

نشریه علمی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران
 شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJFRPR.2021.352899.1458
 شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350859.1400.19.2.1.0 صفحه ۲۱۱-۱۷۹ (۱۴۰۰)
 جلد ۱۹ شماره ۲

تحلیل بادهای توأم با گردوغبار و فرساینده در استان کرمان با هدف ارائه تقویم پیش‌بینی و مدیریت کنترل گردوغبار

سکینه لطفی‌نسب‌اصل^{۱*}، آزاده گوهردوست^۲، فاطمه درگاهیان^۳ و محمد خسروشاهی^۴

*۱- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

پست الکترونیک: s.lotfinasab@areeo.ac.ir

۲- کارشناس ارشد، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۳

چکیده

فرسایش بادی و گردوغبار دو روی یک سکه و از پیامدها و مصادیق بیابان‌زایی هستند که آثار زیانبار آنها به یکی از چالش‌های مهم، به‌ویژه در مناطق خشک و بیابانی بدل شده‌اند که کشور ایران و به‌ویژه استان کرمان نیز از آن بی‌نصيب نمانده است. در این تحقیق، رژیم فصلی باد و تحلیل فراوانی، سرعت و جهت بادهای مولد گردوغبار و فرساینده با منشأ محلی و فرامحلی بررسی شد. هدف، به‌کارگیری نتایج در برنامه‌ها و عملیات مقابله با بیابان‌زایی و کاهش وقایع گردوغباری با تأکید بر منشأ احتمالی آنها در سطح محلی و منطقه‌ای برای مسئولان است. بدین منظور از داده‌های ساعتی سمت و سرعت باد و کدهای گردوغباری ثبت‌شده در شش ایستگاه سینوپتیک طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ استفاده شد. سپس با شناسایی و تحلیل سرعت و جهت بادهای فرساینده و غیرفرساینده محلی و فرامحلی و بررسی همبستگی بین آنها، همچنین بررسی تصاویر ماهواره‌ای وقایع گردوغباری، به شناسایی منشأ احتمالی گردوغبار در سطح استان و خارج از آن پرداخته شد و در پایان، تقویم ماهانه باد در سه سطح مدیریت منطقه‌ای، استانی و محلی کنترل و مهار گردوغبار ارائه شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری جهت‌های فصلی عمومی باد، نشان داد در محدوده استان کرمان بادهای غالب در نواحی شمالی استان دارای جهت‌های شمالی و شمال‌غربی، در نواحی مرکزی دارای جهت غربی و در ناحیه جنوبی دارای جهت جنوب‌غربی هستند و بادهای جنوب‌غربی و غربی از سرعت بیشتری برخوردارند. نتایج آزمون تحلیل همگنی نشان داد در تمامی ایستگاه‌ها میانگین سرعت بادهای محلی همراه با گردوغبار طی سال‌های مورد مطالعه دارای روند کاهشی بوده است و سرعت بادهای محلی در استان ۳/۲ برابر میانگین سرعت بادهای فرامحلی است. شهرستان‌های بم و انار نسبت به سایر شهرستان‌ها بیشتر تحت تأثیر بادهای منطقه‌ای هستند و نقش بادهای شمالی در انتقال ذرات ریز معلق از استان‌های همسایه و مناطق دور به سمت استان بیشتر است. نتایج نشان داد در تمامی ایستگاه‌ها، فراوانی و سرعت بادهای غالب و نایب غالب، تحت تأثیر ناپایداری‌های جوی و سیکلون‌های حرارتی محلی و افزایش شیب گرادیان فشار ناشی از تغییرات فصلی و تابش خورشید افزایش یافته و سبب ایجاد وقایع گردوغباری شده است. براساس مطالعه روابط همبستگی و مطالعه بصری تصاویر ماهواره‌ای، منشأ احتمالی گردوغبار فرامحلی همراه با بادهای با سرعت شش متر بر ثانیه و بیشتر در داخل استان و فرامحلی کمتر از شش متر بر ثانیه در خارج از استان (محل برداشت) شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: گلباد، گلغبار، استان کرمان، باد فرساینده، گردوغبار محلی و فرامحلی، تقویم ماهانه باد، منشأ گردوغبار

مقدمه

قرار گرفتن ایران در کمربند خشک و بیابانی و تعلق داشتن دوسوم از مساحت آن به مناطق خشک، آن را به یکی از مناطق حساس به فرسایش بادی و مولد گردوغبار مبدل کرده است (Zamani et al., 2019).

فرسایش بادی و گردوغبار دو روی یک سکه و از پیامدها و مصادیق بیابان‌زایی هستند که از جمله رایج‌ترین و مخرب‌ترین پدیده‌ها در مناطق خشک و بیابانی محسوب می‌شوند و آثار زیانبار آنها از ابعاد سلامت، محیط‌زیست و اقتصاد به یکی از چالش‌های مهم منطقه‌ای و جهانی تبدیل شده‌اند (Reheis & Durban, 2011). در سال‌های اخیر به دلیل گرمایش جهانی، افزایش روند بیابان‌زایی و فعالیت‌های انسانی، فرسایش بادی و به دنبال آن گردوغبار موجود در جو افزایش داشته است (Derbyshire, 2007). یکی از مهمترین دلایل این موضوع تغییر سریع درجه حرارت هوا در بیابان‌ها و مناطق خشک است که موجب ایجاد گرادیان فشار در نقاط مختلف و تشکیل بادهای قوی و دائمی می‌شود (Sedaghat, 1979). گردوغبار یا ریزگرد به ذراتی بسیار کوچک و سبک سیلنتی و رسی یا ماسه‌ای اطلاق می‌شود که در اثر فرسایش بادی و بیابان‌زایی توسط باد تا مسافت بسیار طولانی جابه‌جا و منتقل می‌شوند (Department of Environment, 2011). بادهای شدید و فرساینده، مقدار زیادی از ذرات خاک را از روی زمین‌های خشک و پوشیده از خاک و شن بلند و به حالت متحرک و معلق، هوا را تیره و دید افقی را تا کمتر از یک کیلومتر محدود می‌کنند (Ansari Renani, 2011). عوامل متعددی از جمله عوامل اقلیمی، شرایط زمین و مدیریت نادرست انسانی بر فرایند فرسایش بادی تأثیر می‌گذارند و موجب افزایش یا کاهش روند آن در گذر زمان می‌شوند، اما سرعت باد نقش اساسی در فرسایش بادی دارد (Rajabi & modarres, 2008). به طوری که تحقیقات نشان می‌دهد، میزان فرسایش بادی با توان سوم سرعت باد متناسب است و کاهش ناچیز در سرعت باد، کاهش قابل توجهی در میزان فرسایش بادی دارد (Hagen, 1996). در تخریب و ایجاد فرسایش بادی، علاوه بر سرعت متوسط باد، فراوانی آن

نیز حائز اهمیت است. بدین معنی که بادی با سرعت کمتر، به دلیل فراوانی بالای آن می‌تواند دارای اثر تخریبی چشمگیری باشد. همچنین پیش‌بینی سرعت و جهت باد غالب می‌تواند در شناخت نوع باد، تعیین منشأ برداشت رسوبات بادی و شکل‌گیری اشکال تپه‌های ماسه‌ای مفید باشد (Ekhtesasi, 2004). اگر سرعت وزش باد از سرعت آستانه فرسایش بیشتر شود مقدار قابل توجهی از ذرات خاک از بستر خود جدا و به صورت گردوغبار به داخل جو وارد می‌شوند (Ataiee & Ahmadi, 2010).

به طور کلی گردوغبار در اثر عوامل طبیعی و انسانی ایجاد می‌شود و رژیم باد منطقه به ویژه بادهای فرساینده از نظر سرعت، جهت، تداوم، فراوانی و تفاوت زمانی و مکانی به عنوان یکی از عوامل طبیعی در فرسایش بادی، نقش اساسی و مهمی را در شکل‌گیری و تشدید پدیده گردوغبار ایفا می‌کنند (Sadeghi & Modarres, 2011).

بررسی چگونگی زمان مقابله با فرسایش بادی و شناخت مناطق برداشت، حمل و رسوب‌گذاری از اهمیت قابل توجهی در کاهش یا کنترل پدیده گردوغبار برخوردار است. مطالعات انجام‌شده در مناطق بیابانی نشان می‌دهد که بهترین مرحله مبارزه با فرسایش بادی که از سه مرحله برداشت، حمل و رسوب‌گذاری تشکیل شده است، مرحله برداشت است. مبارزه با فرسایش بادی در مرحله برداشت علاوه بر صرف هزینه کمتر با موفقیت بسیار بیشتری نسبت به دو مرحله دیگر برخوردار است (Rashki, 2019). فرسایش بادی در استان کرمان واقع در جنوب شرقی ایران، به دلیل استقرار درصد زیادی از مساحت آن در اقلیم خشک، فقر پوشش گیاهی، همواری نسبی سطح زمین و وجود زمین‌های پست و کویری و دشت‌های متعدد و وسیع، شدت و غلبه زیادی دارد (Yamani, 2001). از این رو، دارای همه فعل‌وانفعالات پیچیده و خشن طبیعی مربوط به شرایط آب‌وهوای خشک و شدید کویری است. دوری از دریا و وزش بادهای گرم و خشک از سمت کویر، سبب مقدار کم بارش و ضعف پوشش گیاهی می‌شود. علاوه بر این، بین فصول سرد و گرم و حتی در شب و روز، درجه حرارت هوا اختلاف شدیدی را نشان می‌دهد

اقلیم خشک بیابانی گرم است و آب‌وهوای این استان به دلیل وسعت منطقه و شرایط خاص اقلیمی در نواحی مختلف، کاملاً متفاوت است، به طوری که تابستان‌های آن خیلی گرم و زمستان‌ها سرد است (Atapour & Aftabi, 2002). به طور کلی چهار نوع اقلیم خاص در این استان غالب است (جدول ۱ و شکل ۲). حدود دو سوم از سطح استان را کوه‌ها پوشانده‌اند. پهنه جغرافیایی استان کرمان به لحاظ ناهمواری‌ها، دارای دو قسمت کاملاً متمایز است، قسمت شرقی از شمالی‌ترین نقطه استان (مرزهای جنوبی استان‌های خراسان جنوبی و یزد) تا جنوبی‌ترین آن (جبهه شمالی کوه‌های بشاگرد)، به طور کامل با زمین‌های پست و کویری پوشیده شده است. دشت لوت پست‌ترین دشت داخلی ایران (با حداقل ۵۶ متر ارتفاع) و دشت ابراهیم‌آباد سیرجان، مرتفع‌ترین دشت داخلی ایران (با ارتفاع ۱۷۱۰ متر) است؛ چاله جازموریان، قسمت‌هایی از دشت انار، دشت رفسنجان و کفه نمکی سیرجان در این محدوده قرار دارند که معمولاً از رسوبات بادی به شکل تل‌ماسه‌ها و تپه‌های شنی پوشیده شده‌اند و رسوبات تبخیری (گچ و نمک) در آنها دیده می‌شود. بزرگ‌ترین دشت ریگی ایران با وسعت ۹۱ کیلومتر مربع در دشت لوت قرار دارد و ریگ کرمان با وسعت ۳۵۴ در جنوب شهر کرمان است و تمامی این عوامل موجب شده تا زمین‌های استان کرمان به فرسایش بادی حساس باشند.

روش تحقیق

در این تحقیق برای بررسی رژیم باد و شناسایی بادهای محلی و فرامحلی مولد و توأم با گردوغبار، همچنین بادهای فرساینده، به عنوان عامل مهم بروز و تشدید پدیده گردوغبار، از آمار شش ایستگاه انار، بم، سیرجان، شهراباک، کرمان و کهنوج که دارای بیشترین اطلاعات آماری بودند، استفاده شد (شکل ۱). بیشترین ارتفاع مربوط به ایستگاه شهراباک و کمترین آن مربوط به ایستگاه کهنوج است. در ابتدا داده‌های ساعتی ثبت شده در ایستگاه‌های همدید (سینوپتیک) از قبیل زمان و تاریخ دیده‌بانی، جهت و سرعت باد، حداقل میدان دید و کد پدیده‌های گردوغبار شامل کدهای ۰۶، ۰۷، ۰۸، ۰۹،

و این موجب جابه‌جاشدن هوا از نقاط مرتفع کوهستانی به طرف نقاط پست و ایجاد جریان‌های نامنظم همراه با تغییرات شدید درجه حرارت و وقوع گردوغبار می‌شود. هر ساله به دلیل وزش این بادهای و جریان ماسه‌های روان به سمت مزارع و باغ‌ها، خسارت فراوانی به کشاورزان منطقه وارد می‌شود (Zamani *et al.*, 2019). هدف از انجام این تحقیق، بررسی رژیم فصلی باد و تحلیل فراوانی، سرعت و جهت بادهای مولد گردوغبار با منشأ محلی و فرامحلی است. همچنین منشأ بادهای فرساینده و جهت اصلی آنها با استفاده از داده‌های مجموعه زمانی سمت و سرعت باد و کدهای گردوغباری ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک با هدف به‌کارگیری درست در برنامه‌های کنترل فرسایش بادی و عملیات مقابله با بیابان‌زایی در سطح محلی و منطقه‌ای و در نهایت کاهش وقایع گردوغباری، بررسی و شناسایی شد. با این فرض که بررسی بادهای مولد گردوغبار با منشأ محلی و فرامحلی و بعد تحلیل بادهای محلی و فرامحلی بیشتر از سرعت آستانه فرسایش، به شناسایی دقیق‌تر بادهای فرساینده محلی و فرامحلی در سطح استان کمک می‌کند، همچنین دسترسی سریع کارشناسان و دست‌اندرکاران اجرایی مقابله و کنترل فرسایش بادی در حداقل زمان ممکن به اطلاعات درست فنی و اجرایی، می‌تواند در احداث انواع بادشکن‌ها تأثیرگذار باشد.

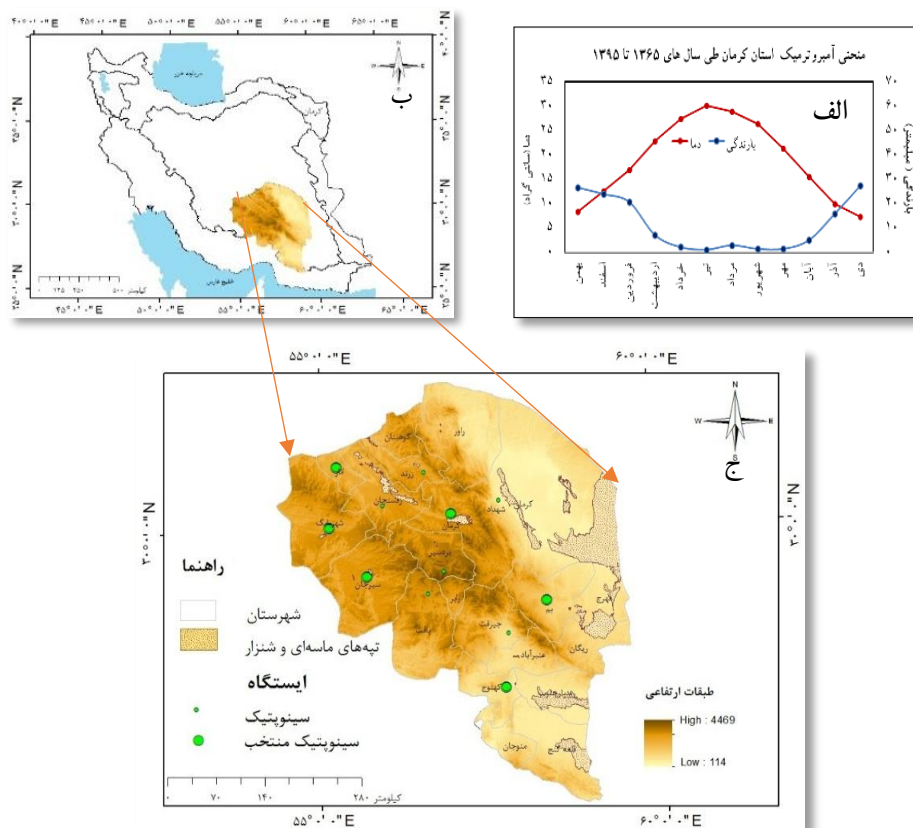
مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

استان کرمان با وسعت ۱۸۳۲۸۵ کیلومتر مربع در بین طول شرقی ۵۴ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۳۴ دقیقه و عرض شمالی ۲۶ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه در جنوب شرقی ایران قرار دارد و نزدیک به ۱۱ درصد خاک ایران را دربر می‌گیرد. میانگین بارندگی و دمای سالانه استان طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵، به ترتیب برابر ۱۳۳/۵ میلی‌متر و ۱۹ درجه سانتی‌گراد است. خشک‌ترین ماه‌های سال، اردیبهشت تا آبان است، بیشترین دما و حداقل بارندگی در تیرماه و کمترین دما و حداکثر بارندگی در دی‌ماه ثبت شده است (شکل ۱). اقلیم استان کرمان از نظر تقسیم‌بندی‌ها جزو

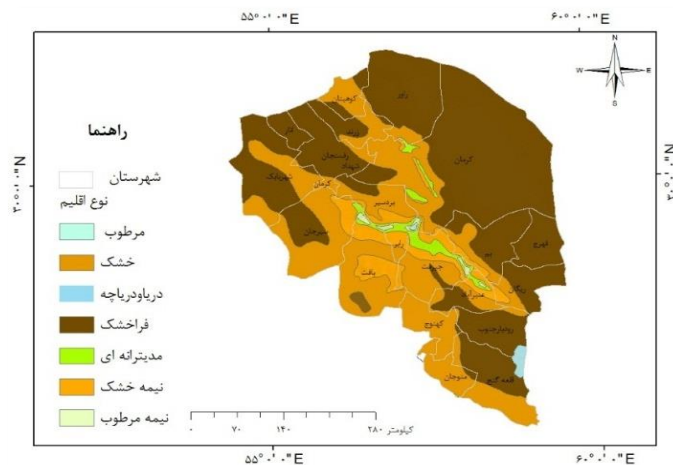
گردوغبارهای محلی (LDE)، طوفان‌های متوسط (MDS) و طوفان‌های شدید (SDS) (جدول ۴) بررسی شد. سپس با شناسایی و تحلیل سرعت و جهت بادهای فرساینده و غیرفرساینده و بررسی همبستگی بین آنها، به شناسایی منشأ احتمالی گردوغبار در سطح استان و خارج از آن پرداخته شد و در پایان تقویم ماهانه باد در سه سطح مدیریت منطقه‌ای، استانی و محلی کنترل و مهار گردوغبار ارائه شد. سرعت باد، موقعیت جغرافیایی، میانگین بارندگی و دمای سالانه، درصد رطوبت نسبی و جمع تبخیر سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره مورد بررسی در جدول ۲ و توضیحات مربوط به کد پدیده‌های گردوغبار در جدول ۳ ارائه شده است.

۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵ و ۹۸ از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. دوره مشترک آماری ایستگاه‌های منتخب، بازه زمانی مشترک ۳۱ ساله (۱۳۶۵-۱۳۹۵) برای تجزیه و تحلیل داده‌ها انتخاب شد. سپس وضعیت باد و تغییرات آن به شکل فصلی، ماهانه و سالانه بررسی و پس از آن به کمک نرم‌افزار WRPlot View.8.0.2 گلباد و گلغبار سالانه و فصلی در هر یک از ایستگاه‌ها ترسیم شد. در مرحله بعد، پس از بررسی همگنی و تعیین نقاط تغییر در مجموعه‌های زمانی داده‌های فراوانی و سرعت بادهای غالب توأم با گردوغبار (شکل ۸)، ارتباط بین سرعت و جهت بادهای غبارآلود فرامحلی (کد ۰۶) و محلی (۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰-۳۵ و ۹۸) با نمایه‌های سه‌گانه



شکل ۱- الف) منحنی آمیروترمیک استان کرمان (ب) موقعیت استان کرمان در کشور (ج) نقشه طبقات ارتفاعی، موقعیت ایستگاه‌های

هواشناسی منتخب و تپه‌های ماسه‌ای و شنزارها در استان کرمان



شکل ۲- انواع اقلیم در استان کرمان (PBO, 2015)

جدول ۱- انواع اقلیم در استان کرمان

نوع اقلیم	مساحت (درصد)
فراخشک	۵۷/۴۸
خشک	۳۳/۱۸
نیمه خشک	۶/۵۳
مدیترانه ای	۱/۹۸
دریا و دریاچه	۰/۴۱
نیمه مرطوب	۰/۳۸
مرطوب	۰/۰۴

جدول ۲- اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک در استان کرمان (۱۳۶۵-۱۳۹۵)

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	سال تأسیس	باران (میلی متر)	دما (درجه سانتی گراد)	جمع تخیخ سالانه (میلی متر)	رطوبت نسبی (درصد)
انار	۳۰/۸۸۳۳۳	۵۵/۲۵۰۰۰	۱۴۰۹	۱۳۶۴	۶۸/۱۶	۱۸/۳	۲۷۷۴	۲۸/۳۸
بم	۲۹/۱۰۰۰۰	۵۸/۳۵۰۰۰	۱۰۶۷	۱۳۳۵	۵۵/۷	۲۳/۸	۳۵۷۴	۲۵/۴۰
کهنوج	۲۷/۹۹۴۱۷	۵۷/۷۱۳۳۳	۴۹۹	۱۳۶۸	۱۸۴/۵	۲۶/۹	۳۴۶۷/۵	۳۸/۹۴
کرمان	۳۰/۲۵۶۱۱	۵۶/۹۶۲۵۰	۱۷۵۳/۴	۱۳۲۸	۱۲۷/۶۷	۱۶/۴	۲۵۴۷	۳۱/۹۵
شهربابک	۳۰/۱	۵۵/۱۳۳۳۳	۱۸۳۴	۱۳۶۵	۱۴۵/۶۹	۱۵/۳	۲۵۷۷	۳۳/۴۵
سیرجان	۲۹/۴۶۶۶۷	۵۵/۶۸۳۳۳	۱۷۳۹	۱۳۶۳	۱۳۴/۷۵	۱۷/۴	۲۴۵۴	۳۴/۴۶

مقادیر حداقل و حداکثر هر یک از پارامترها به شکل پرنگ در جدول ارائه شده است.

جدول ۳- کدهای مختلف سازمان هواشناسی جهانی (WMO) برای بیان انواع پدیده گردوغبار

کد	نام علمی	توضیحات
۰۶	گردوخاک معلق (dust Hase)	گردوخاک معلق در هوا و گسترده که به وسیله باد در ایستگاه یا نزدیکی ایستگاه بلند نشده است.
۰۷	گردوخاک (Rising Dust)	گردوخاک یا شن و ماسه‌ای که در اثر وزش باد در محل ایستگاه یا در اطراف آن در ساعت دیده‌بانی به هوا بلند شده است.
۰۸	گردباد	گردبادهای تکامل یافته در خود ایستگاه یا اطراف آن در زمان دیده‌بانی یا یک ساعت قبل
۰۹	طوفان	طوفان گردوخاک در ساعت دیده‌بانی در اطراف ایستگاه یا در طی ساعت گذشته در خود ایستگاه وجود داشته است.
۳۰	طوفان گردوخاک با ماسه و شن ملایم	طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است.
۳۱	طوفان گردوخاک با ماسه و شن ملایم	طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است.
۳۲	طوفان گردوخاک با ماسه ملایم	طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است.
۳۳	طوفان گردوخاک با ماسه و شن شدید	طوفان شدید گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است.
۳۴	طوفان گردوخاک با ماسه و شن شدید	طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است.
۳۵	طوفان گردوخاک با ماسه و شن شدید	طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است.
۹۸	رعد و برق توأم با طوفان گردوخاک یا طوفان شن	-

جدول ۴- نمایه‌های سه‌گانه گردوغبارهای محلی (O'Loingsigh, 2014)

ردیف	نمایه	توضیحات
۱	LDE	روزهای با گردوغبار محلی، مجموع مشاهدات کدهای گردوغبار حداکثر روزانه ۰۷، ۰۸ و ۰۹
۲	MDS	روزهای طوفانی با گردوغبار متوسط، مجموع مشاهدات کدهای گردوغبار حداکثر روزانه ۳۰-۳۲ و ۹۸
۳	SDS	روزهای طوفانی با گردوغبار شدید، مجموع مشاهدات کدهای گردوغبار حداکثر روزانه کد ۳۳-۳۵

نتایج

بررسی رژیم فصلی، ماهانه و سالانه باد و تغییرات آن بررسی وضعیت باد در استان (جدول ۵) نشان می‌دهد، ۴۲ درصد از بادهای استان دارای سرعت کمتر از یک متر بر ثانیه (باد آرام) است و این در حالی است که به ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی باد آرام در ایستگاه‌های انار و بم، همچنین بیشترین و کمترین فراوانی باد در شرایط بادناکی (غیرآرام)

(سرعت ۰/۵۱ متر بر ثانیه و بیشتر) در ایستگاه بم و انار رخ داده است و شهرستان‌های کرمان، بم، سیرجان، شهربابک، کهنوج و انار به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین فراوانی باد و شهرستان‌های کهنوج، بم، کرمان، شهربابک، سیرجان و انار به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین سرعت باد هستند. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد، فراوانی باد در نیمه شرقی استان بیش از نیمه غربی آن است.

جدول ۵- فراوانی، درصد فراوانی و میانگین سرعت (متر بر ثانیه) باد در شهرستان‌های استان کرمان (۱۳۶۵-۱۳۹۵)

ایستگاه	باد آرام (<۰/۵۱) (سرعت)		وضعیت بادناکی (>۰/۵۱) (سرعت)		کل باد (آرام و بادناکی)	
	فراوانی	درصد فراوانی	فراوانی	درصد فراوانی	فراوانی	میانگین سرعت
انار	۳۴۴۶۹	٪ ۵۱/۵۳	۲۹۹۴۶	٪ ۴۸/۴۶	۶۴۴۱۵	۲/۴
بم	۲۷۴۰۳	٪ ۳۱/۳۱	۶۰۱۲۸	٪ ۶۸/۶۹	۸۷۵۳۱	۳/۱
کهنوج	۲۹۱۱۰	٪ ۳۹/۹۸	۴۳۶۹۷	٪ ۶۰/۰۲	۷۲۸۰۷	۳/۷
کرمان	۳۴۱۲۲	٪ ۳۸/۹۴	۵۳۵۱۶	٪ ۶۱/۰۶	۸۷۶۳۸	۲/۸
شهربابک	۳۴۲۱۱	٪ ۴۱/۵۱	۴۸۲۰۲	٪ ۵۸/۴۹	۸۲۴۱۳	۲/۸
سیرجان	۴۱۸۷۱	٪ ۴۱/۱۸	۴۵۰۲۷	٪ ۵۱/۸۲	۸۶۹۰۸	۲/۶
استان	۲۰۱۱۸۶	٪ ۴۱/۷۶	۲۸۰۵۲۶	٪ ۵۸/۲۴	۴۸۱۷۱۲	۲/۹

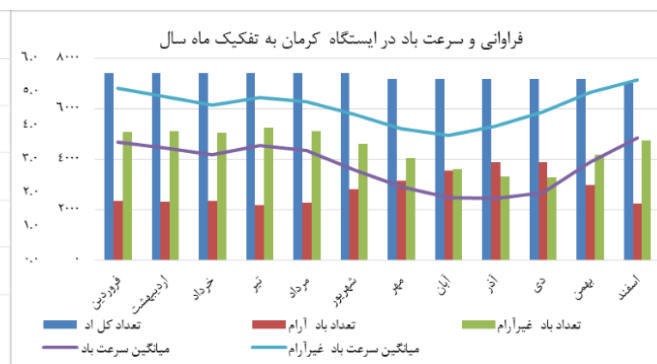
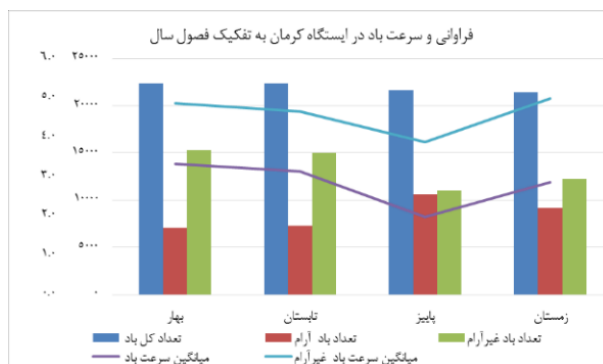
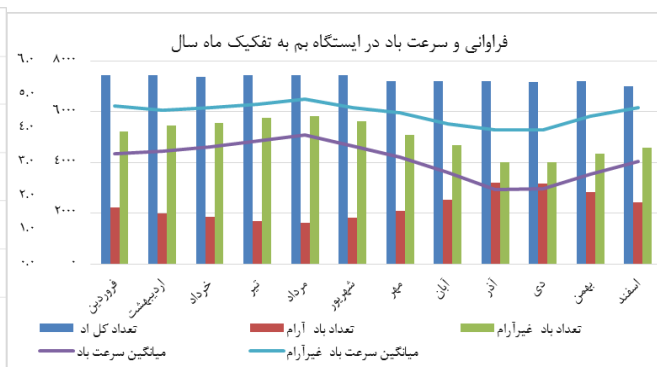
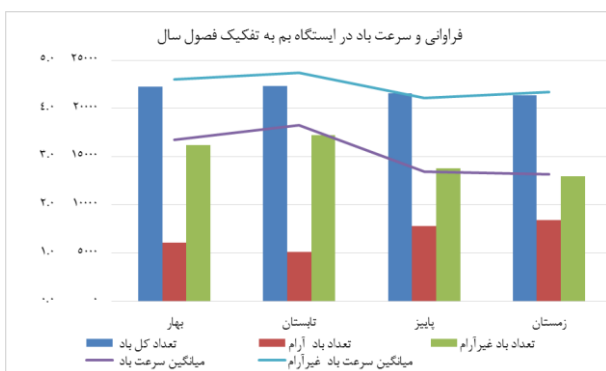
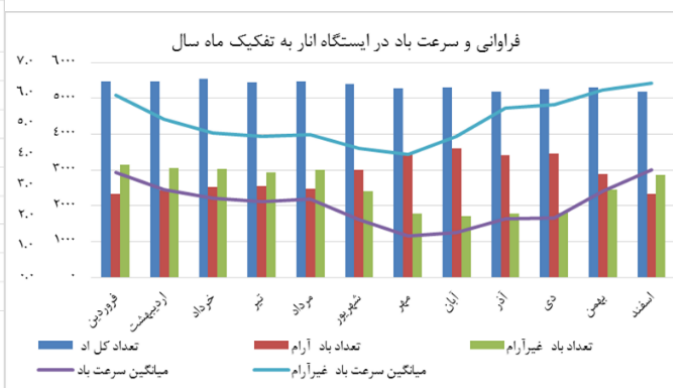
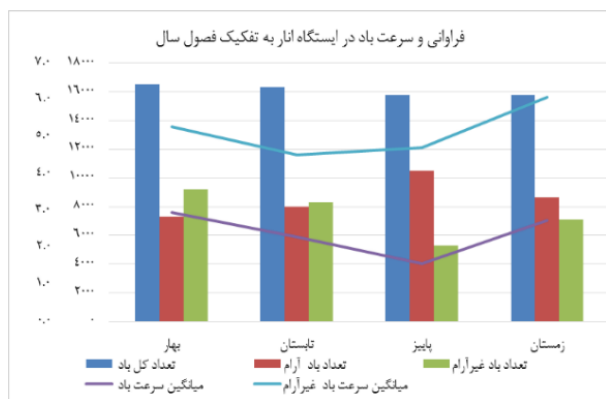
بررسی فصلی فراوانی باد نشان داد که کلیه ایستگاه‌ها به ترتیب در فصل تابستان، بهار، زمستان و پاییز دارای بیشترین فراوانی باد هستند و این وضعیت به غیر از ایستگاه انار که بیشترین فراوانی باد را در شرایط بادناکی (غیرآرام) در فصل بهار دارد، در سایر ایستگاه‌ها برای باد غیرآرام نیز وجود دارد، این در حالی است که در همه ایستگاه‌ها فصل پاییز و زمستان به ترتیب بیشترین فراوانی باد آرام را دارند (شکل ۳ و ۴).

بررسی ماهانه فراوانی باد نشان داد در همه ایستگاه‌ها به جز انار و سیرجان، به ترتیب از فروردین ماه تا شهریور مقادیر فراوانی باد با شیب به نسبت ملایمی افزایش داشته است و از مهرماه تا اسفند از میزان فراوانی باد کاسته شده است که البته مقادیر شیب افزایشی و کاهش‌ی در ایستگاه کهنوج از شدت بیشتری برخوردار است. در ایستگاه انار، در دو نیمه ابتدایی و پایانی سال شیب فراوانی باد کاهش‌ی است، به جز ماه‌های خرداد و مرداد که بر مقدار فراوانی آن افزوده شده و در آذرماه به حداقل مقدار خود رسیده است. در ایستگاه سیرجان، فراوانی باد از فروردین تا تیر کاهش و از مرداد تا دی افزایش یافته است و در ماه‌های بهمن و اسفند به یکباره کاهش یافته است (شکل ۳ و ۴).

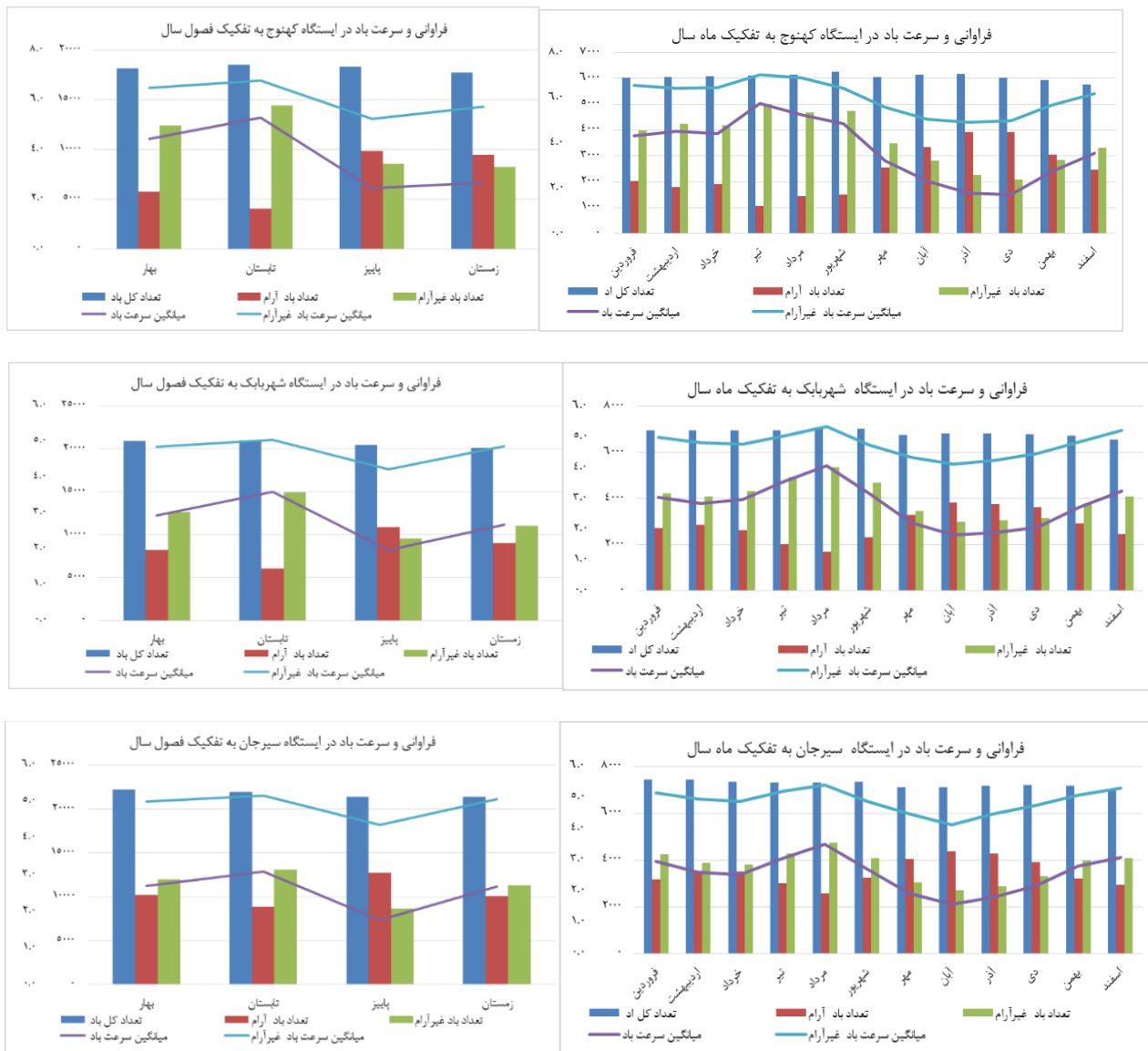
بررسی فصلی سرعت باد نشان داد به جز ایستگاه انار و کرمان که بیشترین میانگین سرعت باد در فصل بهار، در آنها رخ می‌دهد، سایر ایستگاه‌ها به ترتیب در فصل تابستان، بهار، زمستان و پاییز دارای بیشترین میانگین سرعت باد هستند (شکل ۳ و ۴).

