

بررسی اهمیت منابع انتشار گردوغبار دوره کواترنری بر کیفیت هوای شهر قم

عبداللهی قوچی زاده؛ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست - آلودگی‌های محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

مظاهر معین‌الدینی*؛ استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

رضا شهبازی؛ مدیرکل مخاطرات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

ناهید احمدی؛ مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

محمود ناوور نویری؛ مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۰

چکیده

این مطالعه با هدف تعیین کانون طوفان‌های گردوغبار و خط سیر آن، با استفاده از مدل HYSPLIT و شاخص‌های تعیین منشأ جهت، شامل گل‌باد و گل‌غبار و تابع احتمال شرطی، انجام شد. در ابتدا رخداد‌های طوفان گردوغبار در بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ شناسایی شدند. با مدل الگوریتم انتشار، مسیریابی برای هر یک از رخداد‌های شناسایی شده در سه سطح ارتفاعی ۱۰ و ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری به صورت عقب‌گرد به مدت ۲۴ و ۷۲ ساعت انجام شد. کانون‌های گردوغبار محدوده مورد مطالعه اکثراً از نوع سازندهای دوره کواترنری و بیشتر سازندهای تشکیل دهنده این کانون‌ها تراس‌های مخروط افکنه قدیمی و پادگانه‌های آبرفتی رسی است که مستعد تولید گردوغبارند. نتایج این تحقیق، از جمله گل‌باد و گل‌غبار و تابع احتمال شرطی، و مدل HYSPLIT نشان داد طوفان‌های گردوغبار از جهت‌های جغرافیایی جنوب شرق شرقی و غرب در فصول مختلف به سمت شهر قم حرکت کرده است. دریاچه نمک و اطراف آن، که کانون شماره ۴ است و در شرق شهر قم قرار دارد، بیشترین تأثیر را بر کیفیت هوای شهر قم در دوره زمانی مورد مطالعه داشته است. طوفان‌هایی که با منشأهای خارجی در دوره مورد مطالعه شهر قم را تحت تأثیر قرار داده‌اند بیشتر از کشورهای عراق، عربستان، سوریه، و اردن بودند.

کلیدواژه‌گان: تابع احتمال شرطی، طوفان گردوغبار، گل‌غبار، مدل‌های اسپلیت.

مقدمه

ذرات معلق که به صورت نهشت خشک^۱ رسوب می‌کنند منابع انتشار مختلف دارند. مهم‌ترین منابع طبیعی آن‌ها احتراق ناقص، فعالیت‌های ساخت‌وساز، معدن‌کاوی، طوفان‌های گردوغبار^۲، و آتش‌سوزی جنگل‌هاست (تئاتر^۳ و همکاران ۲۰۱۳). گردوغبار توده‌ای از ذرات جامد ریز غبار و گاه دود است که در جو پخش می‌شود و دید افقی را کاهش می‌دهد (میلر^۴ و

همکاران ۲۰۰۸). پدیده‌های گردوغباری رخدادهایی طبیعی‌اند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک و به‌ویژه در عرض‌های کنار حاره‌ای رخ می‌دهند (گودی^۱ ۲۰۰۹).

در دهه‌های اخیر، در مناطق خشک و نیمه‌خشک، طوفان‌های گردوغبار در جهان و ایران بسیار افزایش یافته است. بر اساس تعریف سازمان هواشناسی جهانی، هرگاه در ایستگاهی سرعت باد از ۱۵ متر بر ثانیه بیشتر شود و دید افقی به‌واسطه وجود ذرات گردوغبار به کمتر از ۱ کیلومتر برسد، طوفان گردوغبار رخ داده است (گودی و میدلتون^۲ ۲۰۰۶؛ رتوفی‌فرد^۳ ۱۳۹۴).

منشأ طوفان‌های گردوغبار با مناطقی که توپوگرافی پست و اقلیم خشک و میانگین بارش کمتر از ۱۲۵ میلی‌متر در سال دارند در ارتباط است (سالمون^۳ و همکاران ۲۰۰۸). از بین رفتن پوشش گیاهی، خشک شدن پهنه‌های آبی، برداشت بی‌رویه آب سطحی و زیرزمینی از عوامل تشدیدکننده وقوع طوفان‌های گردوغبار است (شفیعی‌زاده و مرادی ۱۳۹۰).

بخش عمده‌ای از مخاطرات زمین‌شناسی، از جمله ریزگردها، در محیط‌های کواترنری واقع‌اند. پدیده‌های زمین‌شناسی و زمین‌ساختی کواترنری زمینه‌های اساسی ساختارهای ژئومورفولوژی و جغرافیای طبیعی در فضای زیست‌محیطی انسان است (هارتلی^۴ و همکاران ۲۰۱۰؛ ارزانی^۵ ۲۰۱۲). به‌طور کلی، قسمت‌های عمده توپوگرافی سطح زمین تحت تأثیر مورفودینامیسم‌های دوره کواترنری تکوین یافته‌اند. دوره کواترنری ۱/۸ میلیون سال انتهایی حیات طولانی زمین و چهارمین دوره زمین‌شناسی را شامل می‌شود که با وجود کوتاه بودن از نظر زمانی حوادث بسیاری را در بر داشته است (احمدی و همکاران ۱۳۸۴).

سازندهای زمین‌شناسی مرتبط با دوره کواترنری شامل رسوبات رودخانه‌ای و پادگانه‌های آبرفتی قدیمی و جدید و مرتفع (پلاتوها) و رسوبات موجود در دامنه ارتفاعات و دشت‌های میان‌کوهی، از جمله رخساره‌های ژئومورفولوژیکی کواترنری، است که ویژگی آن سستی و انفصال دانه‌ها و قطعات است. محل قرارگیری این رخساره‌ها در بخش‌های کم‌شیب و کم‌ارتفاع منطقه است و در برابر عوامل فرسایشی مقاومت اندک و برای تولید گردوغبار پتانسیل بالا دارند (احمدی و همکاران ۱۳۸۴). بخش قابل توجهی از مناطق مسطح اطراف شهر قم، به‌خصوص مناطق شرقی و شمال شرقی، از رسوبات کواترنری پوشیده شده است. خسروشاهی و همکارانش (۱۳۹۰)، با تحقیقی که در زمینه محدودیت‌های بیابانی ایران انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که بیشتر بیابان‌های ایران را سازندهای کواترنری تشکیل داده است.

رفتار نهشته‌های کواترنری در مقابل فرسایش به سرشت نهشته‌ها و محیط دربرگیرنده آن‌ها بستگی دارد (فیض‌نیا و زارع خوش‌اقبال ۱۳۸۲). مساحت، ناهمواری، اقلیم، و نوع سنگ بستر، عوامل اصلی کنترل‌کننده رسوب‌زایی است و رسوبات تولیدشده هر چه از مناطق دورتر منتقل شده باشند، پس از خشک شدن، قدرت بالاتری در ایجاد گردوغبار دارند و به مثابه منشأ گردوغبار عمل می‌کنند (های^۶ ۱۹۹۸). یکی از قابلیت‌های بسیار مهم نهشته‌های کواترنری ذخیره‌سازی آب است که از نیازهای طبیعی و اساسی انسان است. با توجه به شرایط اقلیمی موجود در ایران، که حدود ۸۵ درصد آن

1. Goudie
2. Middleton
3. Tsolmon
4. Hartley
5. Arzani
6. Hay

در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارد، مشکل کمبود بارندگی از یک طرف و توزیع زمانی و مکانی ناهماهنگ آن از طرف دیگر اهمیت و لزوم شناخت نهشته‌های کواترنری، به منظور شناخت آب‌خانه‌های موجود و بهره‌برداری مناسب از منابع آب، را دوچندان می‌کند. بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و به دنبال آن افت سطح آب مخازن متعددی را به دنبال دارد که فرونشست زمین و شکاف‌های حاصل از آن در دشت‌ها از انواع عمده این مخازن است. با برداشت بیش از حد آب زیرزمینی از نهشته‌های نسبتاً جوان کواترنری این دشت، سطح ایستابی لایه آبدار پایین رفته و فشار هیدرواستاتیک کاهش یافته است. در نتیجه مخاطره محیطی فرونشست زمین و ترک‌های حاصل از آن رخ داده است (بوور^۱ ۱۹۷۸).

منشأ طوفان‌های گردوغباری که شهر قم را تحت تأثیر قرار می‌دهند دو دسته‌اند؛ محلی و انتقالی. گردوغبار محلی دوام کمتری دارد و وضعیت اقلیمی خشک و نیمه‌خشک منطقه و مساحت بیابانی و کانون‌های فرسایش بادی با ایجاد سدهای بزرگ در بیرون استان و تغییر کاربری زمین و برداشت بیش از اندازه از منابع آبی و همچنین تبخیر سالیانه آب در سطح بالا، فقر پوشش گیاهی، چرای بی‌رویه دام، سستی خاک، کوره‌های آجرپزی، و ... باعث تشدید آن شده است. گردوغبار انتقالی، که پدیده‌ای جدید است، از کشورهای سوریه و عراق و ... بدین سو حرکت می‌کند و در زمان وقوع آن‌ها نواحی غرب و جنوب غرب و مرکزی ایران، از جمله استان قم، را در بر می‌گیرد (رئوفی فرد ۱۳۹۴).

