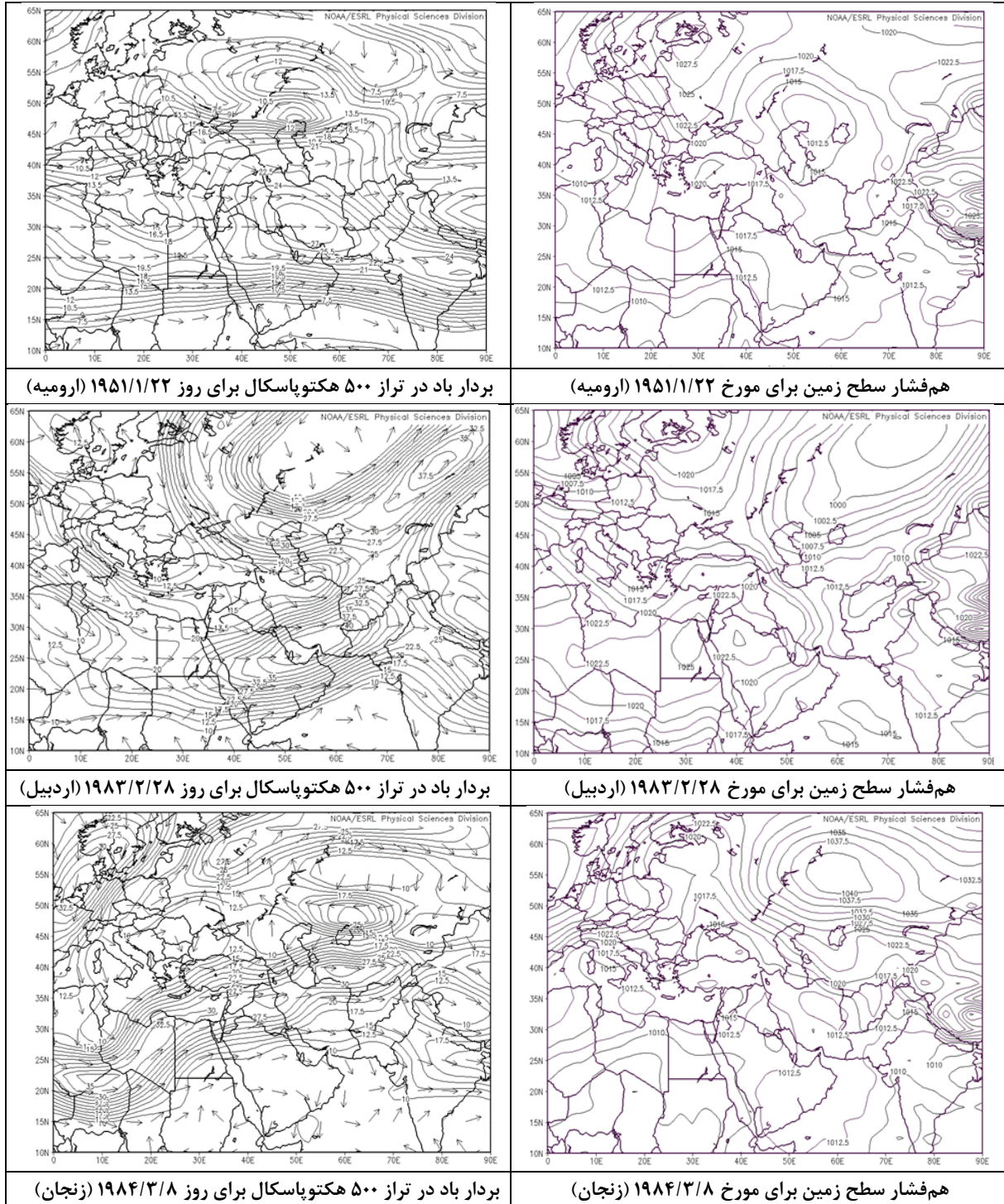
جدول ۵: سمت، سرعت و تاریخ وقوع سریع‌ترین بادهای مشاهده شده در منطقه‌ی مورد مطالعه

