

## مسیریابی و بررسی روند حرکت منابع تولید گردوغبار در شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از مدل *HYSPLIT* (مطالعه موردی: شرق استان قم، ماسه‌زار جلالی)

- ❖ صادق آبروش؛ دانشجوی دکترای گروه جغرافیا، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
- ❖ محمدرضا ثروتی؛ استاد گروه جغرافیا، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
- ❖ شیرین محمدخان\*؛ استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران
- ❖ منیژه قهرودی تالی؛ دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

### چکیده

امروزه مشکل گردوغبار به بحرانی منطقه‌ای و جهانی تبدیل شده است. گردوغبار و طوفان‌های ماسه‌ای می‌توانند به عنوان منابع تأمین بودجه رسوب شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای مورد توجه قرار گیرند. هدف از این پژوهش، بررسی روند حرکت منابع تولید گردوغبار و نقش آن‌ها در شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای در منطقه ماسه‌زار جلالی واقع در شرق استان قم می‌باشد. داده‌های تحقیق شامل اطلاعات کتابخانه‌ای، نقاط نمونه برداری شده و همچنین اطلاعات بدست آمده از ایستگاه‌های هواشناسی موجود در استان قم و بهره‌گیری از مدل *HYSPLIT* می‌باشد. ابزارهای مورد استفاده در تحقیق شامل داده‌های اقلیم شناسی نرم افزارهای *Google Earth*، *WRPLOT*، *ArcGIS* و *Excel* می‌باشد. در طول سال‌های (۲۰۱۹-۱۹۸۷) ۸۹ درصد رخداد گردوغبار در نیمه گرم سال و ۱۱ درصد در نیمه سرد سال اتفاق افتاده است. گلبادهای ترسیم شده سه ایستگاه کوه سفید، قم و کوشک نصرت بیانگر برتری جهت شرق، جنوب شرق، غرب و جنوب غربی به سمت شهر قم می‌باشد. گل غبار نیز بر تسلط جهت شرق در فصول گرم سال تأکید دارد. مسیر یابی و روند حرکت گردوغبار در نقاط نمونه‌برداری شده در سطوح ارتفاعی تا ۱۰۰۰ متر و ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر به صورت پسگرد به کمک مدل *HYSPLIT* نشان داد از منشأ خارجی، بیابان‌های عربستان، سوریه و عراق و از منشأ داخلی دریاچه نمک و دشت مسیله و اراضی رها شده کشاورزی در تولید منابع گردوغبار و شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای ماسه‌زار جلالی نقش بارزتری دارند.

واژگان کلیدی: گردوغبار، گلباد، *HYSPLIT*، *WRPLOT*، ماسه‌زار جلالی.

## ۱. مقدمه

یکی از مهم ترین بحران‌های زیست محیطی در مناطق خشک و نیمه خشک، پدیده مخرب بیابانزائی است که وقوع طوفان‌های گردوغبار و حرکت ریزگردها از پیامدهای آن محسوب می‌شود. قدمت مطالعه طوفان‌های گردوغباری تا به آنجا می‌رسد که در روم باستان این پدیده را به اولیوس خدای بادهای نسبت می‌دادند [۱۷]. در دهه‌های اخیر، در مناطق خشک و نیمه خشک پدیده گردوغبار در جهان و ایران به لحاظ فراوانی و سطح گسترش زیادی یافته است. براساس تعریف سازمان هواشناسی جهانی، هرگاه در ایستگاهی سرعت باد از ۱۵ متر بر ثانیه بیشتر و دید افقی به واسطه ذرات گردوغبار به کمتر از ۱ کیلومتر برسد، طوفان گردوغبار رخ داده است [۱۹ و ۳۲]. شدت طوفان گردوغبار با میزان ماندگاری، فراگیری مکانی و میزان کاهش دید تعیین می‌شود و برحسب تداوم زمانی به دو نوع طوفان گردوخاک کوتاه مدت (تا نیم ساعت) و طولانی مدت (چند ساعت تا گاهی یک شبانه روز تقسیم می‌شود [۲۲]. از مهم ترین شرایط ایجاد گردوغبار در کنار هوای ناپایدار، وجود یا عدم وجود رطوبت است. به طوری که اگر هوای ناپایدار رطوبت کافی داشته باشد، بارش و طوفان رعد و برق و اگر فاقد رطوبت باشد طوفان گردوغبار ایجاد می‌کند. در واقع ایجاد گردوغبار می‌تواند نوعی واکنش به تغییر پوشش گیاهی باشد [۱۶]. مواد خاکی از یک منطقه منتقل و در مکان‌های دیگر نهشته می‌شوند و ممکن است شامل باقیمانده شیمیایی بالقوه مضر، ذرات بیماری زا، بذر گیاهان هرز و مانند آن‌ها باشد، باعث می‌شوند گیاهانی که تحت تاثیر این مواد خاکی منتقله قرار گرفته، دچار بیماری شوند [۱۹] باشد. در سالهای اخیر، شناسائی مناطق منبع گردوغبار در تحقیقات بی شماری مورد توجه محققان قرار گرفته است [۳۴]. این پژوهش، سعی دارد منشأ و مسیر ورود منابع گردوغبار مانند اراضی کشاورزی رها شده و نیز اراضی دارای بافت سبک (معادن روباز پلاستی و شن و ماسه) را که در شکل گیری و توسعه تپه‌های ماسه‌ای در ماسه زار جلالی نقش موثرتری دارند با

استفاده از نرم‌افزار WRPLOT، مدل HYSPLIT مورد بررسی و پژوهش قرار دهد.

نتایج تحقیقات [۳۱] نشان داد که با در نظر گرفتن فاز تولید گردوغبار می‌توان پیش بینی‌های آب و هوایی را در یک مدل منطقه ای بهبود بخشید. [۲۲] مسیرهای حمل گردوغبار از دریاچه ایر استرالیا را با استفاده از مدل HYSPLIT بررسی و بیان کردند که گردوغبار این دریاچه تحت تأثیر جریانات جوی در طی یک دوره مدت زمان کوتاه قادر است هزاران کیلومتر از قاره استرالیا را تحت تاثیر قرار دهد. [۳] با بررسی توزیع عمودی انتشار گردوغبار و منابع آبی آن در تابستان ۲۰۰۷ بر روی شمال غرب ایران با استفاده از مدل HYSPLIT نشان دادند که منابع گردوغبار ایران در ۳-۵ ماه اوت از سوریه و منطقه قم (دریاچه نمک) است. این رخداد پاسخی به وزش بادهای قوی شمال از ناحیه دشت کویر قم است، اما گردوغبار ناشی از ماه سپتامبر (۱۳-۱۱) در زنجان و تهران با توزیع عمودی در سطوح پایین جوی ناشی از عراق بوده است. نتایج مطالعه [۲۵] نشان داد، الگوی ناوه موج غربی، انتقال گردوغبار را در سطوحی گسترده به مناطق جنوب غرب ایران فراهم می‌کند. خروجی‌های مدل HYSPLIT در این مطالعه محدوده‌ای در حدفاصل مرکز تاشمال عراق، شرق سوریه تا شمال عربستان را منابع اصلی تأمین ذرات در این طوفان‌ها تعیین کرد. [۲] به بررسی طوفان‌های گردوغبار بر فراز ایران پرداخته‌اند. در این کار تحقیقی از مدل HYSPLIT برای تعیین منبع و چگونگی حرکت توده‌های گردوغبار استفاده نمودند. بر اساس ماژول الگوریتم انتشار ذرات PM10 منابع اصلی تأمین کننده ذرات طوفان خاک و ماسه ۶ تا ۱۰ ژوئن، بر افراز اهواز از مناطق غرب عراق، مرز اردن و عربستان نشأت گرفته اند. ملکوتی و همکاران (۲۰۱۲) به مطالعه و شناسایی چشمه طوفان‌های گردوغبار سنگین در خاورمیانه طی روزهای ۱۳ تا ۱۷ تیر ۱۳۸۸ پرداخته و از مدل HYSPLIT استفاده نمودند. نتایج مدل نشان داد مناطق کویری و خشک مرکز عراق و سوریه منشأ گردوغبار ذکر شده هستند. [۲۴] با ردیابی منابع

