

ردیابی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران

دکتر قاسم عزیزی دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران،

مرتضی میری* دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

سید امید نبوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

چکیده

غرب ایران هر ساله به طور مکرر تحت تأثیر پدیده گرد و غبار قرار می گیرد. این پدیده در سال های اخیر جنبه های مختلفی از زندگی مردم را در این منطقه متأثر ساخته است. هدف این تحقیق شناسایی منشأ گرد و غبارهای وارد شده به نیمه غربی ایران و ردیابی مسیر حرکت آنها می باشد. روش تحقیق ترکیبی از بررسی های مدلی و سنجش از دوری می باشد. داده های مورد استفاده دوره زمانی ۳۰ ساله از ۱۹۷۹-۲۰۰۸ را پوشش می دهد و شامل: داده های ساعتی گرد و غبار ایستگاه های سینوپتیک (۸ نوبت در شبانه روز)، دمای درخشایی طول موج های ۱۱ و ۱۲ میکرومتر برای بارزسازی گرد و غبار در تصاویر MODIS، و داده های GDAS (امانه یکپارچه سازی داده های جهانی)، برای ردیابی مسیر ذرات در محیط مدل HYSPLIT می باشند. نتایج تحقیق نشان می دهد که ایستگاه های دزفول و بوشهر به عنوان دو مرکز بحرانی گرد و غبار در نیمه غربی ایران هستند. فصل بهار بیشترین رخداد گرد و غبار را دارد. ماه های ژوئیه، مه و ژوئن بیشترین و ماه دسامبر کمترین رخداد را دارند. در طول شبانه روز نیز بیشترین رخداد گرد و غبار بین ساعت های ۹ صبح تا ۶ بعدازظهر ثبت شده است. منطقه مرزی بین سوریه و عراق، غرب و جنوب غرب عراق به ترتیب دو کانون اصلی گرد و غبار برای منطقه مورد مطالعه هستند. همچنین در موارد محدودی منطقه ی شرق و شمال شرق عربستان نیز یکی دیگر از کانون های گردوغبار شناسایی شد. نتایج حاصل از ردیابی نشان می دهد که دو مسیر اصلی برای انتقال گرد و غبار به منطقه مورد مطالعه قابل تشخیص است، ۱- مسیر شمال غربی - جنوب شرقی ۲- مسیر غربی - شرقی و در موارد محدودی مسیر شمالی - جنوبی است. بر اساس نتایج به دست آمده از پردازش تصاویر و خروجی های مدل منطقه ی مرزی بین سوریه و عراق و مسیر شمال غرب - جنوب شرق به ترتیب منشأ و مسیر اصلی ورود گرد و غبار برای نیمه غربی ایران محسوب می شوند.

واژگان کلیدی

گرد و غبار، ردیابی، MODIS، HYSPLIT

۱ - مقدمه

در کنار حوادث طبیعی از قبیل زلزله، آتشفشان، سیل، خشک‌سالی و توفان‌ها که از مهم‌ترین پدیده‌های آسیب‌رسان به جوامع انسانی و موجودات زنده و محیط طبیعی به شمار می‌روند و خسارات جبران‌ناپذیری از قبیل مرگ‌ومیر، نابودی سکونت‌گاه‌ها، از بین بردن محیط زندگی و... را به بار می‌آورند. پدیده گرد و غبار نیز در جای خود باعث آسیب‌رسانی، مخصوصاً به محیط‌های شهری، مزارع و تأسیسات مختلف می‌گردد. این پدیده در بسیاری از مناطق جهان رخ می‌دهد، ولی آمار نشان می‌دهد که فراوانی رخداد آن‌ها در مناطق خشک و نیمه خشک به مراتب بیش‌تر است (عباسی و همکاران، ۱۳۷۸، ۴۸). گرد و غبار به‌عنوان پدیده‌ی بارز در مناطق بیابانی، سبب اختلال در فعالیت‌های انسانی، کشاورزی، زیرساخت‌های اجتماعی، حمل و نقل و صنایع می‌گردد. هم‌چنین حجم فراوان ذرات حمل شده به جو، بیلان انرژی را تحت تاثیر قرار می‌دهد که متعاقب آن شرایط اقلیمی نواحی را نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Takemi and Seino, ۲۰۰۵, ۱). یکی از مهم‌ترین پیامدهای زیست محیطی رخداد گرد و غبار در جو، اثر عمده آن بر اقلیم است. گرد و غبار می‌تواند بر روی درجه‌ی حرارت، جذب و پخش تابش خورشید با تغییر در تابش موج کوتاه ارسالی به سطح زمین و تابش موج بلند از زمین اثر بگذارد. با این حال توازن بین این دو گرایش که گرد و غبار باعث گرم شدن و یا سرد شدن می‌شود به متغیرهای زیادی از جمله اندازه ذرات گرد و غبار و ترکیبات شیمیایی آن‌ها وابسته است (Goudie and Middleton, ۲۰۰۱, ۱۸۰). در سال‌های اخیر شناسایی مناطق منبع گرد و غبار در تحقیقات بی‌شماری مورد توجه محققان قرار گرفته است و نواحی مختلفی را در سراسر جهان به‌عنوان منابع اصلی تولید گرد و غبار معرفی کرده‌اند. کشور ایران و به‌ویژه منطقه غرب و جنوب غرب ایران به‌طور متناوب با پدیده گرد و غبار و مشکلات آن مواجه است. در غرب ایران مناطق بیابانی هم‌چون بیابان‌های جنوب عراق، عربستان سعودی و در فاصله‌ی دورتر سوریه و شمال آفریقا قرار دارد. موقعیت جغرافیایی نیمه غربی ایران و مجاورت آن با این بیابان‌ها باعث رخداد مکرر پدیده گرد و غبار با شدت‌های متفاوت در طول سال می‌شود. به‌طوری‌که برنامه محیط زیست سازمان ملل (UNEP) در گزارشی وقوع خشک‌سالی در منطقه جنوب غرب ایران و کشورهای همسایه هم‌چون عراق را با کاهش رطوبت سطحی و زیر سطحی و هم‌چنین از بین رفتن پوشش‌های گیاهی و توسعه پهنه‌های رسوبی و ریزدانه در این مناطق را مهم‌ترین علل تشدید پدیده گرد و غبار دانست. هم‌چنین عوامل انسانی هم‌چون احداث سدهای عظیم بر روی رودهای منتهی به حوضه‌ی آبریز بین‌النهرین (عراق) توسط کشورهای منطقه از دیگر عوامل تأثیرگذار بر این واقعه است. ریزگردها با ورود به جریان‌های عمومی جو به غرب ایران وارد شده و در سال‌های اخیر با عبور از ارتفاعات زاگرس گاهی تا مرکز کشور جا به جا گردیده‌اند. با توجه به اهمیت این پدیده و مشکلاتی که با حضور آن در مناطق مختلف ایجاد می‌شود و از طرف دیگر گسترش وسیع مکانی این پدیده در سال‌های اخیر در بخش‌های غربی و شمالی کشور ضرورت انجام تحقیق پیش از پیش احساس می‌شود. تجزیه و تحلیل داده‌های آماری طولانی مدت، شناخت مناطق منشأ و مسیرهای ورودی گرد و غبار در شناسایی هر چه بیش‌تر این پدیده و پیش‌بینی زمان وقوع آن در برنامه‌ریزی‌های توسعه منطقه‌ای و ناحیه‌ای می‌تواند از اهمیت زیادی در کاهش هزینه‌ها و ایجاد آمادگی روانی و فیزیکی در مقابله با اثرات آن برخوردار باشد.

و یهونگ و همکاران (۲۰۰۱)، توفان‌های گرد و غبار در چین را با استفاده از نقشه‌های هوا در ترازهای ۸۵۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مورد بررسی قرار دادند و گرمایش زمین در بیابان مغولستان و سرمایش زمین در شمال