در این پژوهش از مدل HYSPLIT به منظور مسیریابی حرکت گردوغبار در شهر قم استفاده شد. مدل HYSPLIT یکی از روش‌های بسیار کاربردی برای مشخص کردن خط سیر حرکت گردوغبار، پراکندگی، و شبیه‌سازی ته‌نشینی گردوغبار است (جه^۲ و همکاران ۲۰۱۶). تحقیقات متفاوتی در این زمینه انجام شده است؛ از جمله بررسی منشأ و خط سیر طوفان‌های گردوغباری که شهر مشهد را تحت تأثیر قرار داده با استفاده از مدل HYSPLIT. نتایج این مطالعه نشان داد عمده نواحی منشأ غبار روی شهر مشهد طی دوره گرم سال در شرق و شمال شرق، یعنی بیابان‌های ترکمنستان، و همچنین اراضی تغییریافته دشت‌های 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 می‌شود (محمدی مرادیان و حسین‌زاده ۱۳۹۴). همچنین چاوک (۱۳۹۵) منشأ طوفان‌های گردوغبار شهر تهران را ارزیابی کرد که نتیجه ارزیابی او نشان داد مهم‌ترین منشأ خارجی طوفان‌های گردوغبار در شهر تهران به ترتیب فراوانی در جهت‌های غرب کشور (بیابان‌های شمالی عراق و سوریه) و جنوب غرب کشور (بیابان‌های جنوبی عربستان و بیابان‌های نیمه جنوبی عراق) است. کائو^۳ و همکارانش (۲۰۱۵) برای بررسی کانون‌های گردوغباری از مدل HYSPLIT و تصاویر مودیس^۴ استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل HYSPLIT برای بررسی کانون‌های گردوغبار مناسب است. از آنجا که طوفان‌های گردوغبار یکی از پدیده‌های بسیار مهم ایران است، پیش‌بینی زمان وقوع و کاهش آثار آن‌ها برای کشور ما بسیار اهمیت دارد. به دلیل اینکه فهم شرایطی که روی انتشار گردوغبار تأثیر می‌گذارند، به منظور پیش‌بینی وضعیت

1. Bouwer
2. Ge
3. Cao
4. MODIS

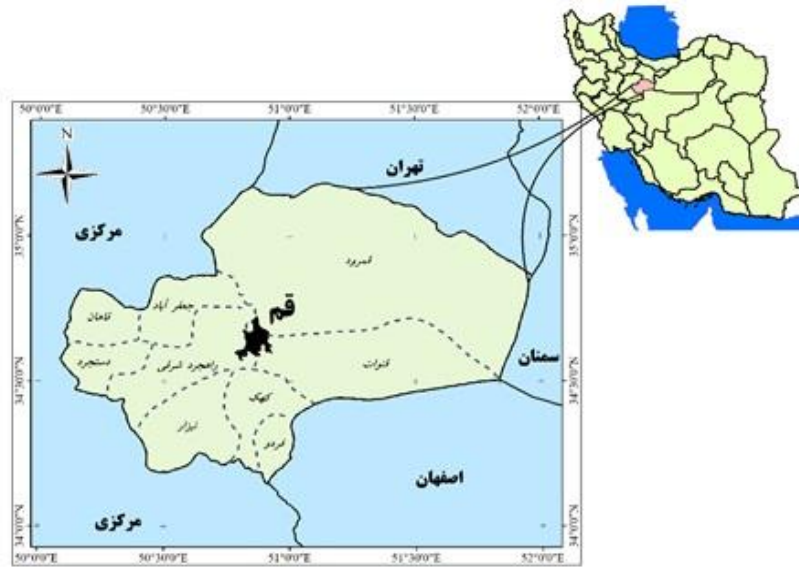
گردوغبار اتمسفری و اتخاذ تصمیمات مدیریتی، مهم است و با در نظر گرفتن پتانسیل تأثیرگذاری که کانون‌های گردوغباری اطراف شهر قم دارند، می‌توانند هنگام بروز طوفان گردوغبار و به دنبال آن تشدید اثر طوفان‌های گردوغبار، از نظر بررسی وسعت سازندهای این کانون‌ها و میزان سهم آن‌ها در کیفیت هوای شهر قم تأثیرگذار باشند. از این جهت این تحقیق حائز اهمیت است. در این تحقیق رخدادهای گردوغبار در دوره طولانی ده‌ساله و کانون‌های گردوغبار همراه با جنس ساختاری کانون‌ها در استان قم و استان‌های اطراف، که بر شهر قم تأثیر می‌گذارند، در سطوح ارتفاعی مختلف بررسی شد. هدف این تحقیق منشأیابی جهتی، بررسی خط سیر طوفان‌های گردوغبار، تعیین اهمیت و تأثیرگذارترین منابع انتشار گردوغبار با توجه به ساختار زمین‌شناسی دوره کواترنری بر کیفیت هوای شهر قم بود.

مواد و روش‌ها

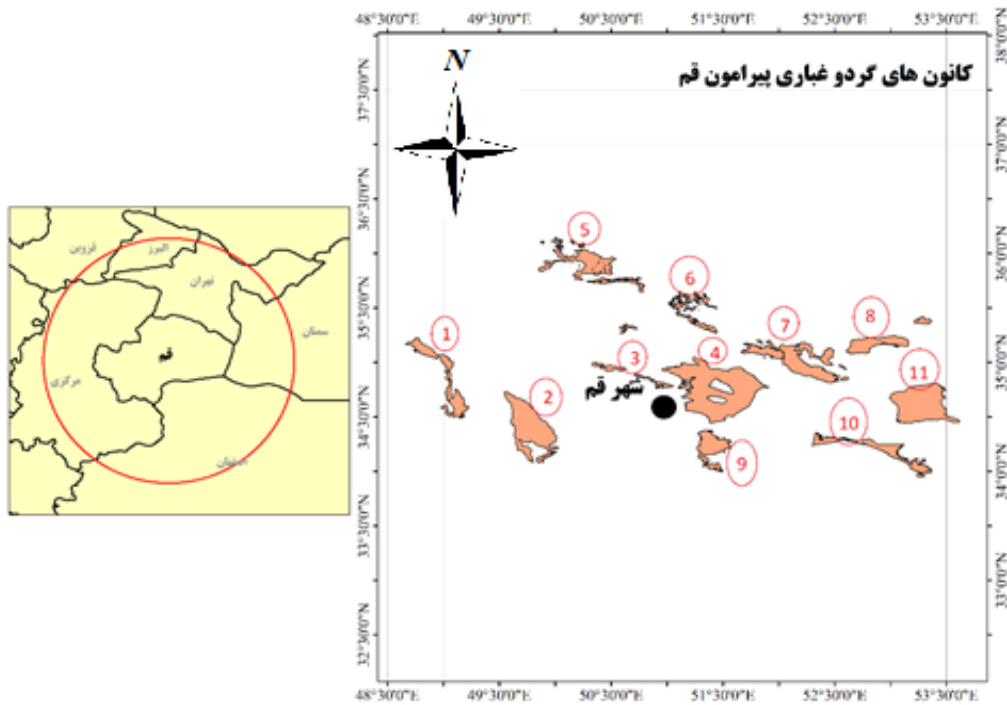
محدوده مورد مطالعه

شهر قم در مجاورت کویر مرکزی ایران واقع شده و وسعت آن ۱۲۳ کیلومتر مربع است و به طور متوسط ۹۳۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. این شهر در بخش مرکزی شهرستان قم قرار دارد. شکل ۱ موقعیت شهر قم را نشان می‌دهد. جنس سازندهای منابع انتشار گردوغباری که اطراف شهر قم قرار دارند بیشتر مربوط به دوره زمین‌شناسی کواترنری است. در محل منابع انتشار گردوغبار به ترتیب بیشترین مساحت شامل سازندهای تراس‌های مخروط افکنه‌ای قدیمی، آبرفت‌های رسی، تراس‌های مخروط افکنه‌ای جوان، آبرفت‌های نمکی، تپه‌های شنی و ماسه‌ای، و دریاچه نمک است. تراس‌های مخروط افکنه‌ای قدیمی به لحاظ لیتولوژیکی این سازندها نامقاوم و نیمه‌مقاوم و در برابر فرسایش بادی بسیار حساس‌اند (حیدریان و همکاران ۱۳۹۶). نوع و مساحت سازندهای دوره کواترنری در محدوده کانون‌های گردوغباری اطراف شهر قم بررسی شد. بین این سازندها تراس‌های مخروط افکنه‌ای جوان حدود ۷۰ درصد، تراس‌های مخروط افکنه‌ای قدیمی ۸ درصد، و پادگانه‌های آبرفتی رسی حدود ۱۹ درصد را به خود اختصاص دادند. سایر سازندهای حساس به فرسایش بادی با مساحت خیلی کم در محدوده مورد مطالعه وجود دارند (شهبازی ۱۳۹۴). نقشه منابع انتشار گردوغبار در شکل ۲ و خصوصیات هر یک از منابع انتشار در جدول ۱ می‌آید.

