

## منشأیابی جهت‌ی طوفان‌های گرد و غبار شهر کرج

رسول باقرآبادی<sup>۱</sup>، مظاهر معین‌الدینی<sup>۲\*</sup>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران.

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران.

### چکیده

در سال‌های اخیر، پدیده گرد و غبار خسارات گسترده اقتصادی، سلامتی و محیط‌زیستی داشته است. بنابراین شناخت کافی و دقیق از منشأ شکل‌گیری و زمان وقوع آن می‌تواند در کاهش خسارات ناشی از آن مؤثر باشد. هدف این تحقیق تعیین منشأ جهت‌ی رخداد‌های گرد و غبار شهر کرج بود. در این پژوهش رخداد‌های گرد و غبار از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیکی شهر کرج در بازه زمانی تقریباً دو دهه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ استخراج شد. داده‌های  $PM_{10}$  ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای شهر کرج، محصول  $AOD$  سنجنده مودیس با توجه به دسترسی برای تصدیق وقایع گرد و غبار تعیین شده در مرحله قبل استفاده شده است. نمودارهای تابع احتمال شرطی و قدرت نسبی جهت‌دار و مدل  $HYSPLIT$  برای تعیین منشأ جهت‌ی رخداد‌های گرد و غبار استفاده شد. نتایج گلباد نمودارهای تابع احتمال شرطی، گل‌غبار (پس از استخراج کدهای گرد و غباری) و و قدرت نسبی جهت‌دار جهت‌های شمال غرب غربی، شمال غربی را نشان می‌دهند. بیشترین وقوع طوفان گرد و غبار براساس کدهای گرد و غبار در فصل تابستان با درصد فراوانی ۴۶/۳، در ماه ژوئن با درصد فراوانی ۲۱/۵ و سال ۲۰۰۸ با درصد فراوانی ۱۸/۲۷ رخ داده است. نتایج مدل  $HYSPLIT$  برای تعیین مسیر حرکت ذرات گرد و غبار در ۷۲ ساعت قبل از وقوع پدیده گرد و غبار در کرج، در سه سطح ارتفاعی ۱۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری اجرا شد. که مناطق برداشت گرد و غبار واقع در بخش‌های شمال غرب و غرب بیشترین سهم ورودی گرد و غبار به شهر کرج را دارند و تصاویر سنجنده  $MODIS$  نیز این واقعیت را تصدیق می‌کنند. به طور کلی می‌توان گفت جهت عمده ورود گرد و غبار به شهر کرج از جهت‌های شمال غرب غربی، شمال غرب و غرب است و کشورهای عراق، سوریه و عربستان مباداهای اصلی تشکیل گرد و غبار ورودی به شهر کرج هستند.

**کلید واژه‌ها:** گرد و غبار، تابع احتمال شرطی، قدرت نسبی جهت‌ی،  $HYSPLIT$ .

## مقدمه

گرد و غبار یکی از مسائل مهم محیط‌زیستی است که می‌تواند باعث خطرات جدی و تأثیرات نامطلوب بر سلامتی انسان شود. طبق تعریف سازمان جهانی هواشناسی طوفان گرد و غبار عبارت است از بادی که مخصوص نواحی خشک و نیمه‌خشک بوده و بر اثر وزش آن توده مترکمی از گرد و غبار در فضا ایجاد می‌شود (R Squires, 2016). گرد و غبار به طور مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند در فعالیت‌های روزمره مردم خلل ایجاد کند، و به زیرساخت‌ها و شبکه‌ها مانند زیرساخت‌های ارتباطی خسارت وارد نماید. همچنین این پدیده باعث فرسایش هدررفت خاک و کاهش حاصلخیزی آن و گل‌آلودگی دریاچه‌ها و رودخانه‌ها خواهد شد (Iranian Society of Consulting Engineers, 2013). همچنین ارتباط معناداری بین گرد و غبار و بیماری‌های قلبی مشاهده شده است (Ebrahimi et al, 2014). در سال‌های اخیر فراوانی گرد و غبار در سطح منطقه‌ای و جهانی افزایش یافته است که برخی از استان‌های کشور با این پدیده گرد و غبار مواجه شده‌اند (Naddafi, 2009). اکنون بیش از ۲۲ استان کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از این رو کنترل گرد و غبار به‌عنوان یکی از اولویت‌های اساسی تبدیل شده است. کشور ایران در حدود بیش از یک دهه با این مشکل درگیر است و طی سال‌های گذشته خسارات جبران‌ناپذیری را به زندگی و سلامت مردم وارد نموده و تعدادی از روزهای سال، شاخص کیفیت را در بدترین شرایط قرار داشته است (Ebrahimpzadeh et al, 2011). از این رو آثار زیانبار پدیده گرد و غبار در شهر کرج نیز همچون برخی استان‌های کشور، طی چند سال اخیر مشاهده شده است. بنابراین با توجه به عواقب این پدیده بر سلامت و بهداشت مردم، کشاورزی، محیط‌زیست و... مطالعات دقیق تری در مورد یافتن منشأ گرد و غبار، شدت و تکرار این پدیده ضرورت دارد.

بررسی، تحلیل و ردیابی منابع طوفان‌های گردوغبار با استفاده از روش‌های متفاوتی انجام شده است و مطالعاتی در این خصوص صورت گرفته که جنبه‌های مختلف این پدیده را مورد توجه قرار داده است در این مقاله با توجه به اهمیت موضوع، برخی از مطالعات و پژوهش‌های صورت گرفته اشاره می‌شود. لی و همکاران (۲۰۱۰) بزرگترین گرد و غبار شرق استرالیا را با استفاده از تصاویر MODIS و شاخص اختلاف دمای روشنایی مورد ارزیابی قرار داده و با بیان کارایی قابل توجه این روش در شناسایی رخدادهای گرد و غبار را نشان دادند. کائو و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر MODIS منشأ طوفان‌های گرد و غبار را در سطح منطقه‌ای برای

غرب آسیا شناسایی کرده‌اند. نتایج حاکی از آن است که بیشترین رخداد گرد و غبار در بخش غربی خاورمیانه و در بخش شرقی به ترتیب در زمستان و تابستان اتفاق می‌افتد. یجیاکومار و همکاران (۲۰۱۶) ویژگی‌های گرد و غبار را در غرب هند، در طول یک رخداد گرد و غبار که در سال ۲۰۱۲ و برای جهت ردیابی منشأ، مسیر و ساعت رخداد طوفان گرد و غبار از مدل HYSPLIT و داده‌های روزانه ماهواره‌ای استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که در طول دوره مورد مطالعه، بیشترین رخدادهای گرد و غبار از مسیر غرب به شرق، از منبع به منطقه رسوب گیر، حمل می‌شوند. نامداری همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر MODIS به بررسی روند تغییرات مکانی-زمانی منطقه‌ی غرب ایران طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ پرداختند. و به این نتیجه رسیدند که بخش جنوب غربی ایران شامل استان خوزستان بیشترین مقدار متوسط عمق اپتیکی را طی بازه زمانی فوق بررسی داشته است (Namdari et al, 2016). عطیه و جونز (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به بررسی مسیر گرد و غبار به عراق با مدل HYSPLIT پرداختند و به این نتیجه رسیدند طوفان‌های گرد و غبار کویر سوریه، صحرای آفریقای شمالی، صحرای آن النوفود در عربستان سعودی، زمین‌های خشک در جنوب غربی ترکیه و جنوب غربی ایران منشأ می‌گیرند (Attiya and Jones, 2020). جعفری و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای به بررسی منشأ طوفان‌های گرد و غبار با استفاده از مدل HYSPLIT در استان اصفهان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که دو منطقه مرزی بین عراق و سوریه، غرب و جنوب غربی عراق، منبع اصلی گرد و غبار منتقل شده به اصفهان هستند (Jafari et al, 2021). عزیزی و همکاران (۱۳۹۱) با هدف شناسایی منشأ گرد و غبارهای وارد شده به نیمه غربی ایران و ردیابی مسیر حرکت آنها از ترکیبی از مدل HYSPLIT استفاده کردند. در این پژوهش از داده‌ها با دوره زمانی ۲۱ ساله که از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۷ استفاده کردند نتایج حاصل از ردیابی نشان داد که دو مسیر اصلی برای انتقال گرد و غبار به نیمه غربی ایران ۱- مسیر شمال غربی-جنوب شرقی ۲- مسیر غربی- شرقی و در موارد محدود مسیر شمالی - جنوبی است. جعفری و خادمی (۱۳۹۲) با مطالعه بر روی رژیم بادی، گلباد کرمان به وسیله نرم افزار WRPLOT در بازه زمانی هفت ماه (اردیبهشت تا پایان آبان ماه ۱۳۹۱) به این نتیجه رسیدند که باد غالب از شمال، شمال شرق و شمال غرب می‌وزد و جهت باد غالب در منطقه مورد مطالعه از مناطق شمالی هستند.