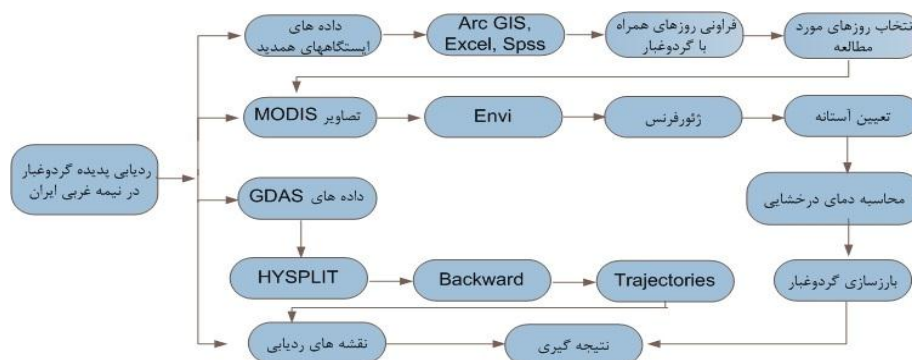
چین را به عنوان عامل موثر در شکل‌گیری گرد و غبارهای شمال چین بیان کردند. چان و همکاران (۲۰۰۱) صعود گرد و غبار به لایه‌های بالایی جو در کره جنوبی را به وزش شدید باد ناشی از سامانه جبهه سرد با شیب فشار قوی در سطح زمین ارتباط داده‌اند و اشاره می‌کنند که ناپایداری کژفشاری در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال از شرایط اساسی برای ایجاد گرد و غبار است. ناساگ دورجا و همکاران (۲۰۰۳)، توفان‌های گرد و غبار مغولستان را با استفاده از داده‌های ۴۹ ایستگاه هواشناسی در طول دوره‌ی آماری ۱۹۹۹-۱۹۳۷ تجزیه و تحلیل کردند. نتایج بررسی‌های ایشان نشان داد در مناطق کوهستانی چون آلتای (Altai)، خنتی (Khentei)، خانگایی (Khangai) وقوع توفان‌های گرد و غبار به کم‌تر از ۵ مورد می‌رسد، در حالی که در صحرای گبی و مناطق نیمه بیابانی ۳۷-۲۰ توفان در سال رخداد دارد. میلر (۲۰۰۳) برای بارزسازی گرد و غبار روی آب‌ها و خشکی‌ها از دو الگوریتم متفاوت بهره گرفت، بدین صورت که از ویژگی‌های انعکاسی محدوده‌های طیفی ۰/۴۶ و ۰/۸۵ میکرومتر برای بارزسازی گرد و غبار روی آب و از خصوصیات دمای درخشایی محدوده‌های طیفی ۱۱ و ۱۲ میکرومتر برای مناطق بیابانی بهره گرفت. تاکمی و سینو (۲۰۰۵)، به بررسی توفان‌های گرد و غبار و مسیرهای سیکلونی بر روی مناطق خشک در شرق آسیا در فصل بهار پرداختند. برای انجام این تحقیق از روش‌های آماری، همدیدی و ماهواره‌ای استفاده کردند. در این تحقیق مشخص شد که بادهای قوی در بیابان گبی و مناطق شمال شرق چین باعث وقوع گرد و غبار می‌شوند که فعالیت جلو جبهه و فعالیت هوای سرد قابل توجه است. هارا و همکاران (۲۰۰۶)، تغییرات طولانی مدت گرد و غبارهای آسیا و ارتباط آن را با فاکتورهای اقلیمی طی دوره‌ی ۲۰۰۴-۱۹۷۲ مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روند روزهای گرد و غباری در نواحی بیابانی گبی بین ۱۹۹۷-۱۹۸۰ روند کاهشی داشته و برای سال‌های اخیر ۲۰۰۲-۲۰۰۰ روند افزایشی داشته که در ژاپن بیش‌تر آشکار است. در این تحقیق کاهش روزهای گرد و غباری گبی را در ارتباط با کاهش بادهای قوی در این منطقه دانستند. لیم و همکاران (۲۰۰۶)، در پژوهشی ویژگی‌های گرد و غبار آسیا را در شرق این قاره در فصل بهار طی دوره‌ی ۲۰۰۴-۱۹۹۳، با استفاده از داده‌های ساعتی و براساس شاخص‌های DSI (Dust Storm Index) و NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق نواحی منشأ گرد و غبار به سه قسمت نواحی خشک نیمه‌خشک و کشتزارها تقسیم شده‌اند. ایشان بیان کردند که فراوانی رخداد گرد و غبار در سال‌های اولیه ۱۹۹۷ و ۱۹۹۹ پایین و از سال ۲۰۰۰ به سرعت افزایش یافته و حداکثر وقوع در سال ۲۰۰۲ اتفاق افتاده است. هامیش و آندریو (۲۰۰۸) مسیرهای حمل گرد و غبار از دریاچه ایر استرالیا را با استفاده از مدل HYSPLIT بررسی نمودند و بیان کردند که گرد و غبار این دریاچه تحت تاثیر جریانات جوی در طی یک مدت زمان کوتاه قادر است هزاران کیلومتر از قاره استرالیا را تحت تاثیر قرار دهد. کیم (۲۰۰۸)، در مطالعه‌ای مسیرهای انتقال و نواحی منشأ گرد و غبار آسیایی مؤثر بر کره جنوبی را در طول یک دوره ۴۰ ساله (۲۰۰۴-۱۹۶۵)، در ارتباط با تغییرات اقلیمی بررسی نمود. در این تحقیق با استفاده از داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های همدید، و تصاویر ماهواره‌ای MODIS، ۸۷٪ از رخداد‌های گرد و غبار در فصل بهار به دست آمد که از سال ۱۹۸۰ روند افزایشی داشته است. در این تحقیق بیان شده است که گرد و غبار طی سه سال ۲۰۰۲-۲۰۰۰ روند افزایشی شدید داشته است و این امر می‌تواند نه تنها نتیجه جابه‌جایی به سمت شرق در نواحی منشأ، بلکه می‌تواند نتیجه‌ی تغییر الگوهای انتقال سطوح بالایی جو باشد. مغربی و همکاران (۲۰۱۱)، با استفاده از پارامترهای هواشناسی و ماهواره‌ای به بررسی طوفان شدید گرد و غبار در ماه مارس بر

روی عربستان سعودی پرداختند در این تحقیق بیان شد فشار هوا و رطوبت نسبی در روز وقوع گرد و غبار نسبت به روز قبل آن افزایش و میزان دید و دما کاهش پیدا کرده است (Maghrabi et al, ۲۰۱۱). کریستوفر و جونز (۲۰۱۱)، ویژگی‌های مکانی و زمانی گرد و غبار در صحرا را با استفاده از ارزیابی‌های ماهواره‌ای برای یک دوره‌ی شش ساله (۲۰۰۶-۲۰۰۰) در دو منطقه Capo و Paguera مورد مطالعه قرار دادند. وانگ و همکاران (۲۱۱)، با استفاده از مدل HYSPLIT توفان‌های شن و گرد و غبار سال ۲۰۰۸ را بررسی کردند و چهار منطقه آفریقای شمالی، خاورمیانه، مغولستان و شمال غرب چین را با فراوانی بالای رخداد گرد و غبار بیان کردند. ایرانمنش و همکاران (۱۳۸۴)، مناطق برداشت ذرات گرد و غبار و ویژگی‌های انتشار آن‌ها را در توفان‌های منطقه سیستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که قسمت اعظم منابع گرد و غبار برای توفان‌های گرد و غبار در منطقه‌ی سیستان از دریاچه‌ها منشا می‌گیرد. هم‌چنین اراضی کشاورزی منطقه بخش دیگری از ذرات گرد و غبار توفان‌ها را تأمین می‌کنند. ذوالفقاری (۱۳۸۴)، سامانه‌های گرد و غبار در غرب ایران را با نگرش همدیدی در یک دوره‌ی زمانی ۵ ساله بررسی کرد و نتیجه گرفت که پرفشار آזור همراه با سامانه‌های مهاجر بادهای غربی، مهم‌ترین عوامل همدید تأثیرگذار بر سامانه‌های گرد و غبار منطقه به شمار می‌روند. لشکری و کیخسروی (۱۳۸۷)، به تحلیل آماری - همدیدی توفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۳ پرداختند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که توفان‌های گرد و غبار در جنوب استان خراسان رضوی یک پدیده‌ی متداول است به‌طوری‌که از شمال به جنوب بر تعداد آن‌ها افزوده می‌شود و عمده‌ی توفان‌ها در تمام طول سال از ساعت ۱۲ به بعد شکل می‌گیرند که عوامل محلی بیش‌تر در تشدید توفان‌ها و عوامل ترمودینامیکی بیش‌تر در شکل‌گیری و گسترش آن‌ها موثرند. رشنو (۱۳۸۸)، پدیده گرد و غبار را در استان خوزستان به لحاظ آماری و با استفاده از سنجش از دور بررسی و تحلیل کرد و عوامل ایجاد گرد و غبار را در منطقه به دو دسته عوامل انسانی و طبیعی تقسیم‌بندی نمود. وی خشک‌سالی‌های اخیر را یکی از مهم‌ترین دلایل طبیعی افزایش وقوع توفان‌های گرد و غباری ذکر نموده است. هم‌چنین جنگ تحمیلی، کشاورزی، سدسازی و سیاست انتقال آب از مناطق پرآب به مناطق کم‌آب را از دلایل انسانی مؤثر در پدیده گردوغبار ذکر می‌کند. محمدی‌ها و همکاران (۱۳۸۹) نحوه شکل‌گیری توفان گرد و غبار را بصورت موردی با استفاده از تصاویر سنجننده MODIS مطالعه کردند. آن‌ها بیان کردند که در نمونه‌ی مورد مطالعه گرد و غبارهای وارد شده به منطقه از بیابان‌های عراق سرچشمه گرفته است. خسروی (۱۳۸۹)، توزیع عمودی گرد و غبار ناشی از طوفان در خاورمیانه را با استفاده از مدل NAAPS (Navy Aerosol Analysis and Prediction System)، روی سیستان ایران در دوره زمانی (۲۰۰۳-۲۰۰۵) مورد مطالعه قرار داد. مطالعه نشان داد محیط طبیعی دشت سیستان به همراه استقرار الگوهای سینوپتیکی ویژه در دوره تسلط بادهای ۱۲۰ روزه شرایط مناسبی برای ایجاد طوفان‌های گردوغباری فراهم می‌نمایند. میری (۱۳۹۰)، پدیده‌ی گرد و غبار در نیمه‌ی غربی ایران را با از منظر آماری- همدیدی و سنجش از دوری مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق سعی بر این است که با تجزیه و تحلیل داده‌های آماری طولانی مدت و شناسایی روزهای همراه با گرد و غبار، منشأ گرد و غبارهای وارد شده به نیمه‌ی غربی ایران و مسیر حرکت آن‌ها شناسایی شود.