در قسمت‌های شرقی شهر قم سطح آب‌های زیرزمینی پایین است و نفوذ آب‌های زیرزمینی به دلیل خاصیت مویبگی و تبخیر آن در سطح باعث تبلور نمک در فضاهای خالی میان ذرات خاک و متلاشی شدن بافت خاک می‌شود؛ به گونه‌ای که در بسیاری از موارد بخش سطحی خاک تا چند سانتی‌متر حالت پفی به خود گرفته و پتانسیل فرسایش بادی را دارد (حیدریان و همکاران ۱۳۹۶).



شکل ۱. نقشه محدوده تحقیق، شهر قم



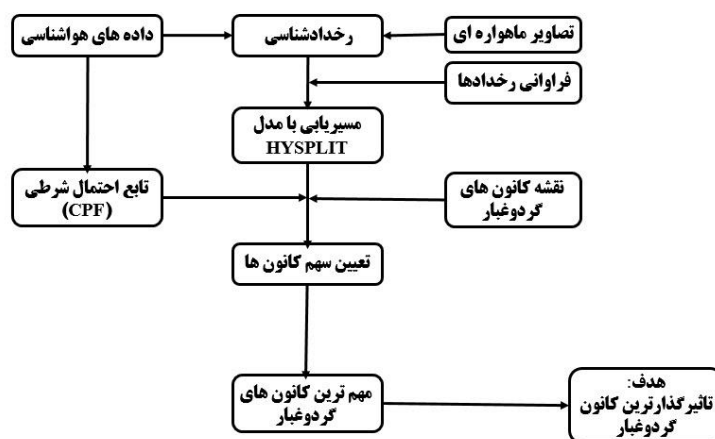
شکل ۲. نقشه کانون های گردوغبار اطراف شهر قم (شهبازی ۱۳۹۴)

جدول ۱. فاصله کانون‌های گردوغبار از شهر قم و مساحت کانون‌ها (شهبازی ۱۳۹۴)

منبع انتشار یا کانون	فاصله تا قم (Km)	مساحت (هکتار)	ساختار زمین‌شناسی دوره کواترنر	سهم سازند کواترنری در کانون
کانون ۱	۱۵۳	۷۰۳۷۵	تراس‌های مخروط افکنه‌ای جوان	۹۳/۷
کانون ۲	۸۸	۱۵۹۹۶۱	تراس‌های مخروط افکنه‌ای جوان و قدیمی، آبرفت‌های رسی	۸۵/۶
کانون ۳	۱۵	۳۴۹۵۶	تراس‌های مخروط افکنه‌ای جوان	۴۸/۵
کانون ۴	۲۵	۲۹۰۵۷۱	تراس‌های مخروط افکنه‌ای جوان، آبرفت‌های رسی، تپه‌های شنی و ماسه‌ای، دریاچه نمک	۹۰/۶
کانون ۵	۱۲۸	۱۰۷۵۲۶	آبرفت‌های رسی، تراس‌های مخروط افکنه‌ای قدیمی و جوان	۸۳/۵
کانون ۶	۸۶	۵۶۵۶۳	تراس‌های مخروط افکنه‌ای جوان	۵۴
کانون ۷	۸۷	۱۴۷۴۳۹	تراس‌های مخروط افکنه‌ای جوان و قدیمی	۷۹/۵
کانون ۸	۱۶۷	۵۱۷۴۳	تراس‌های مخروط افکنه‌ای جوان و قدیمی، آبرفت‌های رسی	۹۷
کانون ۹	۵۰	۵۵۱۶۵	تراس‌های مخروط افکنه‌ای جوان و قدیمی، تپه‌های شنی و ماسه‌ای	۹۱
کانون ۱۰	۱۳۸	۷۷۳۸۱	تراس‌های مخروط افکنه‌ای جوان و قدیمی، آبرفت‌های رسی	۷۵/۵
کانون ۱۱	۱۹۶	۱۴۳۷۵۱	آبرفت‌های رسی، تراس‌های مخروط افکنه‌ای جوان، آبرفت‌های نمکی	۹۲/۷

روش‌شناسی تحقیق

به طور خلاصه این مطالعه شامل گام‌های رخدادشناسی (تعداد رخدادها و فراوانی در هر فصل)، صحت‌سنجی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، تعیین منشأ جهت‌ای (گل‌باد، گل‌غبار، CPF، HYSPLIT)، و تعیین مهم‌ترین منابع انتشار گردوغبار است. روش کار در شکل ۳ می‌آید.



شکل ۳. نگاره کار

رخدانشناسی طوفان‌های گردوغبار

برای شناسایی رخدادهای هواشناسی کدهای گردوغباری (۰۶ و ۰۷)، سرعت باد و بارندگی، روزهایی که احتمالاً طوفان گردوغبار رخ داده مشخص شدند. برای هر یک از روزهای منتخب تصاویر ماهواره‌ای از سنجده مودیس و شاخص عمق اپتیکی آئروسول (AOD^۱) از وبسایت جیووانی^۲ ناسا اخذ شدند (نژادکورکی و فصاحت ۱۳۹۰؛ اسکودرو^۳ و همکاران ۲۰۰۶). همچنین داده‌های ذرات معلق از ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای شهر قم بررسی شدند. تجاوز مقادیر AOD از ۰/۲ نشان‌دهنده بالا بودن آئروسول‌ها در امتداد ستون عمودی جو است. آئروسول‌ها تمایل به جذب یا انعکاس تابش‌های خورشیدی دارند. بنابراین قابلیت دید را کاهش و مقدار AOD را افزایش می‌دهند. به طور خلاصه می‌توان AOD کمتر از ۰/۱ را شاخص آسمان صاف و بدون گردوغبار و شفاف با حداکثر قابلیت دید و AOD بیشتر از ۰/۲ را نشانه هوای آلوده و گردوغبار در نظر گرفت (اشرفی و همکاران ۱۳۹۲). مشاهده توده گردوغبار روی تصویر ماهواره‌ای و افزایش غلظت ذرات معلق رخداد گردوغباری گزارش شد.

سنجش از دور روشی مناسب برای تشخیص رخدادهای گردوغباری است و اخیراً برای شناختن محل منابع گردوغبار نیز با موفقیت از آن استفاده شده است (یاسین^۴ و همکاران ۲۰۱۸). مودیس و تصاویر آن با باندهای طیفی زیاد و فناوری‌های همراه آن یکی از سنجنده‌های هواشناسی بسیار خوب برای بررسی پدیده‌های هواشناسی، مانند طوفان‌های گردوغبار و سامانه‌های کم‌فشار، است (نژادکورکی و فصاحت ۱۳۹۰؛ محمدزاده و سلمانی ۱۳۹۷).

منشأیابی جهتی طوفان‌های گردوغبار

برای بررسی وضعیت باد، به منزله یکی از عوامل مهم در ایجاد طوفان‌های گردوغبار و گل‌باد و گل‌غبار، از نرم‌افزار WRPLOT^۵ استفاده شد. در گل‌باد اطلاعات مربوط به فراوانی کلاس‌های مختلف سرعت باد در هر جهت نمایش داده می‌شود (احمدی ۱۳۸۷) که جهت تشخیص نحوه رفتار باد و اثر آن بر فرسایش خاک کاربرد فراوان دارد. بر اساس اطلاعات دریافتی از ایستگاه سینوپتیک قم، برای تهیه گل‌باد، همه بادهای با سرعت بیشتر از ۰/۵ متر بر ثانیه بررسی شدند و در زمینه بادهای کمتر از این مقدار، به عنوان بادهای آرام، تحقیق شد. گل‌غبار گلی بادی است با سرعت بیش از سرعت آستانه فرسایش بادی خاک یا رخساره مورد نظر (اختصاصی و همکاران ۱۳۸۵).

یکی از روش‌های معمول برای شناسایی جهت جغرافیایی منابع انتشار گردوغبار تابع احتمال شرطی^۶ (CPF) است (ویدنتام^۷ و همکاران ۲۰۱۴). CPF به بررسی پتانسیل هر جهت در انتقال آلاینده‌ها، به‌ویژه ذرات معلق منتشرشده از یک منبع، می‌پردازد که در آن باد از حد آستانه‌ای مشخص بیشتر باشد.

تابع احتمال شرطی طبق رابطه ۱ قابل محاسبه است (ویدنتام و همکاران ۲۰۱۴).

1. Aerosol Optical Depth (AOD)
 2. <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>
 3. Escudero
 4. Yassin
 5. Wind Rose Plot (WRPLOT)
 6. Conditional Probability Function (CPF)
 7. Vedantham

$$CPF_{\Delta\theta} = \frac{m_{\Delta\theta} |c \geq x}{n_{\Delta\theta}}$$

رابطه ۱

در رابطه ۱ $m_{\Delta\theta}$ برابر با تعداد ساعاتی است که باد از جهت خاصی بوزد، به شرط آنکه سرعت باد از حد آستانه در نظر گرفته شده بیشتر باشد، و $n_{\Delta\theta}$ برابر با تعداد کل ساعاتی است که باد از آن جهت به خصوص بوزد. در این تحقیق حد آستانه باد ۴ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. نتایج CPF در مراحل بعد می‌آید که برحسب آن حد آستانه به دست آمده است.