ایستگاه	مشخصات	روز	سرعت (نات)	سمت	سال	روز	سرعت (نات)	سمت	سال	روز	سرعت (نات)	سمت	سال
زنجان	سمت	۹۰	۲۴۰	۲۴۰	۲۱۰	۲۴۰	۲۴۰	۲۱۰	۲۴۰	۲۴۰	۲۴۰	۲۱۰	۲۴۰
	سرعت (نات)	۳۹	۴۹	۵۴	۴۵	۵۱	۳۵	۳۹	۳۳	۳۱	۳۹	۳۳	۳۹
	روز	۲۹	۱۵	۸	۱	۱	۱۱	۲۰	۳	۲۸	۲۰	۲۴	۲۵
	سال	۱۹۸۲	۲۰۰۴	۱۹۸۴	۱۹۶۹	۱۹۸۴	۱۹۹۷	۱۹۸۴	۱۹۸۴	۱۹۹۲	۲۰۰۱	۱۹۹۲	۱۹۹۰
اردبیل	سمت	۲۴۰	۲۴۰	۲۷۰	۲۴۰	۱۹۰	۳۰۰	۹۰	۹۰	۲۲۰	۲۳۰	۲۱۰	۲۱۰
	سرعت (نات)	۵۶	۶۸	۶۸	۶۰	۵۸	۴۳	۳۹	۳۹	۴۱	۶۴	۵۸	۶۶
	روز	۹	۲۸	۹	۱۹	۲	۱۴	۴	۲۵	۲۶	۲۳	۲۱	۲۱
	سال	۱۹۸۶	۱۹۸۳	۲۰۰۵	۱۹۸۷	۱۹۹۰	۱۹۹۶	۱۹۸۶	۲۰۰۰	۱۹۸۳	۱۹۹۲	۱۹۹۲	۱۹۸۶
ارومیه	سمت	۲۳۰	۲۰۰	۶۰	۲۳۰	۲۱۰	۱۸۰	۲۵۰	۳۰۰	۲۱۰	۱۸۰	۱۵۰	۲۷۰
	سرعت (نات)	۶۰	۳۷	۵۰	۵۰	۳۹	۳۱	۴۳	۵۰	۳۹	۳۹	۳۹	۳۵
	روز	۲۲	۲	۲۹	۹	۲	۱۲	۵	۱	۲۸	۲۳	۲۱	۶
	سال	۱۹۵۱	۱۹۶۰	۱۹۵۸	۱۹۵۲	۱۹۹۰	۱۹۸۶	۱۹۸۲	۱۹۵۸	۲۰۰۰	۱۹۹۶	۲۰۰۱	۱۹۶۲

منبع: سایت اداره کل هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری

شکل ۵، نقشه‌های هم‌فشار سطح زمین و بردار باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای منتخب ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس را نشان می‌دهد. در ماه ژانویه، در غرب ایران مرکز پرفشار محلی با فشار مرکزی ۱۰۲۰ هکتوپاسکال شکل گرفته است. در شمال شرق دریای خزر نیز مرکز کم‌فشاری با فشار مرکزی ۱۰۱۲/۵ هکتوپاسکال مستقر شده است. زبانه‌ی ۱۰۱۵ هکتوپاسکال کم‌فشار و زبانه‌ی ۱۰۱۷/۵ هکتوپاسکال پرفشار مذکور، بر فراز شمال غرب ایران سبب اختلاف فشار شده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی جو، ناوه‌ی بسته‌ای با ارتفاع ۵۲۵۰ متر در شمال دریای خزر مستقر شده و بادهای غربی بر شمال غرب ایران حاکمیت دارند. در روز منتخب ماه فوریه، شاهد استقرار جبهه‌ی سرد در سطح زمین در منطقه‌ی شمال غرب ایران هستیم. در این روز، محدوده‌ی مورد مطالعه در مرکز ناوه‌ی کم ارتفاعی قرار گرفته و بادهای غربی در تراز میانی جو استقرار دارند. در ماه مارس، در سطح زمین، نفوذ زبانه‌ی ۱۰۱۵ هکتوپاسکال پرفشار مستقر در شمال دریاچه بایکال و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، استقرار موج عمیق و