دوباره شیب افزایشی شده است. در ایستگاه انار، میانگین سرعت باد از فروردین تا آذرماه شیبی کاهشی داشته و از ماه دی به بعد شیب افزایش یافته است (شکل ۳ و ۴).

بررسی ماهانه سرعت باد نشان داد به جز ایستگاه انار در سایر ایستگاه‌ها به ترتیب از فروردین تا تیرماه، میانگین سرعت باد با شیب به نسبت متوسطی افزایش یافته و از شهریور تا دی ماه از شیب آن کاسته شده و از بهمن ماه



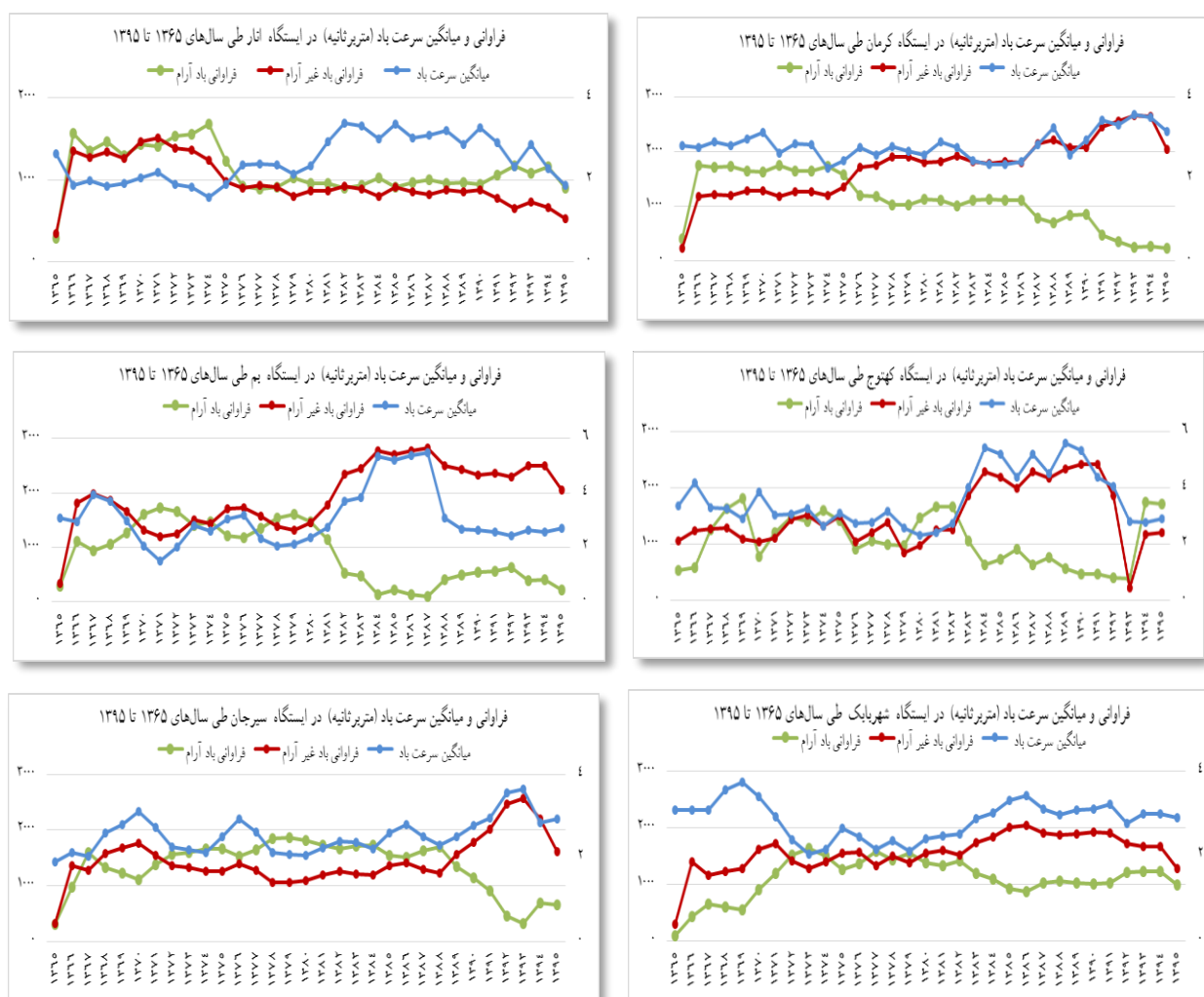
شکل ۳- فراوانی و میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه) در ایستگاه‌های انار، بزم و کرمان به تفکیک فصول و ماه‌های سال



شکل ۴ - فراوانی و میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه) در ایستگاه‌های کهنوج، شهرباک و سیرجان به تفکیک فصول و ماه‌های سال

سرعت باد نیز افزایش یافته است، سپس به ترتیب از سال ۱۳۷۸ و ۱۳۹۱ در ایستگاه بم و کهنوج از فراوانی شرایط بادناکی و سرعت باد کاسته و بر میزان فراوانی بادهای آرام افزوده شده است. فراوانی و سرعت باد در ایستگاه شهرباک، طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵، در دو دوره یعنی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۰ و ۱۳۸۰ به بعد دستخوش تغییر بوده است. در ایستگاه سیرجان از سال ۱۳۸۰ به بعد سرعت باد و فراوانی در شرایط بادناکی شیب افزایش داشته است (شکل ۵).

بررسی سالانه فراوانی باد نشان داد در ایستگاه انار از سال ۱۳۷۶ به بعد از فراوانی بادهای آرام و وضعیت بادناکی کاسته و بر سرعت باد افزوده شده است. در ایستگاه کرمان از سال ۱۳۷۴ به بعد از فراوانی بادهای آرام کاسته، همزمان با آن بر فراوانی بادها در شرایط بادناکی افزوده و هماهنگ با آن بر میزان سرعت باد نیز افزوده شده است. در ایستگاه بم و کهنوج از سال ۱۳۸۰ به بعد از فراوانی بادهای آرام کاسته و بر میزان فراوانی باد در شرایط بادناکی افزوده شده است و میانگین



شکل ۵- فراوانی و میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه) در ایستگاه‌های کهنوج، شهر بابک و سیرجان به تفکیک سال

پارامترها، شاخص‌ها و نمودارهای متفاوتی ارائه شده‌اند که از جمله آنها می‌توان به نمودارهای گلباد و گل‌غبار اشاره کرد. اگرچه گلباد کاربردهای فراوانی دارد، اما شاخص مناسبی برای تحلیل و بررسی بادهای طوفانی و توأم با گردوغبار نیست، زیرا در محاسبات مربوط به گلباد، همه بادهای با سرعت بیش از یک نات (۲ کیلومتر بر ساعت) دخیل هستند و بادهای با کمتر از این مقدار، به‌عنوان بادهای آرام در نظر گرفته می‌شوند، در صورتی‌که اغلب بادهای طوفان‌زا و مولد گردوغبار دارای سرعتی بیش از سرعت آستانه برای برداشت و حمل ذرات غبار و به‌تبع آن ایجاد گردوغبار هستند (Ekhtesasi *et al.*, 2006) و

بررسی گلباد و گل‌غبار

پس از بررسی وضعیت باد و تغییرات آن در بازه زمانی مورد مطالعه، گلبادهای فصلی و سالانه برای تعیین باد غالب برای ایستگاه‌ها با استفاده از نرم‌افزار WRplot ۷ در جهت ۸ با فواصل ۴۵ درجه و ۹ طبقه سرعت بررسی و تحلیل شدند (شکل ۲).

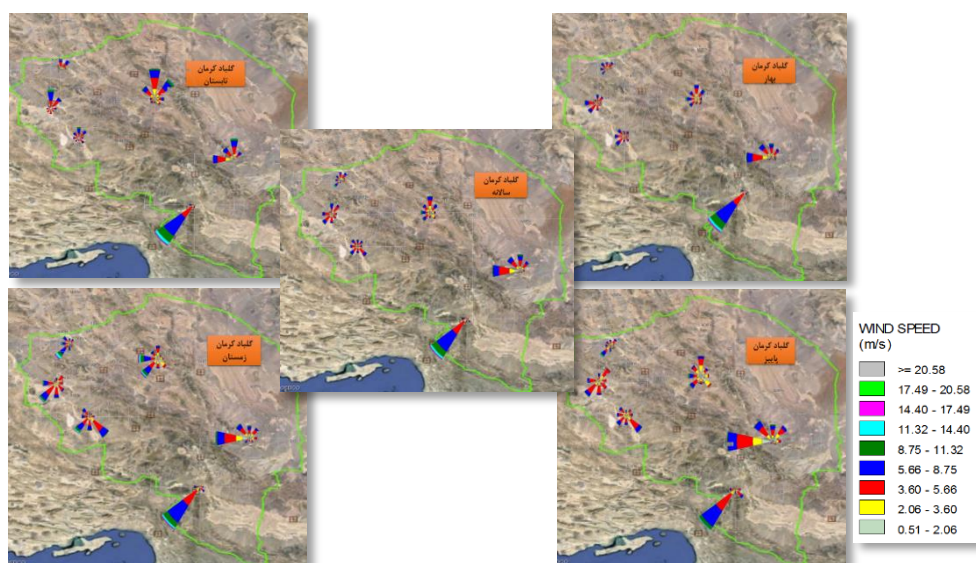
دستیابی به روش‌های آسان و کاربردی تحلیل داده‌های هواشناسی، برای شناسایی بادهای طوفان‌زا و مؤثر در فرسایش بادی، از گذشته تاکنون مورد توجه متخصصان بوده است (Ekhtesasi *et al.*, 2006). برای تجزیه و تحلیل دقیق‌تر از وضعیت بادناکی و شرایط دینامیک آن، روش‌ها،

استفاده از گل‌غبار روش مناسب‌تری برای بررسی طوفان‌خیزی و پدیده گردوغبار نسبت به گلباد است. بنابراین برای رسم گل‌غبار، ابتدا بادهای همراه با کد پدیده‌های گردوغبار استخراج شدند، سپس گل‌غبار سالانه و فصلی ترسیم شد (شکل ۷).

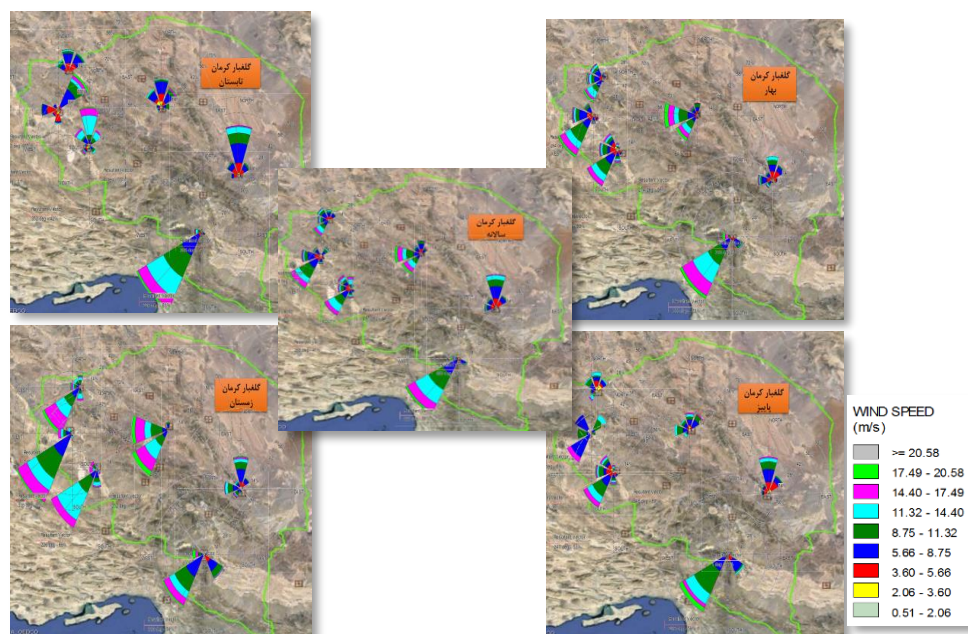
بررسی گلباد

نتایج حاصل از بررسی گلباد سالانه در ایستگاه انار نشان داد بیشتر بادهای از شمال شرق و جنوب غرب به ایستگاه می‌وزند، این در حالی است که بادهای غالب در دو فصل بهار و زمستان از جنوب غرب و بادهای غالب در فصول تابستان و پاییز از شمال شرق می‌وزند. نتایج حاصل از بررسی گلباد سالانه در ایستگاه بم نشان داد که غالب بادهای از سمت غرب به ایستگاه می‌وزند، این در حالی است که بادهای غالب فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان نیز از جهت غرب می‌وزند. بررسی گلباد سالانه و فصلی ایستگاه کهنوج نشان داد غالب بادهای از سمت جنوب غرب به این ایستگاه می‌وزند. گلباد سالانه ایستگاه کرمان نشان داد غالب بادهای از شمال به ایستگاه می‌وزند، این در حالی است که بادهای غالب در فصول بهار، تابستان و پاییز از سمت شمال و در فصل زمستان از جنوب غرب به ایستگاه می‌وزند. گلباد سالانه ایستگاه سیرجان نشان داد غالب بادهای از جنوب شرق به ایستگاه می‌وزند، این در حالی است که بادهای غالب در فصل بهار از جنوب غرب، تابستان از شمال و بادهای غالب در فصول زمستان و پاییز از جنوب شرق می‌وزند. گلباد سالانه ایستگاه شهربابک نشان داد غالب بادهای از جنوب غرب و شمال به ایستگاه می‌وزند، این در حالی است که بادهای غالب در فصول بهار، پاییز و زمستان از جنوب غرب و بادهای غالب در فصل تابستان از شمال می‌وزند (شکل ۶).

بررسی گل‌غبار (بادهای توأم با گردوغبار) نتایج حاصل از بررسی گل‌غبار سالانه در ایستگاه انار نشان داد غالب بادهای توأم با گردوغبار از جنوب غرب به ایستگاه می‌وزند، این در حالی است که بادهای توأم با گردوغبار غالب در دو فصل بهار و زمستان از جنوب غرب و بادهای توأم با گردوغبار غالب در فصول تابستان و پاییز از سمت شمال به ایستگاه می‌وزند. گل‌غبار سالانه و فصلی ایستگاه بم نشان داد بادهای توأم با گردوغبار غالب سالانه و فصلی در این ایستگاه از سمت جنوب غرب به ایستگاه می‌وزند، به عبارتی بادهای توأم با گردوغبار، همان بادهای غالب ایستگاه (بادهای جنوب غربی) هستند. گل‌غبار سالانه ایستگاه کرمان نشان داد غالب بادهای از غرب به ایستگاه می‌وزند، این در حالی است که بادهای فرساینده غالب در فصل بهار از سمت غرب و در فصل زمستان از جنوب غرب و بادهای غالب در دو فصل تابستان و پاییز از سمت شمال به ایستگاه می‌وزند. گل‌غبار سالانه ایستگاه سیرجان نشان داد غالب بادهای از جنوب غرب به ایستگاه می‌وزند، این در حالی است که بادهای فرساینده غالب در دو فصل بهار و زمستان از جنوب غرب و بادهای غالب در فصل تابستان از شمال و پاییز از سمت شمال به ایستگاه می‌وزند. گل‌غبار سالانه ایستگاه شهربابک نشان داد غالب بادهای از جنوب غرب به ایستگاه می‌وزند، این در حالی است که بادهای توأم با گردوغبار در دو فصل بهار، پاییز و زمستان از جنوب غرب و بادهای غالب در فصل تابستان از سمت شمال شرق به ایستگاه می‌وزند (شکل ۷).