در حالیکه تاکنون پژوهش جامع و کاملی بر روی خصوصیات این پدیده در مقیاس زمانی بلند مدت و با استفاده از روش‌های مختلف و

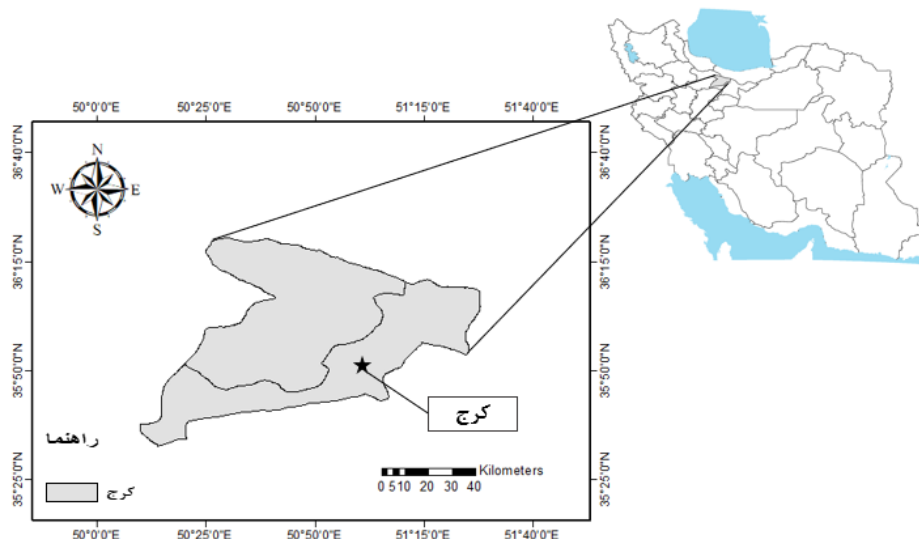
۱۵ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه و ۱ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲ دقیقه و ۵۸ ثانیه تا ۵۰ دقیقه و ۴۹ ثانیه شرقی در دامنه جنوبی رشته‌کوه‌های البرز است. دامنه تغییرات ارتفاعی شهر کرج بین ۱۲۵۰ تا ۱۵۰۰ متر از آب‌های آزاد و شیب غالب آن کمتر از ۱۵٪ با جهت غالب جنوبی است. اقلیم شهر کرج نیمه‌خشک و سرد است. متوسط روزانه دما در این شهر در یک دوره ۲۱ ساله برابر با ۱۵/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش برابر با ۲۴۴ میلیمتر ثبت شده است. جهت باد غالب در شهر کرج شمال غربی است که متوسط سرعت باد غالب بین ۷/۷ تا ۹/۲ متر بر ثانیه است (سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهر کرج، ۱۳۹۰). شکل ۱ موقعیت شهر کرج را نشان می‌دهد.

ترکیب با داده‌های ایستگاه پایش محیط‌زیست در شهر کرج صورت نگرفته است. بنابراین در این پژوهش از بازه‌های بلند مدت (کدهای گرد و غباری در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸) (مدل HYSPLIT در بازه ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸) و روش‌های HYSPLIT, CPF, DRS و تصاویر مودیس استفاده شده است که تاکنون در این بازه زمانی برای پایش گردوغبار به‌خصوص برای شهر کرج استفاده نشده است. هدف از این پژوهش توزیع زمانی و مکانی گرد و غبار، منشأیابی جهت، بررسی خط سیر طوفان‌های گرد و غبار شهر کرج است.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش

شهر کرج با مساحت ۱۷۵ / ۳۹ کیلومترمربع، مرکز استان البرز است. گستره جغرافیایی کرج بین عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۳ دقیقه و



شکل ۱ - محدوده مورد مطالعه

طوفان گرد و غباری می‌تواند اطلاعات مفیدی پیرامون شناسایی و چگونگی حرکت و مسیر انتشار ارائه دهد. ولی مهم‌ترین کاربرد آن در اقدامات پاسخ سریع و راهکارهای مدیریتی شرایط اضطراری است. بعد از تحلیل می‌توان مدل را برای بررسی تناوب منابع و دوره های گرد و غباری، بررسی خط سیر و غلظت استفاده کرد. این مدل با شناسایی مسیرهای انتقال گرد و غبار امکان تخمین سهم منابع گرد و غبار را در مناطق مختلف می‌تواند فراهم آورد (Draxler and Rolph, 2003). در این پژوهش برای ردیابی مسیر گرد و غبار با استفاده از مدل HYSPLIT استفاده شده است برای انجام مدل HYSPLIT از داده‌های هواشناسی استان کرج که براساس کدهای ۰۶ و ۰۷ روزهای گرد و غبار مشخص شده استفاده شده است. بنابراین با توجه به این ردیابی برای ۷۲ ساعت قبل از ورود به ایستگاه

مدل HYSPLIT مدل دوگانه برای محاسبات خط سیر، پراکنندگی و شبیه‌سازی نهشت با استفاده از رویکرد پف و ذرات است. در این مدل محاسبه مسیر و غلظت آلاینده با استفاده از حداقل پارامترهای هواشناسی انجام می‌گیرد. روش محاسبه مدل مذکور، ترکیبی میان دیدگاه‌های اویلری و لاگرانژی است و به همین دلیل HYSPLIT را مدلی دوگانه یا هیبرید می‌نامند (Shan et al, 2009). از روش HYSPLIT می‌توان به بررسی تناوب منابع، دوره‌های گرد و غباری، بررسی خط سیر و چگونگی حرکت گرد و غبار پرداخت. این مدل با شناسایی مسیرهای انتقال گرد و غبار، امکان تخمین سهم منابع گرد و غبار را در مناطق مختلف می‌تواند فراهم آورد (Draxler and Rolph, 2003). از نظر کاربرد مدل HYSPLIT برای مدل‌سازی گرد و غبار دو رویکرد پیش‌بینی و تحلیل وجود دارد. پیش‌بینی امکان بروز

انجام شده است و به صورت حرکت عقبگرد در سه سطح ارتفاعی ۱۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر از سطح زمین انجام شد. بررسی طوفان‌های گرد و غبار در ارتفاعات پایین (۱۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ متر) به دلیل تماس با سطوح زمینی جهت آشکار سازی منابع گرد و غبار بسیار کمک کننده است و انتخاب این سطوح ارتفاعی براساس کار بیشتر پژوهشگران بوده است و براساس ارتفاع از سطح زمین است. علامت ستاره بر روی خروجی‌های مدل نشان دهنده ایستگاه‌های گرد و غبار است که طول و عرض آن‌ها به خروجی مدل داده شده است.