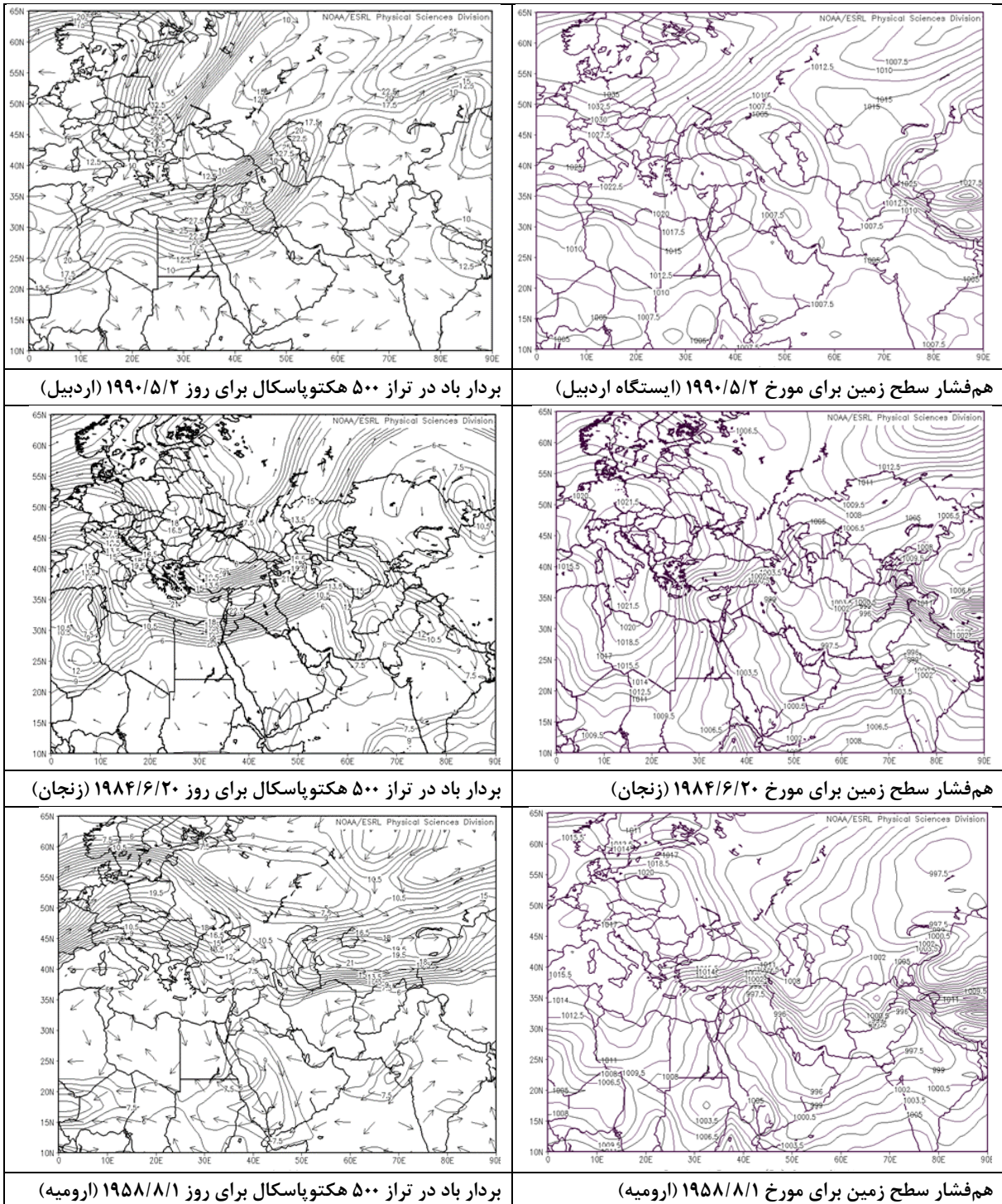
قرارگیری ایران در جلوی آن را شاهد هستیم. در این ماه، همچنین رودبادی با سرعت ۳۰ متر در ثانیه بر فراز محدوده‌ی مورد بررسی شکل گرفته است. در ماه آوریل، تقابل زبانه‌ی پرفشار مستقر بر غرب دریای مدیترانه و زبانه‌ی جنوب‌سوی کم‌فشار مستقر بر شمال دریای خزی، سبب تقویت جبهه‌ی ایجاد شده در سطح زمین در محدوده‌ی مورد مطالعه شده و سبب افزایش سرعت باد شده است. در این ماه، همچنین محدوده‌ی مورد بررسی، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، در جلوی ناوه‌ی نسبتاً عمیقی قرار گرفته و عامل ایجاد بادهای جنوب غربی و غربی شده است. در آوریل، منحنی بسته‌ی رودباد، اطراف محدوده‌ی مورد مطالعه را گرفته و سرعت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بین ۳۰ تا ۳۵ متر در ثانیه در حال نوسان است.