شکل ۶- گلبادهای سالانه و فصلی ایستگاه‌های همدید



شکل ۷- گلبدارهای سالانه و فصلی در ایستگاه‌های همدید استان کرمان (اسامی و موقعیت ایستگاه‌ها در شکل ۲- ج نمایش داده شده است)

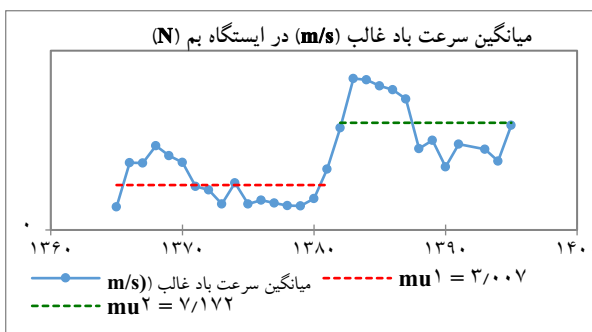
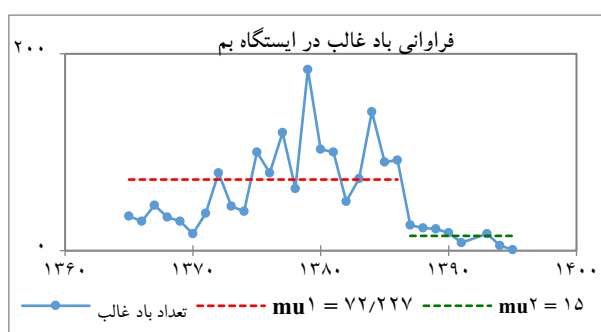
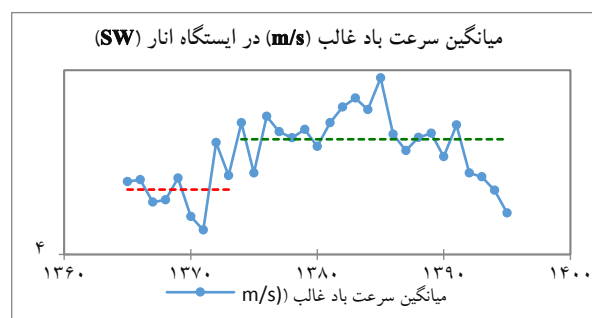
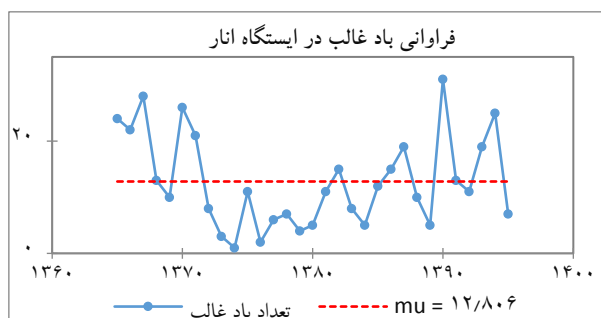
آزمون‌های تحلیل همگنی (نقطه تغییر)

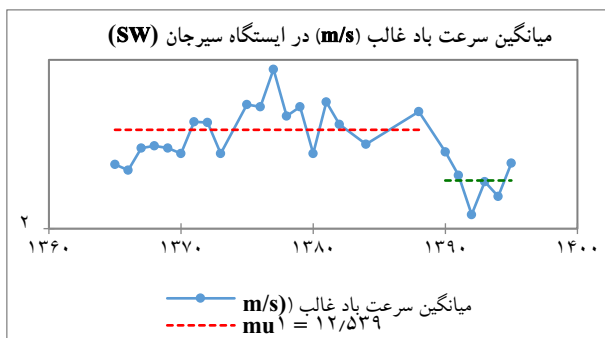
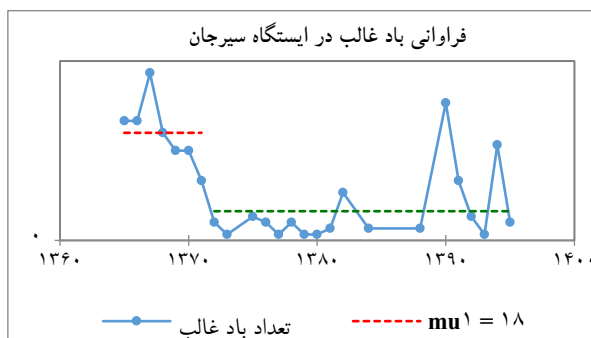
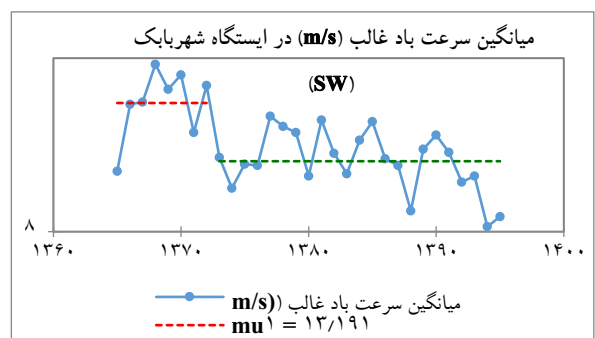
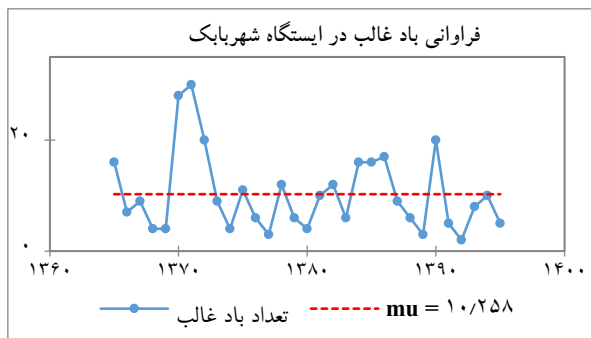
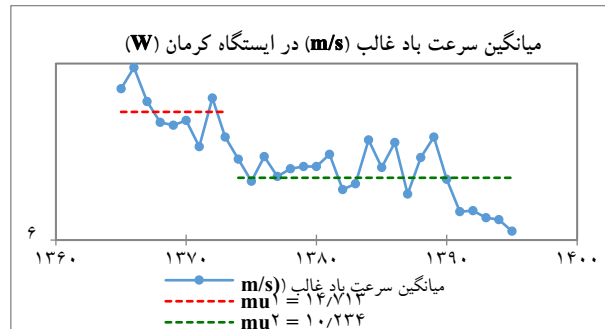
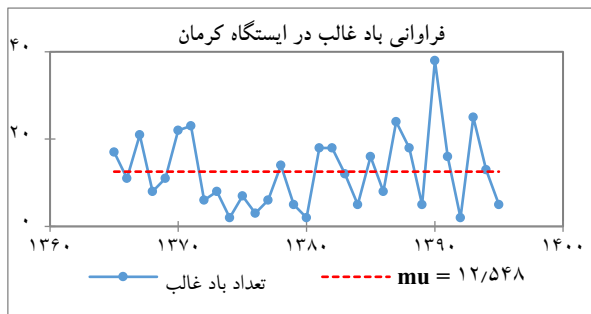
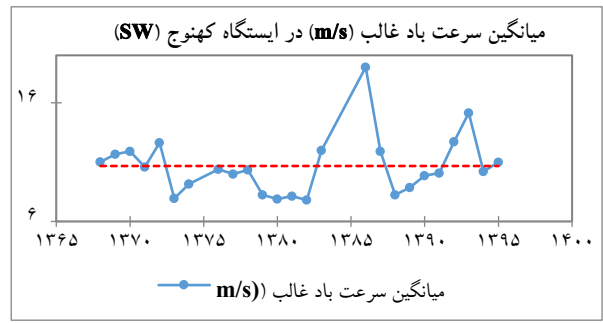
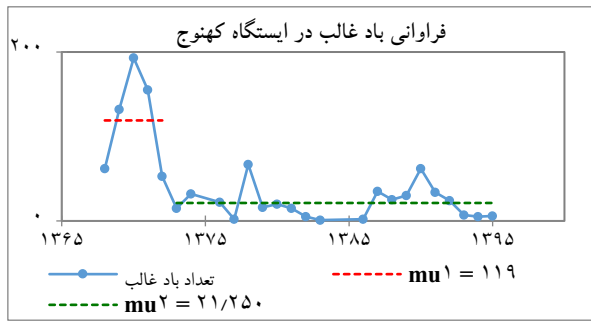
برای بررسی همگنی و تعیین نقاط تغییر و شکست در مجموعه‌های زمانی گسسته داده‌های فراوانی و سرعت بادهای غالب توأم با گردوغبار، از آزمون تحلیل همگنی پتیت (Pettitt) استفاده شد. این آزمون برای تعیین نقطه جهش یا تغییر ناگهانی یک مجموعه زمانی، آن را به دو جزء مجموعه جدا از هم تفکیک می‌کند و معنی‌دار بودن آن را بررسی می‌کند و به‌طور گسترده برای تشخیص در مجموعه‌های زمانی آب‌وهوایی و هیدرولوژیکی استفاده می‌شود. در این آزمون دو فرض صفر و یک برای تعیین همگنی داده‌ها بررسی شد. فرض صفر (H_0) در صورت تأیید همگنی داده‌ها و فرض ۱ (H_1) رد همگنی داده‌ها را نشان می‌دهد. در صورتی که مقدار p -value بزرگ‌تر از سطح معنی‌داری آلفا باشد، فرض صفر تأیید می‌شود و داده‌ها همگن هستند. در جدول ۶، همگنی داده‌ها، ویژگی کلی آنها، قبول و رد فرض صفر و سال شروع ناهمگنی در داده‌ها برای سرعت و فراوانی باد غالب توأم با گردوغبار به‌دست آمده از مطالعه گلغبار سالانه در هر یک از ایستگاه‌ها ارائه شده است (شکل ۸). نتایج آزمون همگنی در پارامترهای میانگین سرعت باد غالب توأم با گردوغبار در ایستگاه انار حکایت از آن دارد که تغییرات ناگهانی مجموعه زمانی این پارامتر در سطح پنج درصد معنی‌دار و نقطه تغییر آن در سال ۱۳۷۳ است، به‌طوری‌که در آن شاهد افزایش ۴۳ درصدی میانگین سرعت باد غالب توأم با گردوغبار از سال ۱۳۷۳ به بعد هستیم. نتایج آزمون همگنی فراوانی باد غالب توأم با گردوغبار نشان داد تغییرات مجموعه‌های زمانی این پارامتر در استان به‌صورت همگن بوده است. نتایج آزمون همگنی در پارامترهای میانگین سرعت و فراوانی باد غالب توأم با گردوغبار در ایستگاه بم حکایت از آن دارد که تغییرات ناگهانی مجموعه زمانی

در این دو پارامتر در سطح پنج درصد معنی‌دار است و نقطه تغییر میانگین سرعت در سال ۱۳۸۱ و نقطه تغییر فراوانی در سال ۱۳۸۶ است، به‌طوری‌که در آن شاهد افزایش ۵۸ درصدی میانگین سرعت باد غالب و کاهش ۷۹ درصدی فراوانی باد غالب از سال ۱۳۸۶ به بعد هستیم. در ایستگاه کهنوج، تغییرات ناگهانی مجموعه زمانی پارامتر فراوانی باد غالب معنی‌دار است و از سال ۱۳۷۲ به بعد دچار کاهش ۸۲ درصدی در میانگین شده است، به‌نحوی‌که تغییرات مجموعه‌های زمانی میانگین سرعت به‌صورت همگن بوده است. در ایستگاه کرمان تغییرات ناگهانی مجموعه زمانی سرعت باد غالب از سال ۱۳۷۱ با کاهش ۳۱ درصدی در میانگین رخ داده است و تغییرات مجموعه زمانی فراوانی باد همگن بوده است. در ایستگاه شهربابک و سیرجان، سرعت باد غالب توأم با گردوغبار به‌ترتیب از سال ۱۳۷۲ و ۱۳۸۸ به بعد تغییر کرده و به‌ترتیب ۱۸ درصد و ۴۳ درصد از میانگین آنها کاسته شده است. همچنین فراوانی باد غالب در ایستگاه سیرجان دستخوش کاهش ۷۲/۸ درصدی از سال ۱۳۷۱ شده است، درحالی‌که در ایستگاه شهربابک تغییرات مجموعه زمانی فراوانی باد غالب توأم با گردوغبار همگن بوده است. نتایج نشان می‌دهد به‌غیر از دو ایستگاه انار و بم در تمامی ایستگاه‌ها میانگین سرعت گلغبار دستخوش تغییر شده است، این در حالی است که در ایستگاه بم افزایش در سرعت بادهای توأم با گردوغبار فرامحلی خارج از استان موجب این تغییر افزایشی شده است و مجموعه زمانی سرعت بادهای محلی در این ایستگاه نیز دستخوش تغییرات کاهشی شده است که این موضوع خود بیانگر تأثیر بیشتر بادهای فرامحلی روی استان از نظر افزایش سرعت آنها در گذر زمان و تأثیر بیشتر بر فرایند فرسایش بادی استان کرمان است.

جدول ۶- نتایج آزمون همگنی مجموعه زمانی میانگین سرعت (m/s) و فراوانی باد غالب سالانه همراه گردوغبار (گلغبار)

ایستگاه	متغیر	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	سال تغییر	p-value	نوع تغییر	فرض صفر
انار	میانگین سرعت باد	۰/۰۰۵	۱۳۷۳	۲/۹	۱۱/۶	۱/۵	۵/۹	افزایشی	رد شد
	فراوانی باد	۰/۰۸۳	۱۳۷۱	۸/۳	۱۲/۸	۱/۵	۱	همگن	پذیرفته شد
بم	میانگین سرعت باد	۰/۰۰۱	۱۳۸۱	۲/۷	۴/۸	۱/۵	۱/۵	افزایشی	رد شد
	تعداد باد	۰/۳۸۷	۱۳۸۶	۴۴/۱	۵۷	۱۸۴	۱	کاهشی	رد شد
کهنوج	میانگین سرعت باد	۰/۰۰۵	۱۳۸۲	۲/۵	۱۰/۷	۱۹	۷/۸	همگن	پذیرفته شد
	تعداد باد	۰/۰۳۸	۱۳۷۲	۴۹/۷	۴۰/۸	۱۹۳	۱	کاهشی	رد شد
کرمان	میانگین سرعت باد	۰/۰۰۱	۱۳۷۳	۲/۷	۱۱/۵	۱۷/۷	۶/۶	کاهشی	رد شد
	تعداد باد	۰/۵۶۹	۱۳۷۱	۸/۵	۱۲/۵	۳۸	۲	همگن	پذیرفته شد
شهربابک	میانگین سرعت باد	۰/۰۱۲	۱۳۷۲	۱/۶	۱۱/۴	۱۴/۸	۸/۲	کاهشی	رد شد
	تعداد باد	۰/۶۲۹	۱۳۸۷	۷/۱	۱۰/۳	۳۰	۲	همگن	پذیرفته شد
سیرجان	میانگین سرعت باد	۰/۰۱۹	۱۳۸۸	۳/۶	۱۱/۲	۱۹	۳/۵	کاهشی	رد شد
	تعداد باد	۰/۰۰۸	۱۳۷۱	۸/۳	۸/۶	۲۸	۱	کاهشی	رد شد



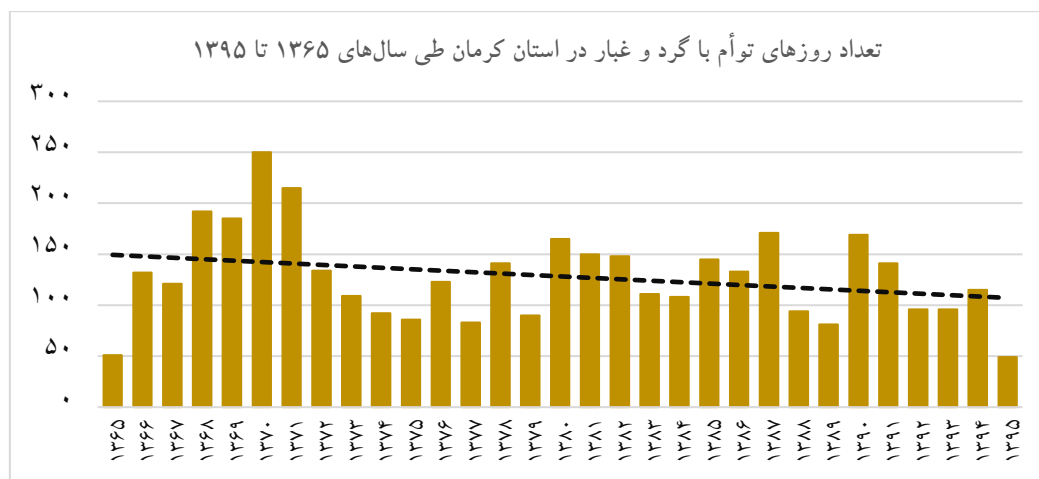


شکل ۸- تغییرات مجموعه زمانی میانگین سرعت و فراوانی باد غالب توأم با گردوغبار در ایستگاه‌های استان کرمان طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵

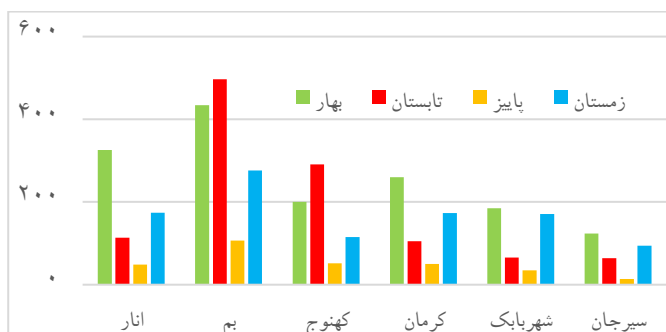
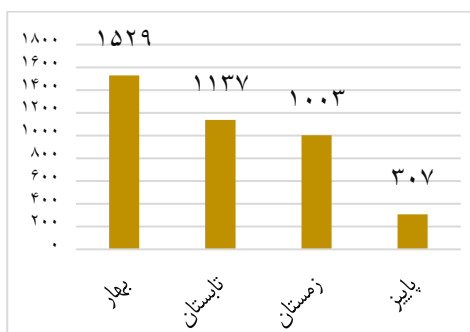
تا ۱۳۹۵

۲۵۰ و ۴۹ روز بوده که به ترتیب متعلق به سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۹۵ است، هرچند که تعداد روز توأم با گردوغبار، طی سال‌های مورد مطالعه نوسان داشته و بین سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۰ و ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۷ سیری صعودی به خود گرفته، اما به‌طورکلی طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ سیری نزولی و کاهشی داشته است (شکل ۹).