MODIS سنجنده‌ای است که بر روی ماهواره ترا در ماه دسامبر سال ۱۹۹۹ و ماهواره آکوا در ماه می سال ۲۰۰۲ راه اندازی و نصب شده است. مودیس، داده‌ها را در ۳۶ باند طیفی قادر است اطلاعات دریافتی از سطح زمین را در محدوده طیفی ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر و با عرض پوشش ۲۳۳۰ کیلومتر ثابت نماید. قدرت تفکیک مکانی باندهای این سنجنده از ۲۵۰ متر تا ۱۰۰۰ متر متغیر است. عبور زمانی بالاتر از خط استوا در حدود ۱۰:۳۰ و ۲۲:۳۰ برای ماهواره ترا و ۱۳:۳۰ و ۰۱:۳۰ برای ماهواره آکوا است. سنجنده مودیس در سطوح جوی، خشکی‌ها و اقیانوس‌ها در دسترس است (<https://Ipdaac.usgs.gov>). در این پژوهش برای نشان دادن مسیر عبور گرد و غبار و تصویر واضحی از گرد و غبار از تصاویر MODIS استفاده شده است بنابراین با توجه به ماهیت تصاویر روش تفسیر چشمی تصاویر با دقت قابل قبولی برای شناخت منشأ و جهت مناطق تحت تاثیر طوفان‌های گرد و غبار دنبال شد. بدین منظور ابتدا تصاویر مودیس را از سایت استخراج سپس در نرم افزار ENVI با استفاده از ابزار mosaicing به هم متصل و با استفاده از ابزار resize برش داده شد و ترکیب سه باند ۱، ۴ و ۳ که تصویر رنگی از تصاویر مودیس نشان می‌دهد. بنابراین دو تاریخ ۲۰۱۱/۰۴/۱۳ و ۲۰۱۶/۰۶/۱۸ به عنوان نمونه‌های تصاویر طوفان‌های گرد و غبار استفاده شده است.

برای تعیین رژیم بادی و طبقه بندی و توزیع سمت و سرعت بادهای همراه با گرد و غبار به ترتیب از گلباد و گل‌غبار در بازه زمانی ۱۸ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸) که به صورت فصلی و کل استفاده شده است پس از آن به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار WRPLOT

View Freeware 8.0.2 که برای انجام محاسبه آماری و رسم گلباد و گل‌غبار برای شهر کرج در ۱۶ جهت و نه طبقه سرعت طراحی شده، استفاده شد (امیدوار و نکونام، ۱۳۸۸).

تابع احتمال شرطی (CPF) یک روش معمول برای شناسایی جهت جغرافیایی منابع انتشار گرد و غبار تابع است. تابع احتمال شرطی بررسی هر جهت در انتقال آلاینده‌ها به ویژه ذرات معلق منتشر شده از یک منبع می‌پردازد که در آن باد از حد مشخصی، بیشتر باشد. در اصل برای مشخص نمودن جهت باد غالب در طی رخداد‌های با غلظت بالای آلاینده مورد بررسی جهت ارزیابی اثر منابع محلی به کار گرفته می‌شود (Vedantham et al, 2014). که از رابطه ۱ زیر بدست می‌آید.

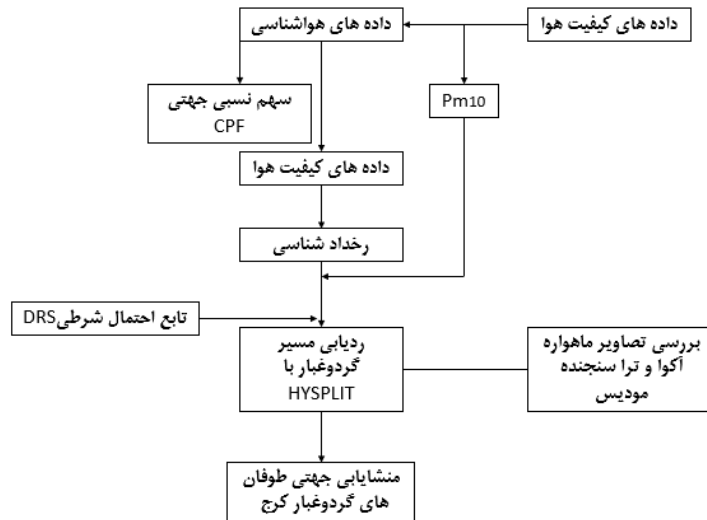
$$CPF_{\Delta\theta} = \frac{M_{\Delta\theta} c \geq X}{n\Delta} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن  $\Delta\theta$  برابر با تعداد نمونه‌هایی است که در جهت مشخص باد دارای غلظت و یا سرعت C برابر یا بیشتر از حد آستانه‌ی موردنظر X است و  $n\Delta\theta$  برابر با تعداد کل نمونه‌ها در جهت مشخص  $\Delta\theta$  است. بنابراین، CPF پتانسیل باد از یک جهت خاص به منظور کمک به غلظت آلودگی هوا بالا را نشان می‌دهد (Henry et al, 2009).

در این پژوهش CPF در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ و در دوره‌های ماهانه، فصلی، سالانه و کل با استفاده از داده‌های هواشناسی که به صورت ساعتی از سازمان هواشناسی کل کشور تهیه شده برای طوفان-های گرد و غبار شهر کرج رسم شده است.

همچنین در این پژوهش برای تعیین سهم نسبی جهتی (DRS) از یک منبع خاص سهم متوسط منبع از ۱۷ بخش باد (از جمله بخش باد آرام) با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه محیط‌زیست استفاده شده است (Chan et al, 2011)، (Lau et al, 2010).

برای بررسی ویژگی‌های هواشناختی و تهیه اطلاعات مورد نیاز برای گلباد، گل‌غبار، CPF، DRS، داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک و داده‌های ایستگاه پایش کیفیت هوا شهر کرج دریافت گردید. داده‌های هواشناسی دیده بانی ساعتی بوده و در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ و داده‌های پایش کیفیت هوا در بازه ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ بوده‌اند. شکل ۲ به منشأیابی طوفان‌های گرد و غبار شهر کرج پرداخته شد.



شکل ۲- نگاره پژوهش کرج

## نتایج و بحث

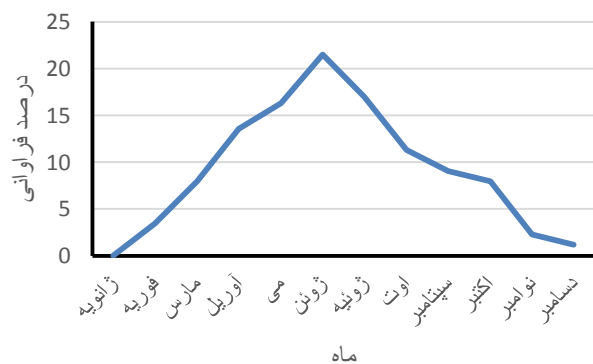
میزان گرد و غبار روندی کاهشی را داشته است. که با نتایج (Ghochizadeh et al, 2018) (Tavousi and Safarzaei, 2010) همسو است.



شکل ۴ - فصل‌های همراه با گرد و غبار

بر اساس نتایج شکل ۵ برای کدهای گرد و غباری برای سالانه در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ بیشترین مقدار درصد فراوانی در ابتدا به سال ۲۰۰۸، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ تعلق می‌گیرد و سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۰ کمترین مقدار درصد فراوانی در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ را دارا هستند.

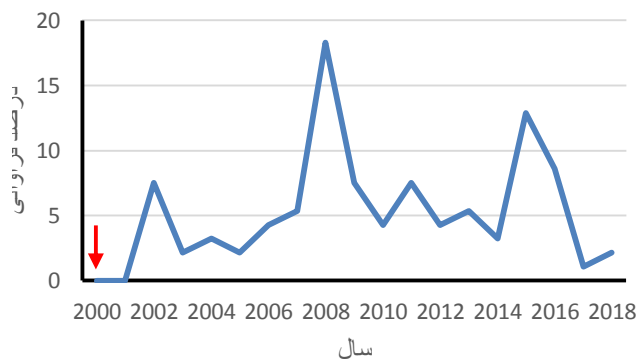
کدهای گرد و غباری ایستگاه سینوپتیک شهر کرج در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ و در سه دوره ماهانه، فصلی و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. در دوره ماهانه برای کدهای گرد و غباری بر اساس نتایج شکل ۳ بیشترین درصد فراوانی رخداد‌های گرد و غبار شهر کرج از ماه‌های آوریل تا اوت شروع شده و ماه ژوئن بیشترین درصد گرد و غبار را دارا است. که با نتایج (Farajzadeh and Alizadeh, 2011) (Arami et al, 2018) مطابقت دارد.