۲- داده‌ها و روش شناسی

در این تحقیق از روش‌های ترکیبی آماری-همدید و سنجش از دوری استفاده شد (شکل ۱). ابتدا داده‌های آماری گرد و غبار بصورت روزانه طی ۸ دیده‌بانی ساعتی برای دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۷۹-۲۰۰۸) از سازمان هواشناسی اخذ شد و با استفاده از روش‌های آماری پردازش و تحلیل شدند و نمونه‌های مورد مطالعه انتخاب گردید. در انتخاب روزهای مورد مطالعه سعی بر این شد نمونه‌های انتخابی در مکان‌های مختلف نیمه غربی ایران اتفاق افتاده باشد و دارای تداوم زمانی سه روز و بیش‌تر، گسترش مکانی ۴ ایستگاه و بیش‌تر همراه با دید پایین‌تر از ۱۰۰۰ متر باشند. با لحاظ این شرایط در نهایت دوازده نمونه پدیده گرد و غبار انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه‌ی نمونه‌های انتخابی بر اساس کد ۰۶ یعنی گرد و غباری (Du) که از خارج ایستگاه به منطقه وارد شده، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

در ادامه با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و روش‌های سنجش از دور گرد و غبار در منطقه‌ی مورد مطالعه آشکارسازی گردید، پس از آشکارسازی گرد و غبار و شناسایی مناطق منشأ، با استفاده از مدل HYSPLIT ردیابی مسیر جابه‌جایی ذرات گرد و غبار به نیمه غربی ایران مشخص گردید. در نهایت، ترکیب یافته‌های سنجش از دور و بررسی‌های مدلی، جهت تحلیل شرایط و نتیجه‌گیری استفاده شدند.



شکل ۱: روند نمای کلی ردیابی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران

با انتخاب روزهای مورد مطالعه، شناسایی مناطق منشأ گرد و غبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و بارسازی تصاویر با استفاده از نرم افزار ENVI۴.۵ با تکیه بر ویژگی‌های دمای درخشایی انجام شد و پدیده گرد و غبار در منطقه‌ی مورد مطالعه استخراج گردید. بدین منظور پس از تصحیح هندسی تصاویر، مقادیر رادیانس تصاویر از طریق عکس تابع پلانک به دمای درخشایی تبدیل شدند (رابطه ۱).

$$T = \frac{hc}{\lambda_i k \ln \left(\frac{\gamma hc^2}{L(\lambda_i) \lambda_i^5} + 1 \right)} \quad \text{رابطه ۱}$$

که T، دمای درخشایی

h، ضریب ثابت پلانک برابر با JS ۳۴-۱۰×۶.۶۲۶۵

c، سرعت نور برابر با 2.998×10^8 m/s

k ، ثابت بولتزمن برابر با $۱۰^{-۲۳} \text{J/K} \times ۱.۳۸۰۶۵۵۸$

$L(\lambda_i)$ ، مقادیر رادیانس باند i و

λ_i طول موج مرکزی باند i بر حسب میکرومتر (μm).

تفاوت دمای درخشایی گرد و غبار در طول موج‌های ۱۱ میکرومتر (باند ۳۱ سنجنده MODIS) و ۱۲ میکرومتر (باند ۳۲ سنجنده MODIS) امکان استخراج گرد و غبار را فراهم می‌نماید، بدین صورت که مقادیر کوچک‌تر از صفر ($\Delta BT_{31,32} < 0$) بیانگر مناطق دارای گرد و غبار است. برای جداسازی اراضی بیابان و ابر از پدیده گرد و غبار به ترتیب، از شاخص MNDVI و آستانه دمایی ۲۹۰ درجه کلوین در باند ۳۲ استفاده گردید. شاخص MNDVI از طریق رابطه شماره ۲ حاصل شد.

$$MNDVI = (NDVI)^2 / (B_2)^2 \quad \text{رابطه ۲}$$

که؛

$$NDVI = (B_2 - B_1) / (B_2 + B_1) \quad \text{رابطه ۳}$$

و B_2 و B_1 به ترتیب باندهای شماره ۱ و ۲ در سنجنده‌ی MODIS هستند (San-chao et al, ۲۰۰۷).

در نهایت برای ردیابی مسیر ورود گردوغبار در روزهای همراه با این پدیده و قبل از آن با مراجعه به تارنمای NOAA داده‌های روزانه تهیه شده توسط این سازمان با فرمت BIN دریافت و با استفاده از مدل HYSPLIT و نرم افزارهای جانبی مورد استفاده برای خروجی این مدل نقشه‌های مورد نیاز تا ۲۴ ساعت قبل از اولین ورود گرد و غبار به منطقه مورد مطالعه تهیه و مورد تحلیل قرار گرفتند. برای نمونه‌های سال ۲۰۰۶ و بالاتر از آن از داده‌های GDAS (سامانه یکپارچه‌سازی داده‌های جهانی)، و برای نمونه‌های قبل از سال ۲۰۰۶ با توجه نبود داده‌های GDAS برای این بازه‌ی زمانی از داده‌های reanalysis global data استفاده شده است (میری، ۱۳۹۰، ۳۶). در این تحقیق از روش پسگرد (Backward) با فاصله‌ی زمانی ۱۲ ساعته استفاده شده است. ارتفاع اولیه برای ردیابی مسیر ذرات گرد و غبار ۸۰۰ متر بالاتر از سطح ایستگاه در نظر گرفته شد.

جدول شماره (۱): رخدادهای گرد و غبار مورد مطالعه در نیمه غربی ایران

تاریخ ثبت گرد و غبار	
۲۵-۲۷/۳/۲۰۰۳	۷-۱۱/۸/۲۰۰۵
۱۷-۱۹/۵/۲۰۰۷	۱۷-۲۱/۴/۲۰۰۸
۶-۱۰/۶/۲۰۰۸	۱۴-۱۹/۹/۲۰۰۸
۳-۸/۷/۲۰۰۹	۱۹-۲۱/۵/۲۰۱۰
۲۳-۲۵/۶/۲۰۱۰	۱۲-۱۴/۴/۲۰۱۱

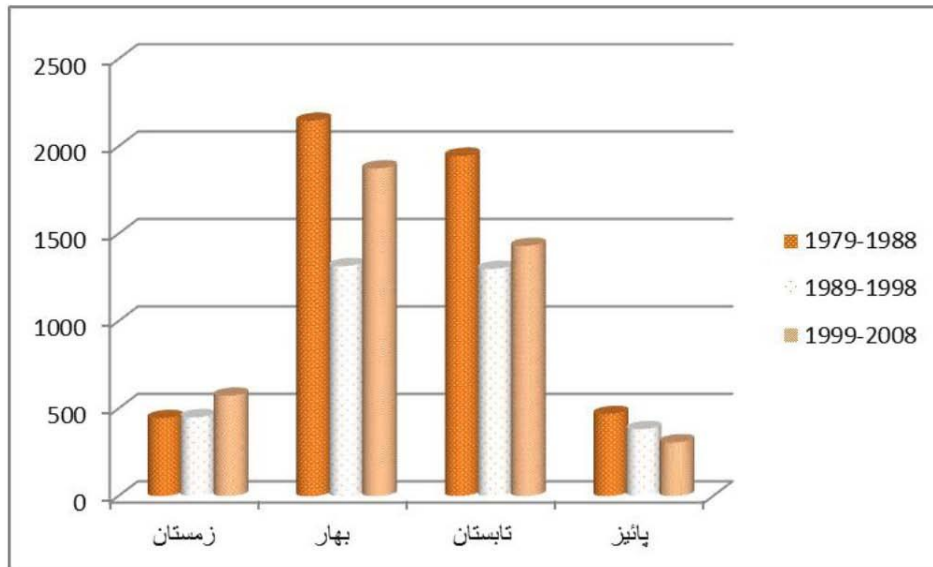
شکل ۱- نقشه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد استفاده

۳- بحث و یافته‌های تحقیق

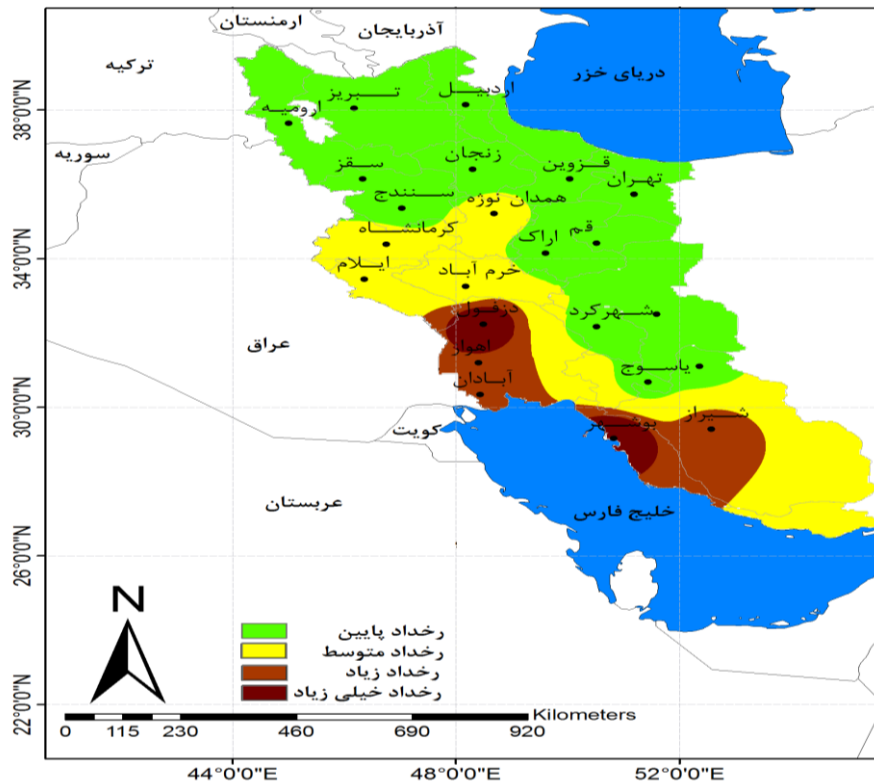
۳-۱ واکاوی آماری پدیده گرد و غبار در منطقه‌ی مورد مطالعه

