

ارزیابی و پایش توفان گرد و غبار با استفاده از

روش‌های سنجش از دور

(مطالعه موردی: غرب و جنوب غرب ایران)

کازم علی‌آبادی^۱، محمدعلی اسدی زنگنه^۲،عباسعلی داداشی رودباری^۳

۱. نویسنده مسئول: عضو هیئت علمی دانشگاه حکیم سبزواری، ایران.

Email: Kazemaliabadi_msc@yahoo.com

۲. دانشیار ژئومورفولوژی و رئیس مرکز پژوهشی علوم جغرافیایی و مطالعات اجتماعی و مدیر مسئول مناطق جغرافیایی خشک، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران.

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی کاربردی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران.

دریافت: ۹۳/۱۰/۲۰ پذیرش: ۹۴/۲/۱۰

چکیده

مقدمه: بلایای جوی- اقلیمی به‌عنوان پدیده‌های قهری در میان مخاطرات آب و هوایی، آسیب‌پذیری‌ها و پاسخ به نیازها به شمار می‌روند. ایران در منطقه‌ای قرار گرفته که به شدت تحت تأثیر توفان‌های گرد و غبار است. بر اساس تحقیقات، بسامد و شدت این توفان‌ها در سال‌های اخیر افزایش یافته است. در این پژوهش، با توجه به اهمیت توفان‌های گرد و غبار و به تبع آن ریزگردها و با هدف بررسی جامع ویژگی‌های شدیدترین موارد منجر به وقوع این توفان‌ها طی سال‌های اخیر در غرب و جنوب غرب ایران در یک دوره زمانی ۴ روزه در اسفند ۹۰ سعی شد تا ضمن ارزیابی ساختار منطقه‌ای گردش جو و سازوکار اصلی حاکم بر وقوع و منشأ توفان‌های گرد و غبار وارد شده به مناطق نامبرده، مسیر حرکت آنها نیز شناسایی شود.

روش: این پژوهش، ساختاری کاربردی و به لحاظ نوع روش، سنجش از دور محسوب می‌شود. به منظور تبیین علل و منابع اصلی گرد و غبار این توفان، ساختار گردش منطقه‌ای جو بررسی شد. تعیین منابع اصلی گرد و غبار برای هر یک از توفان‌های گرد و غباری

نیز با بهره‌گیری از مدل لاگرانژی HYSPLIT و با استفاده از روش ردیابی پسگرد انجام شد. همچنین برای ارزیابی و مقایسه نتایج، از خروجی‌های مدل DREAM 8b و مقادیر ضخامت نوری هواویزه (AOT) استفاده شد.

یافته‌ها: با توجه به نتایج، در زمان وقوع توفان گرد و غبار، جریانات زیرین جو در یک حرکت شرقی از جانب عراق به سمت غرب ایران می‌وزند. بررسی نقشه‌های همدید نشان داد که مؤلفه مقیاس منطقه‌ای گردش جو در ترازهای زیرین نقش اصلی را در وقوع توفان‌های گرد و غباری جنوب غرب و جنوب ایران بر عهده دارند. این در حالیست که در زمان وقوع توفان یک کم فشار قوی در شرق ایران شکل می‌گیرد و در چنین شرایطی بادهای غربی سبب ورود گرد و غبار به منطقه می‌شوند. نتایج رهگیری جریان باد در روزهای مورد مطالعه با استفاده از مدل HYSPLIT نشان داد که به‌طور کلی منابع اصلی توفان گرد و غبار کشور شمال تا شمال غرب عراق و شرق سوریه است. پایش داده‌های حاصل از شاخص AOT و مدل DREAM 8b نیز این مورد را تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری: به طور کلی گرد و غبارها از دو مسیر به کشور منتقل می‌گردند: الف) مسیر شمال‌غرب- جنوب‌شرق (از مناطق شمال‌غرب عراق و شرق سوریه گرد و غبارها را به منطقه منتقل می‌کند)؛ ب) مسیر غرب به شرق (از مرکز عراق گرد و غبارها را به جنوب غرب و غرب ایران منتقل می‌کند). همچنین مشخص شد که ذرات گرد و غبار در لایه‌ای کم‌عمق و در پایین‌ترین لایه جو به منطقه منتقل می‌گردند. در روز وقوع توفان عمق ذرات بالا و برابر ۰/۹ بوده است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که گرد و غبارهای موجود در جو منطقه مورد مطالعه برای سلامتی بسیار خطرناک هستند.

کلمات کلیدی: توفان گرد و غبار، ضخامت نوری،

مدل HYSPLIT، مدل DREAM 8b

مقدمه

مناطق وسیعی را پوشش می‌دهد موجب مختل شدن جدی زندگی مردم شده و نه فقط عرصه را برای هرگونه فعالیت مفید مردم تنگ کرده است، بلکه به خاطر ریزبودن اندازه ذرات معلق در توفان امکان بروز بیماری‌های متعدد تنفسی، ریوی، چشمی و پوستی را افزایش داده است. بر اساس مطالعات اولیه منشأ عمده این توفان‌ها در بخش‌هایی از عراق، سوریه و عربستان قرار دارد. ساختار رخدادهای گرد و غبار بسیار پیچیده و وابسته به سامانه‌های محلی، بارندگی، رطوبت خاک، و تغییرات پوشش سطح است. (۵)