شکل ۳- درصد فراوانی ماه‌های همراه با گرد و غبار

دوره فصلی (میلادی) برای کدهای گرد و غباری در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به نتایج شکل ۴ فصل تابستان بیشترین مقدار را دارا است و پس از آن فصل بهار و فصل پاییز در رده بعدی قرار می‌گیرند و فصل زمستان کمترین مقدار درصد فراوانی را دارا است. بنابراین با آغاز فصل گرما میزان گرد و غبار افزایش پیدا کرده و در فصل پاییز و زمستان با آغاز فصل بارندگی

با توجه به بررسی آماری انجام شده برای شهر کرج با استفاده از مدل HYSPLIT برای ۶۱ رخداد گرد و غبار در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ برای ارتفاع ۱۰ متری (جدول ۱ و شکل ۶) بر اساس جهت‌های جغرافیای (۱۶ جهت جغرافیایی) بیشترین سهم ورودی گرد و غبار به شهر کرج جهت‌های غرب با ۱۳ مورد، شمال غرب غربی با ۱۱ مورد و شمال غربی ۱۰ مورد که مهم‌ترین جهت‌های ورود گرد و غبار است. در ارتفاع ۵۰۰ متری (جدول ۱ و شکل ۶) بیشترین سهم ورودی جهت‌های شمال غرب غربی با ۱۴ مورد و غرب با ۱۲ مورد و شمال غربی با ۹ مورد بیشترین جهت‌های ورودی گرد و غبار را دارند. در ارتفاع ۱۰۰۰ متری (جدول ۱ و شکل ۶) جهت‌های شمال غرب غربی با ۱۳ مورد، غرب با ۱۰ مورد و شمال غربی با ۸ مورد بیشترین سهم ورودی را دارا هستند. که با نتایج (Mofidi and Jafari, 2011) (Mohammadi et al, 2011) مطابقت دارد.

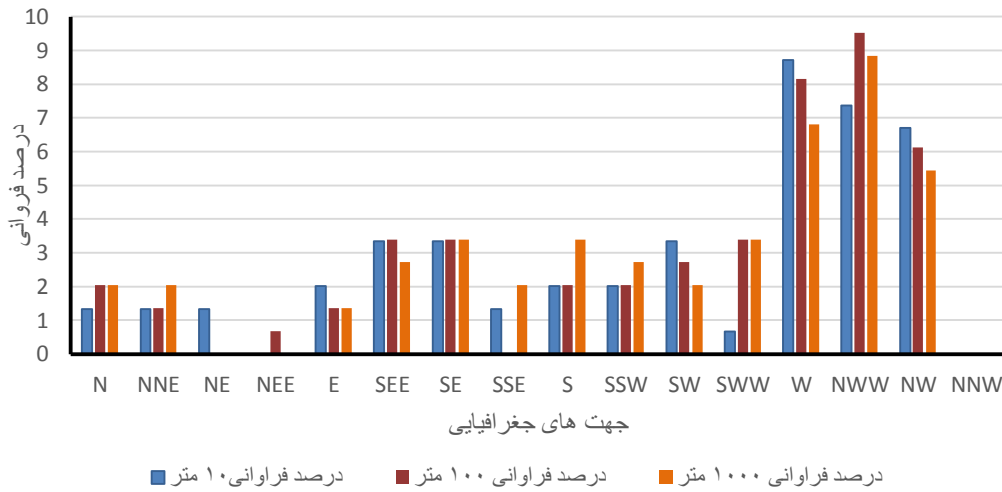


شکل ۵ - سال‌های همراه با گرد و غبار

در این پژوهش طوفان گرد و غبار مدل سازی HYSPLIT با رویکرد پسگرد و فاصله زمانی سه روز قبل (۷۲ ساعت قبل) این مدل در ردیابی مسیر ذرات گرد و غبار با اندازه مختلف جو مفید است. قبل از وقوع طوفان‌های گرد و غبار در سه سطح ارتفاعی ۱۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر در بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ بدست آمد هدف از استفاده از مدل HYSPLIT بررسی دقت این مدل مسیریابی، منشأیابی و جهت‌یابی طوفان‌های گرد و غبار برای شهر کرج است.

جدول ۱ - فراوانی طوفان‌های گرد و غبار بر اساس جهت جغرافیایی و سه سطح ارتفاعی در بازه ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸

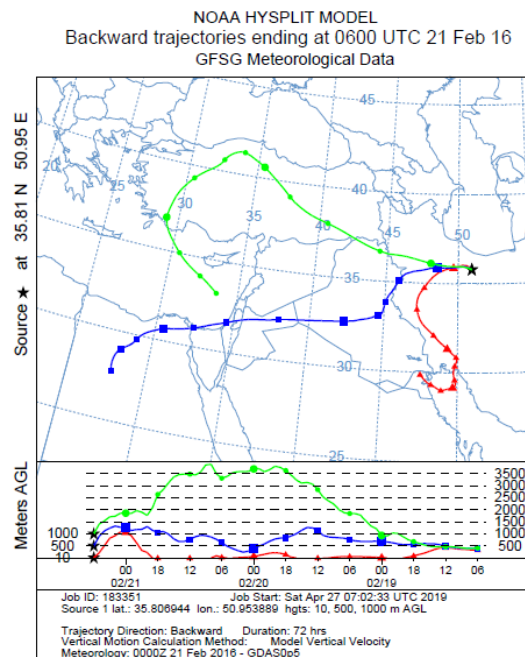
جهت جغرافیایی	درصد فراوانی ۱۰ متر	ارتفاع ۱۰ متری	درصد فراوانی ۵۰۰ متر	ارتفاع ۵۰۰ متری	درصد فراوانی ۱۰۰۰ متر	ارتفاع ۱۰۰۰ متری
N	۱/۳۴	۲	۲/۰۴	۳	۲/۰۴	۳
NNE	۱/۳۴	۲	۱/۳۶	۲	۲/۰۴	۳
NE	۱/۳۴	۲	۰	۰	۰	۰
NEE	۰	۰	۰/۶۸	۱	۰	۰
E	۲/۰۱	۳	۱/۳۶	۲	۱/۳۶	۲
SEE	۳/۳۵	۵	۳/۴	۵	۲/۷۲	۴
SE	۳/۳۵	۵	۳/۴	۵	۳/۴	۵
SSE	۱/۳۴	۲	۰	۰	۲/۰۴	۳
S	۲/۰۱	۳	۲/۰۴	۳	۳/۴	۵
SSW	۲/۰۱	۳	۲/۰۴	۳	۲/۷۲	۴
SW	۳/۳۵	۵	۲/۷۲	۴	۲/۰۴	۳
SWW	۰/۶۷	۱	۳/۴	۵	۳/۴	۵
W	۸/۷۱	۱۳	۸/۱۶	۱۲	۶/۸	۱۰
NWW	۷/۳۷	۱۱	۹/۵۲	۱۴	۸/۸۴	۱۳
NW	۶/۷	۱۰	۶/۱۲	۹	۵/۴۴	۸
NNW	۰	۰	۰	۰	۰	۰



شکل ۶- فراوانی طوفان‌های گرد و غبار بر اساس جهت جغرافیایی و سه سطح ارتفاعی

طوفان گرد و غبار در مسیر حرکت خود از مناطق خشک و نیمه خشک عبور کرده است بنابراین گرد و غبار آن مناطق را نیز با خود حمل کرده است.

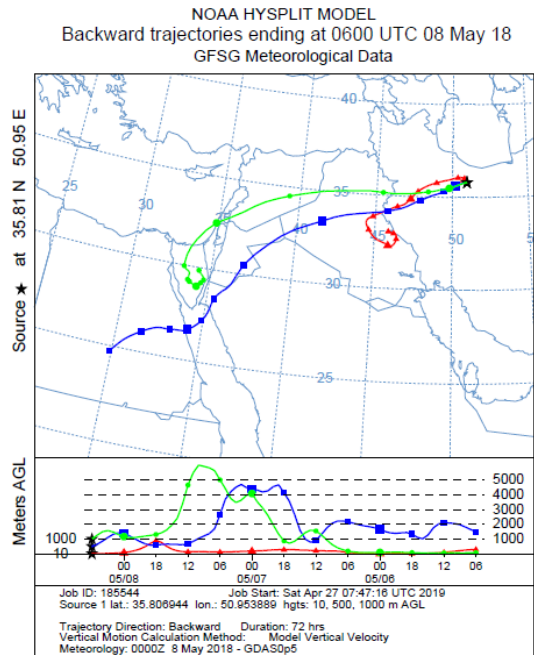
با توجه به نتایج شکل ۷ حاصل از مدل HYSPLIT در تاریخ ۲۱ فوریه ۲۰۱۶ (خارجی) طوفان گرد و غبار شهر کرج ۷۲ ساعت قبل از کشور عراق شکل گرفته و از مسیر مرزهای غربی وارد کشور شده و با عبور از سمت شهرهای غربی وارد شده بنابراین با توجه به اینکه



شکل ۷- مسیرهای پسگرد HYSPLIT برای طوفان گرد و غبار به تاریخ ۱۶ فوریه ۲۰۱۶

مناطق بیابانی کشور عراق در جهت غرب گرد و غبارهای دیگری را به خود جذب کرده و با خود به غرب ایران منتقل کرده است. در این مورد نیز انتقال ذرات گرد و غبارها از سمت غرب وارد شهر کرج شده است.