استخراج فروانی سالیانه رخداد روزهای همراه با پدیده‌ی گرد و غبار در ۲۳ ایستگاه مورد مطالعه در طی دوره‌ی آماری سی ساله (۱۹۷۹-۲۰۰۸)، نشان داد که مجموعاً ۱۳۲۷۱ روز همراه با گرد و غبار برای نیمه‌ی غربی ایران گزارش شده است. بررسی داده‌های تمامی ایستگاه‌ها نشان داد که ایستگاه دزفول با ۲۳۴۵ روز بیش‌ترین روزهای همراه با پدیده گرد و غبار در و کم‌ترین وقوع نیز در ایستگاه اردبیل با ۲۱ روز در طی دوره‌ی مورد مطالعه اتفاق افتاده است. از نتایج به دست آمده نقشه فروانی سالیانه رخداد گرد و غبار برای نیمه غربی ایران (شکل شماره ۳) ایستگاه‌های بوشهر و دزفول، در منطقه دارای بیش‌ترین رخداد گرد و غبار هستند. جدایی این دو منطقه نسبت به هم می‌تواند نشانه تفاوت در منشأ و زمان ورود گرد و غبار آن‌ها باشد. در ادامه رخداد فصلی گرد و غبار مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی روند فصلی روزهای همراه با گرد و غبار در گذشته و سال‌های اخیر سه دوره زمانی ۱۰ ساله بر اساس طول دوره مطالعه انتخاب گردید. نتایج نشان داد که در اکثر ایستگاه‌های نیمه‌غربی ایران رخداد روزهای همراه با گرد و غبار در دوره ۱۰ ساله اول مطالعه یعنی ۱۹۷۹-۱۹۸۸ از فروانی بیش‌تری برخوردار است، به‌طوری‌که در این دوره در چهار فصل سال رخداد گرد و غبار نسبت به سایر دوره‌های بیش‌تر است. هم‌چنین دوره‌ی ۱۰ ساله‌ی دوم نسبت به دوره‌ی اول و دوره‌ی سوم از فروانی کم‌تری برخوردار بوده، به این ترتیب که در منطقه ابتدا یک دوره‌ی ۱۰ ساله با فراوانی بالا در ادامه از فراوانی روزهای همراه با گرد و غبار کاسته شده و در ۱۰ سال اخیر رخداد این پدیده رو به افزایش است. می‌توان گفت دوره‌ی دوم، یعنی بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۸، یک دوره‌ی کاهشی بوده، چرا که پس از این دوره روند روزهای همراه با گرد و غبار در نیمه غربی ایران افزایش پیدا کرده و در برخی از ایستگاه بیش‌ترین روزهای همراه با گرد و غبار در چهار فصل سال در این دوره (۱۹۹۹-۲۰۰۸) ثبت شده است (نمودار، ۱). هم‌چنین مشخص گردید که کم‌ترین رخداد در فصل پاییز و بیش‌ترین فراوانی در فصل بهار ثبت شده است، این رخداد در هر سه دوره‌ی ۱۰ ساله مشاهده می‌شود. به‌طور کلی بیش‌ترین رخداد فصلی برای بیش‌تر ایستگاه‌ها در فصل بهار ثبت شده است که مشابه رخداد فصلی کل منطقه است و فصل‌های تابستان، زمستان و پائیز در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند (شکل شماره ۴). هم‌چنین بررسی رخداد ماهانه این پدیده با ۰۶ نشان می‌دهد که بیش‌ترین فراوانی رخداد آن در غرب ایران به ترتیب در ماه‌های ژوئیه، مه و ژوئن اتفاق افتاده است. به‌طوری‌که ۱۷.۶۵ درصد از کل رخداد گرد و غبار در ماه ژوئیه به وقوع پیوسته است و ماه‌های می با ۱۶.۲۹ درصد و ژوئن با ۱۵.۸۰ درصد در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. هم‌چنین ماه دسامبر با ۱.۲۶ و ژانویه با ۱.۵۶ درصد کم‌ترین رخداد ماهانه را دارا هستند. قابل ذکر است که این محاسبات به‌طور میانگین با استفاده از ایستگاه‌های انتخابی برای منطقه‌ی مورد مطالعه بوده و ممکن این

ارقام برای هر ایستگاه متفاوت باشد. همچنین با ارزیابی ساعتی رخداد پدیده‌ی گرد و غبار در ایستگاه‌های منتخب، در ۸ دیده‌بانی ساعتی در طول شبانه روز، بیش‌ترین رخداد گرد و غبار بین ساعت‌های ۹ صبح تا ۶ بعدازظهر ثبت شده است. از ساعت ۶ بعدازظهر به بعد از فراوانی آن کاسته شده به‌طوری‌که در اواخر شب و اوایل بامداد به کم‌ترین مقدار رسیده است. کم‌ترین آن مربوط به ساعت ۰ UTC (۳.۵ به وقت محلی) گزارش شده است. به‌طور کلی رخداد گرد و غبار طی ساعات شبانه‌کم‌تر از ساعات روزانه است.

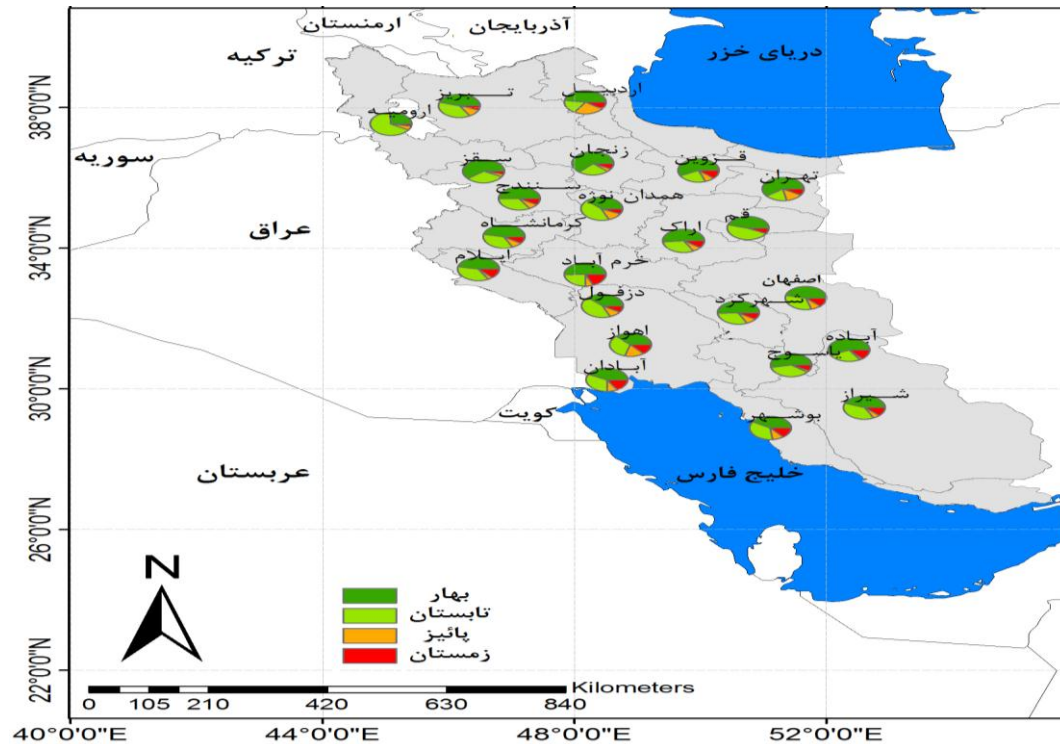


نمودار ۱: توزیع فصلی فراوانی وقوع پدیده گرد و غبار طی سه دوره‌ی زمانی برای نیمه غربی ایران



شکل (۳): توزیع مکانی متوسط فراوانی سالیانه‌ی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران (۱۹۷۹-۲۰۰۸)

منبع: (میری، ۱۳۹۰، ۳۹)