مسیریابی حرکت گردوغبار

برای درک اینکه آیا مناطق اطراف محدوده مورد مطالعه در ایجاد یا تشدید پدیده گردوغبار تأثیرگذارند یا نه باید کانون‌های گردوغباری اطراف محدوده مورد مطالعه را در اختیار داشته باشیم. نقشه منابع انتشار گردوغبار از سازمان زمین‌شناسی تهیه شد. مدل HYPLIT مدلی دوگانه برای محاسبات خط سیر حرکت گردوغبار و پراکندگی و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن با استفاده از رویکردهای PUFF و ذرات است (دراکسلر^۱ و همکاران ۲۰۰۹). در این مدل محاسبه مسیر و غلظت آلاینده با استفاده از حداقل پارامترهای هواشناسی انجام می‌گیرد (اسکودرو و همکاران ۲۰۰۶). روش محاسبه مدل ترکیبی از دیدگاه‌های اویلری (مجموع غلظت ذرات برای هر شبکه در طول مسیر حرکت تعیین می‌شود) و لاگرانژی (مجموع غلظت ذرات برای هر شبکه با استفاده از حرکات پخش و انتقال ذرات تعیین می‌شود) است و به همین دلیل HYSPLIT را مدلی دوگانه می‌نامند (شان^۲ و همکاران ۲۰۰۹). دقت مدل در مطالعه تا حدود زیادی بسته به داده‌های هواشناسی است و هر چه دقت و تفکیک داده‌های هواشناسی بالاتر باشد نتایج دقیق‌تر خواهد بود (اشرفی و همکاران ۱۳۹۲).

اطلاعات ورودی این مدل شامل تاریخ رخداد به میلادی، ساعت وقوع رخداد، طول و عرض جغرافیایی نقطه منطقه مورد مطالعه، سطوح ارتفاعی، نوع شبکه مختصات، و مدت‌زمان مسیریابی عقب‌گرد - برای رخدادهای محلی ۲۴ ساعت و برای رخدادهای خارجی ۷۲ ساعت - است. محاسبات خط سیر با استفاده از مدل HYSPLIT به صورت شش‌ساعته در هر نیم‌درجه شبکه مختصات جغرافیایی برای همرفت، انتشار، جابه‌جایی گردوغبار برای ۲۴ و ۷۲ ساعت و به صورت حرکت عقب‌گرد در سه سطح ارتفاعی ۱۰ و ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر از سطح زمین انجام شد. برای تعیین مهم‌ترین کانون‌های گردوغبار، با بررسی فراوانی عبور مسیرهای ردیابی شده توسط مدل HYSPLIT، از روی کانون‌های گردوغبار در ارتفاع ۱۰ و ۵۰۰ متر، می‌توان دریافت کدام کانون‌ها نسبت به کانون‌های دیگر می‌توانند تأثیر بیشتری بر هوای شهر قم داشته باشند.

نتایج و بحث

بررسی طوفان‌های گردوغبار قم

در مجموع در دوره زمانی سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ تعداد ۴۰۰ رخداد طوفان گردوغبار در استان قم شناسایی شد. جدول ۲ نشان می‌دهد که به طور کلی از نظر دوره زمانی یک سال را می‌توان به دو دوره گرم (فصل بهار و تابستان) و سرد

1. Draxler
2. Shan

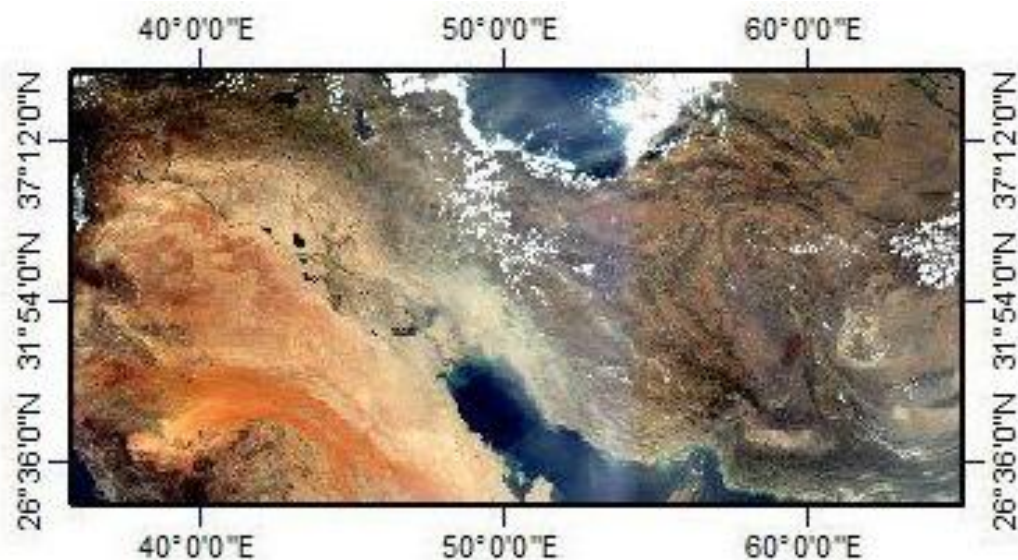
(فصل پاییز و زمستان) تقسیم کرد. حدود ۸۴ درصد رخدادها در دوره گرم سال رخ داده که از دلایل آن بارندگی کمتر و شرایط مساعد برای فرسایش بادی است. دوره دیگر، که پاییز و زمستان را شامل می‌شود، سهم کمتری از رخدادها را داراست که مهم‌ترین دلایل آن شروع بارندگی‌ها و افزایش رطوبت خاک است؛ پدیده‌ای که قدرت فرسایش باد را کاهش می‌دهد. راستی (۱۳۹۵) و چاوک (۱۳۹۵) فراوانی وقوع رخدادها در استان تهران را بررسی کردند و نشان دادند حدود ۷۰ درصد رخدادها در فصل بهار و تابستان اتفاق افتاده است.

جدول ۲. توزیع فصلی رخدادهای گردوغبار

فصل	فراوانی رخداد	نسبت به کل
بهار	۱۷۰	۴۲,۵
تابستان	۱۶۷	۴۱,۵
پاییز	۲۴	۶
زمستان	۳۹	۱۰
مجموع	۴۰۰	۱۰۰

تصاویر ماهواره‌ای

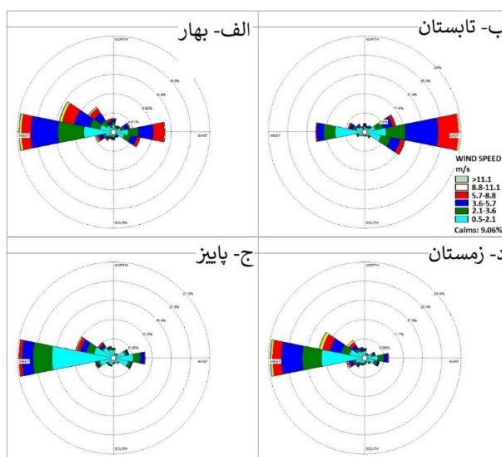
شکل ۴ نمونه‌ای از تصاویر سنجنده مودیس برای رخداد طوفان گردوغبار ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۱ را نشان می‌دهد.



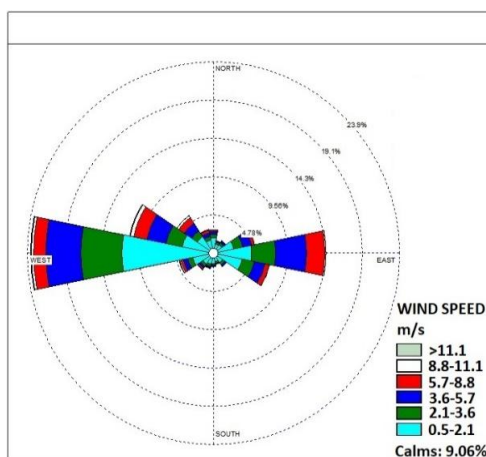
شکل ۴. تصویر سنجنده مودیس از گردوغبار در ایران در تاریخ ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۱ (۲۰۱۲/۰۵/۱۴)

تعیین منشأ جهت‌ی طوفان‌های گردوغبار قم

نتایج مربوط به گل‌باد فصلی و کل بازه زمانی سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ در شکل‌های ۵ و ۶ می‌آید. گل‌باد سالیانه، که در شکل ۵ آمده است، اهمیت جهت‌های جغرافیایی غربی، شرقی، شمال غرب غربی، و جنوب شرق شرقی را نشان می‌دهد. گل‌باد فصل بهار نشان می‌دهد جهت غرب بیشترین تأثیر و جهت شمال غرب غربی و شرق تقریباً به یک میزان در گردوغبار تأثیر داشته است. در اواخر فصل بهار و فصل تابستان جهت شرق بیشترین میزان فراوانی باد را داشته است و سپس جهت غرب و جنوب شرق شرقی از این نظر قابل توجه است (شکل ۶). در فصل‌های پاییز و زمستان مهم‌ترین جهت وزش باد جهت غرب است که چون در این فصول گردوغبار زیادی وجود ندارد مطابق با الگوی وقوع گردوغبار نیست. نتایج گل‌باد برای فصل‌های بهار و تابستان، که در این فصل‌ها رخدادهای گردوغبار فراوانی به وقوع می‌پیوندد، تأییدکننده جهت وقوع گردوغبارند.