برای بررسی کانونهای گردوغبار از مدل HYSPLIT و تصویر مودیس استفاده کردند و ضمن شناسایی مناطق منشأ طوفانهای ماسه و گردوغبار در سطح منطقه ای در غرب آسیا، به این نتیجه رسیدند که مدل HYSPLIT برای بررسی کانونهای گردوغبار مناسب است. [۵] با بررسی ساز و کار جوی حاکم بر رخداد روزهای توأم با گردوغبار شهر تبریز و ردیابی آن با استفاده از مدل HYSPLIT و تصاویر مودیس پس از شناسایی روزهای توأم با گردوغبار به این نتیجه رسیدند روزهای مورد بررسی دارای سه منشأ مختلف می باشند. اولین منشأ شرق فلسطین و غرب سوریه و در ارتفاع ۱۰۰۰ متری، دومین منشأ شرق سوریه در ارتفاع ۵۰۰ متری و سومین سرچشمه مربوط به مرکز عراق در ارتفاع ۱۰۰ متری است. [۳۶] با ردیابی گردوغبار سطح مختلف جو سنندج با استفاده از مدل HYSPLIT در دوره آماری ۲۰۱۳-۱۹۹۰ دریافتند دو رخداد طوفان اتفاق افتاده در نیمه گرم سال ذرات گردوغبار از سمت بیابانهای سوریه و شمال عراق وارد اتمسفر سنندج گردیده‌اند. [۸] به منظور بررسی طوفانهای گردوغباری بر کیفیت میکروبی هوا در شهر اهواز و منشأیابی آن با استفاده از مدل سازی عددی ضمن بررسی روند تغییرات سالیانه و فصلی پارامترهای هواشناسی و استفاده از نرم افزار HYSPLIT دریافتند که منشأ احتمالی این ذرات در شهر اهواز، کشورهای همسایه در جنوبغرب ایران به ویژه مناطق شمال غرب کشور عراق و شرق کشور سوریه است. [۱۸] با بررسی اهمیت منابع انتشار گردوغبار دوره کواترنری بر کیفیت هوای شهر قم و نتایج مربوط به HYSPLIT نشان دادند مهم ترین جهات ورود گردوغبار به شهر قم جهات شرق، جنوب شرق، غرب و جنوبغربی است. [۳۶] با تحلیل و ردیابی مسیره‌های ورود طوفانهای گردوغبار به شرق ایران با استفاده از مدل پخش لاگرانژی ذرات HYSPLIT به روش پسگرد<sup>۱</sup> نشان دادند زمانی که یک سلول مستقل پرفشار بر شمال افغانستان و شمال شرق ایران همچنین

گردوغبار در سطوح مختلف جو تهران با استفاده از مدل HYSPLIT نشان داد براساس مسیره‌های انتقال ذرات خروجی‌های مدل، منابع اصلی گردوغبار بر روی تهران در عرض‌های ۲۵ تا ۳۷ درجه شمالی محدوده ای حفاصل عراق، سوریه و عربستان است. نتایج ارزیابی و پایش طوفان گردوغبار در غرب و جنوبغرب ایران در روزهای مورد مطالعه با استفاده از مدل HYSPLIT [۴] نشان داد که به طور کلی منابع اصلی طوفان گردوغبار کشور شمال تا شمال غرب، عراق و شرق سوریه است. [۲۶] پدیده گردوغبار برای یک دوره آماری ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ برای تعیین مناطق منشأ غبار روی شهر مشهد، مدل جریانی HYSPLIT به روش پسگرد، طی ۲۴ ساعت قبل از وقوع برای روزهای آماری مورد مطالعه اجرا کردند و نشان دادند که عمده نواحی منشأ گردوغبار روی شهر مشهد طی دوره گرم سال، در شرق یعنی بیابانهای ترکمنستان و همچنین اراضی تغییر یافته شمال شرق کشور قرار دارد. در دوره سرد سال نیز بیشتر نواحی شمال غربی شهر مشهد و از شرق دریای خزر با فراوانی کمتر توده گردوغبار به سمت شهر مشهد کشیده می شوند. [۳۵] با تحلیل اقلیمی و ردیابی طوفانهای گردوغبار فراگیر در جنوب و مرکز ایران با استفاده از مدل HYSPLIT و نقشه‌های جوی سطح بالا، با این نتیجه رسیدند که توده گردوغباری از مناطق شمال غرب عراق و شرق سوریه سرچشمه گرفته و با جهت شمالغربی و جنوب شرقی به ایران وارد شده است. [۲۷] با تحلیل طوفانهای گردوغبار استان یزد با استفاده از مدل HYSPLIT و WRF طی دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۸۸ پرداخته و نتایج نشان داد که عبور سامانه‌های چرخندی از سطوح بالای جو و ریزش هوای سرد ناشی از آن همراه با گرمایش سطحی در سطح زمین، زمینه ایجاد ناپایداری در منطقه را فراهم ساخته است. منشأ طوفان، وجود احتمالی چشمه طوفان در مناطق خشک و نمک زار حاصل از خشک شدن باتلاق گاو خونی و کویرهای اطراف آن است. [۹]