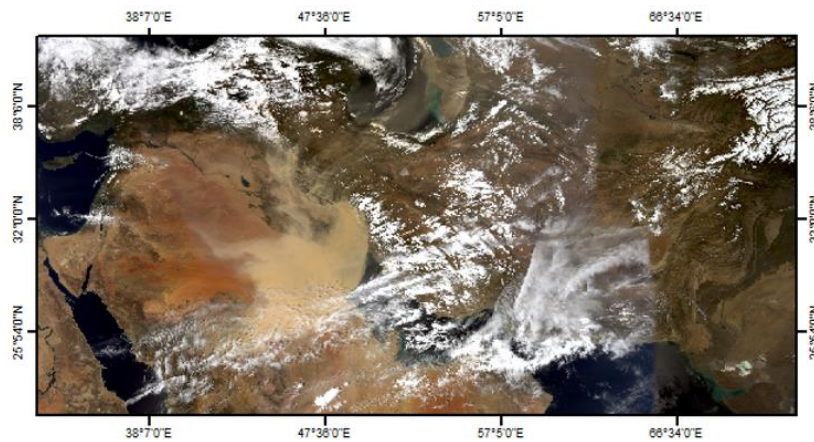
به‌عنوان نمونه مطالعاتی دیگر در شکل ۸ با بررسی مدل HYSPLIT در روز ۱۸ می ۲۰۱۸ (خارجی) بر فراز شهر کرج است. با اجرای مدل به روش پسگرد برای دوره زمانی ۷۲ ساعت مشخص گردید که منشأ اولیه گرد و غبار از شمال عربستان و عراق بوده که با گذر از



شکل ۸ - مسیرهای پسگرد HYSPLIT برای طوفان گرد و غبار به تاریخ ۱۸ می ۲۰۱۸

زیادی از گرد و غبار را تشکیل می‌دهد که با عبور از روی عربستان و بخشی از عراق از سمت مرزهای جنوب و جنوب غربی وارد کشور شده است و بخش وسیعی از کشور از جمله شهر کرج را تحت تاثیر خود قرار داده است. که با نتایج (Ghochizadeh et al, 2018) همسو است.

در این پژوهش جهت ارائه مسیر گرد و غبار و نشان دادن تصویر واضحی از نحوه ورود و استان‌های درگیر با گرد و غبار به خصوص شهر کرج با استفاده از سنجش از دور از تصویر مودیس از ماهواره‌های آکوا و ترا در دو تاریخ ۲۰۱۱/۰۴/۱۳ و ۲۰۱۶/۰۶/۱۸ استفاده شده است. بررسی تصویر مودیس شکل ۹ در تاریخ ۲۰۱۱/۰۴/۱۳ نشان دهنده تشکیل گرد و غبار از بیابان‌های عربستان است که حجمی

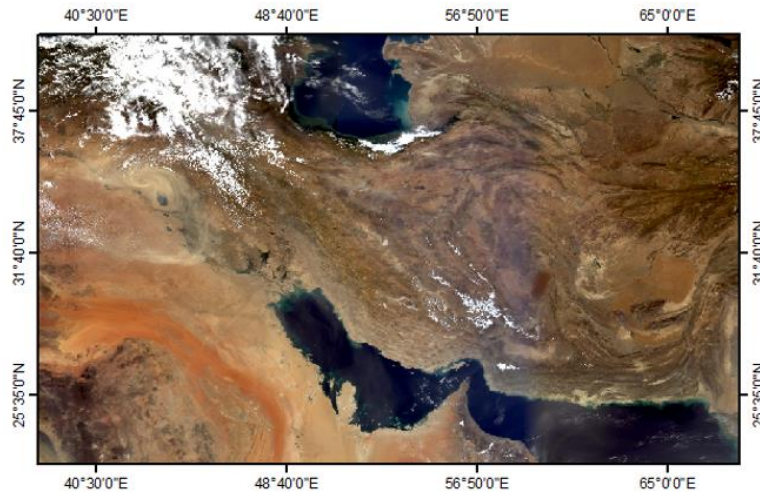


شکل ۹ - تصویر ورود گرد و غبار با استفاده از ماهواره مودیس ۲۰۱۱/۰۴/۱۳

است. که پس از عبور از استان‌های غربی به شهر کرج وارد می‌شود. که با نتایج کار (Amanalahi and Kaboudvandpour, 2014) (Salahi et al, 2019) مطابقت دارد.

با بررسی تصویر دیگر مودیس شکل ۱۰ در تاریخ ۲۰۱۶/۰۶/۱۸ نشان دهنده وقوع طوفان‌های گرد و غبار است که هسته‌ی تشکیل آن در کشور عراق است که به سمت مرزهای غربی در حال نزدیک شدن

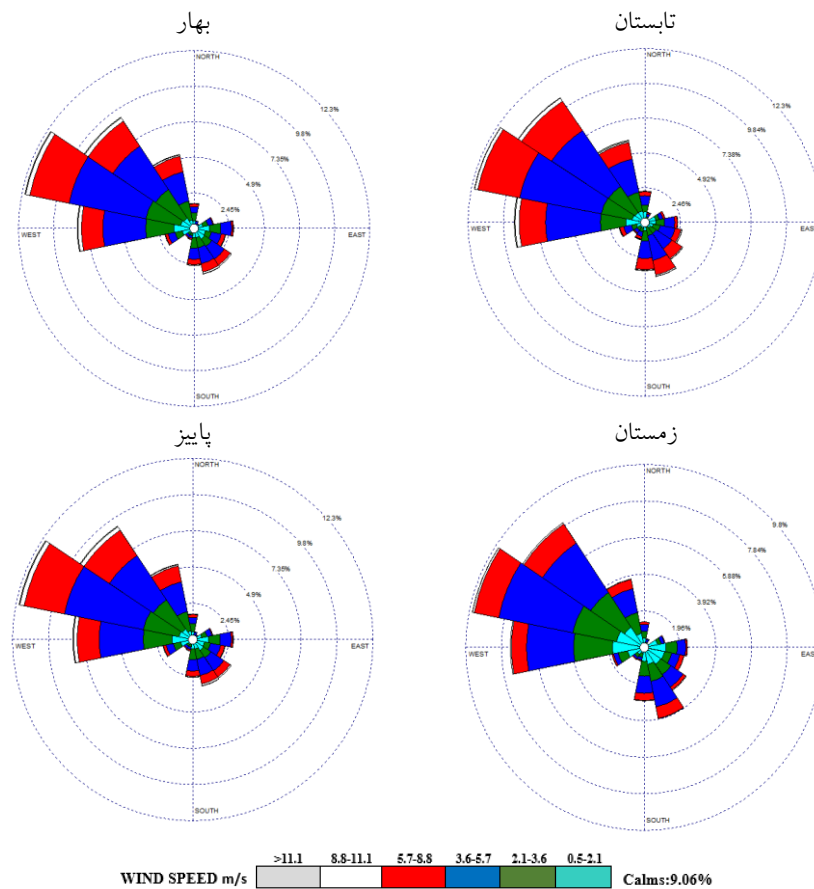




شکل ۱۰ - تصویر ورود گرد و غبار با استفاده از ماهواره مودیس ۲۰۱۶/۰۶/۱۸

شمال غرب غربی و شمال غربی، غرب و شمال غربی اهمیت دارند. و در فصل زمستان جهت‌های شمال غرب غربی، شمال غربی، غرب و شمال غربی دارای اهمیت هستند.