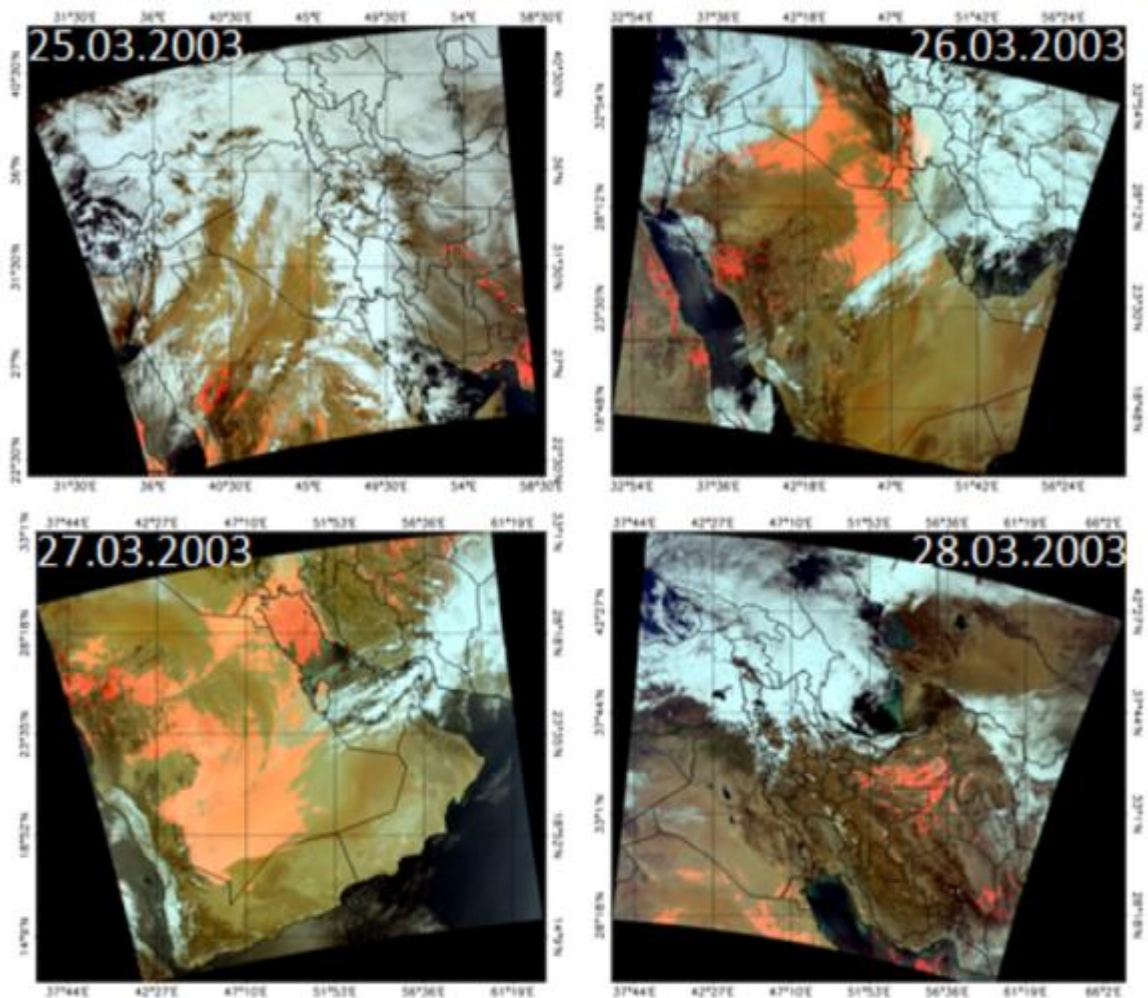
شکل (۴): توزیع فصلی فراوانی وقوع پدیده‌ی گرد و غبار برای هر یک از ایستگاه‌های واقع در نیمه غربی ایران

(۱۹۷۹-۲۰۰۸) منبع: (میری، ۱۳۹۰، ۴۶)

۳-۲ یافته‌های ماهواره‌ای

برای بارزسازی پدیده‌ی گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه همزمان با شکل‌گیری اولین هسته گرد و غبار در نواحی خارج از منطقه‌ی تصاویر ماهواره‌ای از سایت MODIS اخذ گردید و طی مدت زمان حضور این پدیده در منطقه تا خروج آن، تصاویر با استفاده‌ی روابط ذکر شده در بخش روش انجام کار مورد پردازش قرار گرفت و در نهایت پدیده‌ی گرد و غبار روی تصاویر به رنگ قرمز نشان داده شد. در این تحقیق با توجه به محدودیت تعداد صفحات مقاله و هدف اصلی تحقیق که ردیابی گرد و غبار ورودی به منطقه است، تصاویر مربوط به شکل‌گیری اولین هسته گرد و غبار برای تمامی نمونه‌های انتخابی و تکوین پدیده طی روزهای ۲۵ الی ۲۸ مارس ۲۰۰۳ یعنی از اولین روز شکل‌گیری هسته‌ی گرد و غبار در منطقه‌ی منشأ تا از بین رفتن آن در منطقه‌ی مورد مطالعه آورده شده است. شکل شماره‌ی (۵) تصاویر حاصل از بارزسازی گرد و غبار در منطقه‌ی منشأ و ورود آن به منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل در ابتدا هسته‌های اولیه گرد و غبار در غرب عربستان مشاهده می‌شود. با توجه به جهت حرکت ابرها بر روی این تصاویر جهت باد به سمت شرق است که باعث انتقال گرد و غبار به این سمت شده است. در روز ۲۶ مارس ۲۰۰۳ سیکلونی بر روی ترکیه شکل گرفته است که حرکت پادساعت گرد این سیستم باعث انتقال گرد و غبارهای بلند شده از نواحی بیابانی عربستان و عراق به سمت شرق شده است. به طوری که در این روز در جهت حرکت ابرها از شرق عربستان گرد و غبار به نواحی مرزی استان خوزستان و جنوب ایلام نفوذ کرده است. در ادامه با جابه‌جایی این سیکلون به عرض‌های بالاتر، گرد و غبار وارد شده به منطقه‌ی محدود به نواحی جنوبی خوزستان و قسمتی از

بوشهر و خلیج فارس می‌شود. در نهایت با قطع جریان‌های ورودی از منبع تغذیه گرد و غبار این پدیده در روز ۲۸ مارس به پایان رسیده است.

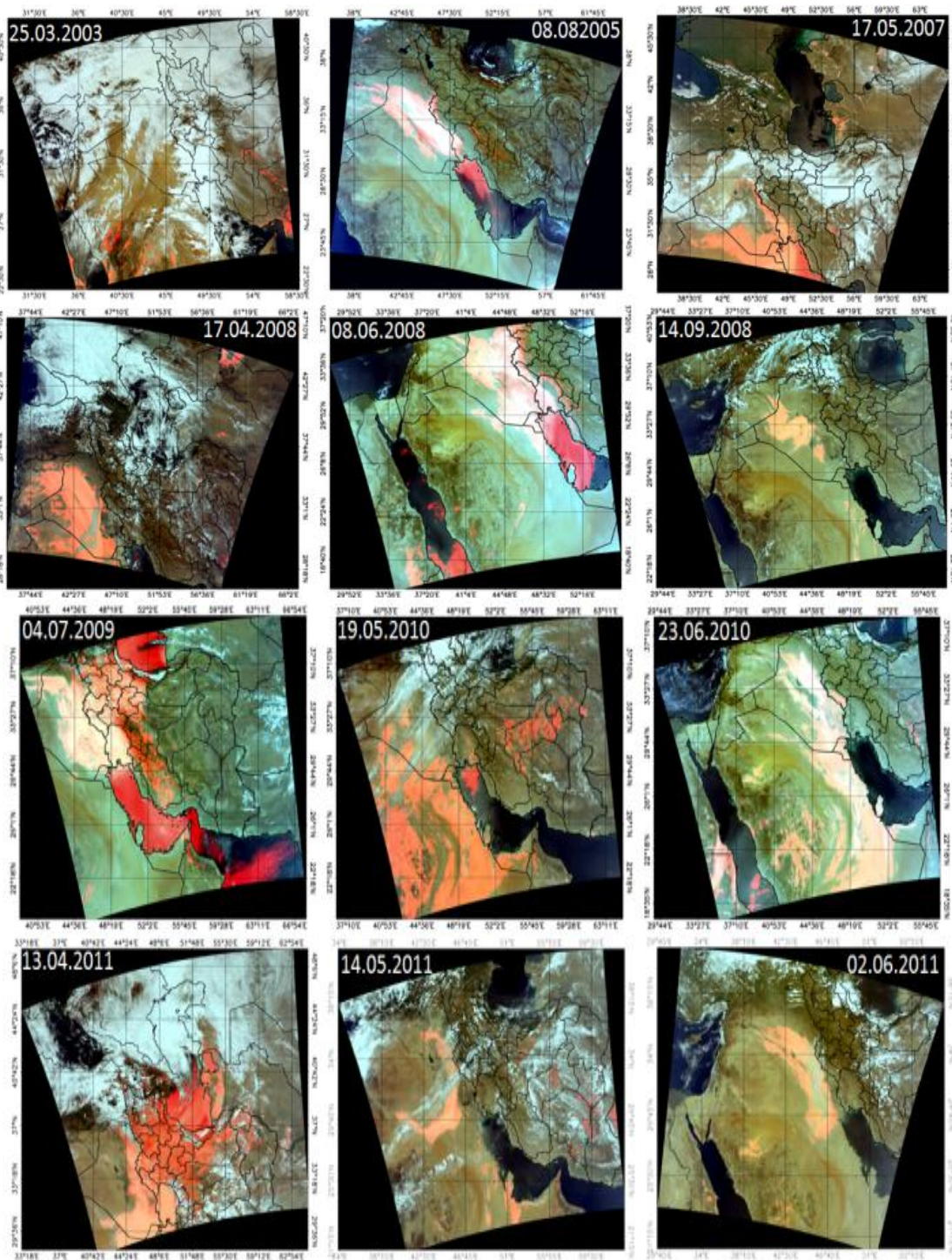


شکل شماره (۵): بارزسازی گرد و غبار از طریق ویژگی‌های دمای درخشایی سنجنده‌ی MODIS

(مورد ۲۵ الی ۲۸ مارس ۲۰۰۳)

در ادامه برای سایر نمونه‌های مورد مطالعه، عملیات بارزسازی بر روی تصاویر انجام شد. بررسی تصاویر نشان می‌دهد با گسترش پدیده گرد و غبار در غرب ایران و برخورد آن با ارتفاعات زاگرس روند حرکت آن تغییر پیدا کرده است، چرا که قبل از برخورد گرد و غبار با ارتفاعات زاگرس از روند غربی- شرقی برخوردار بوده در حالی که با گسترش آن و برخورد با ارتفاعات زاگرس در جهت شمال و جنوب پخش شده است و ارتفاعات زاگرس به‌عنوان یک عامل مؤثر در پراکنش این پدیده عمل کرده است. هم‌چنین گرد و غبار وارد شده به ایران از ۲ کانون اصلی منشأ می‌گیرند. در داخل این دو کانون نقاط متفاوتی به‌عنوان چشمه‌های گرد و غبار قابل بررسی هستند. ۱. اولین مرکز مهم که تقریباً در تمامی رخدادهای این تحقیق مشاهده شده و در سال‌های اخیر به‌عنوان کانونی جدید برای گرد و غبارهای وارد شده به ایران قابل مشاهده است، منطقه‌ی مرزی بین سوریه و عراق است که شرق سوریه و شمال غرب عراق را در برمی‌گیرد. ۲- کانون مهم دیگر گرد و غبار برای ایران منطقه‌ی غرب و جنوب غرب عراق است. بررسی تصاویر نشان می‌دهد که این کانون در

مقایسه با کانون عراق و سوریه نقش کمتری در گرد و غبار وارد شده به منطقه‌ی مورد مطالعه دارد. ولی با این وجود یکی از مراکز مهم فعالیت گرد و غبار برای ایران به شمار می‌رود (شکل ۶).