<sup>۱</sup> Backward

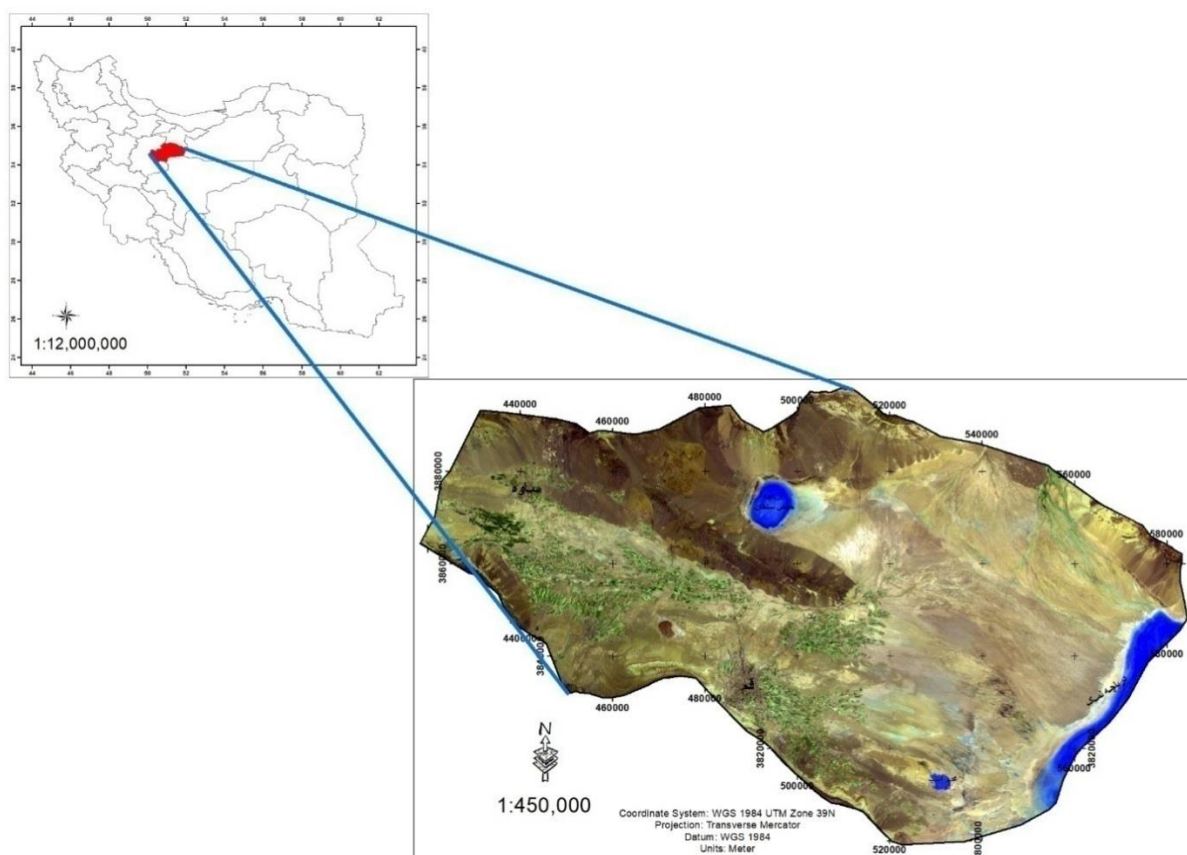
از شمال به استان تهران، جنوب به استان اصفهان (کاشان)، غرب به استان مرکزی (ساوه) و شرق به دریاچه نمک قم منتهی می‌شود. غالب سطح منطقه مسطح و دشتی است. این محدوده بخشی از دشت بزرگ مرکزی قم را شامل شده و دارای زمستانهای سرد و خشک و تابستانهای گرم و خشک می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه حدود ۱۵۷ میلیمتر است. عرصه مورد مطالعه در حد فاصل ۵۰ درجه و ۰۶ دقیقه و ۳۷ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۵۵ دقیقه و ۴۴ ثانیه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه و ۴۸ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۱۳ دقیقه و ۱۷ ثانیه عرض شمالی واقع شده است. ماسه زار جلالی واقع در شرق منطقه مورد مطالعه با وسعت حدود ۱۰۲۴۰ هکتار در حدود ۱۰ کیلومتری روستای کوه سفید و ۳۰ کیلومتری شهر قم واقع شده است. شکل ۱ موقعیت کشوری و استانی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

سلول کم فشار بسته‌ای بر جنوبغرب افغانستان وجود دارد. گرادیان شدیدی بین این مناطق ایجاد و باعث می‌شود سرعت باد در سطح زمین به بیش از ۱۴ متر بر ثانیه برسد. اختلاف شدید فشاری و دمایی در منطقه نبود رطوبت و زاویه تابش بالا سبب می‌شود گردوغبار بیابان‌های خارج از مرزهای شمالی و شرقی به منطقه هدایت شود.

## ۲. روش شناسی

### ۲.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در حدود ۱۰۱۵۴۲۱ هکتار وسعت دارد. ۷۶۹۷۲۶ هکتار آن (۷۶٪) در استان قم، ۱۸۳۸۷۵ هکتار (۱۸٪) استان مرکزی، ۴۷۱۶۰ هکتار (۵٪) استان اصفهان و ۱۰۴۱۳ هکتار (حدود ۱٪) آن در استان تهران قرار دارد. منطقه مورد پژوهش از لحاظ حدود اربعه



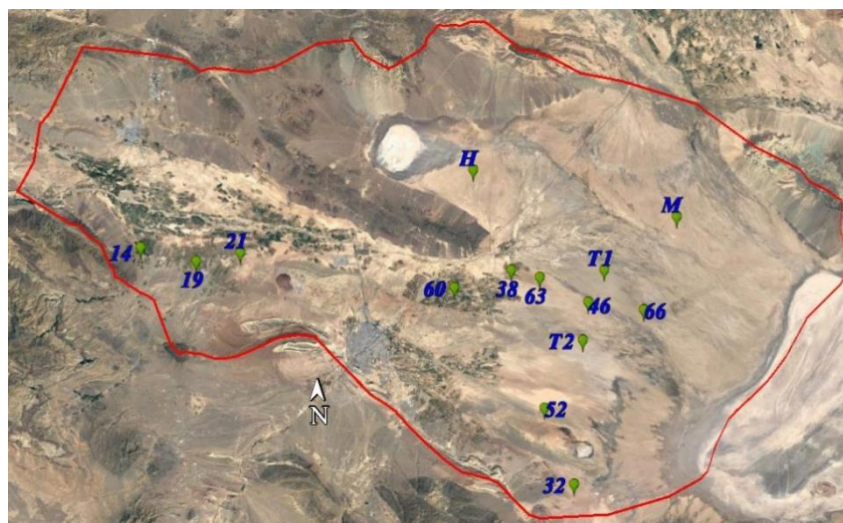
شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

است برای بررسی وضعیت باد منطقه، با استفاده از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک قم در طول سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹ و با بهره‌گیری از نرم‌افزار Wind Rose Plot (WRPLOT)، گل باد منطقه تهیه و ترسیم گردید. برای تهیه گل غبار، از روزهای گردوغباری با کد ۶ (روزهای توأم با گردوغبار معلق) ایستگاه مذکور (به عنوان تنها ایستگاه دارای کد گردوغبار) بهره‌گیری شد. در بازه زمانی مذکور، فقط ۲۰ روز به کد ۶ اختصاص داشته و در فاصله زمانی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۶، اتفاق افتاده است. (جدول ۱) روزهای گردوغباری با مختصات جغرافیایی نقاط نمونه (شکل ۲)، به ماهواره NOAA معرفی تا با استفاده از مدل HYSPLIT، مسیرهای منابع تولید و انتقال گردوغبار به عرصه مطالعاتی مشخص گردد.

منطقه مورد مطالعه به شکل کشیده بوده و بخش اعظم دشت‌های مسیله، جعفریه و ساوه را در بر میگیرد و ارتفاعات مهمی همچون گنبد نمکی در آن محاط است. بلندترین ارتفاع منطقه ۲۰۶۰ متر از سطح دریا واقع در گوشه شمال غربی منطقه و حداقل ارتفاع آن واقع در شرق دشت مسیله ۷۸۰ متر از سطح دریا قرار دارد. وضعیت خاص فیزیوگرافی موجب گردیده کوه نمک و کوههای کمر کوه و زرد کمر موجب کنالیزه شدن باد بویژه باد غالب با جهت شمال غربی- جنوب شرقی به سمت اراضی مستعد فرسایش بادی در شرق منطقه به کانون فرسایش بادی تبدیل نماید.

## ۲.۲. روش تحقیق

این تحقیق نوع کاربردی و از نوع علمی- پژوهشی



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه

ستون عمود جو است. آئروسولها متمایل به جذب یا انعکاس تابش‌های خورشیدی هستند. فلذا قابلیت دید را کاهش و مقدار AOD را افزایش می‌دهند. لازم بذکر است AOD کمتر از ۱/۱ را شاخص آسمان صاف و بدون گردوغبار و شفاف با حداکثر قابلیت دید و AOD بیشتر از

به منظور صحت سنجی روزهای منتخب (بر گرفته از کد گردوغباری ۶)، از تصاویر ماهواره ای سنجنده مودیس و شاخص عمق اپتیکی آئروسول (AOD<sup>1</sup>) سایت Giovanni سازمان فضایی امریکا گرفته شد [۲۹]. افزایش مقادیر AOD از ۲، نشان دهنده بالا بودن آئروسول‌ها در امتداد

<sup>1</sup>Aerosol Optical Depth (AOD)

۲. هوای آلوده و گردوغبار در نظر گرفت [۲]. مشاهده توده گردوغبار روی تصویر ماهواره ای و افزایش غلظت

ذرات معلق، رخداد گردوغبار است.