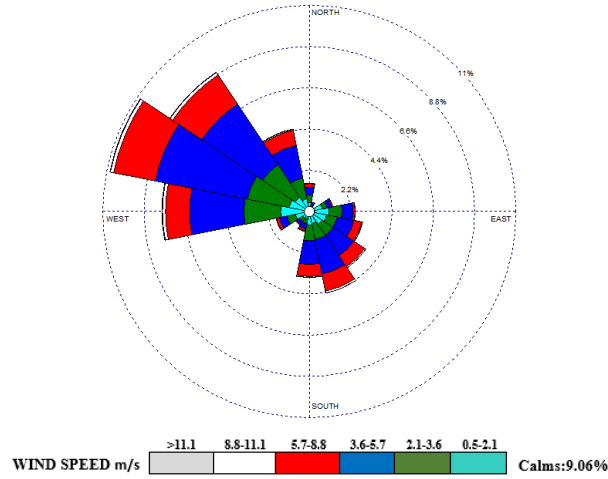
با توجه به نتایج گل باد در شکل ۱۱ برای بازه فصلی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ نشان می‌دهد که در فصل بهار جهت‌های شمال غرب غربی، شمال غرب و غرب و شمال شمال غربی قرار دارد و جهت‌های دیگر اهمیت چندانی ندارند. در فصل تابستان جهت‌های شمال غرب غربی، شمال غربی، غرب و شمال شمال غربی قرار دارند. در فصل پاییز جهت‌های



شکل ۱۱ - گلباد فصلی بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸

چندانی نیستند. بنابراین مسیر غالب جریان‌ات جوی در هنگام وقوع طوفان‌های گرد و غبار در شهر کرج از سمت غربی و شمال غربی است.

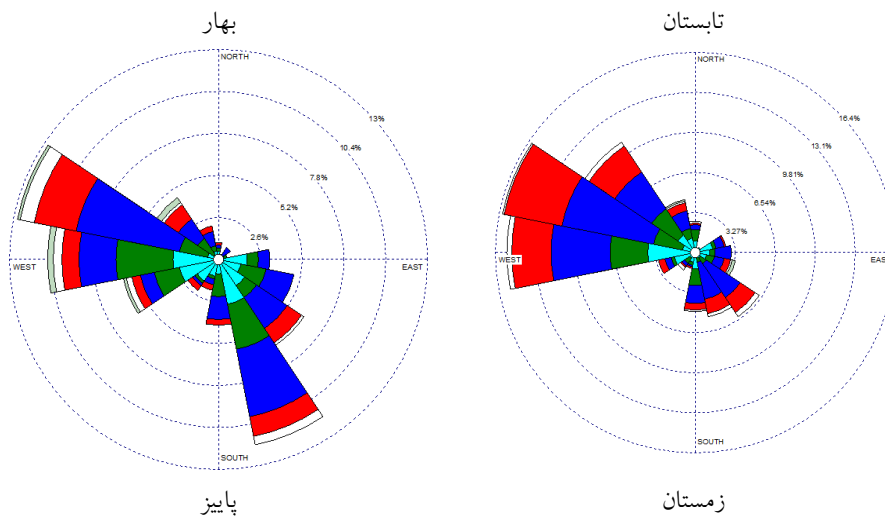
گلاباد کل در بازه ی زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ بررسی گردید با توجه به شکل ۱۲ جهت‌های شمال غرب غربی، شمال غربی، غرب و شمال شمال غربی دارای اهمیت زیادی هستند و سایر جهت‌ها دارای اهمیت

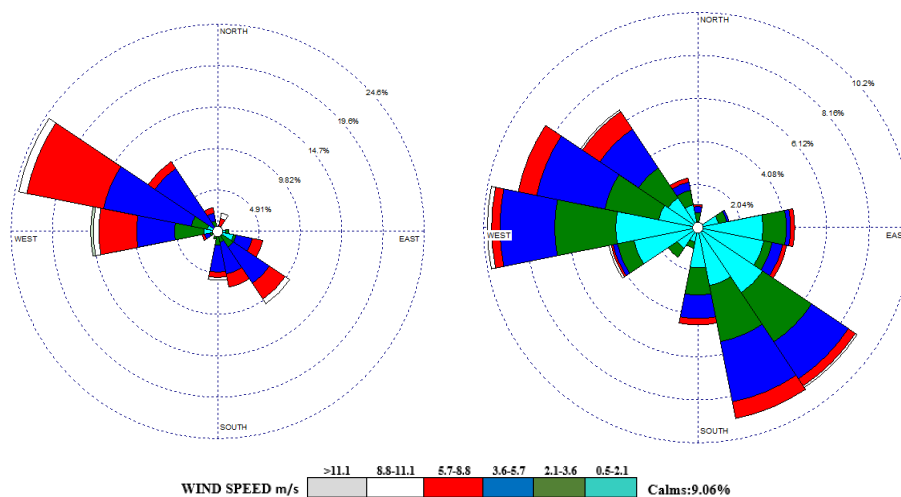


شکل ۱۲- گلاباد کل در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۰۰

دارای اهمیت بوده است. در فصل پاییز جهت‌های شمال غرب غربی، غرب، شمال غربی دارای اهمیت بوده است. در فصل زمستان جهت‌های جنوب شرقی، جنوب شرق شرقی و پس از آن جهت‌های شمال غرب غربی و غرب دارای اهمیت بوده است.

با توجه به نتایج شکل ۱۳ گل غبار فصلی که در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار گرفت نشان می‌دهد که در فصل بهار جهت‌های شمال غرب غربی، غرب، جنوب و جنوب شرقی دارای اهمیت زیادی بوده است. در فصل تابستان جهت‌های شمال غرب غربی، غرب و شمال غربی دارای اهمیت زیادی نسبت به سایر جهت‌ها

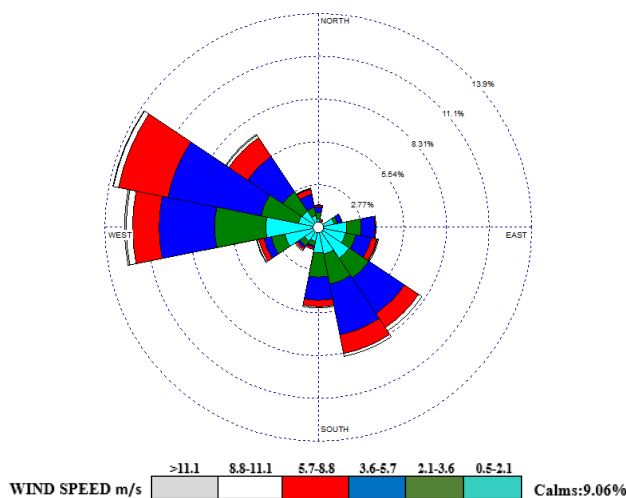




شکل ۱۳ - گل‌غبار فصلی در سه بازه ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰

جهت‌های جنوب شرق شرقی و شمال غربی دارای اهمیت هستند و در اولویت بعدی قرار می‌گیرند. اما سرعت لازم برای تولید گرد و غبار را ندارند. که با نتایج (jafari et al, 2018) مطابقت دارد.

با توجه به نتایج شکل ۱۴ گل‌غبار کل در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که جهت‌های شمال غرب غربی، غرب دارای سرعت آستانه برای تولید گرد و غبار هستند و دارای اهمیت بیشتری هستند و بیشترین طوفان‌های گرد و غبار در این جهت‌ها رخ می‌دهند.



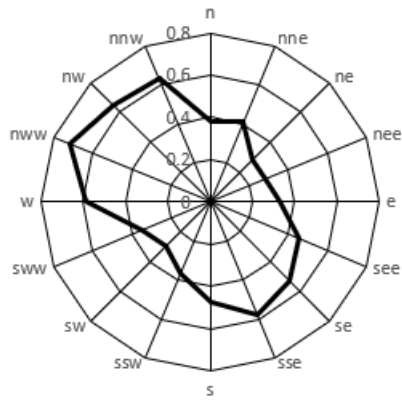
شکل ۱۴ - گل‌غبار کل در بازه ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰

جنوب شرقی دارای اهمیت فراوانی است. در فصل پاییز جهت‌های شمال شرق، شمال غربی، شمال غرب غربی، جنوب شرقی، جنوب جنوب شرقی اهمیت دارند. در فصل زمستان جهت‌های شمال شرقی، شمال غربی، شمال غربی، شمال غرب غربی، جنوب جنوب شرقی و جنوب اهمیت دارند.