بررسی روزهای توأم با گردوغبار نتایج بررسی کد پدیده‌های گردوغبار نشان داد تعداد روزهای همراه با گردوغبار، براساس آمار ایستگاه‌های مورد بررسی در استان کرمان ۳۹۷۶ روز طی دوره ۳۰ ساله مطالعه است، به‌طوری‌که متوسط روز گردوغباری برای هر سال ۱۲۸ روز بوده است. بیشترین و کمترین تعداد روز گردوغباری



شکل ۹- تعداد روزهای توأم با گردوغبار در استان کرمان طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵



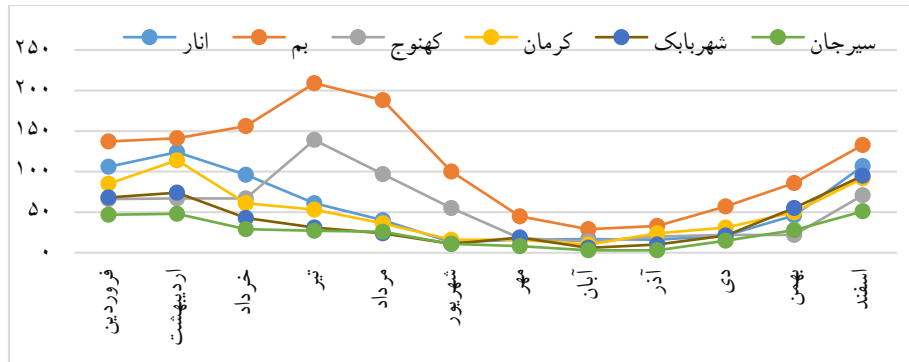
شکل ۱۰- تعداد روزهای توأم با گردوغبار در فصول مختلف سال

ایستگاه‌های موجود بوده است. در این ایستگاه بیشترین روزهای گردوغباری با ۳۷/۸ درصد در تابستان و کمترین نیز در پاییز با ۷/۸ درصد رخ داده است. ایستگاه سیرجان با ۷/۴ درصد کمترین تعداد روز گردوغباری را داشته که بیشترین آن در فصل بهار (۴۱/۹ درصد) و کمترین آن نیز در فصل پاییز (۴/۷ درصد) رخ داده است. بررسی‌های ماهانه نشان داد در دو ایستگاه بم و کهنوج تیرماه و در سایر

بررسی فصلی تعداد روز توأم با گردوغبار در استان کرمان نشان داد، دو ایستگاه بم و کهنوج در فصل تابستان و سایر ایستگاه‌ها در فصل بهار دارای بیشترین روز توأم با گردوغبار بوده‌اند (شکل ۹)، این در حالی است که کمترین روز توأم با گردوغبار در کلیه ایستگاه‌ها در فصل پاییز رخ داده است. شکل ۱۰ نشان می‌دهد در استان کرمان، ایستگاه بم با ۳۳ درصد دارای بیشترین روز توأم با گردوغبار در بین

فصل بهار بیشترین و فصل پاییز کمترین روز توأم با گردوغبار را تجربه کرده‌اند (شکل ۱۰).

ایستگاه‌ها اسفندماه دارای بیشترین روز توأم با گردوغبار است و در تمامی ایستگاه‌ها، کمترین روز توأم با گردوغبار در آبان‌ماه بوده است (شکل ۱۱). به‌طورکلی در سطح استان،



شکل ۱۱- تعداد روزهای توأم با گردوغبار در ماه‌های مختلف سال به تفکیک ایستگاه طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵

مورد رخدادهای فرامحلی در ایستگاه‌های بم و شهربآبک اتفاق افتاده است. به‌عبارت‌دیگر، به‌ترتیب ایستگاه‌های بم، انار، کهنوج، کرمان، سیرجان و شهربآبک دارای بیشترین رخداد فرامحلی و ایستگاه‌های بم، کهنوج، انار، کرمان، شهربآبک و سیرجان دارای بیشترین رخداد محلی هستند. بادهای توأم با گردوغبارهای فرامحلی در ایستگاه کهنوج دارای بیشترین میانگین سرعت و در ایستگاه شهربآبک دارای کمترین میانگین سرعت هستند و بادهای مولد گردوغبارهای محلی در دو ایستگاه شهربآبک و بم به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین میانگین سرعت باد هستند. به‌طورکلی نتایج نشان داد در دو ایستگاه بم (۵۹/۳ درصد) و انار (۵۰/۲ درصد) بیش از نیمی از گردوغبارها دارای منشأ فرامحلی و در سایر ایستگاه‌ها بیشتر دارای منشأ محلی هستند.

رخدادهای محلی بر مبنای سه نمایه LDE، MDS و SDS و براساس کدهای گزارش شده از محل ایستگاه‌های سینوپتیک مناطق مورد مطالعه، استخراج و محاسبه شدند. نتایج نشان داد ۹۷/۹ درصد از رخدادهای محلی به‌صورت واقعه گردوغباری و بقیه (۲/۱ درصد) به‌صورت طوفان گردوغباری رخ داده است. شهرستان کهنوج دارای بیشترین طوفان گردوغباری متوسط (MDS) و شهرستان بم و کرمان

بررسی بادهای توأم با گردوغبار

پس از بررسی روزهای توأم با گردوغبار به بررسی بادهای همراه با گردوغبار از طریق تعیین جهت باد و میانگین سرعت باد پرداخته شد.

بررسی بادهای توأم با گردوغبار محلی و فرامحلی

برای بررسی منشأ گردوغبار و جهت و سرعت بادهای توأم با آنها در داخل و خارج از استان و برای به‌کارگیری درست در برنامه‌های کنترل فرسایش بادی و عملیات مقابله با بیابان‌زایی و ریزگردها در سطح محلی (شهرستان)، استانی و منطقه‌ای با هدف کاهش وقایع گردوغباری و آثار محتمل با تأکید بر منشأ احتمالی آنها، رخدادهای گردوغبار فرامحلی و محلی به شکل جداگانه بررسی شدند (جدول ۷). نکته قابل‌توجهی که در جدول ۷ قابل مشاهده است آن است که از ۹۵۸۸ رخداد گردوغباری به وقوع پیوسته در سطح استان، ۵۶/۷ درصد از رخدادها در داخل ایستگاه‌ها (محلی) و ۴۳/۳ درصد از رخدادها در خارج از ایستگاه‌های مورد مطالعه (فرامحلی) رخ داده است، به‌عبارتی بیشتر گردوغبارها در استان منشأ داخلی داشته است. بیشترین و کمترین فراوانی رخدادهای محلی به‌ترتیب در ایستگاه‌های بم و سیرجان و در



شکل ۱۲- فراوانی و جهت بادهای توأم با گردوغبار فرامحلی و محلی در فصول مختلف سال در ایستگاه‌های استان کرمان (۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵)

فرساینده در جدول ۸ نشان داده شده است. از مقایسه دو جدول ۷ و ۸ و شکل ۱۳ می‌توان نتیجه گرفت که در همه ایستگاه‌ها، بادهای غالب فرساینده سالانه همان بادهای غالب توأم با گردوغبار سالانه هستند که تحت تأثیر ناپایداری‌ها و جریانات جوی و محلی سرعت آنها افزایش یافته است و بادهای با سرعت ۱۰-۶، ۱۵-۱۱، ۲۰-۱۶ و بزرگ‌تر از ۲۰ متر بر ثانیه به ترتیب دارای بیشترین فراوانی هستند (شکل ۱۳).

بررسی فرساینده‌گی بادهای توأم با گردوغبار برای بررسی فرساینده‌گی بادهای توأم با گردوغبار و شناسایی جهت‌های درست و دقیق بادهای فرساینده در ایستگاه‌های مورد مطالعه، بادهای توأم با گردوغبار براساس سرعت آستانه فرسایش بادی (شش متر بر ثانیه) پیشنهاد شده توسط Fryberger و همکاران (۱۹۷۹) به دو دسته بادهای با سرعت کمتر و بیشتر از سرعت آستانه تقسیم و بررسی شدند. فراوانی، میانگین سرعت و جهت بادهای غالب و نایب غالب

جدول ۸- فراوانی، میانگین سرعت (m/s) و جهت بادهای فرساینده غالب و نایب غالب توأم با گردوغبار (۱۳۶۵-۱۳۹۵)

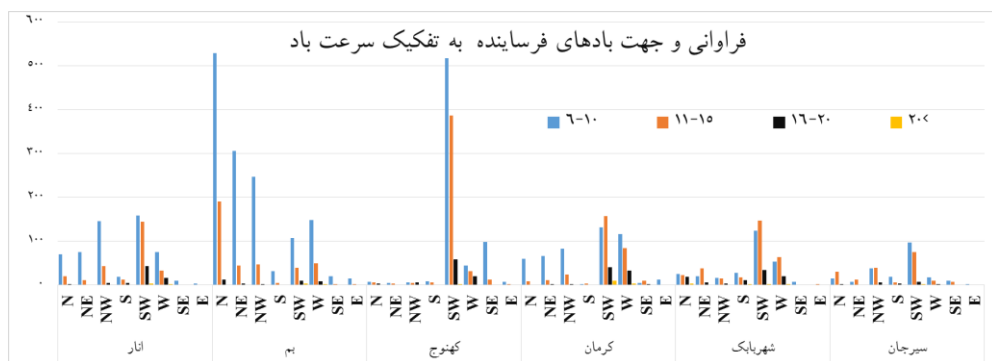
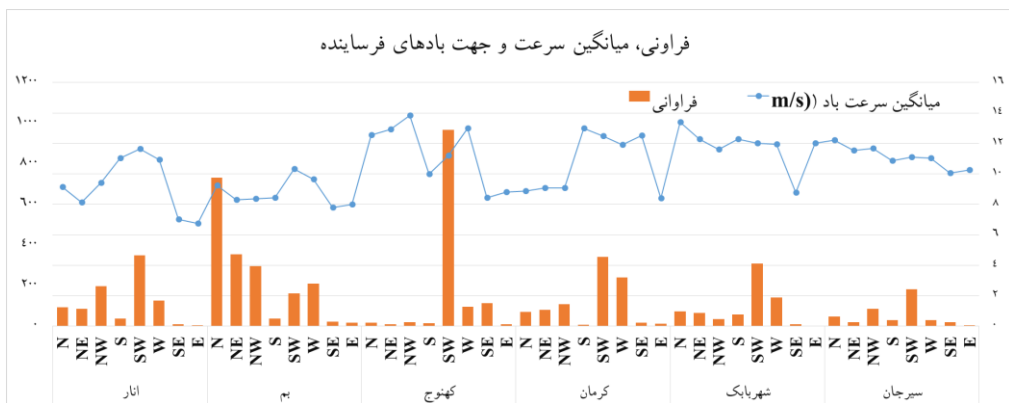
ایستگاه	فراوانی	میانگین سرعت باد (m/s)	باد غالب	باد نایب غالب
انار	۹۰۵	۱۰/۴	SW	NW
بم	۱۸۳۱	۹	N	NE
کهنوج	۱۲۵۰	۱۱/۱	SW	SE
کرمان	۸۷۷	۱۱/۳	SW	W
شهربابک	۶۹۱	۱۲/۱	SW	W
سیرجان	۴۲۳	۱۱/۳	SW	NW
استان	۵۹۷۷	۱۰/۵	-	-

برای شناسایی منشأ محلی یا فرامحلی بادهای فرساینده، بادهای توأم با گردوغبار محلی و فرامحلی نیز به تفکیک سرعت‌های کمتر و بیشتر از سرعت آستانه فرسایش بادی، بررسی و تحلیل شدند (جدول ۹ و ۱۰). نتایج نشان داد ۹۵/۷ درصد از بادهای محلی و ۱۹/۱ درصد از بادهای فرامحلی دارای سرعت بیش از سرعت آستانه فرسایش بادی هستند. به عبارتی بیشتر گردوغبارهای فرامحلی با بادهای با سرعت کمتر از شش متر بر ثانیه همراه بوده‌اند (غیرفرساینده) و براساس مطالعه، ضریب همبستگی پیرسون در سطح معنی‌داری ۵ درصد و سطح اطمینان ۹۵ درصد (جدول ۱۱) که تأییدکننده روابط ضعیف تا متوسط بین گردوغبارهای فرامحلی فرساینده و غیرفرساینده با یکدیگر و رابطه خوب تا قوی بین گردوغبارهای فرامحلی فرساینده با گردوغبارهای محلی است. گردوغبار فرامحلی همراه با بادهای با سرعت بیش از ۶ متر بر ثانیه (فرساینده) را با توجه به جهت وزش آنها می‌توان به بادهای با منشأ داخل استان که از

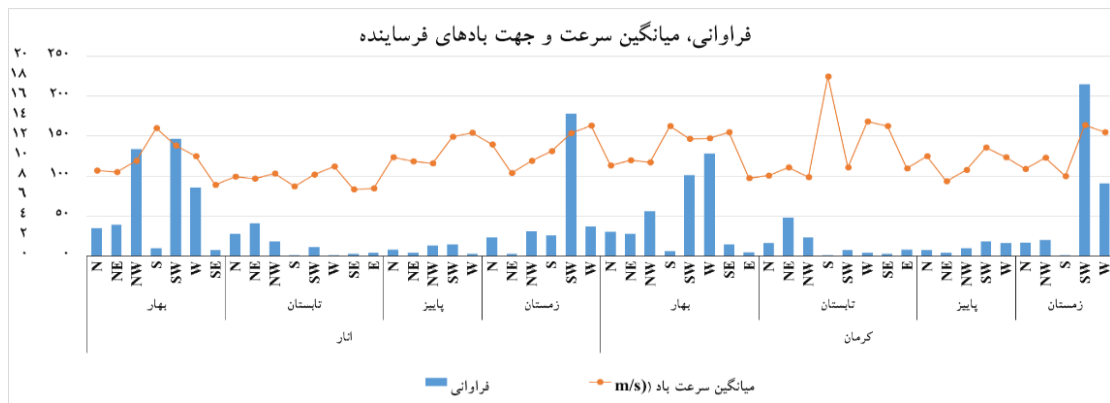
به‌علاوه نتایج نشان داد در ایستگاه انار به‌طور میانگین ۵۴/۷ درصد، بم ۴۷/۲ درصد، کهنوج ۸۵/۳ درصد، کرمان ۷۱/۷ درصد، شهربابک ۹۰/۶ درصد، سیرجان ۷۴/۹ درصد و در کل استان ۶۲/۵ درصد از بادهای فرساینده هستند. ایستگاه انار، کرمان و سیرجان به ترتیب در فصل‌های بهار، زمستان و تابستان، ایستگاه بم و کهنوج به ترتیب در فصل‌های تابستان، بهار و زمستان و ایستگاه شهربابک به ترتیب در فصل‌های زمستان، بهار و تابستان دارای بیشترین فراوانی باد فرساینده بوده‌اند (شکل ۱۴). به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد (جدول ۸) ایستگاه بم، کهنوج، انار، کرمان، شهربابک و سیرجان به ترتیب دارای بیشترین فراوانی بادهای فرساینده و ایستگاه‌های شهربابک، کرمان و سیرجان، کهنوج، انار و بم به ترتیب دارای بیشترین سرعت باد فرساینده هستند و میانگین باد فرساینده در سطح استان برابر با ۱۰/۵ متر بر ثانیه است. در همه ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه بم، باد غالب فرساینده باد جنوب‌غربی (باد قبله) و در ایستگاه بم، باد شمالی است.

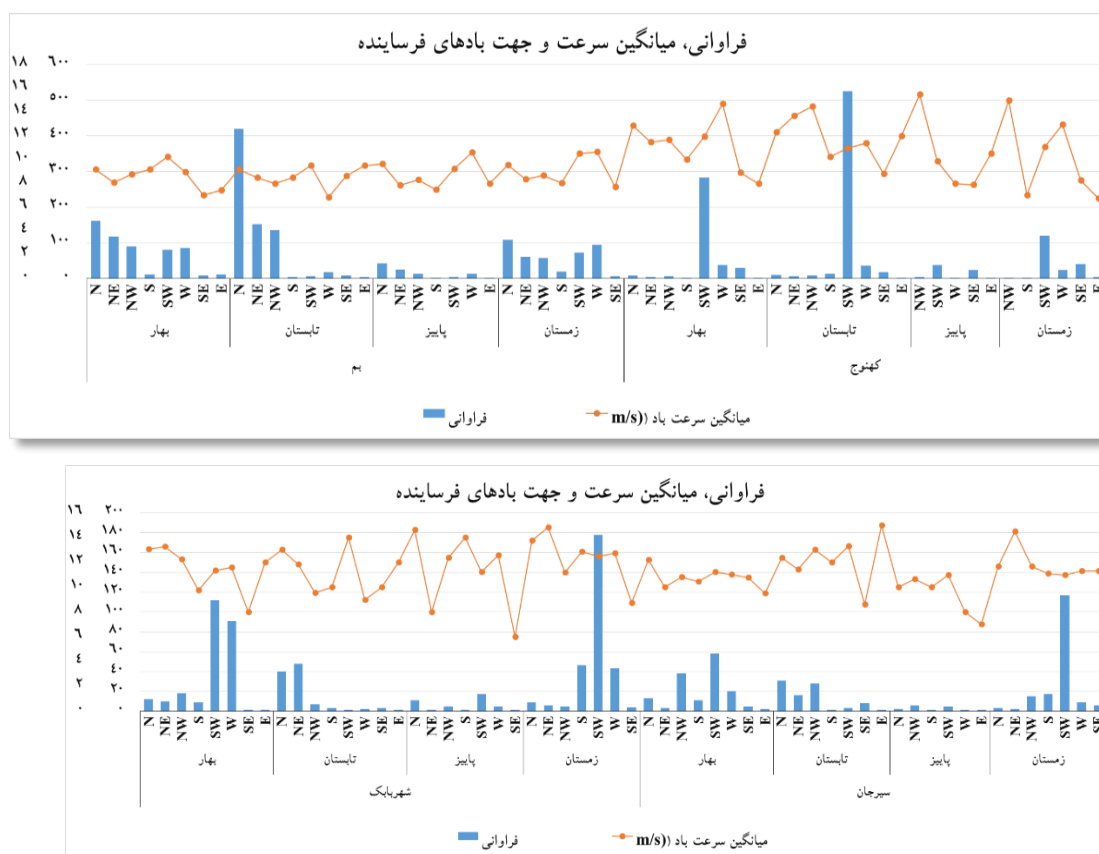
کنترل ریزگرد و مقابله با پدیده گردوغبار در سطح منطقه، استان و شهرستان، باید بادهای مورد نظر را بررسی کرد. از سوی دیگر، حساسیت شدید خاک نسبت به فرسایش بادی در اثر عواملی مانند خشکی خاک، فقر پوشش گیاهی، کاهش بارندگی‌ها، افزایش دما، افزایش تبخیر و وقوع و تداوم خشک‌سالی‌ها تحت تأثیر ناپایداری‌های جوی و بادهای محلی و فرامحلی را می‌توان از علل ایجاد گردوغبارهای محلی توأم با بادهای غیرفرساینده (۴/۳ درصد از بادهای محلی) دانست.