جدول ۱. تاریخ وقوع گردوغبار در منطقه مورد مطالعه با کد ۶

ردیف	زمان رخداد	ردیف	زمان رخداد	ردیف	زمان رخداد	ردیف	زمان رخداد
۱	۲۰۰۹/۷/۶-۱۵	۶	۲۰۱۲/۷/۴-۶	۱۱	۲۰۱۴/۸/۵-۱۵	۱۶	۲۰۱۴/۹/۲۳-۶
۲	۲۰۱۱/۴/۱۴-۱۵	۷	۲۰۱۴/۶/۱۸-۶	۱۲	۲۰۱۴/۸/۶-۱۵	۱۷	۲۰۱۵/۶/۹-۱۵
۳	۲۰۱۱/۷/۱۷-۶	۸	۲۰۱۴/۶/۲۵-۱۵	۱۳	۲۰۱۴/۸/۸-۱۵	۱۸	۲۰۱۵/۶/۱۵-۱۵
۴	۲۰۱۲/۵/۲۰-۶	۹	۲۰۱۴/۷/۱۵-۹	۱۴	۲۰۱۴/۹/۱۱-۱۵	۱۹	۲۰۱۶/۹/۱۶-۲۱
۵	۲۰۱۲/۵/۲۵-۶	۱۰	۲۰۱۴/۷/۳۱-۶	۱۵	۲۰۱۴/۹/۱۹-۱۲	۲۰	۲۰۱۶/۲/۲۱-۶

منبع: اطلاعات اخذ شده از سازمان هواشناسی استان قم

### ۲.۳. مدل HYSPLIT

به منظور مسیر یابی حرکت گردوغبار از مدل HYSPLIT استفاده گردید. مدل مسیر یابی تک ذره ای هیبریدی (HYSPLIT) برای اولین بار توسط آزمایشگاه منابع هوایی (ARL NOAA) در سال ۱۹۸۲ با کمک اداره هواشناسی استرالیا توسعه یافت. کاربردهای این مدل شامل ردیابی و پیش بینی مسیر مواد آلوده کننده آزاد، مسیر یابی ذرات هوا، خاکسترهای آتشفشانی و دودهای ناشی از آتش سوزی جنگل‌ها می‌باشد. این مدل یک سیستم کامل برای محاسبه مسیرهای ساده ذرات هوا و پراکندگی‌های پیچیده و شبیه سازی آنهاست. روش محاسبات مدل، یک روش مختلط بین روش لاگرانژی (که یک چارچوب متحرک برای حرکات ذرات مورد استفاده قرار می‌دهد) و روش اوپلری (که یک چارچوب ثابت سه بعدی را برای حرکات ذرات مورد استفاده قرار می‌دهد) می‌باشد. به همین دلیل HYSPLIT را مدلی دوگانه می‌نامند [۳۵]. مدل فرا رفت و پخش ذرات، محاسبات آنها در چارچوب لاگرانژی ساخته می‌شود. در ادامه برای محاسبات انتقال ذرات هوا و غلظت مواد آلاینده از یک چارچوب اوپلری استفاده می‌شود [۱۱]. در بعد مدل‌سازی گردوغبار لازم است مناطقی که منابع انتشار هستند مشخص گردد. در این مدل به صورت پیش فرض مناطقی

که دارای کاربری بیابانی هستند تعریف شده اند. باتوجه به نوع خاک سطحی (ماسه‌ای، شنی، سیلت، رس)، این مناطق دارای حساسیت به فرسایش بادی هستند. این مدل یک روش کاربردی برای مشخص کردن خط سیر حرکت گردوغبار، پراکندگی، شبیه سازی رسوب گردوغبار است [۲۰]. پس از تعیین منابع بیابانی مدل سازی با اجرای تنظیمات مدل و ورود داده‌های هواشناسی لازم است به جز داده‌های هواشناسی مواردی مانند: زمان شروع، تعداد و مختصات (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع مورد نظر)، نقاط آغاز، زمان کل اجرا، جهت حرکت رو به عقب (backward) یا رو به جلو (forward) در مدل تعیین شوند.

### ۳. نتایج

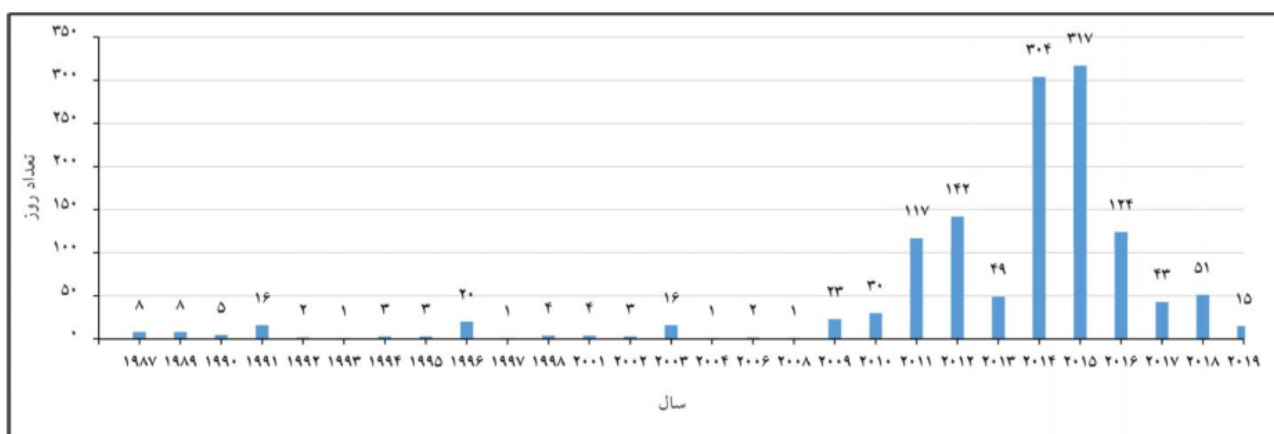
براساس داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک قم در بازه‌های زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹ از تعداد ۱۵۸۸ رخداد گرد و غبار (کد ۶) تعداد ۲۷۵ رخداد با دید افقی تا ۱۰۰۰ متر و تعداد ۱۳۱۳ رخداد گرد و خاک با دید افقی ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ متر شناسایی شد. (شکل ۳) براساس جدول شماره ۲، از نظر دوره زمانی یک سال را می‌توان به دو دوره گرم (فصول بهار و تابستان) و سرد (پاییز و

بارندگی‌ها، کاهش تبخیر و افزایش رطوبت خاک باشد [۳۴]. بررسی فراوانی وقوع رخدادهای در استان تهران، ۷۰ درصد رخدادهای را در فصول بهار و تابستان تشخیص دادند. شکل‌های ۴ و ۵ رخدادهای گردوغبار را در تاریخ ۲۰۰۹/۷/۶ در منطقه مورد پژوهش را نشان می‌دهند.