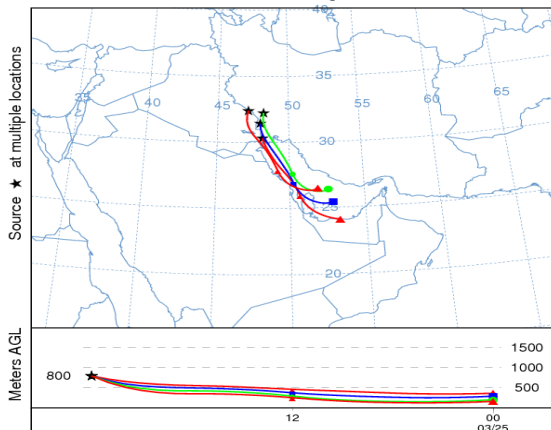
شکل شماره (۵): بارزسازی و تعیین منشأ گرد و غبار ورودی به منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر سنجنده

MODIS منبع: (میری، ۱۳۹۰، ۹۷-۵۶)

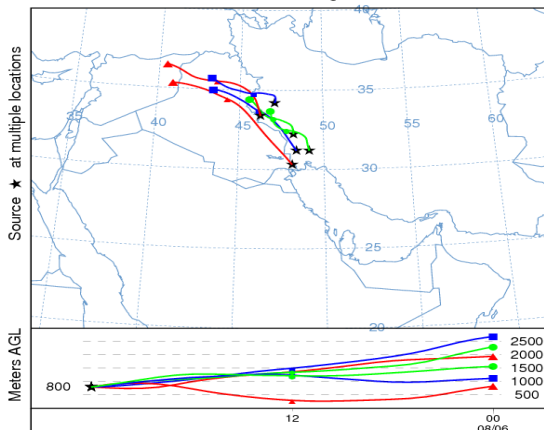
۳-۳ ردیابی مسیر ذرات گرد و غبار

در این تحقیق برای ردیابی مسیر ذرات با استفاده از مدل HYSPLIT از روش پسگرد (Backward) استفاده شده است، به طوری که همزمان با آغاز اولین گرد و غبار در منطقه‌ی مورد مطالعه مسیر باد تا ۲۴ ساعت قبل از آن مورد بررسی قرار گرفته است. در واقع مسیر باد برای روز قبل از وقوع گرد و غبار در ایستگاه‌های درگیر با این پدیده مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در نقشه‌های حاصل از این مدل هر نقطه در روی مسیرهای ختم شده به ایستگاه، که ممکن است براساس خروجی مدل و انتخاب نوع مدل شکل مربع، مثلث یا دایره باشد، نشان‌دهنده‌ی آغاز یک بازه‌ی زمانی ۱۲ ساعته و نقطه‌ی بعدی نشان‌دهنده‌ی خاتمه‌ی آن می‌باشد. بنابراین با توجه به این ردیابی برای ۲۴ ساعت قبل از ورود به ایستگاه انجام شده است در روی هر مسیر دو بازه‌ی زمانی ۱۲ ساعته قابل مشاهده می‌باشد. علامت ستاره در روی خروجی‌های مدل نشان‌دهنده ایستگاه‌های گرد و غبار است که طول و عرض آن‌ها به مدل داده شده است. هم‌چنین مسیر باد رسیده با ایستگاه با رنگ‌های سبز، آبی و قرمز نشان داده شد. ارتفاع نمایش داده شده در پائین هر نقشه که مسیرهای باد رسیده به ایستگاه‌ها از آن منشأ می‌گیرند نشان‌دهنده‌ی ارتفاع مسیر طی شده از سطح زمین است. در این تحقیق ارتفاع ۸۰۰ متر بالاتر از سطح زمین به چند دلیل انتخاب شده است. ۱- با توجه به این‌که ردیابی مسیر ذرات برای یک روز قبل از اولین ورود گرد‌غبار به منطقه که بیش‌تر به مناطق مرزی نیمه غربی نفوذ کرده انجام می‌شود گرد و غبار بیش‌تر در ارتفاعات پایین‌تر جابه‌جا می‌شود. ۲- بررسی مسیر ذرات در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نیز مسیر ردیابی با ارتفاع ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ متری را برای این پدیده تایید می‌کند. ۳- تست آزمون خطا برای ارتفاع‌های مختلف نشان داد که مسیرهای حاصل از ردیابی برای یک روز قبل از ورود گرد و غبار به منطقه در این ارتفاع با گذر از روی هسته‌های گرد و غبار به نیمه‌ی غربی می‌رسند. در این تحقیق ردیابی مسیر ذرات برای تمامی نمونه‌های انتخابی انجام گرفت. بررسی نقشه‌های حاصل از مدل برای نمونه‌های انتخابی نشان می‌دهد که دو مسیر کلی برای انتقال گرد و غبار به منطقه‌ی مورد مطالعه قابل تشخیص است. ۱- مسیر شمال غربی - جنوب شرقی، این مسیر با عبور از روی هسته‌های گرد و غبار شکل گرفته در شمال غرب عراق و شرق سوریه عمل انتقال گرد و غبار به نیمه غربی ایران را انجام می‌دهند، به طوری که این جریانات توانسته‌اند گرد و غبار تا ایستگاه بوشهر و پایین‌تر از آن نیز انتقال دهند. در بیش‌تر رخدادهای گرد و غبار مسیر شمال غربی - جنوب شرقی در خروجی‌های حاصل از مدل مشاهده می‌شود. این مسیر را می‌توان مسیر اصلی پراکنش گرد و غبار به منطقه دانست. هم‌چنین در برخی از رخدادهای نتایج حاصل نشان می‌دهد که مسیر جریان باد در ابتدا جهت غربی - شرقی داشته و با رسیدن به منطقه‌ی عراق و مناطق مرزی ایران تغییر جهت داده و گرد و غبار را تا این مناطق انتقال داده است. هم‌چنین در روی این نقشه‌ها در برخی از ایستگاه شکل‌گیری جریان‌های محلی نیز قابل مشاهده هستند. در واقع این مسیر با مسیر مشاهده شده روی تصاویر ماهواره‌ای که از کانون اولیه یعنی منطقه مرزی بین عراق و سوریه منشأ گرفته بود انطباق دارد. ۲- مسیر دومی که براساس نتایج حاصل از مدل HYSPLIT به دست آمد، مسیر غربی - شرقی است. انتقال گرد و غبار از این مسیر از فراوانی کم‌تری نسبت به مسیر اولیه برخوردار است و بیش‌تر در دوره‌ی سرد قابل مشاهده است. ردیابی مسیر ذرات برای روزهای بعد از اولین ورود گرد و غبار به منطقه نیز انجام شد. تغییر در مسیر جریان‌های رسیده به منطقه و پیرو آن تغییر در مسیر انتقال گرد و غبار به مناطق مختلف نیمه غربی ایران مشاهده شد. در نهایت این که ضعیف شدن جریانات و قطع مسیر تغذیه گرد و غبار ورودی به ایران باعث از بین رفتن این پدیده در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌شود.

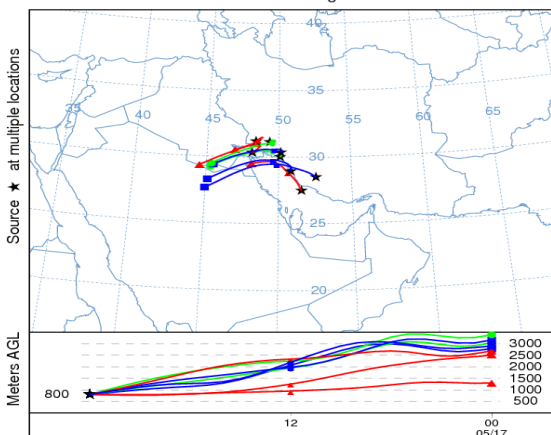
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0000 UTC 26 Mar 03
CDC1 Meteorological Data



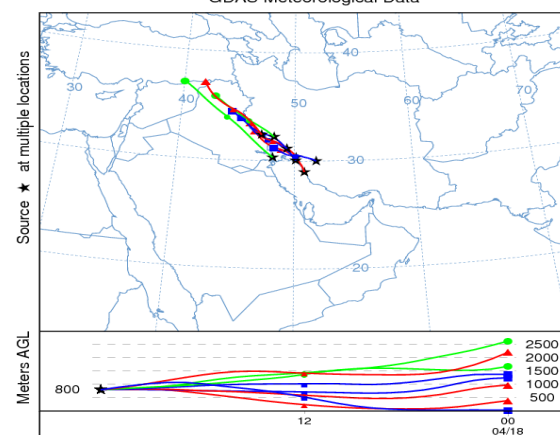
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0000 UTC 07 Aug 05
GDAS Meteorological Data