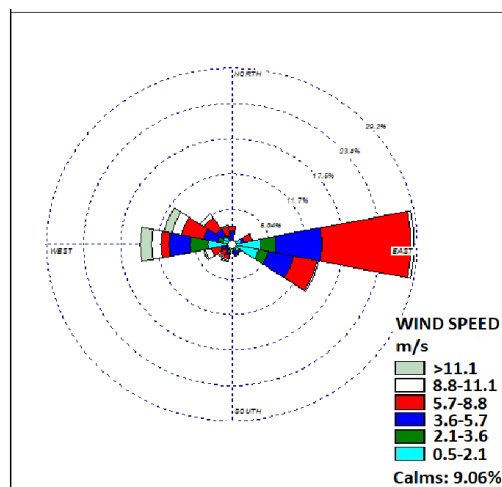


شکل ۶. گل‌باد فصلی (۲۰۰۸ - ۲۰۱۶)



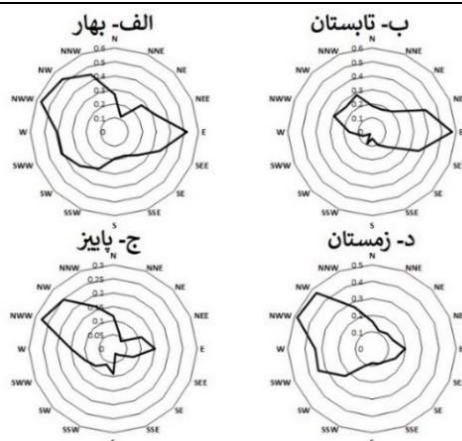
شکل ۵. گل‌باد سالیانه (۲۰۰۸ - ۲۰۱۶)

گل‌غبار مربوط به کل بازه زمانی سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ در شکل ۷ می‌آید. نتایج گل‌غبار (شکل ۷) نشان می‌دهد جهت شرق و جنوب شرقی بیشترین مقدار وقوع رخداد را دارند و سرعت باد هنگام وقوع گردوغبار حدود ۵ تا ۹ متر بر ثانیه دارای بیشترین میزان فراوانی است. ولی جهت غرب و شمال غرب غربی دارای سرعت‌های ۹ متر بر ثانیه و بیشتر هستند که در جهت شرق کمتر وجود دارد. می‌توان در مورد جهت شرق و جنوب شرقی به این نتیجه رسید که سرعت آستانه برای تولید گردوغبار میزان سرعت باد کمتری نسبت به رخدادهای جهت غرب است و از این لحاظ دارای اهمیت بیشتری هستند.

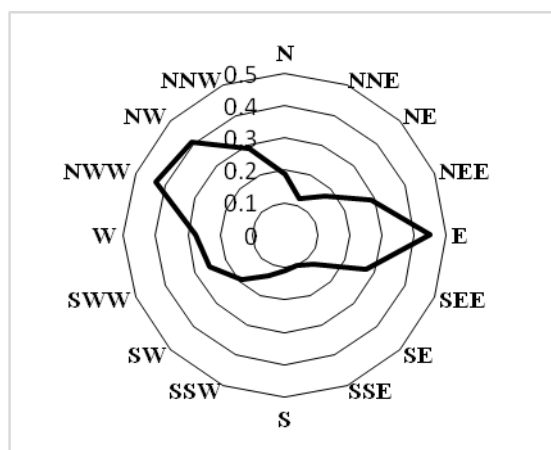


شکل ۷. گل‌غبار روزهای گردوغباری ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶

نتایج CPF به صورت فصلی و کل دوره مطالعه از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ در شکل‌های ۸ و ۹ می‌آید. این شاخص برای مشخص کردن جهت باد غالب طی رخدادها با غلظت بالای آلاینده بررسی می‌شود؛ درحالی که گل‌باد سرعت و جهت و تواتر کل بادهای یک مکان معین را نشان می‌دهد. CPF بیشتر شبیه گل‌غبار است تا گل‌باد. زیرا گل‌غبار نیز جهت بادهای با سرعت زیاد را، که در زمان طوفان گردوغبار رخ می‌دهد، نشان می‌دهد. CPF سالیانه نشان می‌دهد جهت‌های شرق و شمال غرب سپس جهت غرب مهم‌ترین جهات در طوفان‌های گردوغبارند و جهت‌های شرق و شمال غربی آن تأییدکننده نتایج گل‌باد سالیانه است (شکل ۸). CPF فصلی نیز در فصل‌های بهار و تابستان بیشتر جهت شمال غربی و شرق است و در بهار جهت جنوب غربی نیز مهم است. در پاییز و زمستان جهت غرب و شمال غرب دارای بیشترین مقدار است (شکل ۹). نتایج CPF فصلی مشابه نتایج گل‌باد فصلی است و به جای جهت غرب در گل‌بادهای فصلی جهت شمال غربی در CPF فصلی مهم است و اهمیت این جهات را نشان می‌دهد. الگوی باد در شهر قم بیشتر جهت غربی - شرقی، شرقی - غربی، و شمال غرب - جنوب شرقی است که در این نتایج به‌وضوح مشاهده می‌شود.



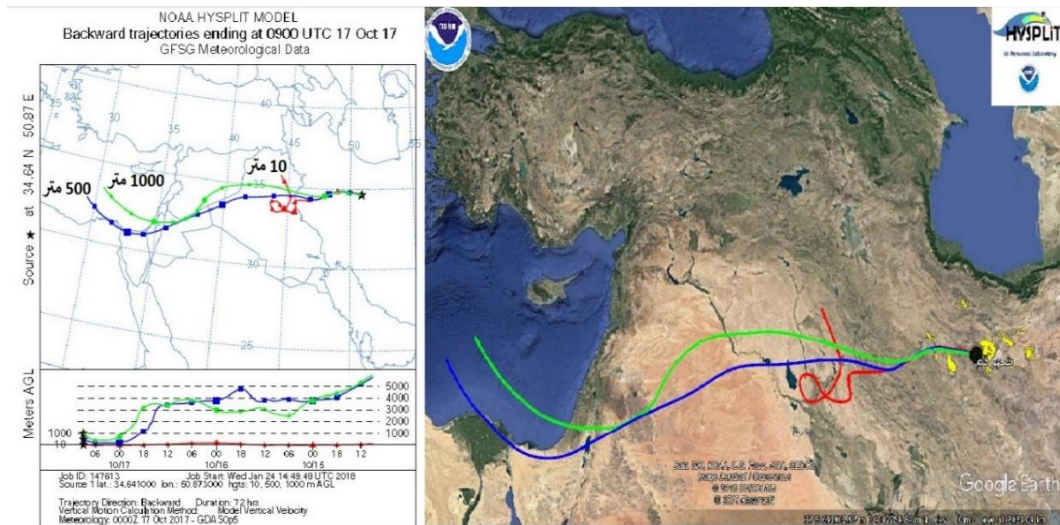
شکل ۹. CPF فصلی (۲۰۰۸ - ۲۰۱۶)



شکل ۸. CPF سالانه (۲۰۰۸ - ۲۰۱۶)

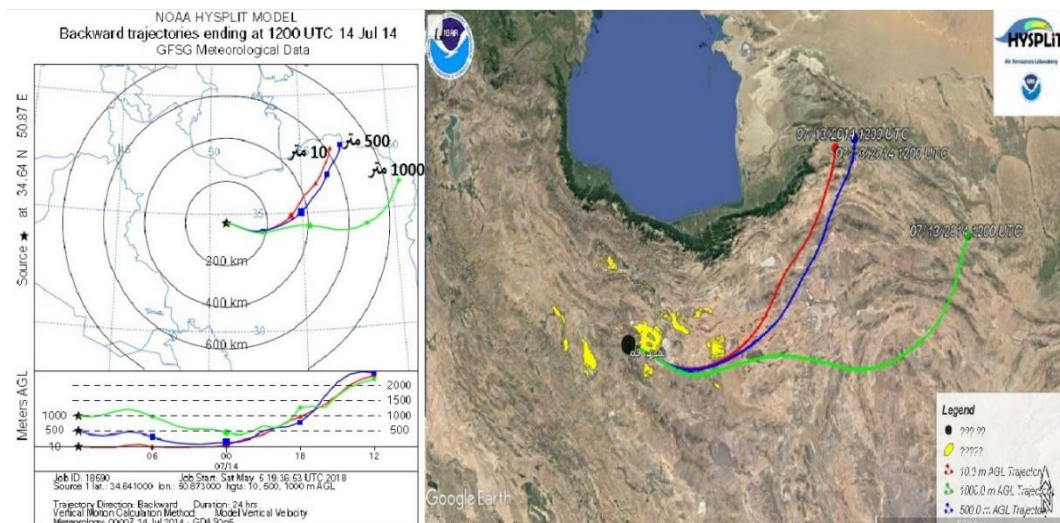
بررسی مسیر حرکت و مهم‌ترین منابع انتشار گردوغبار

نتایج مسیریابی رخدادهایی که خط سیر آن‌ها از روی کانون‌های گردوغبار استان قم و اطراف آن عبور کرده و به شهر قم رسیده‌اند در سه ارتفاع ۱۰ و ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر از سطح زمین نشان داده شده است. کل تعداد رخدادهای شناسایی شده ۴۰۰ رخداد بود که از این بین ۳۵۴ رخداد از روی کانون‌های اطراف شهر قم گذر کرده و به دلیل حجم بالای نتایج فقط یک رخداد انتقالی و محلی نشان داده شده است. شکل ۱۰ یک نمونه مسیریابی رخدادهای انتقالی، مربوط به ۲۵ مهر ۱۳۹۶ (۲۷/۱۰/۲۰۱۷)، است که با مدل HYSPLIT به دست آمده است. نتیجه مدل HYSPLIT در این تاریخ غرب را جهت ورود گردوغبار به شهر قم نشان می‌دهد. گردوغبار رخ داده در تاریخ ۲۵ مهر ۱۳۹۶ از کشورهای سوریه و عراق منشأ گرفته و وارد ایران شده و از کانون‌های استان مرکزی عبور کرده و به شهر قم رسیده است (شکل ۱۰). نتایج گل‌باد و CPF فصل پاییز این جهت را مهم‌ترین جهت در زمان طوفان گردوغبار نشان می‌دهد.