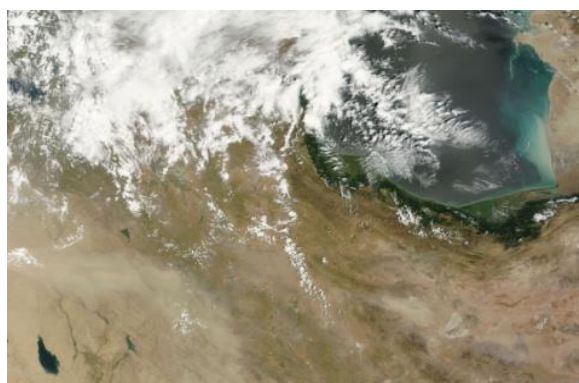
زمستان) تقسیم نمود. حدود ۸۹ درصد رخدادهای با دید افقی بین ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ متر در دوره گرم سال رخ داده که بارش کمتر و مناسب بودن شرایط برای فرسایش بادی می‌تواند یکی از دلایل مهم آن باشد. پاییز و زمستان (۱۱ درصد) سهم کمتری را از رخدادهای به خود اختصاص داده است که از مهم‌ترین علت آن می‌تواند شروع

جدول ۲. توزیع فصلی رخدادهای گردوغبار

فصل	فراوانی رخداد	نسبت به کل
بهار	۵۹۹	۴۶
تابستان	۵۷۰	۴۳
پاییز	۶۴	۵
زمستان	۸۰	۶
مجموع	۱۳۱۳	۱۰۰

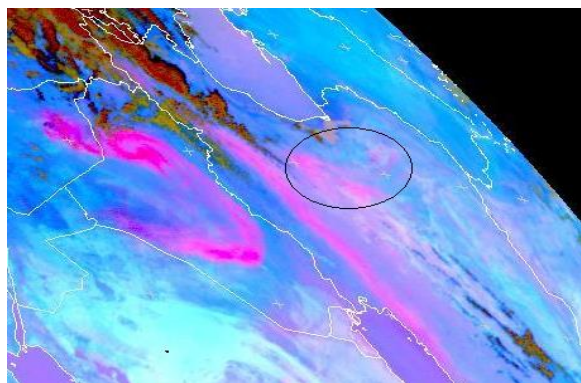


شکل ۳. تعداد روزهای همراه با گردوغبار (۱۹۸۷-۲۰۱۹)



شکل ۴. تصاویر ماهواره MODIS در تاریخ ۲۰۰۹/۷/۶ از منطقه مورد پژوهش

منبع: اداره کل هواشناسی استان قم

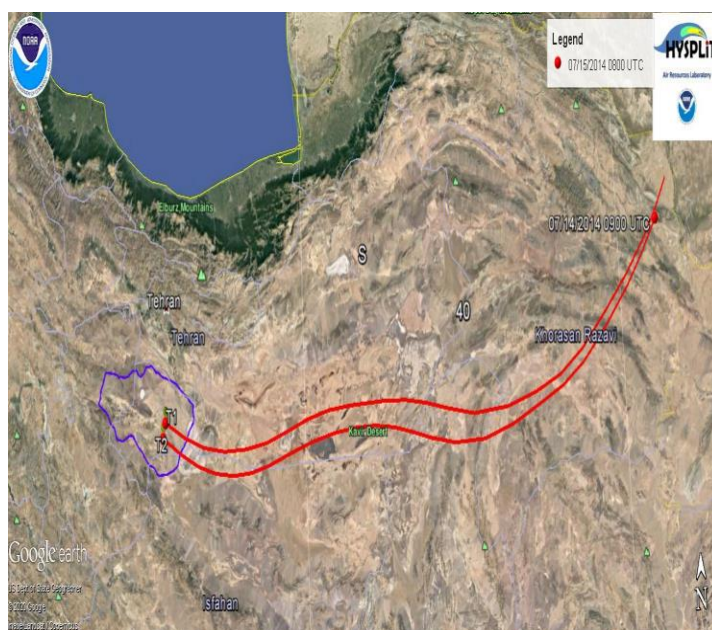
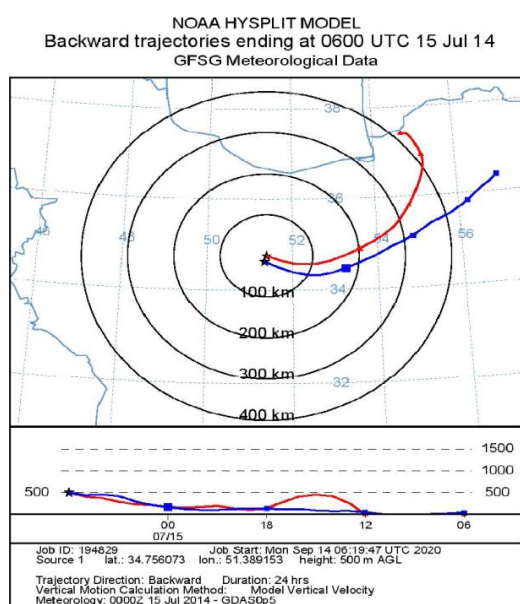


شکل ۵. تصویر ماهواره ۹ METEOSAT در تاریخ ۶/۷/۲۰۰۹ از منطقه مورد پژوهش  
منبع: اداره کل هواشناسی استان قم

است. به طوری که همزمان با آغاز اولین گردوغبار در منطقه مورد مطالعه مسیر باد تا ۲۴ ساعت قبل از آن مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۶).

### ۳.۱. خروجی مدل HYSPLIT

برای ردیابی منشأ رسوب مسیر ذرات تپه‌های ماسه‌ای جلالی از مدل HYSPLIT از روش پسگرد استفاده شده



شکل ۶. ردیابی پس گرد مسیر گردوغبار طی ۲۴ ساعت در تاریخ ۱۵/۷/۲۰۱۴ در سطح ارتفاعی ۵۰۰ متر

این ارتفاع، ردیابی مسیر ذرات یک روز قبل از ورود اولین گردوغبار رخ داده در منطقه بوده که به غرب منطقه مطالعاتی نفوذ کرده بودند. تعداد نقاطی که برای بررسی طوفان‌های گردوغبار در منطقه مورد پژوهش انتخاب گردید، ۱۰ نقطه منتخب از بین نقاط نمونه برداری به

با بررسی دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در ارتفاع ۵۰۰ متر از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹ براساس کد ۶ هواشناسی (روزهای گردوغبار) ۲۰ روز را به خود اختصاص داده که مربوط به فصول گرم سالهای ۲۰۰۹، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲، ۲۰۱۴، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ می‌باشد. مهم‌ترین دلیل انتخاب

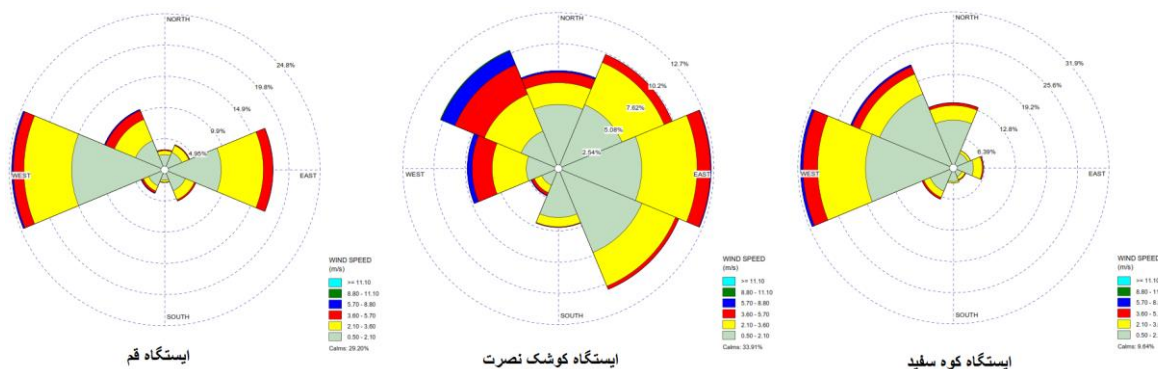


قم (دارای بیشترین سال آماری ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹) و ایستگاه‌های کوه سفید (۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹) و کوشک نصرت (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۹)، برای تهیه گل غبار نیز (گلبادی است با سرعت بیش از آستانه فرسایش بادی خاک یا رخساره مورد نظر [۱۲])، از ایستگاه قم استفاده شده است. برای تهیه گل باد، داده‌های با سرعت بیشتر از ۰/۵ متر بر ثانیه بررسی شده و در زمینه داده‌های کمتر از این مقدار، به عنوان داده‌های آرام در نظر گرفته شده است. گل باد سالیانه در ایستگاه قم ۲۹/۲۵٪ بادها آرام و ۷۰/۸٪ بادها دارای سمت و سرعت بوده و غالبیت با جهت غربی و سپس جهت شرقی است. در ایستگاه کوشک نصرت ۳۳٪/۱۹۱ بادها آرام و ۶۶٪/۰۹ دارای سمت و جهت بوده که غالبیت با جهات شرق، شمال شرق و جنوب شرق بوده و سپس جهت شمال غرب بعنوان باد نایب می‌باشد. در ایستگاه کوه سفید نیز ۹/۶۴٪ بادها آرام و ۹۰/۳۶٪ دارای سمت و سرعت بوده و غالبیت بر باد غربی و سپس باد شمال غربی است (شکل ۷).