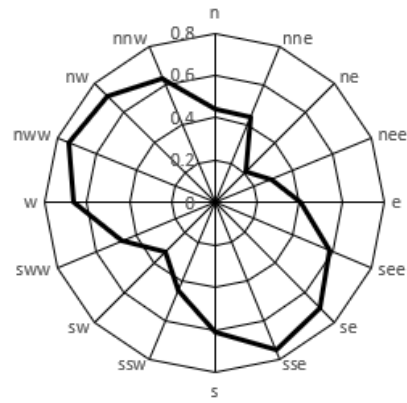
تابع احتمال شرطی (CPF) که تعداد دفعاتی که باد از بخش جهت باد در انتقال آلاینده از منبع مشخص را محاسبه می‌کند بنابراین با توجه به شکل ۱۵ برای CPF نشان می‌دهد که فصلی CPF در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰ مورد بررسی قرار گرفت نتایج بدین گونه بوده است که در فصل بهار و تابستان جهت‌های شمال شرقی، شمال غربی، شمال غرب غربی، جنوب شرق شرقی، جنوب شرقی و جنوب

بهار

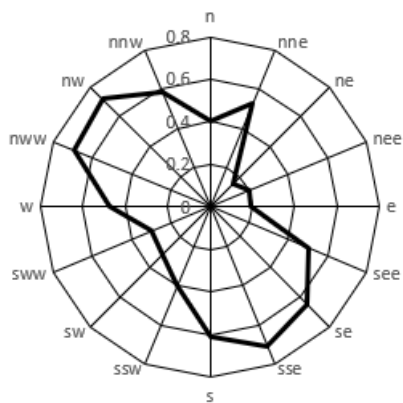
تابستان



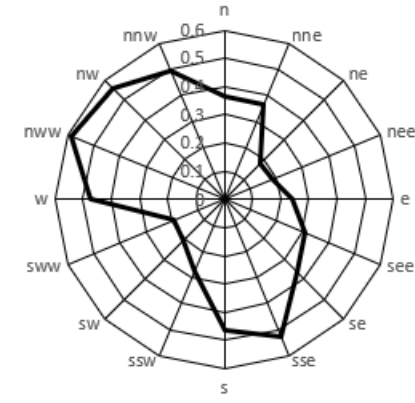
پاییز



زمستان

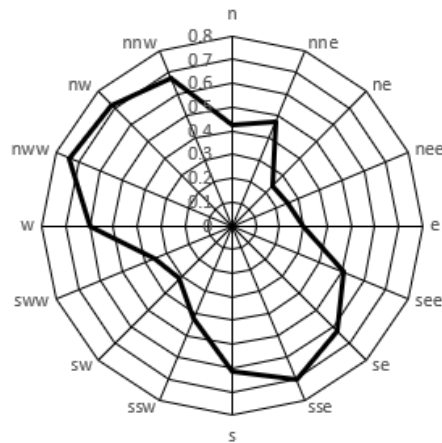


شکل ۱۵- CPF فصلی بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸



برخوردار هستند و پس از آن جهت‌های جنوب شرق شرقی و جنوب از اهمیت فراوانی برخوردار هستند.

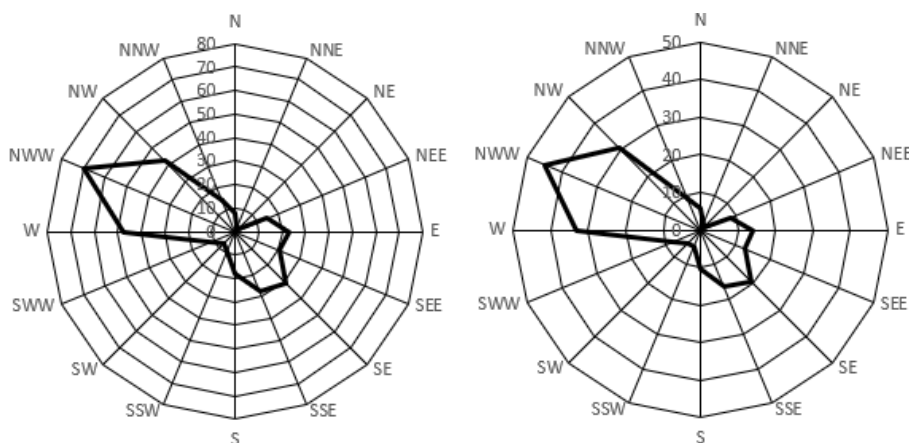
نتایج حاصل از شکل ۱۶ که برای CPF کل در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار گرفت نشان داد که جهت‌های شمال غرب غربی، شمال غربی، شمال غرب غربی، غرب از اهمیت بیشتری



شکل ۱۶- CPF کل در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸

که در جهت شمال غرب غربی دارای جهت‌های یکسان هستند و سهم هر بخش باد از میزان گرد و غبار ورودی برابر و همسو هستند و پس از آن جهت‌های غرب و شمال غربی دارای اهمیت است.

DRS که برای ایستگاه مترو شهر کرج و ایستگاه دانشگاه محیط‌زیست برای بازه زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ رسم گردید. نتایج با توجه به شکل ۱۷ برای دو ایستگاه مترو و دانشگاه محیط‌زیست کرج نشان می‌دهد



شکل ۱۷ - DRS کل ایستگاه مترو (سمت راست) - DRS کل ایستگاه محیط زیست (سمت چپ)

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات

برای بررسی منشأ و مسیرهای انتشار گرد و غبار ورودی به شهر کرج از مدل HYSPLIT در بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ برای ۶۱ رخداد گرد و غبار انجام شود. نتایج نشان داد که در ارتفاع‌های ۱۰ متری، ۵۰۰ متری و ۱۰۰۰ متری بیشترین سهم ورودی گرد و غبار به شهر کرج جهت‌های شمال غرب غربی و غرب تشکیل می‌دهند. بنابراین بررسی ارتفاعی ذرات گرد و غبار نشان داد که ذرات گرد و غبار در لایه‌های بالای به سمت ایران جریان پیدا کرده است و در سطوح پایین به شهر کرج می‌رسند. سهم ورودی گرد و غبار بیشتر از سمت کشور عراق بوده و بعد از آن از سمت کشورهای سوریه و عربستان است که با تصاویر مودیس که نشان دهنده ورود گرد و غبار با منشأ فرا محلی (کد ۰۶) هستند و با کدهای گرد و غبار مطابقت دارند. که با نتایج (Moridnejad et al, 2015) (Mohammadi et al, 2011) (Daniali et al, 2018) مطابقت دارند.

بدین وسیله از شورای اسلامی شهر کرج و کمیسیون‌های مربوطه، شهرداری کرج، سازمان‌ها و معاونت‌های تابعه و اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان البرز و سایر بزرگوارانی که در به سرانجام رسیدن این پروژه ما را یاری و حمایت نمودند؛ کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم. از ناظران عالی، مرکز پژوهش و مطالعات راهبردی شورای اسلامی شهر کرج؛ ناظر اجرایی، گروه پژوهش و توسعه شهرداری کرج و ناظران فنی، معاونت خدمات شهری شهرداری کرج نیز که با نظرات ارزنده خویش راهگشای ما در این پروژه بوده‌اند نیز کمال تشکر را داریم. مراحل انجام این تحقیق در آزمایشگاه کیفیت هوا گرد و غبار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شده است.

### منابع

1. Aman Elahi J, Kaboudvandpour SH, 2014, Evaluation of the ability of images and MODIS

با توجه به پیامدهای ناشی از طوفان‌های گرد و غبار و خطرات ناشی از آن برای شهروندان بررسی و مطالعه گرد و غبار اهمیت ویژه پیدا کرده است بنابراین در این پژوهش به بررسی منشأیابی گرد و غبار شهر کرج با داده‌های هواشناسی و داده‌های ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای شهر کرج، برای مدل‌های گلباد، گل‌غبار، CPF، DRS و مدل HYSPLIT به منظور بررسی وقوع طوفان‌های گرد و غبار و خط سیر حرکت آن استفاده شده است.