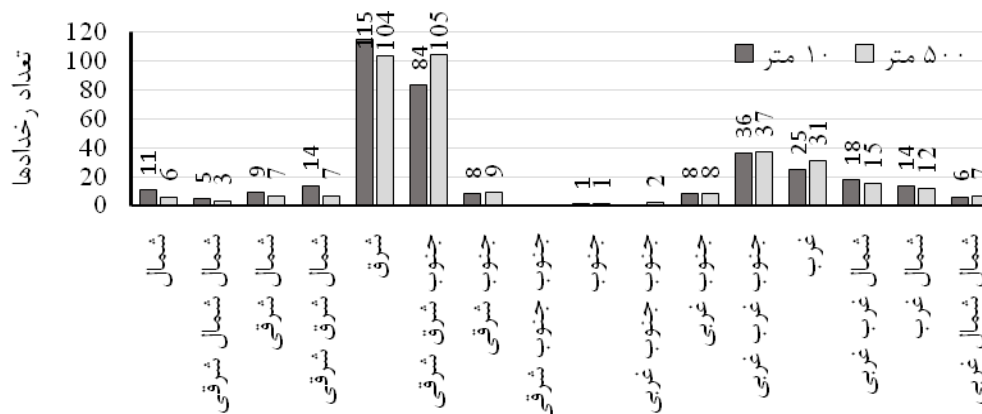
شکل ۱۰. ردیابی پس گرد مسیر طوفان گردوغبار طی ۷۲ ساعت در تاریخ ۲۵ مهر ۱۳۹۶ (۲۰۱۷/۱۰/۲۷) در سه سطح ارتفاعی ۱۰ و ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری

شکل ۱۱ یک نمونه مسیریابی رخداد محلی، مربوط به تاریخ ۲۳ تیر ۱۳۹۳ (۲۰۱۴/۰۷/۱۴)، را نشان می‌دهد. جهت ورود گردوغبار شرقی و منشأ گردوغبارهای رسیده به شهر قم اغلب از کانون‌های نزدیک شهر قم در این جهت است. کانون گردوغباری شماره ۴ در نزدیکی شهر قم است که تأثیر زیادی بر شهر قم می‌گذارد. نتایج گل‌باد و CPF برای فصل تابستان جهت شرق را تأثیرگذارترین جهت معرفی می‌کند که در گردوغبار ۲۳ تیر ۱۳۹۶ نشان‌دهنده اهمیت این جهت است (شکل ۱۱).



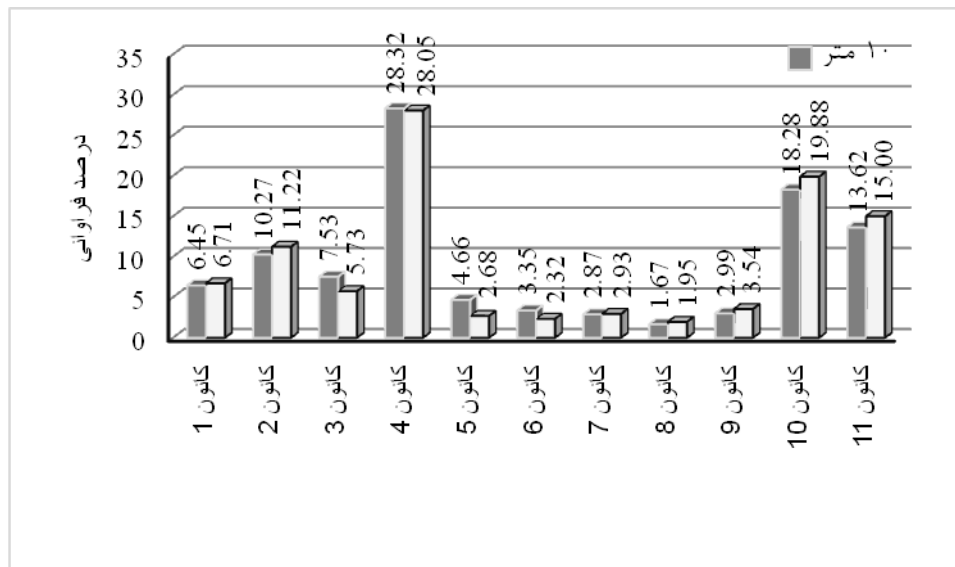
شکل ۱۱. ردیابی پس گرد مسیر طوفان گردوغبار طی ۲۴ ساعت در تاریخ ۲۳ تیر ۱۳۹۳ (۲۰۱۴/۰۷/۱۴) در سه سطح ارتفاعی ۱۰ و ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری

بر اساس نتایج مدل HYSPLIT مهم‌ترین جهات جغرافیایی از نظر ورود گردوغبار به شهر قم جهات شرق، جنوب شرق شرقی، غرب، و جنوب غربی است. در این جهات شرق و جنوب شرق شرقی هر یک با حدود ۲۰ درصد و جهت غرب با مقدار ۱۵ درصد از نظر جهت ورود گردوغبار به شهر قم تأثیر زیادی دارند (شکل ۱۲). نتایج گل‌باد و گل‌غبار و CPF نیز نشان‌دهنده اهمیت این جهات است. در اکثر تحقیقات، از جمله تحقیق اختصاصی و همکارانش (۱۳۸۵)، جهت غرب و جنوب غرب غربی و شرق مهم‌ترین جهات در زمینه گردوغبار انتقالی در مرکز و غرب ایران تعیین شده است. مطابق تحقیقات دیگر محققان از جمله رحمانی و همکارانش (۱۳۹۳) برای مرکز ایران و شفیعی‌پور مطلق و همکارانش (۱۳۹۰) برای شهر تهران جهات غرب و جنوب غربی تأثیرگذارترین جهات در رخدادهای گردوغبار معرفی شده‌اند. شهر قم نیز در نزدیکی استان تهران و در مرکز ایران قرار دارد.



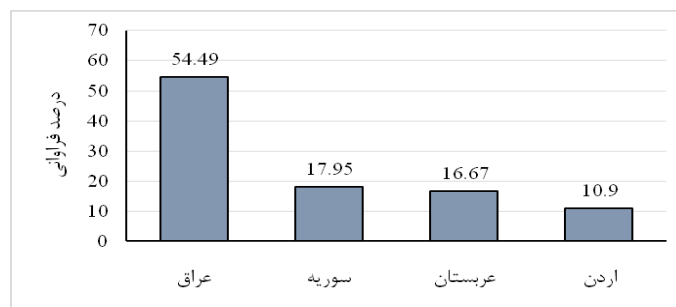
شکل ۱۲. فراوانی رخدادها بر اساس گذر از روی کانون‌ها در ۱۶ جهت جغرافیایی در دو ارتفاع ۱۰ و ۵۰۰ متر

نقشه کانون‌های گردوغباری اطراف شهر قم، که در شکل ۲ دیده می‌شود، نشان می‌دهد اکثر کانون‌ها در شرق و سپس در شمال و غرب واقع شده‌اند. از لحاظ وسعت، کانون گردوغبار شماره ۴ بیشترین وسعت را دارد که بعد از کانون شماره ۳ نزدیک‌ترین فاصله را به شهر دارد. کوچک‌ترین کانون گردوغبار نیز کانون شماره ۳ است که در شمال تا شمال غرب شهر قم قرار دارد و نزدیک‌ترین کانون گردوغبار به شهر است. بر اساس نتایج جدول ۳، از بین کانون‌های گردوغباری موجود در اطراف شهر قم، کانون گردوغباری شماره ۴ بیشترین تأثیر را بر کیفیت هوای شهر قم دارد که از بین ۳۵۴ رخداد عبور کرده از روی کانون‌ها ۲۸،۳۲ رخداد با ارتفاع ۱۰ متر از روی این کانون عبور می‌کند. کانون‌های شماره ۱۰ و ۱۱ به ترتیب بعد از کانون شماره ۴ بیشترین تأثیر را در کیفیت هوای شهر قم دارد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳. درصد فراوانی منشأ داخلی طوفان‌های گردوغبار در مسیریابی پس‌گرد توسط مدل HYSPLIT

گردوغبارهای انتقالی شهر قم اغلب از جهت غرب و جنوب غربی وارد کشور می‌شوند و به شهر می‌رسد. این گردوغبارها از کشورهای عراق، عربستان، سوریه، و اردن می‌آیند. حدود ۵۵ درصد این گردوغبارها از کشور عراق است که به دلیل هم‌مرز و نزدیک بودن به ایران نسبت به دیگر کشورها توانایی بالایی در انتقال گردوغبار به کشور ما دارد. کانون‌های گردوغباری داخل کشور نیز باعث تشدید گردوغبارهای خارجی می‌شود. محققانی مانند گیوه‌چی (۱۳۹۰) درباره شهر تهران و صحرایی و همکارانش (۱۳۹۵) درباره مناطق مرکزی و شمال ایران اعلام کردند بیشتر گردوغبارهای خارجی از کشورهای عراق و سوریه نشئت می‌گیرند (شکل ۱۴).