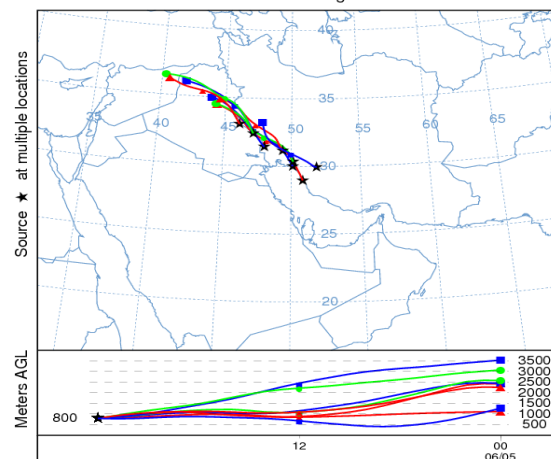
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0000 UTC 18 May 07
GDAS Meteorological Data



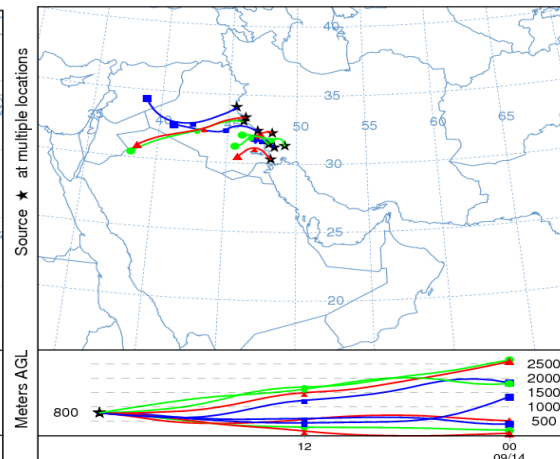
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0000 UTC 19 Apr 08
GDAS Meteorological Data

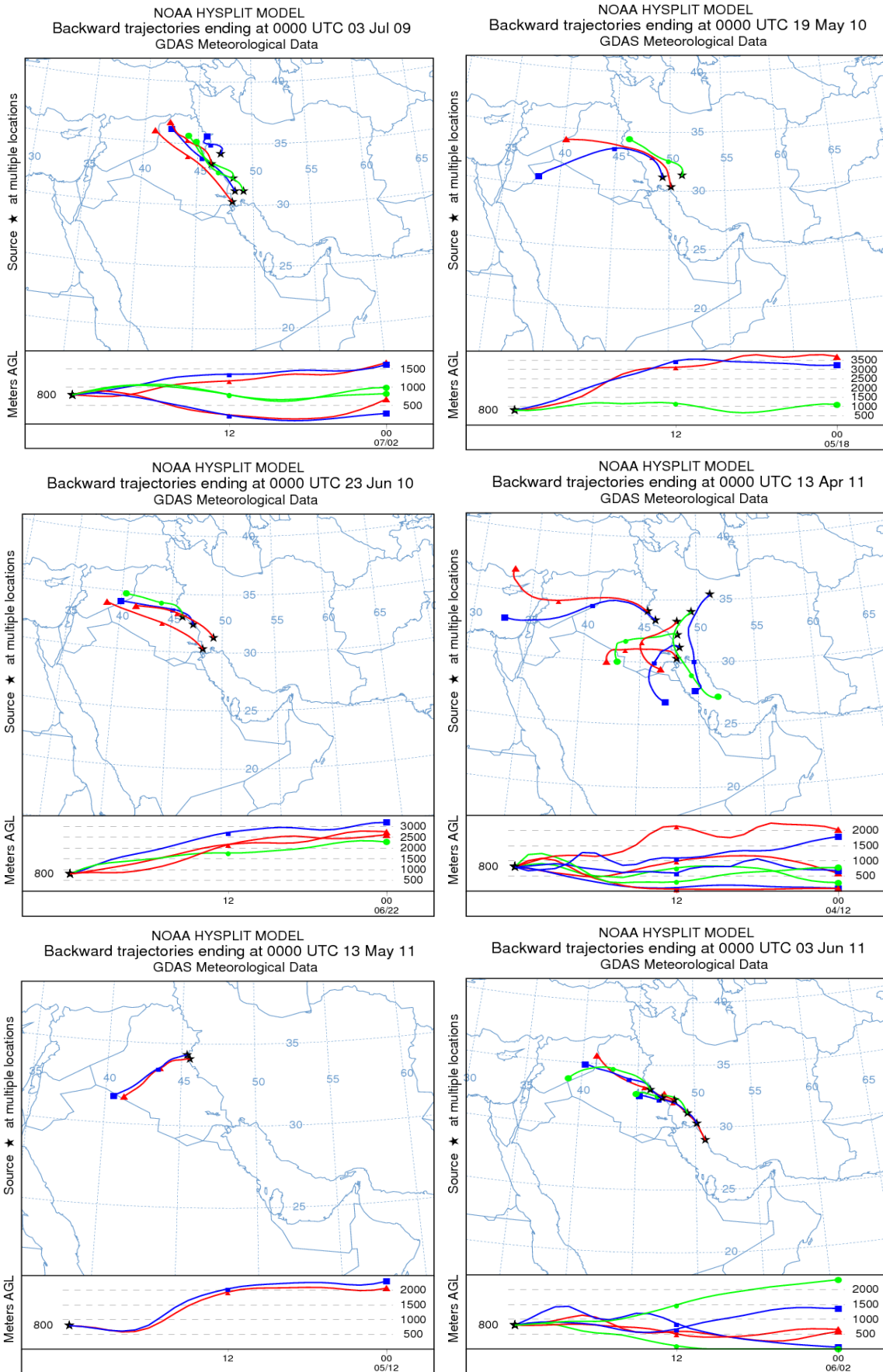


NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0000 UTC 06 Jun 08
GDAS Meteorological Data



NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0000 UTC 15 Sep 08
GDAS Meteorological Data



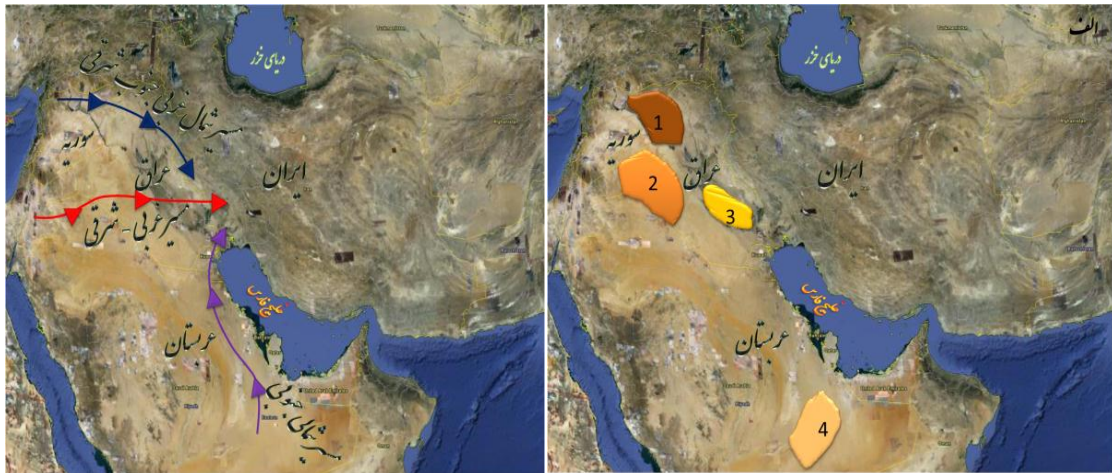


شکل (۷): ردیابی پسگرد مسیر باد با گام زمانی ۱۲ ساعت برای مدت ۲۴ ساعت قبل از ورود اولین گرد و غبار