در این پژوهش نتایج کدهای گرد و غبار در بازه زمانی ۱۸ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸) ایستگاه سینوپتیک شهر کرج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار وقوع گرد و غبار در سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶، ماه‌های ژوئن و ژوئیه است. فصل تابستان بیشترین تعداد وقوع گرد و غبار را داراست که همزمان با سیستم‌های فشار عرض‌های شمالی بر روی ایران است اما در فصل‌های پاییز و زمستان به دلیل شروع فصل بارندگی تعداد وقوع گرد و غبار کاهش چشمگیری داشته است.

نتایج حاصل از بررسی گل‌باد، گل‌غبار، CPF و DRS نشان می‌دهد که جهت‌های شمال غرب غربی، شمال غربی و غرب دارای اهمیت زیادی در انتقال گرد و غبار هستند که با نتایج HYSPLIT یکسان هستند. بنابراین می‌توان گفت جهت عمده ورود گرد و غبار به شهر کرج از جهت‌های شمال غرب غربی، شمال غرب و غرب است و کشورهای عراق، سوریه و عربستان مبدأهای اصلی تشکیل گرد و غبار ورودی به شهر کرج هستند. برای نتایج بهتر، استفاده از سایر مدل‌ها شبیه‌سازی و ردیابی توده‌های گرد و غبار، نظیر مدل DREAM، SKIRON، FLEXPART و اندازه‌گیری ذرات گرد و غبار و نمونه برداری از آنها و استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی برای بررسی عناصر موجود در ذرات گرد و غبار پیشنهاد می‌گردد.

### سپاسگزاری

- mitigate the harmful effects of this storm. Mehr Mana Publications. Pp.173.
14. Jafari F, Khademi H. 2013. Evaluation of atmospheric dust subsidence rate in different parts of Kerman. *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources, Soil and Water Sciences*. 18.(70). pp 207-2017.
  15. Jafari M, Mesbahzadeh T, Masoudi R, Zehtabian G, Torkmahalleh MA. 2021. Dust storm surveying and detection using remote sensing data, wind tracing and atmospheric thermodynamic conditions (case study: Isfahan Province, Iran), *Air Quality Atmosphere & Health*:pp. 1-11.
  16. Jafari M, Zehtabian GH, Mesbahzadeh T. 2018, Statistical Analysis of Dust Phenomenon (Isfahan Case Study), 25(4), pp. 863-876.
  17. Karaj Parks and Green Space Organization. 2011. Comprehensive plan of green space of Karaj city: report of basic maps and recognition of green space of Karaj city. University of Tehran, General Department of Research Planning and Supervision, pp 94.
  18. Lau A H., Yuan Z, Yu Z, Louie P. 2010. Source apportionment of ambient volatile organic compounds in Hong Kong. *Science of the total environment*, 408(19). pp 4138-4149.
  19. Li, X., Ge, L., Dong, Y., & Chang, H. C. (2010, July). Estimating the greatest dust storm in eastern Australia with MODIS satellite images. In 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium .pp. 1039-1042.
  20. Mofidi A, Jafari S, The role of regional atmospheric circulation in the Middle East in the occurrence of summer dust storms in southwestern Iran, *Geographical studies of arid regions*, 2(5), pp. 17-45.
  21. Mohammadi F, Kamali S, Eskandari M. 2011, Detection of dust sources in different levels of Tehran's atmosphere using model HYSPLIT, *Geography and environmental hazards*, 4(4). pp.39-54.
  22. Moridnejad A, Karimi N, Ariya P. 2015. Newly desertified regions in Iraq and its surrounding areas: Significant novel sources of global dust particles. *Journal of Arid Environments*, 116.pp. 1-10.
  23. Naddafi, K. 2009. "Air pollution by emphasis on dust and its health and environmental impacts." In *Proceedings of 12th national conference of environmental health*.
  24. Namdari S, Valizade K, Rasuly A, Sari Sarraf B. 2016. Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, 9: 191.
  25. Omidvar K, Nekounam Z. 2009. Application of rose and dust in dust storm analysis and determination of seasonal wind regime associated with this storm (Case study: Shahre sensor data to measure PM10 in relation to ground data (Case study: Sanandaj city), *Volume 14(46)*, PP. 129-149.
  2. Arami A, Onagh M, Behbahani A, Akbari M, Zarasvandi A, 2018, Analysis of dust hazard studies in southwestern Iran in a period of 22 years (1996-2017), *Spatial analysis of environmental hazards*, 5(1) , PP. 39-66.
  3. Attiya A, and Brian G. 2020. Assessment of mineralogical and chemical properties of airborne dust in Iraq, *SN Applied Sciences*, 2, PP. 1-21.
  4. Azizi Q, Miri M. 2012. Dust storm tracking in the western half of Iran. *Geographical study of arid regions*. 2( 7). pp. 63-81.
  5. Chan Y, Hawas O, Hawker D, Vowles P, Cohen D.D, Stelcer E ,Christensen,E. 2011. Using multiple type composition data and wind data in PMF analysis to apportion and locate sources of air pollutants. *Atmospheric Environment*, 45(2),PP. 439-449.
  6. Daniali M, Mohammadnejad B, Karimi N. 2018, Spatial analysis of dust in Khuzestan province with the help of satellite images, remote sensing and GIS in natural resources (application of remote sensing and GIS in natural resources sciences), 9(30), pp. 58-73.
  7. Draxler R, Rolph G.2003. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) model access via NOAA ARL READY website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring.
  8. Ebrahimi S, Ebrahimzadeh L, Eslami A, Bidarpoor F. 2014. Effects of dust storm events on emergency admissions for cardiovascular and respiratory diseases in Sanandaj, Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1),pp 1-5.
  9. Ebrahimzadeh, L, S Ebrahimi, S Habibi, K Sakhtemangar, and R Bodouhi. 2011. "Effects of Dust Storm on Emergency Admission for heart and respiratory diseases in Sanandaj." In *Fourteenth International Conference on Environmental Health*.
  10. Farajzadeh M, Alizadeh KH. 2011, Temporal and spatial analysis of dust storms in Iran, *space planning and preparation (school-humanities)*, 15(1), pp. 65-84.
  11. Ghouchizadeh A, Moinaldini M , Shahbazi R, Ahmadi N, Navavarniri M. 2018. Investigating the importance of Quaternary dust emission sources on air quality in Qom. 4(3). pp.341-360.
  12. Henry R, Norris G.A, Vedantham R, Turner R. 2009. Source region identification using kernel smoothing. *Environmental science & technology*, 43(11).PP 4090-4097.
  13. Iranian Society of Consulting Engineers. 2013. Investigating the causes of dust and ways to

29. Tavousi T, Safarzaei N, 2010, Statistical analysis of dusty days in Sistan during the period 1976-2005, Fourth International Congress of Geographers of the Islamic World, Zahedan.
30. Ttiya A, Ali A, Brian G . 2020. Assessment of mineralogical and chemical properties of airborne dust in Iraq, *SN Applied Sciences*, 2(9). pp 1-21.
31. Vedantham R, Norris G, Duvall R. 2014. Receptor and Hybrid Modeling Tools. Wiley StatsRef: Statistics Reference Online.
32. <https://Ipdaac.usgs.gov>.
- Sabzevar). *Natural Geographical Studies*, 43(76). pp. 85-104.
26. R Squires V. 2016. 'Dust particles and aerosols: impact on biota "a review"(part I)', *Journal of Rangeland Science*, 6: 99.82-91.
27. Salahi B, Nohegar A, Behroozi M, 2019, Detection of dust sources of different levels of Sanandaj barley using HYSPLIT model to manage environmental hazards, *Geography Quarterly*, 9(2). pp. 83-95.
28. Shan W, Yin Y, Lu H, Liang S. 2009. A meteorological analysis of ozone episodes using HYSPLIT model and surface data. *Atmospheric Research*, 4(93). PP 767-776.