ایستگاه‌های مجاور (محل برداشت) به ایستگاه محلی وارد شده‌اند (محل حمل و رسوب)، مرتبط دانست. غالب بادهای فرامحلی با سرعت کمتر از ۶ متر بر ثانیه (غیرفرساینده) را نیز با توجه به جهت وزش آنها به‌ویژه در شهرستان‌های هم‌جوار استان‌های همسایه، می‌توان به بادهای با منشأ خارج از استان (محل برداشت) که با ورود به استان و طی مسافت (محل حمل و رسوب) از سرعت آنها کاسته شده و گردوغبار همراه خود را به داخل استان انتقال داده‌اند، نسبت داد. بنابراین در مدیریت



شکل ۱۳- فراوانی، میانگین سرعت و جهت‌های بادهای فرساینده





شکل ۱۴- فراوانی، میانگین سرعت و جهت‌های فصلی بادهای فرساینده توأم با گردوغبار در ایستگاه‌های استان طی سال‌های ۱۳۶۵-۱۳۹۵

آمار ۳۱ ساله، می‌تواند به آنان در مدیریت مشکلات و مخاطرات ناشی از وقوع رخدادهای گردوغباری در سطح استان کرمان با توجه به منشأ احتمالی تولید گردوغبار درون و بیرون استان کمک کند.

بنابراین فراوانی، میانگین سرعت و جهت‌های بادهای توأم با گردوغبار فرامحلی و محلی با توجه به سطوح مدیریتی کنترل و روند تغییرات آنها طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ در شکل ۱۵، همچنین تقویم ماهانه بادهای همراه با گردوغبار براساس سطوح مدیریتی یادشده در جدول‌های ۱۲ تا ۱۴ ارائه شده است.

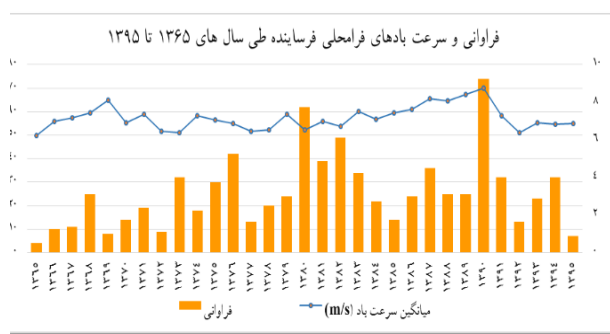
تقویم ماهانه مدیریت کنترل گردوغبار براساس نتایج حاصل از بررسی فرساینده‌گی بادهای فرامحلی و محلی توأم با گردوغبار، مطالعه روابط همبستگی بین آنها (جدول ۱۱)، همچنین بررسی بصری تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های وضعیت فشار در سطح زمین که در شکل‌های ۱۶ تا ۱۸ نمونه‌هایی از آنها ارائه شده است، تقویم ماهانه جهت و سرعت باد غالب و نایب غالب در سه سطح مدیریت منطقه‌ای، استانی و محلی (شهرستان) تهیه شد که علاوه بر آگاهی مدیران نسبت به زمان وقوع، جهت و سرعت باد توأم با گردوغبار براساس

جدول ۹- فراوانی و میانگین سرعت و جهت بادهای فرساینده و غیرفرساینده فرامحلی سالانه طی سالهای ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵

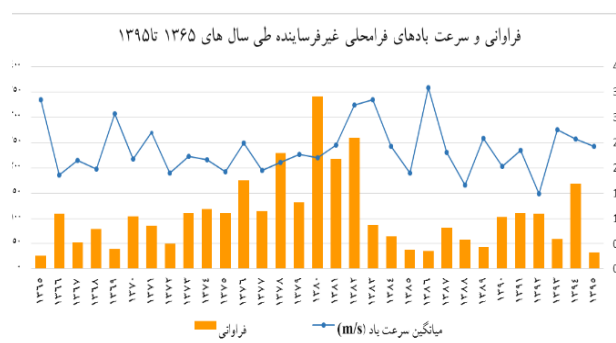
ایستگاه	بادهای فرامحلی												
	سرعت باد <۶ (مدیریت استانی)				سرعت باد >۶ (مدیریت منطقه‌ای)				جمع	درصد	سرعت باد <۶	ایستگاه	
	فراوانی	سرعت	باد غالب	باد نایب غالب	فراوانی	سرعت	باد غالب	باد نایب غالب					
انار	۷۱۸	۱/۶	N	NE	۱۱۲	۶/۶	NW	NE	۸۳۰	۲/۳	N	NE	۱۳/۵
بم	۱۹۳۷	۲/۵	N	NE	۳۶۹	۶/۸	N	NE	۲۳۰۶	۳/۲	N	NE	۱۶
کهنوج	۱۹۱	۲/۹	N	SE	۱۴۵	۸/۶	SW	SE	۳۳۶	۵/۴	SW	SE	۴۳/۲
کرمان	۳۱۵	۲/۵	N	NW	۱۲۵	۷/۶	NW	W & SW	۴۴۰	۳/۹	N	NW	۲۸/۴
شهربابک	۵۳	۲/۵	N	S	۳	۶/۷	NE & W&S	-	۵۶	۲/۷	N	S	۵/۴
سیرجان	۱۳۴	۳/۵	NW	SW	۳۶	۷/۴	SW	N	۱۷۰	۴/۳	SW	NW	۲۱/۲
استان	۳۳۴۸	۲/۴	-	-	۷۹۰	۷/۳	-	-	۴۱۳۸	۳/۳	-	-	۱۹/۱

جدول ۱۰- فراوانی و میانگین سرعت و جهت بادهای فرساینده و غیرفرساینده محلی سالانه طی سالهای ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵

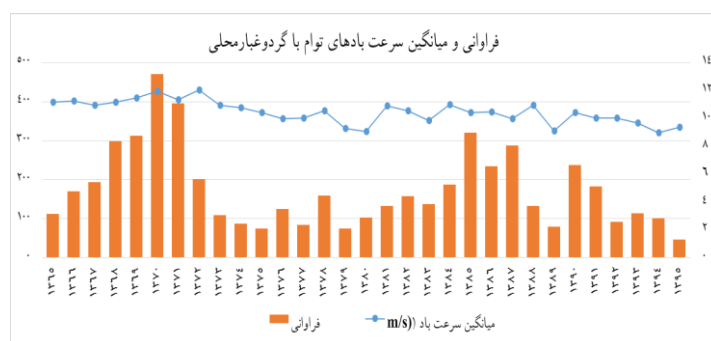
ایستگاه	بادهای محلی														
	سرعت باد >۶ (غیرفرساینده)				سرعت باد <۶ (فرساینده)				جمع (مدت شهرستانی)				درصد	سرعت باد <۶	ایستگاه
	فراوانی	سرعت	باد غالب	باد نایب غالب	فراوانی	سرعت	باد غالب	باد نایب غالب	فراوانی	سرعت	باد غالب	باد نایب غالب			
انار	۳۱	۴/۶	N	NW	۷۹۳	۱۰/۹	SW	NW	۸۲۴	۱۰/۷	SW	NW	۹۶/۲		
بم	۱۱۵	۴	N	NW	۱۴۶۲	۹/۶	N	NE	۱۵۷۷	۹/۲	N	W	۹۲/۷		
کهنوج	۲۴	۴/۲	SW	W & SE	۱۱۰۵	۱۱/۵	SW	W	۱۱۲۹	۱۱/۳	SW	E	۹۷/۹		
کرمان	۳۲	۴/۳	SW	N	۷۵۲	۱۱/۹	SW	W	۷۸۴	۱۱/۶	SW	W	۹۵/۹		
شهربابک	۱۹	۴/۶	SW	W & SE	۶۸۸	۱۲/۲	SW	W	۷۰۷	۱۲	SW	W	۹۷/۳		
سیرجان	۸	۳/۶	SE & NE	SE & NE	۳۸۷	۱۱/۷	SW	NW	۳۹۵	۱۱/۵	SW	NW	۹۸		
استان	۲۲۹	۴/۲	-	-	۵۱۸۷	۱۱	-	-	۵۴۲۰	۱۰/۷	-	-	۹۵/۷		



۲- مدیریت استانی



۱- مدیریت فرا استانی (منطقه‌ای)



۳- مدیریت محلی (شهرستان)

شکل ۱۵- روند تغییرات فراوانی و میانگین سرعت بادهای توأم با گردوغبار محلی و فرامحلی با هدف مدیریت و مقابله با گردوغبار

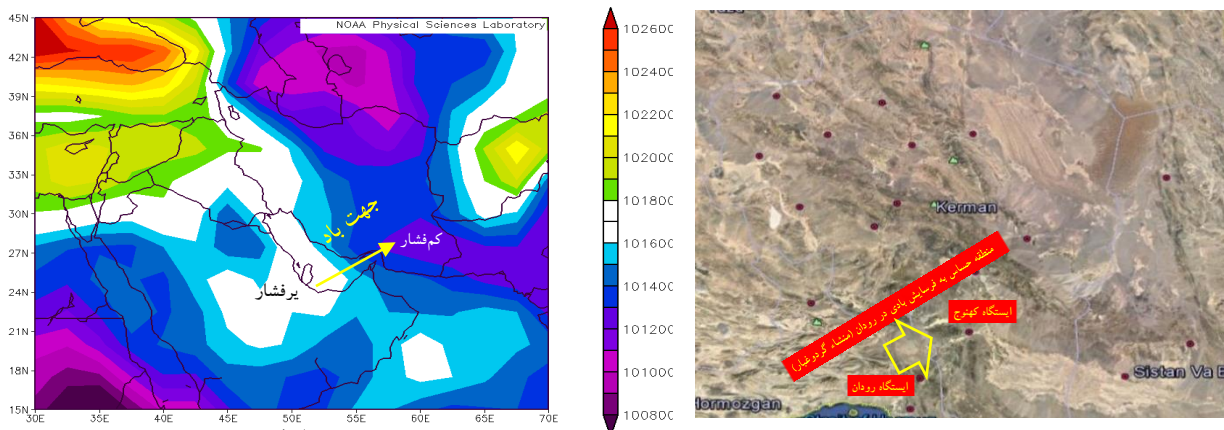
نسبت داد که تحت تأثیر توده‌های هوایی شمالی، کم‌فشار مدیترانه‌ای غرب و ۱۲۰ روزه سیستان، از استان‌های خراسان جنوبی، یزد و سیستان و بلوچستان به استان کرمان وارد و با طی مسافت از شدت و سرعت آنها کاسته شده و در بسیاری از موارد سرعت آنها به زیر یک متر بر ثانیه و حتی صفر رسیده است. گردوغبارهای همراه بادهای نایب غالب (شمال شرقی و شمال غربی) در هر دو ایستگاه با توجه به جهت وزش و سرعت آنها در ماه‌های مختلف سال، تا حدی می‌توانند منشأ درون استانی داشته باشند. ایستگاه کرمان و ایستگاه کهنوج به ترتیب با داشتن ۹/۴ درصد و ۵/۷ درصد از بادهای توأم با گردوغبار با سرعت کمتر از ۶ متر در رده بعدی قرار دارند که در ایستگاه کرمان با ۴۸ درصد، دارای جهت‌های ورودی شمالی و ۱۸ درصد دارای جهت‌های ورودی شمال غربی هستند که می‌توان منشأ تولید

بررسی روند تغییرات مجموعه زمانی فراوانی بادهای توأم با گردوغبار فرامحلی با سرعت کمتر از شش متر بر ثانیه (میانگین سرعت ۲/۳ متر بر ثانیه) نشان داد (شکل ۱-۱۵)، از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۰ روند فراوانی آنها افزایشی بوده است ($R^2=0/75$) و از سال ۱۳۸۱ به بعد روندی کاهشی داشته‌اند. از سویی نتایج نشان داد از مجموع ۳۳۴۸ باد همراه با گردوغبار فرامحلی ۷۹/۳ درصد در دو ایستگاه بم (۵۷/۹ درصد) و انار (۲۱/۴ درصد) رخ داده است که به ترتیب ۴۸ درصد و ۶۵ درصد آنها دارای جهت‌های ورودی شمالی و ۱۹ درصد و ۱۲ درصد دارای جهت‌های ورودی شمال شرقی بوده‌اند، همچنین در ایستگاه انار ۹ درصد از بادهای دارای جهت‌های ورودی شمال غربی بوده‌اند. به‌طور کلی می‌توان منشأ تولید این نوع از گردوغبارها را بیشتر به خارج از استان (محل برداشت)

گسترش اثرگذاری رخدادهای گردوغبار و افزایش تأثیرپذیری شهرستان‌های استان از مشکلات ناشی از گردوغبارهای محلی است. توزیع درصد فراوانی بادهای فرساینده فرامحلی نشان‌دهنده وقوع ۴۶/۷ درصدی این رخدادهای با میانگین سرعت ۶/۸ متر بر ثانیه در ایستگاه بم است که ایستگاه‌های کهنوج، کرمان و انار به ترتیب از نظر فراوانی و سرعت در رده‌های بعدی قرار دارند.

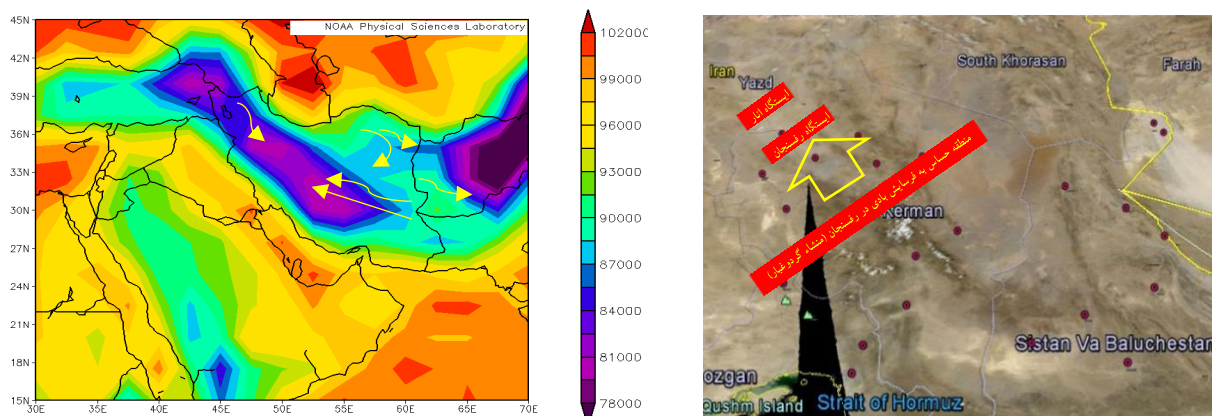
بررسی تغییرات مجموعه زمانی فراوانی بادهای توأم با گردوغبار محلی (شکل ۱۵-۲) نشان داد طی سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ این دسته از بادهای به‌طور متناوب دارای روند افزایشی و کاهش‌ی بوده‌اند، اما به‌طورکلی دارای روند کاهش‌ی و غیرمعنی‌دار هستند ($R^2=0/1$). همسو بودن روند افزایشی بادهای محلی با بادهای فرامحلی با سرعت بیش از شش متر بر ثانیه در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۷ ($R^2=0/6$) نشان از گسترش وقوع رخداد گردوغبار در سطح استان تحت تأثیر وقایع محلی است که می‌توان آن را به وقوع یک دوره خشک‌سالی فراگیر در سطح استان در این بازه زمانی نسبت داد.