۴- نتیجه‌گیری

غرب ایران به لحاظ نزدیکی به مناطق منشأ گرد و غبار در غرب آسیا منطقه‌ای مستعد برای رخداد مکرر پدیده‌ی گرد و غبار در طی سال است. براساس فروانی سالیانه‌ی رخداد روزهای همراه با پدیده‌ی گرد و غبار طی دوره‌ی آماری سی ساله ۲۰۰۸ - ۱۹۷۹، مجموعاً ۱۳۲۷۱ روز همراه با گرد و غبار با کد دیده بانی ۰۶ برای نیمه‌ی غربی ایران در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه گزارش شده است. بررسی داده‌های تمامی ایستگاه‌ها نشان داد که بیش‌ترین روزهای همراه با پدیده گرد و غبار بدون محدودیت دید در ایستگاه دزفول با ۲۳۴۵ روز و کم‌ترین وقوع نیز در ایستگاه اردبیل با ۲۱ روز در طی دوره‌ی مورد مطالعه اتفاق افتاده است. در نیمه غربی ایران در ایستگاه‌های غرب میانی و شمالی بیش‌ترین رخداد گرد و غبار در فصل بهار ثبت شده است در حالی که در ایستگاه‌های جنوبی و جنوب غرب منطقه، فصل تابستان بیش‌ترین رخداد گرد و غبار ثبت شده است. فصل‌های زمستان و پائیز در مرحله‌ی بعدی قرار می‌گیرند. مقایسه‌ی رخداد گرد و غبار طی سه دوره‌ی زمانی ۱۰ سال نشان داد که در اکثر ایستگاه‌های نیمه غربی ایران رخداد روزهای همراه با گرد و غبار در دوره‌ی ۱۰ ساله اول مطالعه، یعنی ۱۹۸۸-۱۹۷۹ از فروانی بیش‌تری برخوردار بوده است (نمودار ۱)، به‌طوری‌که در این دوره در چهار فصل سال رخداد گرد و غبار نسبت به سایر دوره‌های بیش‌تر است و بعد از یک افت در دوره‌ی ده ساله دوم در سال‌های اخیر روند افزایشی این پدیده آغاز شده است، با این تفاوت که از شدت و گسترش مکانی بیش‌تری نسبت به گذشته برخوردار است. هم‌چنین ماه‌های ژوئیه، مه و ژوئن بیش‌ترین و ماه دسامبر کم‌ترین رخداد ماهانه گرد و غبار را داشته‌اند. در طول شبانه روز نیز بیش‌ترین رخداد گرد و غبار بین ساعت‌های ۹ صبح تا ۶ بعدازظهر ثبت شده است. بارزسازی پدیده‌ی گرد و غبار برای نمونه‌های مورد مطالعه نشان داد که گرد و غبار وارد شده به ایران از ۲ کانون اصلی منشأ می‌گیرند. ۱- اولین مرکز مهم که تقریباً در تمامی رخداد‌های این تحقیق مشاهده شده، منطقه مرزی بین سوریه و عراق می‌باشد که شرق سوریه و شمال غرب عراق را در بر می‌گیرد. گرد و غبار‌های برخاسته از این کانون بیش‌تر در فصل گرم رخداد دارند. ۲- کانون مهم دیگر گرد و غبار برای ایران منطقه‌ی غرب و جنوب غرب عراق است. هم‌چنین در موارد محدودی منطقه شرق و شمال شرق عربستان نیز به‌عنوان کانون ثانویه در این دوره شناخته شد (شکل ۸، الف). بررسی تصاویر نشان می‌دهد که این کانون در مقایسه‌ی کانون شمال غرب عراق و سوریه، نقش کم‌تری در گرد و غبار وارد شده به منطقه مورد مطالعه دارد، ولی با این وجود یکی از مراکز مهم فعالیت گرد و غبار برای ایران به شمار می‌رود. هم‌چنین نتایج حاصل از مدل برای نمونه‌های انتخابی نشان می‌دهد که دو مسیر کلی برای انتقال گرد و غبار به منطقه‌ی مورد مطالعه قابل تشخیص است. ۱- مسیر شمال غربی - جنوب شرقی، این مسیر با عبور از روی هسته‌های گرد و غبار شکل گرفته در شمال غرب عراق و شرق سوریه عمل انتقال گرد و غبار به نیمه‌ی غربی ایران را انجام می‌دهند. به‌طوری‌که این جریانات توانسته‌اند گرد و غبار تا ایستگاه بوشهر و پایین‌تر از آن نیز انتقال دهند. در بیش‌تر رخداد‌های گرد و غبار مسیر شمال غربی - جنوب شرقی در خروجی‌های حاصل از مدل مشاهده می‌شود (شکل ۸، ب). این مسیر را می‌توان مسیر اصلی پراکنش گرد و غبار به منطقه دانست. در واقع این مسیر با مسیر مشاهده شده روی تصاویر ماهواره‌ای که از کانون اولیه، یعنی منطقه، مرزی بین عراق و سوریه منشأ گرفته بود انطباق دارد. ۲- مسیر دومی که براساس نتایج حاصل از مدل HYSPLIT به دست آمد مسیر غربی- شرقی و در موارد

محدودی مسیر شمالی - جنوبی است. انتقال گرد و غبار از این مسیر از فراوانی کمتری نسبت به مسیر اولیه برخوردار است.



شکل ۸: الف- کانون‌های اصلی گرد و غبار ب- مسیره‌های انتقال گرد و غبار از کانون‌ها برای غرب ایران

منبع: (میری، ۱۳۹۰، ۹۹)

۵- فهرست منابع

۱. ایرانمنش، فاضل، عرب خدری، محمود و مجتبی اکرم (۱۳۸۴)، بررسی مناطق برداشت ذرات گرد و غبار و ویژگی‌های انتشار آن‌ها در طوفان‌های منطقه‌ی سیستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، فصلنامه‌ی پژوهش و سازندگی، شماره ۶۷، صص ۳۳-۲۵.
۲. خسروی، محمود (۱۳۸۹)، بررسی توزیع عمودی گرد و غبار ناشی از طوفان در خاورمیانه با استفاده از مدل NAAPS مورد: سیستان ایران، زاهدان، چهارمین کنگره‌ی بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام.
۳. ذوالفقاری، حسن، عابدزاده، حیدر (۱۳۸۴)، تحلیل سینوپتیک سامانه‌های گرد و غبار در غرب ایران، فصلنامه‌ی جغرافیا و توسعه، شماره ۶، صص ۱۸۸-۱۷۳.
۴. رشنو، علیرضا (۱۳۸۸)، پدیده‌ی گرد و غبار در استان خوزستان، فصلنامه‌ی بارش، اهواز، اداره کل هواشناسی استان خوزستان، صص ۲۳-۱۶.
۵. عباسی، حمیدرضا، رفیعی امام، عمار و حسن روحی‌پور (۱۳۷۸)، تحلیل منشأ گرد و غبارهای بوشهر و خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، فصلنامه‌ی جنگل و مرتع، شماره ۷۸، صص ۵۱-۴۸.
۶. لشگری، حسن و کیسخروی، قاسم (۱۳۸۷)، تحلیل آماری سینوپتیکی طوفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی در فاصله‌ی زمانی (۲۰۰۵-۱۹۹۳)، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۶۵، صص ۳۳-۱۷.
۷. محمدیها، امیر، ریوندی، امیر، تقی‌زاده، حسن و محمدرضا محمدپورپنجاه (۱۳۸۹)، پایش نحوه‌ی شکل‌گیری و گسترش یک طوفان گردو خاک با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS، دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، دانشگاه یزد، صص ۸-۱.
۸. میری، مرتضی (۱۳۹۰)، واکاوی آماری - همدیدی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران.

۹. Christopher, A., Jones, s., Thomas, A., ۲۰۱۱. *Satellite and surface-based remote sensing of Saharan dust aerosols*, *Remote Sensing of Environment* ۱۱۴, ۱۰۰۲-۱۰۰۷.
۱۰. Chun, Y., Boo, K. O., Kim, J., Park, S. U., Lee, M., ۲۰۰۱. *Synopsis transport and physical characteristics of Asian dust in Korea*, *Journal of Geophysical Research*, ۱۰۶, ۱۸۴۶۱-۱۸۴۶۹.
۱۱. Goudie. A.S, Middleton, N.J., ۲۰۰۱. *Saharan dust storms: nature and consequences*, *Earth-Science Reviews* ۵۶, ۱۷۹-۲۰۴.
۱۲. Hara, Y., Uno, I., Wang, Z., ۲۰۰۶. *Long-term variation of Asian dust and related climate factors*, *Atmospheric Environment* ۴۰, ۶۷۳۰-۶۷۴۰.
۱۳. Kim, J., ۲۰۰۸. *Transport routes and source regions of Asian dust observed in Korea during the past ۴۰ years (۱۹۶۵-۲۰۰۴)*, *Atmospheric Environment* ۴۲, ۴۷۷۸-۴۷۸۹.
۱۴. Lim, J., Chun, Y., ۲۰۰۶. *The characteristics of Asian dust events in Northeast Asia during the springtime from ۱۹۹۳ to ۲۰۰۴*, *Global and Planetary Change* ۵۲, ۲۳۱-۲۴۷.
۱۵. Maghrabi, A., Alharbi, B., Tapper, N., ۲۰۱۱. *Impact of the March ۲۰۰۹ dust event in Saudi Arabia on aerosol optical properties, meteorological parameters, sky temperature and emissivity*, *Atmospheric Environment* ۴۵, ۲۱۶۴-۲۱۷۳.
۱۶. Miller, S.D., ۲۰۰۳. *A consolidated technique for enhancing desert dust storms with MODIS*, *Geophysical Research Letters* ۳۰, ۲۰۷۱.
۱۷. Natsagdorj, L., Jugder, D., Chung, Y.S., ۲۰۰۳. *Analysis of dust storms observed in Mongolia during ۱۹۳۷-۱۹۹۹*, *Atmospheric Environment* ۳۷, ۱۴۰۱-۱۴۱۱.
۱۸. San-chao, L., Qinhuo, L., Maofang, G., Liangfu, C., ۲۰۰۷. *Detection of Dust Storms by Using Daytime and Nighttime Multi-spectral MODIS Images*. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, ۲۰۰۶. IGARSS ۲۰۰۶. IEEE International Conference on , ۲۹۴-۲۹۶.

۱۹. Takemi, T., Seino, N., ۲۰۰۵. *Dust storms and cyclone tracks over the arid regions in East Asia in spring*. *Journal of geophysical research* ۱۱۰, D۱۸S۱۱.
۲۰. Wang, Y., Stein, A., Draxler, R., Rosa, D., and Zhang, X., ۲۰۱۱. *Global sand and dust storms in ۲۰۰۸: Observation and HYSPLIT model verification*, *Atmospheric Environment* ۴۵, ۶۳۶۸-۶۳۸۱.
۲۱. Weihong, Q., Lingshen, Q., Shaoyin, S., ۲۰۰۱. *Variations of the Dust Storm in China and its Climatic Control*, *Journal of Climate* ۱۵, ۱۲۱۶-۱۲۲۹.
۲۲. Hamish, M., Andrew, C., ۲۰۰۸. *Identification of dust transport pathways from Lake Eyre, Australia using Hysplit*, *Atmospheric Environment* ۴۲, ۶۹۱۵- ۶۹۲۵.