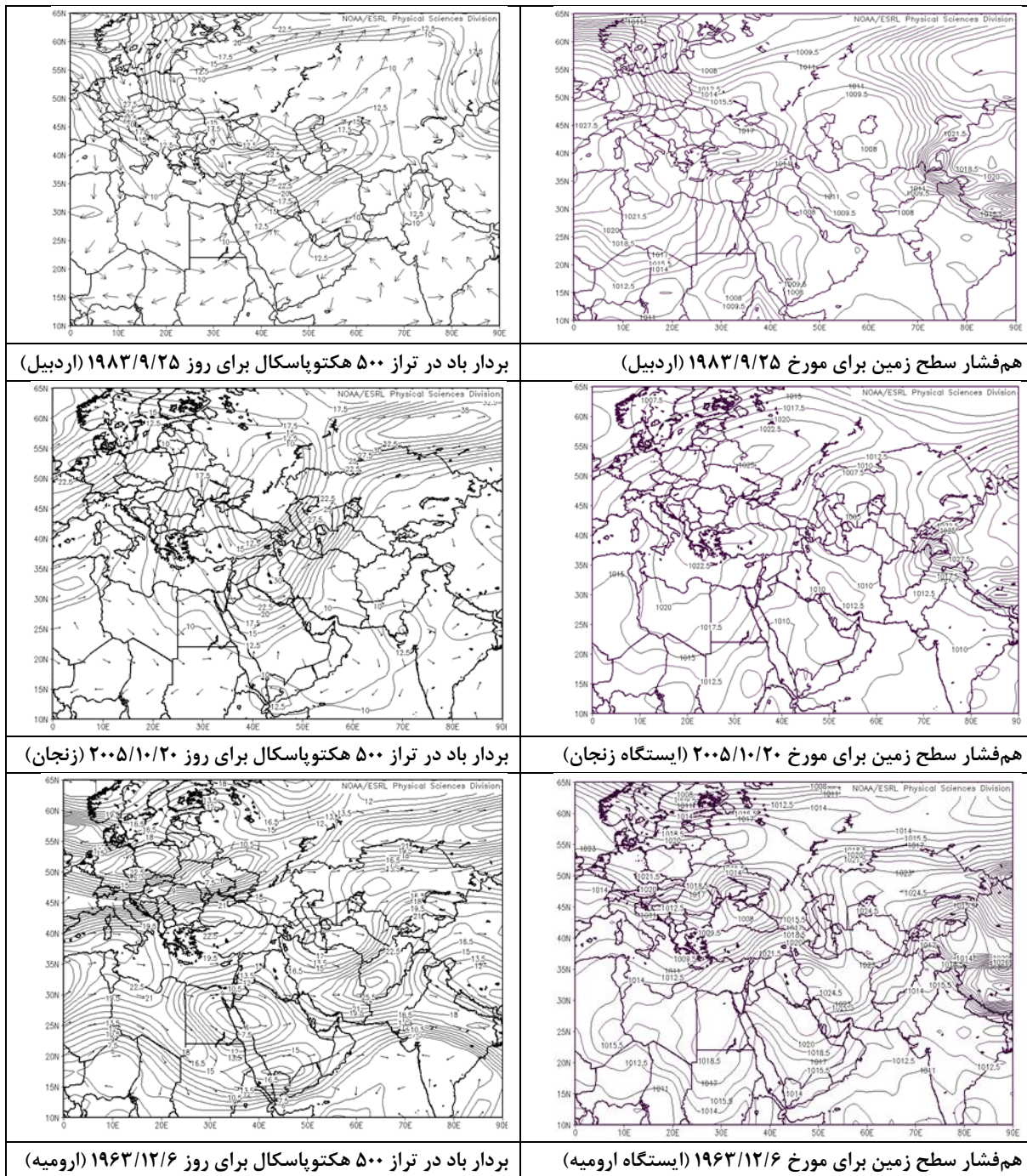
شکل ۵: نقشه‌های هم‌فشار سطح زمین و بردار باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای منتخب ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس

شکل ۶، نقشه‌های هم‌فشار سطح زمین و بردار باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای منتخب ماه‌های می، ژوئن و اوت را نشان می‌دهد. در ماه می، شیب تغییرات فشار در سطح زمین در محدوده‌ی مورد مطالعه مشاهده می‌شود. در این ماه نیز در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ناوه‌ی عمیقی مستقر است. آنچه در این ماه بیشتر جلب توجه می‌کند استقرار مرکز رودباد با سرعت ۳۵ متر در ثانیه بر فراز محدوده‌ی مورد مطالعه است که در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز با استقرار موج بادهای غربی هماهنگ است. در ماه ژوئن، نفوذ سیستم‌های جنوبی و نیز استقرار سامانه‌ی کم‌فشار در روی دریای خزر مشاهده می‌شود. همانند ماه‌های قبل، در ماه ژوئن نیز محدوده‌ی مورد مطالعه نیز در جلو ناوه‌ی عمیقی قرار گرفته است. در این تراز، سرعت باد در محدوده‌ی مورد بررسی، به سرعت رودباد نزدیک شده است. هماهنگی موج کوتاه بادهای غربی و افزایش سرعت باد در این تراز به خوبی مشهود است. در ماه ژوئیه، شیب تغییرات فشار در سطح زمین در محدوده‌ی مورد بررسی زیاد شده و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ناوه‌ی به محدوده‌ی مورد مطالعه نزدیک شده است. این ناوه در شرق ترکیه، سردچالی را تشکیل داده است. بادهای جنوب غربی با سرعت حدود ۱۵ متر در ثانیه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در محدوده‌ی مورد مطالعه، با استقرار موج در تراز یاد شده هماهنگ است. در ماه اوت، شاهد نفوذ زبانه‌های شرق سوی پرفشار مستقر بر جنوب اروپا به محدوده‌ی مورد بررسی هستیم. در این ماه، همچنین زبانه‌های کم‌فشار مستقر بر روی خلیج فارس و دریای عمان نیز به عرض‌های بالاتر کشیده شده‌اند. اختلاف فشار ناشی از تقابل این دو سیستم در سطح زمین، بادهای شدید روز منتخب ماه اوت را توجیه می‌کند. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز فقط بادهای غربی و شمال غربی مشاهده می‌شوند.

شکل ۷، نقشه‌های هم‌فشار سطح زمین و بردار باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای منتخب ماه‌های سپتامبر، اکتبر و دسامبر را نشان می‌دهد. در ماه سپتامبر، محدوده‌ی مورد بررسی در سطح زمین، در حد بیرونی زبانه‌های شرق سوی پرفشار مستقر بر روی جنوب اروپا و کم‌فشار مستقر بر ترکمنستان قرار دارد و به تبع آن، دارای شیب فشاری است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز موج کم دامنه‌ای از محدوده‌ی مورد مطالعه عبور کرده و بر روی دریای سیاه، تشکیل سردچال جوی را داده است. در این روز، محدوده‌ی مورد بررسی، در مرکز بادهای با سرعت ۲۵ متر در ثانیه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال قرار دارد. در ماه اکتبر، نفوذ زبانه‌ی ۱۰۱۵ هکتوپاسکال مستقر بر روی دریای خزر و جنوب اروپا را به منطقه‌ی مورد بررسی شاهد هستیم. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز موج باد غربی با سرعت ۲۵ متر در ثانیه وجود دارد. اختلاف فشار هوا در نقشه‌ی سطح زمین روز منتخب ماه نوامبر، مؤید و مسبب وزش باد شدید فرساینده در سطح زمین می‌باشد. در این ماه، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز ناوه‌ی عمیقی گسترش یافته و منطقه‌ی مورد مطالعه در جلوی این موج قرار گرفته است. سمت بادهای ۲۵ تا ۳۰ متر در ثانیه‌ای شمال غرب ایران، با موج مذکور هماهنگ است. در ماه دسامبر نیز شیب تغییرات فشار در محدوده‌ی مورد بررسی قابل تشخیص است. این شیب، ناشی از تقابل زبانه‌های کم‌فشار مستقر بر روی دریای خزر و پرفشار مستقر در جنوب غرب ایران است که در منطقه‌ی مورد بررسی، سبب وزش بادهای شدید شده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز موج باد غربی به همراه بادهای با سرعت ۲۲/۵ تا ۳۰ متر در ثانیه در حال نزدیک شدن به منطقه‌ی مورد مطالعه است.



شکل ۶: نقشه‌های هم‌فشار سطح زمین و بردار باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای منتخب ماه‌های می، ژوئن و اوت



شکل ۷: نقشه‌های هم‌فشار سطح زمین و بردار باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای منتخب ماه‌های سپتامبر، اکتبر و دسامبر

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، سریع‌ترین بادهای مشاهده شده و فرساینده در ماه‌های مختلف سال و نیز ضرایب پایداری باد در ایستگاه‌های منتخب شمال غرب ایران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی سریع‌ترین بادهای حاکی از تبعیت نسبی آن‌ها از تابع توزیع دوپارامتری ویبول و توزیع نرمال بود. این یافته با مطالعه صلاحی (۱۳۸۳)، بختیاری و همکاران (۱۳۸۴) و میرزامصطفی و همکاران (۱۳۸۷) دانش‌فراز و همکاران (۲۰۱۳)، رجبی و همکاران (۱۳۸۴)، اسلامیان و همکاران (۱۳۸۴) و جهانبخش و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت دارد. معنی‌دار نبودن همبستگی سرعت‌های باد ایستگاه‌های مورد بررسی، نشان از استقلال شرایط مؤثر بر وقوع باد است. همبستگی پایداری سرعت‌های باد در ایستگاه‌های مورد مطالعه با همدیگر، بیشتر و معنی‌دارتر از همبستگی سرعت‌های باد بود. روند لگاریتمی و پلی‌نومیال مرتبه‌ی ۶ داده‌های بادهای مشاهده شده و فرساینده، حاکی از روند