شکل ۱۴. درصد فراوانی منشأ خارجی طوفان‌های گردوغبار در مسیریابی پس‌گرد توسط مدل HYSPLIT

کانون‌های گردوغبار متعددی اطراف شهر قم قرار دارند که از بین آن‌ها کانون شماره ۴ (فاصله بین دریاچه نمک و حوض سلطان)، در شرق شهر قم، به دلیل فاصله نزدیک، مساحت بالا، جنس سازند تشکیل‌دهنده، و از همه مهم‌تر فراوانی عبور رخدادهای از روی این کانون مهم‌ترین و تأثیرگذارترین کانون گردوغبار بر شهر قم نسبت به کانون‌های دیگر است.

نتیجه

آلودگی هوا می‌تواند به شدت به انسان آسیب برساند؛ که به صورت مشکلات تنفسی یا بیماری‌های قلبی دیده می‌شود. همچنین به طور مداوم بر اعضای بدن تأثیرگذار است. منشأ طوفان‌های گردوغباری که شهر قم را تحت تأثیر قرار می‌دهند دو دسته‌اند؛ محلی و انتقالی. از آنجا که طوفان‌های گردوغبار یکی از پدیده‌های مهم ایران است، پیش‌بینی زمان وقوع و کاهش آثار آن‌ها بسیار مهم است. هدف این تحقیق بررسی طوفان‌های گردوغبار از نظر ساختار زمین‌شناسی، منشأ انتشار گردوغبارهای دوره کواترنری، منشأیابی جهتی، تعیین مهم‌ترین منشأهای انتشار، بررسی خط سیر آن‌ها، و تعیین تأثیرگذارترین منشأها بر کیفیت هوای شهر قم بود.

بخش عمده‌ای از مخاطرات زمین‌شناسی، از جمله ریزگردها، در محیط‌های کواترنری واقع شده‌اند. مهم‌ترین نوع سازندهای دوره کواترنری در محدوده کانون‌های گردوغباری اطراف شهر قم شامل تراس‌های مخروط افکنه‌ای جوان، تراس‌های مخروط افکنه‌ای قدیمی، و پادگانه‌های آبرفتی رسی روی هم بخش عمده‌ای از مساحت کل منشأ کانون‌های گردوغبار را شامل می‌شوند و توانایی بالایی در تولید گردوغبار دارند. این کانون‌ها، در مناطق مسطح، برخی در نزدیکی دریاچه‌ها و برخی در مکان دریاچه‌های خشک‌شده قرار دارند.

برای شناسایی رخدادها از داده‌های هواشناسی با کدهای گردوغباری و تصاویر ماهواره‌ای مودیس استفاده شد. در ادامه برای بررسی وضعیت باد از نرم‌افزار WRPLOT به منظور به دست آوردن گل‌باد و گل‌غبار استفاده شد. برای شناسایی جهت جغرافیایی منابع انتشار گردوغبار نیز از تابع CPF استفاده شد که پتانسیل هر جهت را در انتقال آلاینده‌ها بررسی می‌کند. به منظور مسیریابی حرکت گردوغبار در شهر قم از مدل HYSPLIT استفاده شد که جهت ورود گردوغبار و تأثیر هر یک از کانون‌های گردوغبار را در شهر قم نشان می‌دهد. کانون‌های گردوغباری از نظر جنس سازندها نیز بررسی شدند. بیشتر کانون‌ها از سازندهای دوره کواترنری، که امکان تولید گردوغبار را دارند، تشکیل شده‌اند. ۴۰۰ رخداد در شهر قم شناسایی شد که حدود ۸۴ درصد رخدادها در فصل‌های بهار و تابستان اتفاق افتاده است. نتایج گل‌باد فصلی نشان می‌دهد که در پاییز و زمستان جهت باد غالب اکثراً غربی بوده، در فصل بهار بعد از جهت غربی و شمال غرب غربی، جهت شرق مهم بوده و در فصل تابستان شرق مهم‌ترین جهت می‌باشد. نتایج گل‌باد سالیانه نشان می‌دهد جهت غرب سبب شرق در اولویت است. نتایج گل‌غبار شبیه نتایج گل‌باد فصل تابستان و جهت شرق مهم‌ترین جهت است. نتایج CPF فصلی با کمی تفاوت مشابه گل‌باد فصلی است و جهات شمال غرب و شرق در فصل بهار و تابستان و شمال غربی در فصل‌های پاییز و زمستان را نشان می‌دهد.

نتایج مربوط به HYSPLIT نشان می‌دهد مهم‌ترین جهات ورود گردوغبار به شهر قم جهات شرق، جنوب شرق شرقی، غرب، و جنوب غربی است که اکثر این گردوغبارها از روی کانون شماره ۴، که در شرق شهر قم، بین دریاچه نمک و حوض سلطان قرار دارد، می‌گذرد و شهر قم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گردوغبارهای انتقالی، که منشأ آن‌ها خارج از کشور است، بیشتر از کشور عراق و بعد از آن از کشورهای سوریه و عربستان است که صحراها، بیابان‌ها، و کانون‌های گردوغباری زیادی را در خود جای داده‌اند. تأثیرگذارترین کانون گردوغباری در اطراف شهر قم کانون شماره ۴ در بخش شرقی شهر قم است که بین دریاچه نمک و حوض سلطان قرار دارد.

منابع

- احمدی، ح.، مهرورز مغالوریا، ک.، فیض نیا، س.، غیومیان، ج. (۱۳۸۴). «بررسی نهشته‌های کواترنر جهت تعیین مناطق مستعد پخش سیلاب به کمک فن سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی: دشت تسوج)»، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ج ۱۲، ش ۴، صص ۴۳۷ - ۴۶۷.
- احمدی، ح. (۱۳۸۷). ژئومورفولوژی کاربردی (فرسایش بادی)، ج ۳، انتشارات دانشگاه تهران، ج ۲.
- اختصاصی، م.ر.، احمدی، ح.، خلیلی، ع.، صارمی نایینی، م.ع.، رجبی، م.ر. (۱۳۸۵). «کاربرد گل باد، گل طوفان، و گل ماسه در تحلیل فرسایش بادی و تعیین جهت حرکت ماسه‌های روان (مطالعه موردی: حوزه دشت یزد - اردکان)»، منابع طبیعی ایران، د ۵۹، ش ۳، صص ۵۳۳ - ۵۴۱.
- اشرفی، خ.، پورمطلق، م.، شفیع اصلمند، ع.ر. (۱۳۹۲). «بررسی مسیرهای طوفان‌های گردوغبار بر روی ایران با به‌کارگیری مدل‌سازی عددی و تصاویر ماهواره‌ای»، محیط زیست، ش ۵۶، صص ۳ - ۱۲.
- چاوک، ج. (۱۳۹۵). «ارزیابی زمانی - مکانی منشأهای طوفان‌های گردوغبار (مطالعه موردی: شهر تهران)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: مظاهر معین‌الدینی، دانشگاه تهران، کرج.
- حیدریان، پ.، اژدری، ع.، جودکی، م.، درویشی خاتونی، ج.، شهبازی، ر. (۱۳۹۶). «شناسایی منشأهای داخلی طوفان‌های گردوغبار با استفاده از سنجش از دور، GIS، و زمین‌شناسی (مطالعه موردی: استان خوزستان)»، علوم زمین، س ۲۷، ش ۱۰۵، صص ۳۳ - ۴۶.
- خسروشاهی، م.، محمودی، ف.، کاشکی، م.ت. (۱۳۹۰). «محدوده‌های بیابانی ایران با تأکید بر نقش عوامل زمین‌شناختی مؤثر در تشکیل آن‌ها»، علوم زمین، س ۲۰، ش ۸۰، صص ۱۵ - ۲۲.
- راستی، ا. (۱۳۹۵). «بررسی تأثیر معادن شن و ماسه و مکان‌های دفع زباله‌های ساختمانی بر کیفیت هوای شهر تهران»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: مظاهر معین‌الدینی، دانشگاه تهران، کرج.
- رحمانی، ف.، موقری، ع.ر.، موقری، م. (۱۳۹۴). «تحلیل ماهواره‌ای - سینوپتیک طوفان گردوغبار فراگیر بهمن ۱۳۹۳ با استفاده از مدل HYSPLIT و شاخص عمق نوری هواویز (AOD)»، کنفرانس بین‌المللی گردوغبار، د ۱، اهواز.
- رئوفی‌فرد، م. (۱۳۹۴). «آنالیز پدیده گردوغبار در استان قم»، کنفرانس بین‌المللی گردوغبار، د ۱، دانشگاه شهید چمران اهواز، صص ۶۶۰ - ۶۶۵.
- شفیع‌پورمطلق، م.، اصلمند، ع.، اشرفی، خ. (۱۳۹۰). «بررسی علل و عوامل وقوع طوفان گردوغبار و مدل‌سازی این پدیده با استفاده از نرم‌افزار HYSPLIT»، همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، د ۵.
- شفیعی‌زاده، م. و مرادی، ح. (۱۳۹۰). «بررسی پدیده گردوغبار در استان خوزستان و عوامل مؤثر بر آن»، کنفرانس ملی خشک‌سالی و تغییر اقلیم، د ۱، کرج، صص ۵۳۴ - ۵۴۱.
- شهبازی، ر. (۱۳۹۴). منشأیابی و اولویت‌بندی کانون‌های ریزگرد در ایران و کشورهای هم‌جوار جهت برنامه‌آجرائی مهار، وزارت صنعت و معدن و تجارت، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، انتشارات ساعد.
- صحرائی، ج.، بهرامی، م.، محمدی، ن. (۱۳۹۵). «تحلیل آماری - همدیدی و ردیابی طوفان گردوغبار با مدل HYSPLIT در استان کرمانشاه»، همایش مقابله با ریزگردها و آلودگی هوا، تهران.
- فیض نیا، س. و زارع خوش‌اقبال، م. (۱۳۸۲). «بررسی حساسیت سازندهای زمین‌شناسی نسبت به فرسایش و تولید رسوب در حوزه