منظور بررسی‌های مورفوسکوپی و ژئوشیمی و ۲ نقطه از مناطق مسیله و حوض سلطان و ۲ نقطه از تپه‌های ماسه‌ای با استفاده تصاویر ماهواره NOAA و مدل HYSPLIT (بصورت forward & backward) می‌باشد. با استناد به نقشه‌های خروجی گرفته شده از ۱۴ نقطه مذکور، بیشترین فراوانی وقوع طوفان (۶۷٪) در مسیر جنوب شرق به شمال غرب بعنوان مسیر اصلی پراکنش گردوغبار برای فصول گرم سال است و کمترین فراوانی (۶٪) از جهت غرب به شمال شرق و جنوب شرق و شرق می‌باشد.

### ۳.۲. خروجی WRPOLT

برای تحلیل وضعیت باد، به عنوان یکی از عوامل تاثیر گذار در ایجاد طوفان‌های گردوغبار، گلباد و گل غبار، از نرم افزار<sup>۱</sup> WRPLOT بهره گیری شد. در گلباد اطلاعات مربوط به فراوانی کلاس‌های مختلف سرعت باد در جهات مختلف نمایش داده می‌شود [۱] که جهت تشخیص نحوه رفتار باد و اثر آن بر فرسایش خاک کاربرد بسیار دارد. براساس اطلاعات سازمان هواشناسی استان قم، از ایستگاه

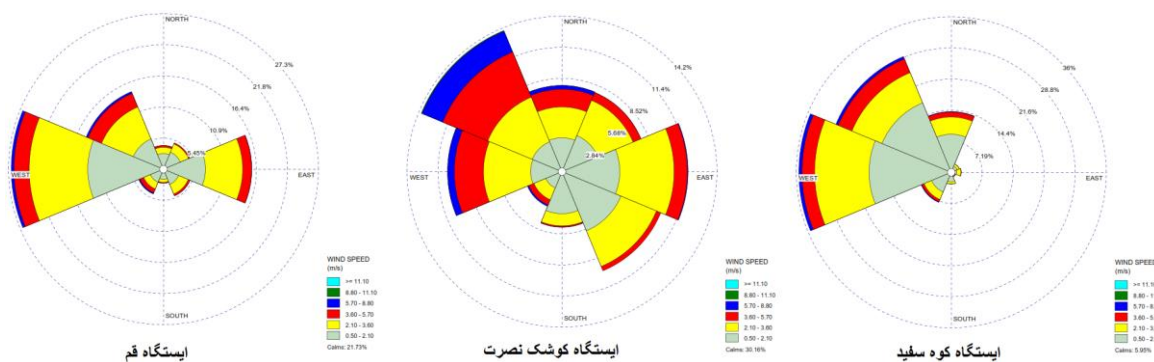


شکل ۷. وضعیت گلباد سالانه ایستگاه‌های قم، کوشک نصرت و کوه سفید

گل باد فصل بهار ایستگاه‌های قم، کوه سفید کوشک نصرت جهت شمالغرب شرق و را بعنوان جهت اصلی نشان می‌دهد.

نتایج مربوط به گلبادهای فصلی و کل مربوط به ایستگاه هواشناسی قم (۲۰۱۹-۱۹۹۷)، کوه سفید (۲۰۱۶-۲۰۱۹) و کوشک نصرت (۲۰۱۹-۲۰۰۶) در شکل‌های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ به شرح زیر می‌باشد:

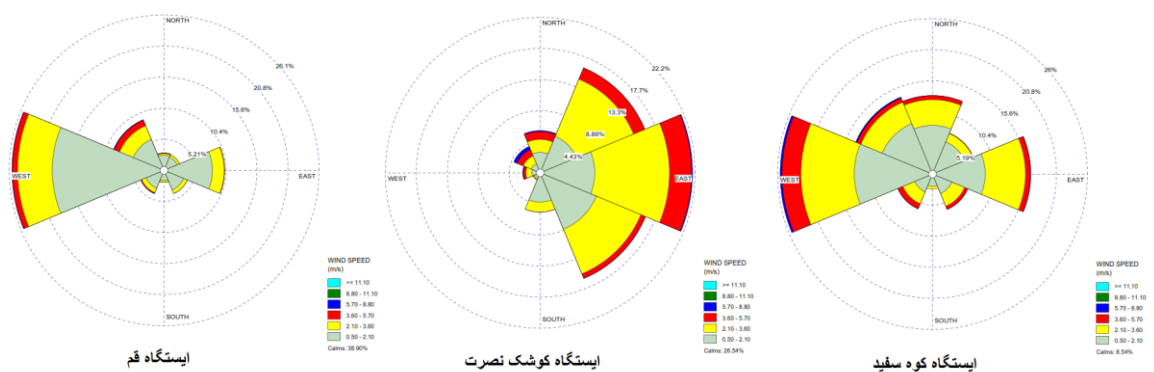
<sup>۱</sup>. Wind Rose Plot (WRPLOT)



شکل ۸. وضعیت گلباد ایستگاه‌ها در فصل بهار

ایستگاه کوشک نصرت، جهت شرق و شمال شرق و جنوب شرق بعنوان جهت اصلی هستند.

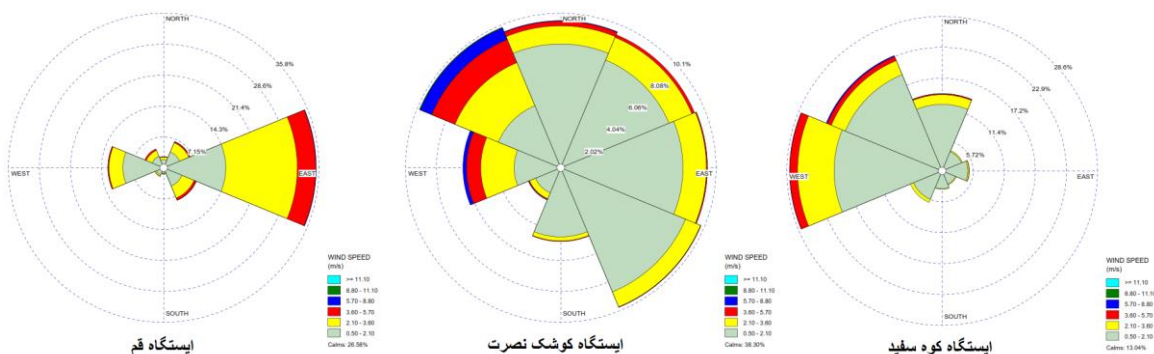
گل باد فصل تابستان در ایستگاه‌های قم و کوه سفید جهت غرب را بعنوان جهت اصلی نشان می‌دهد. اما در



شکل ۹. وضعیت گلباد ایستگاه‌ها در فصل تابستان

در ایستگاه کوشک نصرت، جهت جنوب شرق و شرق و شمال غرب بعنوان جهات اصلی باد هستند.