افزایش این سرعت‌ها در ایستگاه‌های زنجان و اردبیل و سیر کاهشی نامحسوس در ایستگاه زنجان بود. در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی، ضریب پایداری باد دارای روند کاهشی بود که ناپایدار بودن رفتار باد در سال‌های آتی را نشان می‌دهد. در پیش‌بینی داده‌های سریع‌ترین بادهای مشاهده شده و نیز ضریب پایداری باد، روند پلی‌نومیال مرتبه‌ی ۶، کارآمدتر از روند لگاریتمی بود. تحلیل نقشه‌های همدید بادهای فرساینده‌ی روزهای منتخب ماه‌های مختلف سال حاکی از آن بود که تقابل زیانه‌های کم‌فشار و پرفشارهای مستقر بر اطراف ایران در محدوده‌ی مورد مطالعه، سبب افزایش گرادیان فشار در سطح زمین شده و شرایط را برای وقوع بادهای فرساینده ایجاد نموده است. هارناک و همکاران (۱۹۹۷)، حسین‌زاده (۱۳۷۶) و امیدوار (۱۳۸۹) نیز به نتایج مشابهی دست یافته‌اند. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز در تمامی روزهای منتخب، استقرار ناوه‌ی متوسط تا عمیق در غرب ایران، شرایط را برای وزش بادهای غربی فراهم نموده است. نتایج پژوهش‌های مک‌تانیس و همکاران (۲۰۰۵)، امیدوار (۱۳۸۵)، براتی و عاشوری (۱۳۸۸)، هارناک و همکاران (۱۹۹۷)، امیدوار و خسروی (۲۰۱۲)، حمیدی و همکاران (۲۰۱۳) و آل احمد (۱۳۷۴) نیز همین نتایج را برای محدوده‌های مورد مطالعه این پژوهشگران تأیید می‌کند. قرارگیری محدوده‌ی مورد مطالعه در زیر موج بادهای غربی و وجود جریان جت (رودباد) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، وجود بادهای شدید فرساینده‌ی سطح زمین را توجیه می‌کند. در کل، عوامل تشکیل و تشدید بادهای توفنده و فرساینده‌ی محدوده‌ی مورد مطالعه، از نظر عامل و منشأ، مشابهت زیادی با یکدیگر دارند.

فهرست منابع

۱. احمدپناه، س. م.، حاتمی، ط.، آرا، ه.، مشهدی، ن. ۱۳۹۳. مطالعه رژیم باد و تجزیه و تحلیل بادهای فرساینده جنوب دامغان، دومین همایش ملی بیابان با رویکرد مدیریت مناطق خشک و کویری، دانشگاه سمنان.
۲. اختصاصی، م.، احمدی، ح.، خلیلی، ع.، صارمی نائینی، م.، رجبی، م. ۱۳۸۵. کاربرد گلباد، گلطوفان و گلماسه در تحلیل فرسایش بادی و تعیین جهت حرکت ماسه‌های روان (مطالعه‌ی موردی، دشت یزد- اردکان)، نشریه دانشکده منابع طبیعی، جلد ۵۹، شماره ۳، صفحات ۵۴۱ - ۵۳۳.
۳. اسلامیان، س.، سلطانی، س.، مدرس، ر. ۱۳۸۴. تحلیل فراوانی سرعت باد در استان اصفهان، اولین همایش ملی فرسایش بادی، یزد، دانشگاه یزد.
۴. امیدوار، ک. ۱۳۸۵. بررسی و تحلیل سینوپتیکی طوفان‌های ماسه در دشت یزد - اردکان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۱، شماره ۸۱، صفحات ۵۸ - ۴۳.
۵. امیدوار، ک. ۱۳۸۵. تحلیلی از رژیم بادهای شدید و طوفانی یزد، فصلنامه‌ی مدرس علوم انسانی، دوره‌ی ۱۴، شماره ۱، صفحات ۱۰۵ - ۸۳.
۶. بختیاری، ب.، خانجانی، م.، کامیاب مقدس، ر.، تراز، ح. ۱۳۸۴. تحلیل آماری سرعت باد در ایستگاه لایسمتری کرمان، اولین همایش ملی فرسایش بادی، یزد، دانشگاه یزد.
۷. براتی، غ.، عاشوری، ف. ۱۳۸۸. طراحی الگوهای همدید شدیدترین بادهای کرانه‌های جنوبی دریای خزر، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۲، صفحات ۸۰ - ۶۷.
۸. پرخیال، س. ۱۳۷۶. تحلیل اطلاعات انرژی باد منطقه‌ی سهند و تعیین پتانسیل باد منطقه، مجموعه مقالات انرژی‌های نو، تهران: انتشارات امور انرژی وزارت نیرو.
۹. جعفری، م. ۱۳۸۷. نوسان‌های وقوع باد و روزهای توفانی طی نیم قرن گذشته در منطقه‌ی خزری، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۱۶، شماره ۴، صفحات ۵۹۸-۵۸۳.
۱۰. جمیل، م.، عباسپورثانی، ک.، خراسانی، ا. ۱۳۸۳. فاصله بهینه بین توربین‌های بادی در یک نیروگاه بادی، نشریه انرژی ایران، شماره ۱۹، صفحات ۶۳-۵۵.