آبخیز لتیان»، منابع طبیعی ایران، ج ۵۶، ش ۴، صص ۳۶۵ - ۳۸۱.

گیوه‌چی، ر. (۱۳۹۰). «تعیین منابع صحرایی طوفان‌های گردوغبار مختلف و سهم هر کدام در غلظت PM10 در تهران»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر ارحامی، دانشگاه صنعتی شریف، گروه عمران، گرایش محیط زیست.

محمدزاده، ک. و سلمانی، س. (۱۳۹۷). «آشکارسازی پدیده گردوغبار با استفاده از تکنیک‌های دورسنجی (مطالعه موردی: غرب ایران)»، کنفرانس عمران، معماری، و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، تبریز.

محمدی مرادیان، ج. و حسین‌زاده، س.ر. (۱۳۹۴). «پایش ماهواره‌ای و تحلیل هم‌دید پدیده گردوغبار در کلان‌شهر مشهد طی دوره آماری ۲۰۰۹ - ۲۰۱۳»، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ش ۱۴، صص ۳۵ - ۵۷.

نژادکورکی، ف. و فصاحت، م. (۱۳۹۰). «بررسی کاربرد تصاویر ماهواره‌ای در ردیابی مسیر حرکت ریزگردها»، چهاردهمین همایش ملی بهداشت محیط، یزد، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد.

- Ahmadi, H. (2008). "Applied geomorphology (wind erosion)", Tehran University Press, Third edition, 706 pp.
- Ahmadi, H., Mahroz Moghanlo, K., Feyznia, S., Ghyomian, F., (2005). "Quaternary sediments to determine areas susceptible to flood depletion using Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS) (Case Study: Plain Taswaj)", journal of *Iran Range and Desert Research*, No. 4, pp. 437-467.
- Arzani, N. (2012). "Catchment Lithology as a major control on alluvial megafan development, Kohrud Mountain range, central Iran". *Journal of Earth Surface processes and Landforms*. Vol. 37, No. 7, pp. 726-740.
- Ashrafi, Kh., Shafie Pormotlagh, M., & Aslmand, A. (2013). "Study of dust storm routes on Iran using numerical modeling and satellite imagery", *Journal of Environmental Science*, No. 56, pp. 3-12.
- Bouwer, H. (1978). *Groundwater Hydrology*, McGraw-Hill Book, New York, pp. 480.
- Cao, H., Amiraslani, F., Liu, J., & Zhou, N. (2015). "Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets". *Science of the Total Environment*, Vol. 502, pp. 224-235.
- Chavok, J. (2016). "Spatial and temporal evaluation of sources of dust storms (Case study: Tehran city)", University of Tehran, Supervisor: Dr. Mazaher Moienaddini, Karaj.
- Draxler, R., Stunder, B., Rolph, G., Stein, A., & Taylor, A. (2009). "HYSPLIT4 user's guide, Version 4.9", pp. 1-231.
- Ekhtesasi, M. R., Ahmadi, H., Khalili, A., Saremi Naieni, M. A., & Rajabi, M. R. (2006). "Application of Golbad, Golvofan and Gemma in the analysis of wind erosion and determination of direction of motion of sand (Case study, Yazd-Ardakan plain)", *Iranian Natural Resources Journal*, Vol. 59, No. 3, pp. 533-541.
- 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.
- Feyznia, s. & Zare khosheghbal, m. (2003). "Investigation of sensitivity of geological formations to erosion and sediment production in Lotyan watershed", *Iranian Natural Resources Journal*, Vol. 56, No. 4, pp. 365-381.
- 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.
- Givechi, R. (2011). "Determination of desorption sources of different dust storms and their contribution to PM10 concentrations in Tehran", Master's thesis, Supervisor: Dr. Arhami, Sharif University of Technology.
- Goudie, A. S. (2009). "Dust storms: recent developments". *Journal of Environmental Management*, 90(1): pp. 89-94.
- Goudie, A. S. & Middleton, N. J. (2006). "Desert dust in the global system", *Springer Science & Business Media*.
- Hartley, A. J., Weissmann, G. S., Nichols, G. J., & Warwick, G. L. (2010). "Large distributive fluvial systems: characteristic, distribution, and controls on development", *Journal of Sedimentary Research*, Vol. 80, No. 2, pp. 167-183.
- Hay, W. W. (1998). "Detrital Sediment Fluxes from Continents to Oceans". *Chem. Geol.* Vol. 145:pp. 287-323.
- Heydarian, P., Ajhdari, A., Jodaki, M., Darvishi Khatini, J., & Shahbazi, R. (2017). "Identifying interior sources of dust storms using remote sensing, GIS and geology (case study: Khuzestan province)", *Journal of Earth Sciences*, Vol. 27, No. 105, pp. 33-46.
- Khosroshahi, M., Mahmodi, F. A., & Kashki, M. T. (2011). "Determination of Desert Areas in Iran on the Bases of Geological Effected Factors", *Journal of Earth Sciences*, Vol. 20, No. 80, pp. 15-22.
- Miller, S. D., Kuciauskas, A. P., Liu, M., Ji, Q., Reid, J. S., Breed, D. W., Walker, A. L., & Mandoos, A. A. (2008). "Haboob dust storms of the southern Arabian Peninsula". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 113, No. 1, pp. 1-26.
- Mohamadimoradian, R. & Hoseinzadeh, J. (2015). "Satellite monitoring and the analysis of dust phenomena in Mashhad metropolitan area during the statistical period of 2009-2013", *Geography Magazine and environmental hazards*, No. 14, pp. 35-57.
- Mohamadzadeh, K. & Salmani, S. (2018). "Detecting Dust with Remote Sensing Techniques Case Study: West of Iran", *Conference on Civil, Architectural and Urban Planning in World Muslim Countries*, Tabriz.
- 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.
- 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.
- Raouffard, M. (2015). "Dust Exposure Analysis in Qom Province", *International Dust Conference*, Ahvaz, No. 1, pp. 660-665.
- Rasti, A. (2016). "Investigating the Impact of Sand Mines and Waste Disposal Plots on Air Quality in Tehran", University of Tehran, Supervisor: Dr. Mazaher moienaddini, Karaj.
- Sahraie, J., Bahrami, M., & Mohamadi, N. (2016). "Statistical analysis-Dust storm tracking with HYSPLIT model in Kermanshah province", *Copenhagen Conference and Air Pollution*, Tehran.
- Shafie Pormotlagh, M., Aslmand, A. R., & Ashrafi, Kh. (2011). "Investigating the causes and factors of the dust storm and modeling this phenomenon using HYSPLIT software", *National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering*, Tehran, Vol. 5.
- Shafiezadeh, M. & Moradi, H. (2011). "Investigation of Dust Dust in Khuzestan Province and its Related Factors", *National Conference on Drought and Climate Change*, Karaj, Vol. 1, pp. 534-541.
- Shahbazi, R. (2015). "Prioritization and Prioritization of Reindeer Centers in Iran and the Neighboring Countries for the Implementation Program of Inhibition", Ministry of Industry and Mines and Trade, Geological Survey of Iran, Saed Publications, Nos. 1000.
- 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.
- Teather, K., Hogan, N., Critchley, K., Gibson, M., Craig, S., & Hill, J. (2013). "Examining the links between air quality, climate change and respiratory health in Qatar". Avicenna.
- Tsolmon, R., Ochirkhuyag, L., & Sternberg, T. (2008). "Monitoring the source of trans-national dust storms in north east Asia". *International Journal of Digital Earth* 1(1): pp. 119-129.
- Vedantham, R., Norris, G., & Duvall, R. (2014). "Receptor and hybrid modeling tools. Wiley StatsRef: Statistics Reference Online".
- Yassin, M. F., Almutairi, S. K., & Al-Hemoud, A. (2018). "Dust storms backward Trajectories' and source identification over Kuwait". *Atmospheric Research*, 212, pp. 158-171.