این نوع از گردوغبارها را به استان‌های خراسان جنوبی، یزد و تا حدی شن‌زارهای شهرستان زرنند نسبت داد که تحت تأثیر توده هوای شمالی و کم‌فشار مدیترانه‌ای به ایستگاه وارد شده‌اند. وجود گردوغبارهای فرامحلی توأم با بادهای با سرعت کمتر از شش متر بر ثانیه و جهت‌های جنوب‌شرقی در ایستگاه کهنوج به دلیل تأثیر زبانه کم‌فشار موسمی مونسون است که در فصل‌های بهار و تابستان گستره خود را تا جنوب‌شرق استان افزایش داده و موجب حمل و انتقال گردوغبار از نواحی هامون جازموریان و قلعه‌گنج در جنوب‌شرق استان شده است. همین‌طور گردوغبارهای فرامحلی توأم با بادهای با سرعت کمتر از شش متر بر ثانیه و جهت جنوب‌غربی، به دلیل توده هوای گرم و خشک عبوری از صحاری عربستان و ورودی از نواحی شمالی استان هرمزگان است که گردوغبار ناحیه رودان را به شهرستان کهنوج منتقل می‌کند. بررسی تغییرات مجموعه زمانی فراوانی بادهای توأم با گردوغبار فرامحلی با سرعت بیشتر از شش متر بر ثانیه (شکل ۱۵-۱) نشان داد، طی سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ این دسته از بادهای دارای روند افزایشی بوده‌اند ($R^2=0/4$) که این موضوع بیانگر

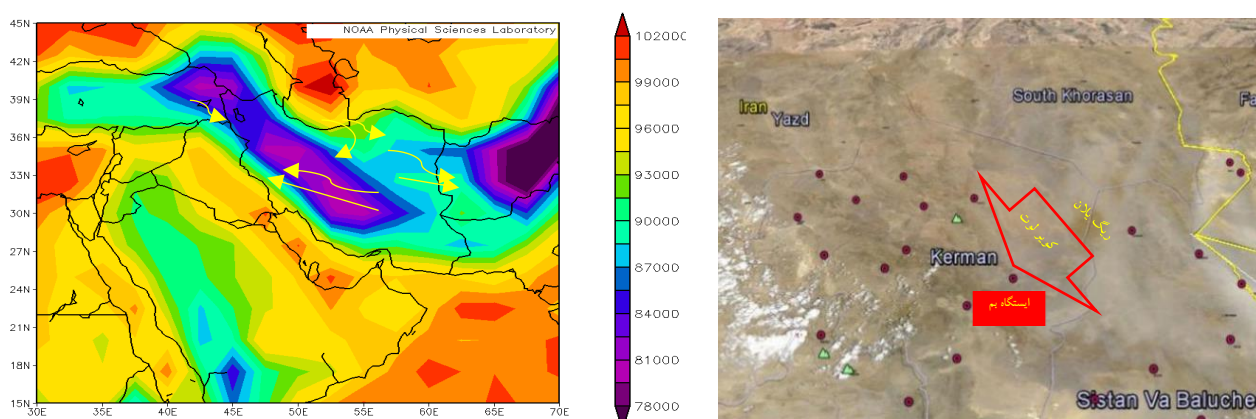


شکل ۱۶- تصویر ماهواره مادیس از واقعه گردوغبار ثبت‌شده در ایستگاه همید کهنوج با کد ۰۶ (فرامحلی)، جهت جنوب غربی و

سرعت ۳ متر بر ثانیه در تاریخ ۱۳۸۸/۱۲/۱۶ و نقشه وضعیت فشار در سطح زمین



شکل ۱۷- تصویر ماهواره مادیس از واقعه گردوغبار ثبت شده در ایستگاه همدان با کد ۰۶ (فرامحلی) جهت جنوب شرقی و سرعت ۷ متر بر ثانیه در تاریخ ۱۳۸۲/۰۳/۳۰ و نقشه وضعیت فشار در سطح زمین



شکل ۱۸- تصویر ماهواره مادیس از واقعه گردوغبار ثبت شده در ایستگاه همدان با کد ۰۶ (فرامحلی) جهت شمال شرقی و سرعت ۸ متر بر ثانیه در تاریخ ۱۳۸۲/۰۴/۱۹ و نقشه وضعیت فشار در سطح زمین

جدول ۱۱- ماتریس همبستگی فراوانی بادهای توأم با گردوغبار محلی و فرامحلی فرساینده (سرعت <= ۶) و غیرفرساینده (سرعت > ۶) طی سالهای ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵

سیرجان		شهریابک				کرمان				کهنوج				بیم				انار				فراوانی باد توأم با گردوغبار				
محلی		فرامحلی		محلی		فرامحلی		محلی		فرامحلی		محلی		فرامحلی		محلی		فرامحلی								
سرعت > ۶	سرعت <= ۶	سرعت > ۶	سرعت <= ۶	سرعت > ۶	سرعت <= ۶	سرعت > ۶	سرعت <= ۶	سرعت > ۶	سرعت <= ۶	سرعت > ۶	سرعت <= ۶	سرعت > ۶	سرعت <= ۶	سرعت > ۶	سرعت <= ۶	سرعت > ۶	سرعت <= ۶	سرعت > ۶	سرعت <= ۶							
۰/۲۹	۰/۳۴	۰/۸۵	۰/۳۵	۰/۴۲	۰/۳۵	۰/۵۱	۰/۱۰	۰/۶۷	۰/۳۷	۰/۸۹	۰/۷۷	۰/۵۸	۰/۶۰	۰/۳۶	۰/۵۷	۰/۷۳	۰/۵۸	۰/۸۹	۰/۷۱	۰/۷۶	۰/۵۳	۰/۹۵	۱	سرعت <= ۶	فرامحلی	انار
۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۷۷	۰/۳۰	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۵۴	۰/۲۷	۰/۵۵	۰/۳۷	۰/۹۱	۰/۷۹	۰/۵۴	۰/۶۶	۰/۴۹	۰/۶۵	۰/۷۰	۰/۶۳	۰/۹۳	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۵۲	۱	۰/۹۵	سرعت > ۶	محلی	
۰/۷۹	۰/۹۰	۰/۷۷	۰/۸۷	۰/۸۲	۰/۹۴	۰/۴۳	۰/۱۷	۰/۵۴	۰/۹۷	۰/۵۲	۰/۷۸	۰/۹۳	۰/۲۰	۰/۷۵	۰/۰۶	۰/۵۶	۰/۳۸	۰/۴۳	۰/۲۰	۰/۶۵	۱	۰/۵۲	۰/۵۳	سرعت <= ۶	محلی	بیم
۰/۳۷	۰/۴۹	۰/۷۴	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۵۷	۰/۴۹	۰/۱۶	۰/۴۶	۰/۵۳	۰/۸۳	۰/۸۲	۰/۷۶	۰/۳۱	۰/۵۰	۰/۳۸	۰/۴۷	۰/۳۷	۰/۶۰	۰/۴۱	۱	۰/۶۵	۰/۷۶	۰/۷۶	سرعت <= ۶	فرامحلی	
۰/۲۳	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۲۴	۰/۶۳	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۶۲	۰/۵۴	۰/۱۸	۰/۹۲	۰/۴۴	۰/۸۸	۰/۸۰	۰/۹۲	۰/۹۱	۱	۰/۴۱	۰/۲۰	۰/۷۷	۰/۷۱	سرعت <= ۶	محلی	کهنوج
۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۶۳	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۴۲	۰/۳۱	۰/۸۰	۰/۷۵	۰/۴۴	۰/۸۵	۰/۵۳	۰/۷۷	۰/۷۹	۰/۸۱	۱	۰/۹۱	۰/۶۰	۰/۴۳	۰/۹۳	۰/۸۹	سرعت <= ۶	فرامحلی	
۰/۴۲	۰/۵۸	۰/۳۳	۰/۴۴	۰/۳۲	۰/۴۵	۰/۰۸	۰/۷۷	۰/۰۵	۰/۳۶	۰/۴۵	۰/۵۹	۰/۳۳	۰/۹۲	۰/۶۵	۰/۸۳	۰/۸۳	۱	۰/۸۱	۰/۹۲	۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۶۳	۰/۵۸	سرعت <= ۶	محلی	کرمان
۰/۳۶	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۲	۰/۵۱	۰/۴۳	۰/۶۷	۰/۵۸	۰/۴۶	۰/۶۷	۰/۴۹	۰/۵۲	۱	۰/۸۳	۰/۷۹	۰/۸۰	۰/۴۷	۰/۵۶	۰/۷۰	۰/۷۳	سرعت <= ۶	فرامحلی	
۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۷۳	۰/۱۷	۰/۰۲	۰/۴۲	۰/۴۸	۰/۰۹	۰/۹۲	۰/۴۷	۱	۰/۵۲	۰/۸۳	۰/۷۷	۰/۸۸	۰/۳۸	۰/۰۶	۰/۶۵	۰/۵۷	سرعت <= ۶	محلی	شهریابک
۰/۸۴	۰/۹۰	۰/۳۶	۰/۶۶	۰/۵۰	۰/۸۷	۰/۱۱	۰/۷۰	۰/۰۳	۰/۷۹	۰/۳۴	۰/۷۰	۰/۶۷	۰/۵۴	۱	۰/۴۷	۰/۴۹	۰/۶۵	۰/۵۳	۰/۴۴	۰/۵۰	۰/۷۵	۰/۴۹	۰/۳۶	سرعت <= ۶	فرامحلی	
۰/۳۳	۰/۳۸	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۱۴	۰/۲۵	۰/۰۱	۰/۷۴	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۴۳	۰/۵۶	۰/۲۲	۱	۰/۵۴	۰/۹۲	۰/۶۷	۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۹۲	۰/۳۱	۰/۲۰	۰/۶۶	۰/۶۰	سرعت <= ۶	محلی	سیرجان
۰/۶۸	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۸۹	۰/۴۳	۰/۱۰	۰/۵۰	۰/۹۱	۰/۵۴	۰/۸۳	۱	۰/۲۲	۰/۶۷	۰/۰۹	۰/۴۶	۰/۳۳	۰/۴۴	۰/۱۸	۰/۷۶	۰/۹۳	۰/۵۴	۰/۵۸	سرعت <= ۶	فرامحلی	
۰/۷۳	۰/۷۰	۰/۸۳	۰/۵۸	۰/۴۹	۰/۷۱	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۷۲	۰/۷۴	۱	۰/۸۳	۰/۵۶	۰/۷۰	۰/۴۸	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۷۵	۰/۵۴	۰/۸۲	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۷۷	سرعت <= ۶	محلی	کهنوج
۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۷۶	۰/۳۱	۰/۴۲	۰/۳۵	۰/۷۴	۰/۱۲	۰/۶۷	۰/۳۱	۱	۰/۷۴	۰/۵۴	۰/۴۳	۰/۳۴	۰/۴۲	۰/۶۷	۰/۴۵	۰/۸۰	۰/۶۲	۰/۸۳	۰/۵۲	۰/۹۱	۰/۸۹	سرعت <= ۶	فرامحلی	
۰/۸۳	۰/۹۲	۰/۶۵	۰/۸۴	۰/۷۵	۰/۹۷	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۳۷	۱	۰/۳۱	۰/۷۲	۰/۹۱	۰/۱۷	۰/۷۹	۰/۰۳	۰/۴۳	۰/۳۶	۰/۳۱	۰/۱۱	۰/۵۳	۰/۹۷	۰/۳۷	۰/۳۷	سرعت <= ۶	محلی	کرمان
۰/۱۴	۰/۲۲	۰/۷۵	۰/۴۱	۰/۶۰	۰/۲۹	۰/۷۰	۰/۴۶	۱	۰/۳۷	۰/۶۷	۰/۳۹	۰/۵۰	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۵۱	۰/۰۵	۰/۴۲	۰/۱۶	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۵۵	۰/۶۷	سرعت <= ۶	فرامحلی	
۰/۴۵	۰/۵۱	۰/۱۳	۰/۲۸	۰/۰۷	۰/۳۷	۰/۱۵	۱	۰/۴۶	۰/۲۲	۰/۱۲	۰/۳۶	۰/۱۰	۰/۷۴	۰/۷۰	۰/۷۳	۰/۴۲	۰/۷۷	۰/۴۵	۰/۶۳	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۲۷	۰/۱۰	سرعت <= ۶	محلی	شهریابک
۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۵۱	۰/۳۵	۰/۶۲	۰/۳۰	۱	۰/۱۵	۰/۷۰	۰/۲۲	۰/۷۴	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۴۷	۰/۰۸	۰/۴۳	۰/۲۴	۰/۴۹	۰/۴۳	۰/۵۴	۰/۵۱	سرعت <= ۶	فرامحلی	
۰/۸۲	۰/۹۷	۰/۵۵	۰/۸۲	۰/۷۶	۱	۰/۳۰	۰/۳۷	۰/۲۹	۰/۹۷	۰/۳۵	۰/۷۱	۰/۸۹	۰/۲۵	۰/۸۷	۰/۱۱	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۳۶	۰/۲۰	۰/۵۷	۰/۹۴	۰/۳۹	۰/۳۵	سرعت <= ۶	محلی	سیرجان
۰/۵۲	۰/۷۷	۰/۵۹	۰/۹۲	۱	۰/۷۶	۰/۶۲	۰/۰۷	۰/۶۰	۰/۷۵	۰/۴۲	۰/۴۹	۰/۷۷	۰/۱۴	۰/۵۰	۰/۱۰	۰/۶۴	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۱۷	۰/۴۱	۰/۸۲	۰/۳۶	۰/۴۲	سرعت <= ۶	فرامحلی	
۰/۶۸	۰/۸۸	۰/۵۵	۱	۰/۹۲	۰/۸۲	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۴۱	۰/۸۴	۰/۳۱	۰/۵۸	۰/۷۶	۰/۲۴	۰/۶۶	۰/۰۲	۰/۶۵	۰/۴۴	۰/۳۲	۰/۱۹	۰/۳۷	۰/۸۷	۰/۳۰	۰/۳۵	سرعت <= ۶	محلی	کهنوج
۰/۴۹	۰/۴۸	۱	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۵۵	۰/۵۱	۰/۱۳	۰/۷۵	۰/۶۵	۰/۷۶	۰/۸۳	۰/۷۹	۰/۲۸	۰/۳۶	۰/۱۹	۰/۵۷	۰/۳۳	۰/۶۳	۰/۳۵	۰/۷۴	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۸۵	سرعت <= ۶	فرامحلی	
۰/۸۴	۱	۰/۴۸	۰/۸۸	۰/۷۷	۰/۹۷	۰/۲۷	۰/۵۱	۰/۲۲	۰/۹۲	۰/۳۳	۰/۷۰	۰/۸۱	۰/۳۸	۰/۹۰	۰/۲۱	۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۴۲	۰/۳۲	۰/۴۹	۰/۹۰	۰/۳۹	۰/۳۴	سرعت <= ۶	محلی	سیرجان
۱	۰/۸۴	۰/۴۹	۰/۶۸	۰/۵۲	۰/۸۲	۰/۲۳	۰/۴۵	۰/۱۴	۰/۸۳	۰/۳۱	۰/۷۳	۰/۶۸	۰/۳۳	۰/۸۴	۰/۱۸	۰/۳۶	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۳۷	۰/۷۹	۰/۴۱	۰/۲۹	۰/۲۹	سرعت <= ۶	فرامحلی	

*: اعداد پررنگ نشان‌دهنده وجود رابطه معنی‌دار در سطح خطای ۵ درصد و سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

جدول ۱۲- تقویم ماهانه جهت، میانگین سرعت و فراوانی باد طی سالهای ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ برای مدیریت منطقه‌ای گردوغبار در استان کرمان

ایستگاه	نوع باد	فراوردین												
		میانگین جهت باد سرعت	میانگین جهت باد سرعت	میانگین جهت باد سرعت	میانگین جهت باد سرعت	میانگین جهت باد سرعت	میانگین جهت باد سرعت	میانگین جهت باد سرعت	میانگین جهت باد سرعت	میانگین جهت باد سرعت	میانگین جهت باد سرعت	میانگین جهت باد سرعت	میانگین جهت باد سرعت	
انار	غالب	۰/۳ N	۰ N	۰ N	۰ N	۲ N	۰/۰ N	۰/۵ N	۱/۸ N	۰/۵ N	۰/۸ N	۰/۵ N	۰ N	۰/۳ N
	نایب غالب	۴/۲ SW	۴ SW	۳/۵ SW			۲/۵&۴ NE&NW	۳/۴ NE	۴/۰ NE	۴/۶ NE	۴/۱ NE	۴ NE	۳/۸ NW	۴/۲ SW
	۶۵-۹۵*	۱/۸ ۸۶	۱/۴ ۶۳	۰/۸ ۹		۲ ۷	۱/۱ ۱۵	۱/۱ ۲۷	۴/۲ ۱۲	۱/۵ ۶۲	۲ ۱۳۳	۱/۷ ۱۵۷	۱/۵ ۱۴۷	۱/۸ ۸۶
بم	غالب	۰/۸ N	۰/۸ N	۱/۲ N	۰/۶ N	۰/۵ N	۰/۶ N	۰/۸ N	۰/۹ N	۱/۸ N	۱/۴ N	۱/۲ N	۰/۵ N	۰/۸ N
	نایب غالب	۳/۸ NE	۳/۶ NE	۳/۹ NE	۲/۶ NE	۳/۱ NE	۴/۲ NE		۴/۱ NE	۳/۹ NW	۳/۹ NE	۳/۸ NE	۴/۲ NE	۳/۸ NE
	۶۵-۹۵	۲/۱ ۲۰۶	۲/۳ ۱۷۹	۲/۲ ۷۴	۱/۷ ۶۴	۱/۸ ۵۷	۲/۲ ۵۲	۱/۹ ۶۷	۲/۳ ۱۵۲	۲/۹ ۱۹۵	۲/۸ ۳۳۴	۲/۷ ۳۰۱	۲/۴ ۲۵۶	۲/۱ ۲۰۶
کهنوج	غالب	۴/۳ SE	۰ N	۰/۳ N	۵ SE	۴/۴ SE	۳/۸ SE	۴ SW	۴/۳ SW	۴/۰ SW	۴/۶ SW	۴/۵ SW	۳/۷ SE	۴/۳ SE
	نایب غالب	۰/۳ N	۴/۶ SE	۳/۸ SE		۰/۸ N		۴ NE		۴/۷ S	۴/۳ SE	۰ N	۰ N	۰/۳ N
	۶۸-۹۵	۲/۶ ۱۷	۲/۶ ۳۸	۱/۹ ۱۵	۳/۹ ۸	۲/۷ ۱۰	۲/۷ ۱۱	۳/۴ ۷	۲/۹ ۹	۳/۷ ۱۶	۳/۸ ۲۴	۲/۹ ۱۵	۲/۵ ۲۱	۲/۶ ۱۷
کرمان	غالب	۰/۹ N	۱/۹ N	۰ N	۰ N	۰/۳ N	۰ N	۰ N	۱/۳ N	۱/۸ N	۱/۱ N	۱/۴ N	۰/۹ N	۰/۹ N
	نایب غالب	۴/۸ SW	۳/۸ NW	۴ NW				۴ NW	۴ NE	۲/۶ NW	۲/۳ NW	۲/۳ NW	۳/۵ NW	۴/۸ SW
	۶۵-۹۵	۳ ۳۰	۳ ۲۶	۲/۷ ۳	۰ ۱	۰/۳ ۶	۰ ۲	۱/۳ ۱۶	۲/۴ ۱۱	۲/۷ ۳۹	۲/۱ ۲۹	۲/۷ ۸۲	۲/۴ ۷۰	۳ ۳۰
شهربابک	غالب	۰ N	۲&۴ NE&SE	۰&۳ N&W				۰&۲/۵ N&NW	۲/۵ SE			۰&۴ N&S	۴ NW&W	۰ N
	نایب غالب							۳ S						
	۶۵-۹۵	۲/۲ ۶	۳ ۶	۱/۵ ۲				۱/۱ ۹	۱/۸ ۵	۴/۳ ۴		۲/۵ ۱۴	۴ ۷	۲/۲ ۶
سیرجان	غالب	۴/۰ NW	۴/۶ SW								۲/۰ NW	۲/۸ NW	۳/۸ NW	۴/۰ NW
	نایب غالب													
	۶۵-۹۵	۳/۵ ۳۳	۴/۳ ۱۴	۳/۷ ۳					۵ ۱	۲ ۳	۲/۶ ۱۰	۳/۴ ۲۹	۳/۵ ۴۱	۳/۵ ۳۳
استان (۶۵-۹۵)		۲/۳ ۳۷۸	۲/۳ ۳۲۶	۲/۱ ۱۰۶	۱/۹ ۷۳	۱/۹ ۸۰	۲/۰ ۸۰	۱/۷ ۱۲۶	۲/۴ ۱۹۰	۲/۷ ۳۱۹	۲/۶ ۵۳۰	۲/۵ ۵۹۸	۲/۳ ۵۴۲	۲/۳ ۳۷۸