۱۱. جهانبخش، س.، دین‌پژوه، ی.، رضایی‌بنفشه، م.، اسمعیل‌پور، م. ۱۳۹۴. مقایسه روش‌های برآورد پارامترهای توزیع ویبول جهت تولید انرژی باد در استان آذربایجان شرقی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۵۹، صفحات ۸۰-۶۱.
۱۲. حسین‌زاده، س. ۱۳۷۶. بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۶، صفحات ۱۲۷-۱۰۳.
۱۳. حسینی، س. ۱۳۷۹. مطالعه سینوپتیکی توفان‌های شدید در تهران. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده‌ی منابع طبیعی.
۱۴. حنیفه‌پور، م.، مشهدی، ن.، خسروی، ح. ۱۳۹۲. تاثیر شدت و مدت خشکی بر وضعیت باد و فرسایش بادی در اراضی کشاورزی مطالعه موردی: شهرستان دامغان. پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال ۳، شماره ۲، صفحات ۷۷-۶۵.
۱۵. دودانگه، ا.، خانامانی، ع. ۱۳۹۴. مدلسازی فرسایش بادی و تحلیل فراوانی بادهای فرساینده در ایران. چاپ اول. انتشارات چشم انداز قطب. ۱۴۰ ص.
۱۶. ذوالفقاری، م. ۱۳۸۴. تعیین الگوی سینوپتیکی بادهای با سرعت بیش از ۳۶ کیلومتر در ساعت استان قم جهت پیش‌بینی به موقع آن، پژوهشنامه‌ی استان قم، شماره ۷، صفحات ۲۰۱ - ۱۸۲.
۱۷. رجبی، م.، روحانی، ف.، اختصاصی، م.، شاه‌محمدی، ع. ۱۳۸۴. بررسی بادهای فرساینده‌ی ایستگاه‌های زاهدان، خاش و نهبندان، پژوهشنامه‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، سال ۳، شماره ۳، صفحات ۱۳ - ۱.
۱۸. رجبی، م.، کریم‌زاده، ح.، کاویانی، م.، نوروزی، ع. ۱۳۸۴. تحلیل روابط شدت (سرعت)-مدت-فراوانی بادهای فرساینده فصلی ایستگاه شرق اصفهان، اولین همایش ملی فرسایش بادی، یزد، دانشگاه یزد.
۱۹. زاهدی، م.، صلاحی، ب.، جمیل، م. ۱۳۸۴. محاسبه چگالی و توان باد به منظور استفاده از انرژی آن در اردبیل، فصلنامه‌ی پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۳، صفحات ۵۵ - ۴۱.
۲۰. صادقی، م.، کریمی احمدآباد، م.، اختصاصی، م.، رجبی، م. ۱۳۹۴. تأثیر بادهای فرساینده بر مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای دشت سمنان، مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۷، شماره ۱، صفحات ۶۳-۵۳.
۲۱. صلاحی، ب. ۱۳۸۳. پتانسیل انرژی باد و برازش احتمالات واقعی وقوع باد با استفاده از تابع چگالی احتمال ویبول در ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۲، صفحات ۱۰۴ - ۸۷.
۲۲. میرزاصطفی، ن.، خلیلی، د.، ناظم‌السادات، م.، هادربادی، غ. ۱۳۸۷. پیش‌بینی ساعتی سرعت و جهت بادهای فرساینده با استفاده از داده‌های سه ساعته، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۵، شماره ۱، صفحات ۸۵ - ۶۹.
۲۳. نوری، غ.، انواری، س. م. ۱۳۹۰. ضرورت برآورد پتانسیل حمل ماسه و تعیین برآیند بادهای فرساینده کریدور جزینک به منظور کنترل عوامل بازدارنده توسعه سیستان، همایش منطقه‌ای جهاد اقتصادی، رهیافت‌ها و راهبردها، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان.
۲۴. همتی، ر. ۱۳۸۵. بررسی نقش تغییرات اقلیمی در تشدید یا کاهش بلایای جوی و اقلیمی در استان اردبیل، دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه طبیعی.
25. Akhzari, D., Farokhzadeh, B., Saedi, I., Goodarzi, M. 2015. Effects of wind erosion and soil salinization on dust storm emission in western Iran. Journal of rangeland science (JRS). 5(1): 37-48.
26. Daneshfaraz, R., Nemati, S., Asadi, H., Menazadeh, M. 2013. Comparison of four distributions for frequency analysis of wind speed: a case study, Journal of Civil Engineering and Urbanism, 3(1), 6-11.
27. Emanuel, K. 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. Nature. 436: 686-688.