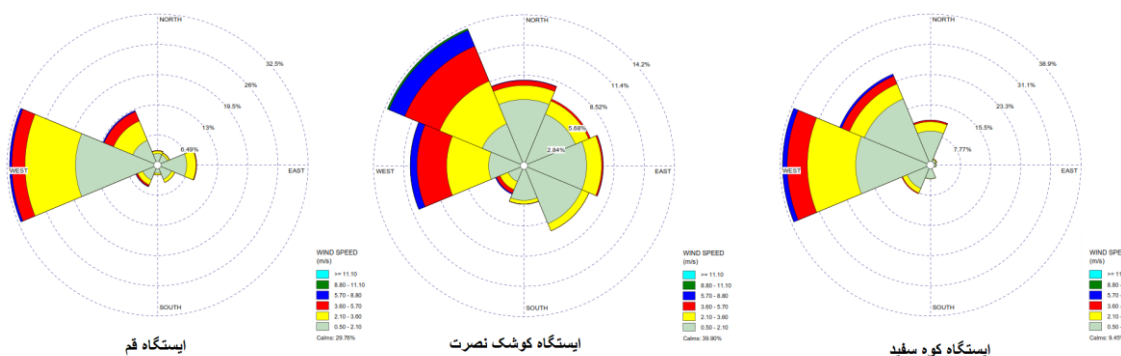
گل باد فصل پاییز در ایستگاه قم از سمت شرق و کوه سفید جهت غرب را بعنوان جهت اصلی نشان می‌دهد. اما



شکل ۱۰. وضعیت گلباد ایستگاه‌ها در فصل پاییز

ایستگاه کوشک نصرت میباشد. در زمینه بادهای نایب نیز غالبیت با جهت شرق در ایستگاه قم، شمال غرب در ایستگاه کوه سفید و شمال شرق و جنوب شرق در ایستگاه کوشک نصرت می‌باشد.

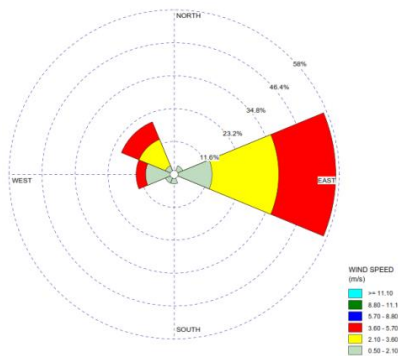
گل باد فصل زمستان در ایستگاه‌های قم، کوه سفید و کوشک نصرت جهت غرب و شمال غرب را بعنوان جهت اصلی نشان می‌دهد. نتایج حاصله در زمینه بادهای غالب بیانگر اهمیت و همخوانی جهت جغرافیایی غرب در ایستگاه‌های قم و کوه سفید در کل سال و جهت شرق در



شکل ۱۱. وضعیت گلباد ایستگاه‌ها در فصل زمستان

برثانیه دارای بیشترین فراوانی است و جهات شمالغرب و غرب از فراوانی کمتری برخوردار می‌باشند.

گل غبار طی دوره زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۶ در شکل ۱۲ نشانگر اینست که جهت شرق بیشترین مقدار رخداد را داشته و سرعت باد هنگام گردوغبار حدود ۴ تا ۶ متر



شکل ۱۲. گل غبار روزهای گردوغباری ایستگاه قم

در تأمین رسوب تپه‌های ماسه‌ای مورد توجه قرار گیرد. با شناخت منابع تولید گردوغبار (رسوبات بادی) و مسیر حرکت آنها در منطقه هدف مطالعه، می‌توان متناسب با ویژگی هر منبع، راهکارها و اقدامات مؤثر در راستای کاهش یا کنترل اثرات زیان بار این پدیده بر مراکز

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

منطقه مورد مطالعه به دلیل قرار گیری در مجاورت کویر مرکزی ایران، رطوبت کم، پوشش گیاهی فقیر و بسترهای خشک، مستعد تکرار رخداد گردوغبار بوده و این پدیده می‌تواند به عنوان یکی از منابع مهم و اثرگذار

شرق در فصول گرم سال تاکید دارد. باتجزیه و تحلیل مسیریابی و روند حرکت گردوغبار منطقه با بهره گیری از داده‌های هواشناسی، تحلیل‌های آماری به کمک نرم افزار WRPLOT، بکار گیری مدل HYSPLIT و مشاهدات میدانی می‌توان نتیجه گرفت اراضی کشاورزی رها شده در غرب و شرق استان قم، دشت مسیله و دریاچه نمک در تأمین منابع و شکل گیری تپه‌های ماسه‌ای ماسه زار جلالی نقش بارزتری دارند. زیرا عدم ورود آب رودخانه قمروود و دشت مسیله در اثر احداث سد ۱۵ خرداد از سال ۷۶ و عدم رعایت حقایق زیست محیطی، احداث چاه‌های عمیق کشاورزی و بهره برداری بی رویه از آبهای زیر زمینی، چرای مفرط شتر، شرایط مساعدی برای افزایش بروز رخداد طوفان‌های گردوغبار و تأمین منابع مورد نیاز در رشد و توسعه تپه‌های ماسه‌ای ماسه زار جلالی فراهم ساخته است. نتایج این تحقیق ضمن همخوانی با پژوهش [۹] در کارائی مدل HYSPLIT و استفاده سایر محققین و پژوهشگران [۳]، [۲۵]، [۲]، [۲۸]، [۲۴]، [۴]، [۲۶]، [۳۷]، [۲۷]، [۵]، [۳۴]، [۸] و [۱۸] در استفاده از مدل HYSPLIT در معرفی بیابان‌های عربستان، عراق، سوریه به عنوان کانون‌های خارجی تولید گردوغبار و گسیل به سمت ایران، تاکید دارند.

جمعیتی، خطوط مواصلاتی (بزرگراه و راه آهن قم- گرمسار) و تأسیسات صنعتی (به ویژه تأسیسات گاز سراج) و زیربنایی استان قم و استانهای همجوار پیشنهاد داد و از صرف هزینه‌های هنگفت و بی هدف جلوگیری نمود. در طول سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹ تعداد روزهای دارای گرد و غبار از یک روند طبیعی برخوردار بوده و فقط در برخی سال‌های خاص با افزایش نسبی همراه بوده و از سال ۲۰۰۹ و به بعد سیر صعودی داشته است به طوری که در سال‌های ۲۰۱۴ به رقم ۳۰۴ روز و سال ۲۰۱۵ تعداد ۳۱۷ روز در سال را با گردوغبار همراه بوده است. بررسی بازه زمانی ۲۸ ساله ایستگاه هواشناسی قم بیانگر ۱۵۸۸ رخداد گردوغبار (کد ۶) با فراوانی ۸۹٪ در فصول گرم سال می‌باشد. نتایج گلباد سالانه (شکل ۷) جهت غرب را به عنوان جهت باد غالب نشان می‌دهد، ضمن اینکه گلباد فصلی هم بیانگر غلبه باد با جهت غرب در فصل بهار و تابستان (بجز کوشک نصرت با برتری جهت شرق) است. در پاییز جهات وزش باد متفاوت از سایر فصول بوده به طوریکه ایستگاه‌های قم و کوشک نصرت جهت شرق و کوه سفید جهت غرب را تایید می‌نمایند. در فصل زمستان ایستگاه‌ها غرب و شمال غرب را جهت غلب نشان می‌دهند. نتایج گل غبار نیز بر تفوق جهت

## References

- [1] Ahmadi, H. (2008). Applied Geomorphology (Wind Erosion), Volume 3, University of Tehran Press, Vol.
- [2] Ashrafi, Khosrow; Shafipour, Majid; Aslmand, Alireza; 2011. Investigation of dust storms on Iran using numerical modeling and satellite images (Case study: June 2010). The first international congress on the phenomenon of dust and dealing with its harmful effects. 26 - 28 February 2012.
- [3] Abdi Vishkaee, F., Flamant, J., Cuesta, P., Flamant&Khalesifard, H.R. (2011). Multiplatform servations of dust vertical distribution during transport over northwest Iran in the summertime. Journal Of Geophysical Reserch. 116,1-13.
- [4] Aliabadi, Kazem et al. (2015) Evaluation and monitoring of dust storm using remote sensing methods, Quarterly Journal of Rescue and Relief, Year 7, Issue 1, 2015.
- [5] Asadi, Mehdi et al.; 2016. Investigation of atmospheric mechanism governing the occurrence of dust days in Tabriz and its detection using HYSPLIT model and MODIS sensor image, Geographical Space Quarterly, Volume 19, Number 65, Spring 1398, pp. 70.