*: فراوانی باد و میانگین سرعت باد در کل دوره مورد مطالعه برای هر ایستگاه

جدول ۱۳- تقویم ماهانه جهت، میانگین سرعت و فراوانی باد طی سالهای ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ برای مدیریت استانی گردوغبار در استان کرمان

ایستگاه	نوع باد	فروردین		اردیبهشت		خرداد		تیر		مرداد		شهریور		مهر		آبان		آذر		دی		بهمن		اسفند		سالانه			
		جهت باد	سرعت	جهت باد	سرعت	جهت باد	سرعت	جهت باد	سرعت	جهت باد	سرعت	جهت باد	سرعت	جهت باد	سرعت	جهت باد	سرعت	جهت باد	سرعت	جهت باد	سرعت	جهت باد	سرعت	جهت باد	سرعت	جهت باد	سرعت	جهت باد	سرعت
انار	غالب	۶/۲	NW	۶/۷	NW	۶/۲	NE	۶/۴	NE	۶/۲	NE	۶/۲	NW	۶/۲	NE	۶	N&NW									۶/۷	NW	جهت باد	میانگین
	نایب غالب	۷	SW	۷	W	۶/۶	NW	۶	N	۶/۵	N	۶	N	۶	N											۶/۳	NE	جهت باد	میانگین
یم	غالب	۶/۲	NW	۶/۵	NE	۶/۶	N	۶/۹	N&NW	۷/۱	N	۶/۶	N	۶/۸	N	۶	NW*W	۶/۳	NE	۶	N	۷/۴	NE	۶/۸	N	۶/۸	N	۶/۸&۸/۳	N&NE
	نایب غالب	۶/۷	NE	۶/۴	NW	۶/۸	NE	۶/۲	NE	۷/۴	NE	۶/۶	NE	۶	NE	۸	NE					۸	N	۶/۲	W	۶/۸	NE	۶/۸	NE
کهنوج	غالب	۶/۴	SE	۸/۵	SW	۹/۳	SW	۹/۵	SW	۹/۳	SW	۸	SW	۹/۵	SE	۷/۶	SE	۶/۸	SE	۷/۵	SE	۷/۸	SE	۷/۵	SE	۹/۵	SW	۱۱/۲	SW
	نایب غالب	۱۳	SW	۷/۸	SE	۷/۵	SE	۶/۸	SE	۷/۸	S	۶	SE	۶	SE	۷/۸	SE	۶/۸	SE			۸	SE	۷/۵	SE	۷/۲	SE	۶	SE
کرمان	غالب	۹/۹	۱۰	۸/۲	۱۸	۹/۱	۴۰	۸/۶	۱۲	۸/۸	۲۶	۷/۶	۵	۱۰/۳	۳	۷	۹	۶/۸	۴	۷	۳	۶/۸	۴	۸/۵	۱۱	۸/۶	۱۴۵	۸/۵	۱۱
	نایب غالب	۹/۷	SW	۸/۱	SW	۶/۷	NW	۷&۷/۸	N&NE	۶/۷	NW	۷/۴	NE	۶/۵	NE	۶/۵	NE	۶	NW	۶	NW	۸/۳	۳	۶/۵	۲	۷/۶	۱۲۵	۸/۸	۲۲
شهریابک	غالب																												
	نایب غالب	۹/۷	SW	۸/۵	۱۵	۷/۴	۲۹	۷/۱	۱۷	۶/۸	۱۲	۶/۶	۵	۶/۵	۲	۶	۱	۶/۵	۲	۶/۶	۵	۸/۳	۳	۶/۵	۲	۷/۶	۱۲۵	۸/۸	۲۲
سیرجان	غالب	۷/۳&۸	S&SW	۶/۷	۳	۷&۶	N&NW																						
	نایب غالب	۱۰	۱۰	۷/۳	۴	۷	۳	۷/۵	۴	۷	۴	۸	۲	۷/۴	۲۶	۷/۷	۱۰	۶/۵	۲	۷	۱	۷/۶	۱	۷/۵	۲	۷/۴	۳۶	۷/۷	۱۰
استان (۶۵-۹۵)		۹۱	۷/۴	۱۱۳	۷/۱	۱۱۳	۷/۱	۱۱۳	۶/۹	۱۱۲	۷/۳	۱۵۶	۷/۳	۴۰	۶/۸	۱۵	۶/۶	۱۵	۷/۵	۱۲	۷/۶	۱۴	۷/۵	۳۲	۷/۴	۷۹۰	۷/۹	۷۶	

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی وضعیت باد در استان نشان می‌دهد، ۴۲ درصد از بادهای استان آرام هستند و به ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی باد در شرایط بادناکی (غیرآرام) در ایستگاه بم و انار رخ داده است و فراوانی باد در نیمه شرقی استان بیش از نیمه غربی آن بوده است. بررسی فصلی تعداد روز توأم با گردوغبار نشان داد که ایستگاه بم و کهنوج در فصل تابستان و سایر ایستگاه‌ها در فصل بهار بیشترین روز توأم با گردوغبار را داشته‌اند و فصل پاییز دارای کمترین روز توأم با گردوغبار در همه ایستگاه‌ها بوده است. بررسی ماهانه نشان داد که تیرماه در دو ایستگاه بم و کهنوج و اسفندماه در سایر ایستگاه‌ها دارای بیشترین و آبان‌ماه در همه ایستگاه‌ها دارای کمترین روز توأم با گردوغبار بوده است.

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری جهت‌های فصلی عمومی باد نشان داد که در محدوده استان کرمان بادهای غالب در نواحی شمالی استان دارای جهت‌های شمالی و شمال‌غربی، در نواحی مرکزی استان دارای جهت غربی و در ناحیه جنوبی استان، دارای جهت جنوب‌غربی هستند و بادهای جنوب‌غربی و غربی از سرعت بیشتری برخوردارند. نتیجه مطالعات Zamani و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد بادهای نیمه غربی استان کرمان دارای جهت جنوب‌غربی و بادهای نیمه شرقی دارای جهت شمالی هستند. آزمون تحلیل همگنی نشان داد در تمامی ایستگاه‌ها، میانگین سرعت بادهای محلی همراه با گردوغبار طی سال‌های مورد مطالعه دارای روند کاهشی بوده است و سرعت بادهای توأم با گردوغبار محلی در استان ۳/۲ برابر میانگین سرعت بادهای توأم با گردوغبار فرامحلی است و شهرستان‌های بم و انار نسبت به سایر شهرستان‌ها بیشتر تحت تأثیر بادهای منطقه‌ای قرار دارند و نقش بادهای شمالی (شمالی، شمال‌غربی و شمال‌شرقی) در انتقال ذرات ریز معلق از استان‌های همسایه و مناطق دور به سمت استان بیشتر است که نتایج مطالعه Ekhtesasi و همکاران (۲۰۰۶)، Saremi Naini (۲۰۱۶) و Anvari و Mohammadi (۲۰۰۹) تأییدی بر این مطلب است. ۹۷/۹ درصد از رخدادهای محلی به صورت واقعه گردوغباری و بقیه (۲/۱ درصد) به صورت

طوفان گردوغباری رخ داده است. شهرستان کهنوج دارای بیشترین طوفان گردوغباری متوسط (MDS) و شهرستان بم و کرمان دارای بیشترین طوفان شدید گردوغباری (SDS) بوده‌اند.

بررسی بادهای همراه با گردوغبار محلی و فرامحلی و بادهای فرساینده و مقایسه آن با گلبادهای نشان داد، در همه ایستگاه‌ها بادهای غالب و نایب غالب که فراوانی و سرعتشان تحت تأثیر ناپایداری‌های جوی، سیکلون‌های حرارتی محلی و افزایش شیب گرادیان فشار ناشی از تغییرات فصلی و تابش خورشید افزایش یافته و باعث ایجاد وقایع گردوغباری شده‌اند و نیز بادهای با کلاس متوسط سرعت ۱۰-۶ متر بر ثانیه با جهت شمالی در ایستگاه بم و جنوب‌غربی در سایر ایستگاه‌ها دارای بیشترین فراوانی بوده‌اند که با نتایج تحقیقات Omidvar و Omid (۲۰۱۳)، Saremi Naini (۲۰۱۶) و Ekhtesasi و Dadfar (۲۰۱۴) تطابق دارد. به علاوه نتایج نشان داد، ۶۲/۵ درصد از بادهای در کل استان فرساینده بوده است و ایستگاه انار، کرمان و سیرجان به ترتیب در فصل بهار و زمستان، ایستگاه بم و کهنوج به ترتیب در فصل تابستان و بهار و ایستگاه شهربابک به ترتیب در فصل زمستان و بهار دارای بیشترین فراوانی باد فرساینده بوده‌اند. ایستگاه بم دارای بیشترین فراوانی بادهای فرساینده و ایستگاه شهربابک دارای بیشترین سرعت باد فرساینده بوده‌اند و میانگین باد فرساینده در سطح استان برابر با ۱۰/۵ متر بر ثانیه است. براساس محاسبه ضریب همبستگی پیرسون در سطح معنی‌داری ۵ درصد و بررسی بصری تصاویر ماهواره‌ای، منشأ احتمالی گردوغبار فرامحلی همراه با بادهای با سرعت بیش از ۶ متر بر ثانیه در استان و فرامحلی کمتر از ۶ متر بر ثانیه با توجه به جهت وزش باد، به ویژه در شهرستان‌های هم‌جوار استان‌های همسایه، در خارج از استان (محل برداشت) شناسایی شد. درواقع این گردوغبارها هنگام ورود به استان و پس از طی مسافت (محل حمل و رسوب)، با کاهش میزان سرعت بادهای همراه، به داخل استان منتقل شده‌اند.

بررسی این بادهای در مدیریت کنترل ریزگرد و مقابله با

- this process for function in desertification evaluation models, Ph.D Thesis, Faculty of Natural Resources, Tehran University, 170p.
- Fryberger, S.G., Dean, G. and McKee, E.D., 1979. Dune forms and wind regime. A study of global sand seas, study of global sand seas, United States Government printing office, Washington, 1052: 137-170.
- Hagen, L.J., 1996. Crop residue effects on aerodynamic processes and wind erosion. *Theoretical and Applied Climatology*, 54(1-2): 39-46.
- Omidvar, K. and Omidi, Z., 2013. The Analysis of Dust Phenomenon in the Southern and Central Fars Province. *Geographical Research on Desert Areas*, 1(1): 85-114.
- PBO., 2015. Economic, social and cultural report of Kerman province. PBO Publishing, Iran, 366p.
- Rajabi, M.R. and Modarres, R., 2008. Extreme value frequency analysis of wind data from Isfahan, Iran. *Journal of wind engineering and industrial Aerodynamics*, 96(1): 78-82.
- Rashki, N., 2019. Identification of critical centers of wind erosion in Sistan plain. *International Conference on Dust in Southwest Asia*. 23-25 April 2019, Zabol University, Iran.
- Reheis, M.C. and Urban, F.E., 2011. Regional and climatic controls on seasonal dust deposition in the southwestern US. *Aeolian Research*, 3(1): 3-21.
- Sadeghi, SH. and Modarres, R., 2011. Modeling and analyzing the time series trend of maximum erosive wind speeds in East Isfahan station. *2nd National Convention on Wind Erosion*. 16 February 2011, Yazd, Iran.
- Saremi Naini, M.M., 2016. Estimation of the frequency of speed and direction of the erosive winds and dust storms in Yazd province by using wind rose, storm rose and sand rose. *Iranian Scientific Association of Desert Management and Control*, 8: 96-106.
- Sedaghat, M., 1979. *External Earth Forming processes*. Azad University Publishing, Iran, 724p.
- Yamani, M., 2001. Relationship between the diameter of the sand particles and the frequency of wind speeds in the area of the rig of Kashan. *Geographic Research*, 38: 115-132.
- Zamani, S., Mahmoodabadi, M., Yazdanpanah, N. and Farpoor, M.H. 2019. Wind erosion potential of kerman province using seasonal analysis of wind rose and sand rose. *Journal of Water and Soil*, 33(1):83-101.
- Zamani, S., Mahmoodabadi, M., Yazdanpanah, N. and Farpoor, M.H., 2019. Analysis of wind erosivity at synoptic stations of Kerman province using wind rose, storm rose and sand rose. *Soil management and sustainable production*, 9(2): 23-43.
- پدیده گردوغبار در سطح منطقه، استان و شهرستان اهمیت ویژه‌ای دارد و باید مورد توجه محققان قرار بگیرد. یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده این مهم است.
- ### منابع مورد استفاده
- Ansari Renani, M., 2011. Statistical-climatic analysis of provincial dust in the time period (1986-2005) 1th International Congress On dust Haze and dealing with its harmful effects. The University of Agriculture and Natural Resources Ramin Khuzestan, 26-28 February 2011, Khuzestan, Iran.
- Anvari, S.M. and Mohammadi, H., 2009. Estimation of sand transport potential and the resultant of erosive winds of corridor Jezink. The 2nd Conference on Regional of Natural and Environment. Feb 2009, Arsanjan, Iran.
- Ataiee, H. and Ahmadi, F., 2010. Study of dust as one of the environmental problems of the Islamic world a case study of Khuzestan province. 4th International Congress of The Islamic World Geographers. University of Sistan and Baluchestan. 14 April 2010, Zahedan, Iran.
- Atapour, H. and Aftabi, A., 2002. Geomorphological, geochemical and geo-environmental aspects of karstification in the urban areas of Kerman city, southeastern, Iran. *Environmental Geology*, 42(7): 783-792.
- Department of Environment, 2011. National Secretariat for Combating the Harmful Effects of dust storm phenomenon.
- Derbyshire, E., 2007. Natural minerogenic dust and human health. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(1): 73-77.
- Ekhtesasi, M.R. and Dadfar, S., 2014. Investigation on relationship between coastal hurricanes and sand dunes morphology in south of Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 45(4): 61-72.
- Ekhtesasi, M.R., 2004. Source identification sand dunes in Yazd- Aardakan plain. *Forest and Rangeland Research Institute*, Tehran, 308p.
- Ekhtesasi, M.R., Ahnadi, H., Khalili, A., Saremi Naeini, M.A. and Rajabi, M.R., 2006. An Application of Wind Rose, Storm Rose, and Sand Rose in the Analysis of Wind Erosion and Determining the Direction of Moving Sands (Case Study Area: Yazd-Ardakan Basin). *Iranian Journal Of Natural Resources*, 59(3): 533-541.
- Ekhtesasi, M.R., 2004. Morphometric and morphodynamic study of wind erosion facies of Yazd-Ardakan plain and determination of indicator of

Analysis of dusty and erosive winds in Kerman province in order to provide a calendar for forecasting and managing dust control

S. Lotfinasab^{1*}, A. Gohardoust², F. Dargahian² and M. Khosroshahi²

1* - Corresponding author, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, E-mail: s.lotfinasab@rifr-ac.ir

2- Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 13.12.2020

Accepted: 03.04.2021

Abstract

Wind erosion and dust are two different aspects of the same situation. They are the consequences of desertification, which their harmful effects in terms of health, environment and economy have become one of the important regional and global challenges especially in arid and desert areas. In this regards, Iran and especially Kerman province have highly suffered from them. Therefore in this study, we investigated the seasonal wind regime and analysis of the frequency, speed and direction of dust-producing and erosive winds of internal and external origin. The purpose of the study is to apply the results in programs and operations to combat desertification and reduce dust events by emphasizing their possible origin at the local and regional level for authorities. For this purpose, hourly data of wind speed and direction and dust codes recorded in six synoptic stations during the years 1986 to 2016 were analyzed. Graphical study of the speed and direction of general and dusty winds was drawn using WR Plot View 8.0.2 software. The possible sources of dust in the province and the beyond were identified by identifying and analyzing the speed and direction of internal and external erosive and non-erosive winds. The correlation between them as well as investigating the satellite images of dust events were examined. Finally, the monthly wind calendar regarding dust control was presented in three management levels of regional, provincial and local. The analysis of seasonal wind direction showed that in Kerman province, the prevailing winds in the northern parts blow from north and northwestern directions; in central parts blow from west; and in southern part blow from southwest directions. The winds from southwest and west have faster speed. The results of homogeneity test in all stations showed that the average speed of internal dusty wind had a decreasing trend during the studied years and the speed of internal wind is 2.3 times greater than external winds and the cities of Bam and Anar are more affected by regional winds than other cities. This shows that the role of northern winds to transfer of particulate matter from neighboring provinces and remote areas to the province is greater. The result also showed 97.9% of internal events occurred as a dust event and the rest (2.1%) as a dust storm. Furthermore, in all stations, prevailing and vice-prevailing winds increased their frequency and speed due to atmospheric instabilities and local thermal cyclones and increasing the slope of the pressure gradient due to seasonal changes and solar radiation that caused dust events. In this regards, the winds with an average class speed of 6-10 meters per second had the highest frequency. Based on the correlations and satellite images, the possible sources of external dusts with a wind speed lower and greater than 6 m/s were identified outside and inside of the province, respectively. These types of winds should be considered for the management of fine dust control at the regional, provincial and local levels.

Key words: Wind rose, dust rose, Kerman province, internal & external dust, monthly dust calendar and dust source.