28. Mezosi, G., Blanka, V., Bata, T., Kovács, F., B. Meyer, B. 2015. Estimation of regional differences in wind erosion sensitivity in Hungary. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 15: 97–107. Doi: 10.5194/nhess-15-97.
29. Hamidi, M., Kavianpour, M R., Shao, Y. 2013. Synoptic Analysis of Dust Storms in the Middle East, *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.*, 49(3), 279-286. DOI:10.1007/s13143-013-0027-9.
30. Harnak, R.P., Jenson, D.T., Cermak, J.R. 1997. Investigation to upper – air conditions occurring with warm season severe wind events in Utah. *Weather and forecasting.* 12(2): 282-293.
31. Hopley, J., Perry, E., Harvey, W., MacEwan, R. 2013. Wind erosion threat and agricultural land cover in the Mallee. Mallee Catchment press.
32. Laszlo Pasztor, L., Negyesi, G., Laborcz, A., Kovacs, T., Laszlo, E., Bihari, Z. 2016. Integrated spatial assessment of wind erosion risk in Hungary. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* doi:10.5194/nhess-2016-162.
33. Mctanish, G., Chan, Y., Mc Gowan, H., Leys, J. 2005. The 23rd October 2002 dust storm in eastern Australia: characteristic and meteorological conditions. *Atmospheric environment.* 39(7): 1227-1236.
34. Omidvar, K., Khosravi, Y. 2012. Synoptic Survey and Analysis of Sand Storms in Yazd-Ardakan Plain, *World Applied Sciences Journal*, 19(2): 198-204. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2012.19.02.2017.
35. Webster p.j., Holland, G.J., Curry, J.A. 2005. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, 309: 1844-1846.

Statistical and Synoptical Analysis of Erosive Wind in North-West of Iran

Salahi, B.^{1*}

¹ *Physical Geography Department, Faculty of Literature & Humanities, University of Mohaghegh Ardabili*

Abstract

The occurrence of erosive winds in the North West of Iran always causes damage to urban facilities and agricultural fields. By identifying behavior and synoptic patterns of Strong winds, necessary strategies can be chosen to deal with this destructive phenomenon. In this study, the fastest erosive winds and its steadiness coefficient were analyzed in selected stations of North West of Iran. Suitable model was introduced to predict these winds by using descriptive statistics analysis and logarithmic and order 6 polynomial trend. To understand the synoptic reasons for the occurrence of erosive winds in study area, 500hPa geopotential height, wind vector and sea level pressure maps were interpreted for the days with occurrence of erosive winds. Statistical analysis showed that the distribution of wind speed data follows from two-parameter Weibull and normal distributions. The results of the logarithmic and order 6 polynomial trend of data also indicate increase trend in erosive winds in Ardabil and Zanjan stations and decrease trend in wind steadiness coefficient at all stations. Synoptic analysis also showed that the erosive winds in stations under study were related to pressure gradient at sea level, the establishment of a relatively deep through and the polar front jet stream in 500hPa level.

Article History:

Received:

September 19, 2015

Revised:

14 October 2016

Accepted:

23 October 2016

Keywords:

North West of Iran,

Erosive winds,

Statistical analysis,

synoptic analysis

* Corresponding Author Email: bromand416@yahoo.com