- [6] A. (2006). Determination of the contribution of north Africa dust source areas to PM10 concentrations over the central Iberian Peninsula using the Hybrid Single-Particle Lagrangian Intergrated Trajectory model (HYSPLIT) model. *Journal of Geophysical Research*.
- [7] Asia using multiple environmental datasets". *Science of the Total Environment*, Vol. 502, pp. 224235.
- [8] Boroumandi, Priya, 1396. The effect of dust storms on microbial air quality in Ahvaz and its origin using numerical modeling, *Quarterly Journal of Environmental Sciences*, Volume 16, Number 2, Summer 1397, pp. 49-64.
- [9] Cao, H., Amiraslani, F., Liu, J., & Zhou, N. (2015). "Identification of dust storm source areas in West.
- [10] Draxler RR, Hess G. (1998). An overview of the HYSPLIT-4 modelling system for trajectories. *Australian Meteorological Magazine*. 47(4)
- [11] Draxler, R., Stunder, B., Rolph, G., Stein, A., & Taylor, A. (2009). HYSPLIT4 user's guide, Version 4.9. 1-231
- [12] Ekhtesasi, m. r., Ahmadi H., Khalili, A., Saremi Naeini, M.A., Rajabi, M.R. (2006) Case: Yazd-Ardakan Plain Basin) ». *Natural Resources of Iran*, D 59, Sh 3, pp. 533-541.
- [13] Escudero, M., Stein, A., Draxler, R., Querol, X., Alastuey, A., Castillo, S., & Avila, A. (2006). "Determination of the contribution of northern Africa dust source areas to PM10 concentrations over the central Iberian Peninsula using the Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model (HYSPLIT) model". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 111(D6): pp. 1-15.
- [14] Statistical analysis, synoptic of dust storms in southeastern Iran (Case study: Sistan region). *Geographical Studies of Arid Areas*, Second Year, Fifth Issue, Fall 2011.
- [15] Engelstadler, S. (2001). *Dust storm frequencies and their relationships to land surface conditions*. Freidrich-Schiller university press, Jena, Germany. 26
- [16] Goudie, A., Middleton, N. J., (2000), *Dust storms in South West Asia*, , 35:73-83. Mohammadi, Gh. H., 2015. *Analysis of Atmospheric Mechanisms in Dust Transport over West of Iran*.
- [17] Ghoochizadeh Abdul Latif et al. (2007) Investigating the importance of Quaternary dust emission sources on air quality in Qom. *Quaternary Quarterly of Iran (Scientific-Research)* Volume 4 Number 3.
- [18] Goudie, A. S. & Middleton, N. J. (2006). "Desert dust in the global system", *Springer Science & Business*
- [19] Media.
- [20] Ge, Y., Abuduwaili, J., Ma, L., Wu, N., & Liu, D. (2016). "Potential transport pathways of dust emanating from the playa of Ebinur Lake, Xinjiang, in arid northwest China". *Atmospheric Research*, 178, pp. 196-206.
- [21] Goudie, A., Middleton, N. J., (2001), *Saharan dust storms: Nature and consequences*, *Earth Science Review*, 56: 179-204.
- [22] Lashkari, H., Kikhosrovi, A., (2008), "Statistical analysis of synoptic dust storms in Khorasan Razavi province during the period (1993-2005)", , 65: 17-33.
- [23] McGowan H, Clark A. (2008) Identification of dust transport pathways from Lake Eyre, Australia using Hysplit. *Atmospheric Environment*. 42(29):6915-25.
- [24] Mohammadi, Fahimeh et al., 2015. Detection of dust sources in different levels of Tehran atmosphere using HYSPLIT model, *Journal of Geography and Environmental Hazards*, No. 16, Winter 2015, pp. 54-39.
- [25] Mofidi, Abbas; Jafari, Sajjad; 1390. Investigating the role of regional atmospheric circulation in the Middle East in the occurrence of summer dust storms in southwestern Iran. *Journal of Geographical Studies of Arid Areas*. second year. 17-45.
- [26] Mohammadi Moradian, J. And Hosseinzadeh, S.R. (1394). "Satellite monitoring and synoptic analysis of dust phenomenon in the metropolis of Mashhad during the statistical period 2009-2013", *Geography and Environmental Hazards*, Vol. 14, pp. 35-57.
- [27] Mohammadpour Penchah, M. R.; Memarian, M.H; & S. M. Mirrokni. 2015. Modeling and analysis of Dust Storms of Yazd Province Using Numerical Models, *Geograph and Environmental Hazards*, 3(12), 67-83.

- [28] Malekoti, H.; Baba Husseini, S.; Noahgar, A., Azadi, M.; & M. R. Mohammadpour, 2012. Numerical and Synoptic Study of Emission, Transport and Identify Potential Sources of a Severe Dust Storm Over Middle East, Environmental Erosion Research, 3(4), 69-80.
- [29] Nejadkorky, F. & Fasahat, M. (2011). "Investigating the Application of Satellite Images in Tracking the Pathways of the Microgrid", Fourteenth National Conference on Environmental Health, Yazd.
- [30] Natsagdari, L.; Jugder, D.; & Y. Schung, 2002, Analysis of dust storms observed. Mongolia during 1937-1999, Atmospheric Environment, 37(9-10), 1401-1411.
- [31] Perez C, Nickovic S, Baldasano J, Sicard M, Rocadenbosch F, Cachorro V. (2006) A long Saharan dust event over the western Mediterranean: Lidar, Sun photometer observations, and regional dust modeling. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012). 111(D15).
- [32] Raufifard, M. (1394). "Analysis of Dust Phenomenon in Qom Province" International Dust Conference, Volume 1, Shahid Chamran University of Ahvaz, pp. 660-665.
- [33] Rahmani, F., Moaghari, A. R., & Moaghari, M. (2015). "Satellite-Survey-Synoptic Surfactant Dust Hurricane February 2015 Using HYSPLIT Model and Humidity Optical Depth Index (AOD)", International Dust Conference, Ahvaz, Vol. 1.
- [34] Salahi, Boroumand, 1396, Detection of dust in different levels of Sanandaj barley using HYSPLIT model.
- [35] Shan, W., Yin, Y., Lu, H., & Liang, S. (2009). "A meteorological analysis of ozone episodes using HYSPLIT model and surface data". Atmospheric Research 93 (4): pp. 767-776.
- [36] Vali, A. A.; Khamooshi, S.; Mousavi, S.H.; Panahi, F.; & E. Tamassoki, 2015. Climatic Analysis and Routing of Comprehensive Dust Storms in the South and Center of Iran, journal of environmental studies, (4), 961-972.
- [37] Yarmoradi, Zahra et al. (1398). Analysis and tracking of storm and dust entry routes to eastern Iran using HYSPLIT particle Lagrangian model. Ph.D. Thesis, climatology department, University of Tabriz, Iran. 127 Pages.