به جز خسارت‌های زیست‌محیطی و کاهش دید به مقادیر کمتر از ۱ کیلومتر، توفان‌های گرد و غبار با تغییر تابش و در نتیجه انرژی رسیده به سطح زمین، تأثیرات اقلیمی در مقیاس ناحیه‌ای و جهانی از خود به جا می‌گذارند. بنابراین دیدبانی روزانه و مرتب توزیع‌های جهانی ذرات هواویزها از جمله گرد و غبار و بررسی تغییرات آنها به خصوص برای هواویزهای با تغییرپذیری بزرگ زمانی و مکانی مانند رخدادهای گرد و غبار مفید است. (۶)

امروزه به‌وسیله داده‌های ماهواره‌ای بسیاری از پارامترهای مورد نیاز مطالعه گرد و غبارها مانند غلظت، عمق نوری، دمای توده، تابش خالص رسیده به زمین و... را می‌توان به دست آورد. (۱)

با استفاده از ماهواره‌هایی مانند TERRA و NOAA که دوره بازگشت آنها روزانه است، گرد و غبارها را می‌توان به‌صورت روزانه بررسی کرد. سنجنده‌های ماهواره‌های فوق (MODIS و AVHRR) در باندهای حرارتی، مرئی، مادون قرمز نزدیک و حرارتی تصویربرداری می‌کنند که با

گرد و غبار یکی از پدیده‌های متداول و در ردیف بزرگ‌ترین مشکلات جوئی محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که این امر هر ساله آثار مخربی برای ساکنان این مناطق دارد و خسارت‌های زیادی را به بخش‌های مختلف وارد می‌کند. در سال‌های اخیر آلودگی ناشی از ذرات گرد و غبار به یکی از معضلات زیست‌محیطی به خصوص در کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است. با توجه به اینکه کشور ما نیز در منطقه خشک و نیمه خشک جهان واقع شده است و در حدود ۹۱ درصد از مساحت کشور جزو مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود، مطالعه این پدیده ضرورت دارد. (۱)

حداقل از ۴ دهه پیش تا به امروز، توفان‌های متعددی در طول هر سال در ایران و سایر کشورهای منطقه گزارش شده است که موجب بروز گرد و غبار و حتی جابجایی ماسه‌های مناطق مستعد شده است. با مراجعه به آمارها و سوابق، در ایران گرد و غبار همواره به‌عنوان یکی از انواع پدیده‌های جوئی مطرح بوده است. توفان‌های گرد و غبار رخ داده در ۷ سال اخیر در این منطقه از نظر ویژگی‌های زیر از موارد مشابه قبلی متمایزند: غلظت، اندازه ذرات معلق در توفان، تداوم دوره زمانی، تعداد دفعات وقوع، وسعت و منطقه تحت تأثیر، و زمان تحت تأثیر توفان. (۲-۴) البته فقط کشور و مردم جمهوری اسلامی ایران تحت تأثیر این شرایط نامطلوب نیستند و سایر کشورهای منطقه به خصوص سوریه و عراق هم در شرایط سخت‌تری متأثر از این توفان‌ها می‌باشند. در ۷ سال گذشته، وقوع توفان گرد و غبار با تداوم چندین هفته‌ای و غلظت بسیار بالا که

میلر^۲ (۸) برای بارسازی گرد و غبار روی آب‌ها و خشکی‌ها از دو الگوریتم متفاوت بهره گرفت، بدین صورت که از ویژگی‌های انعکاسی محدوده طیفی ۰/۴۶ و ۰/۸۵ میکرومتر برای آشکارسازی گرد و غبار روی آب و از خصوصیات دمای درخشانی محدوده‌های طیفی ۱۱ و ۱۲ میکرومتر برای مناطق بیابانی بهره گرفت.

مک گوان و کلارک^۳ (۹) مسیرهای حمل گرد و غبار از دریاچه ایر استرالیا را با استفاده از مدل HYSPLIT بررسی و بیان کردند که گرد و غبار این دریاچه تحت تأثیر جریان‌ات جوی در طی یک مدت زمان کوتاه قادر است هزاران کیلومتر از قاره استرالیا را تحت تأثیر قرار دهد.

جینوکس^۴ و همکاران (۱۰) برای بررسی گرد و غبار در شمال نیجریه و جنوب چاد، از الگوریتم اسپکترورادیومتر^۵ (دیپ بلو) بهره گرفتند نتایج مطالعات آنان نشان داد که اگرچه گرد و غبارهای ناشی از فعالیت‌های انسانی با عمق نوری کمتری مشاهده می‌شوند، ولی در مجموع منطقه بزرگتری را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

در مطالعه دیگر هسو^۶ و همکاران (۱۱) به بررسی قابلیت‌های الگوریتم دیپ بلو برای شناسایی پدیده گرد و غبار پرداختند. آنها بعد از بررسی‌های فراوان در مناطقی مانند صحرا در شمال آفریقا و مناطق نیمه خشک خاورمیانه و آفریقا نشان داد که این الگوریتم انعطاف‌پذیری بالایی دارد و انتخاب عمق نوری

استفاده از آنها می‌توان متغیرهای دمای سطح زمین و شاخص‌های حرارتی و آلبدو را تعیین کرد که در تعیین دما و رطوبت نسبی نقش مهمی دارند. در سال‌های اخیر شناسایی مناطق 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. در غرب ایران مناطق بیابانی همچون بیابان‌های جنوب عراق، عربستان سعودی و در فاصله‌ای دورتر سوریه و شمال آفریقا قرار دارد. موقعیت جغرافیایی نیمه غربی ایران و مجاورت آن با این بیابان‌ها موجب رخداد مکرر پدیده گرد و غبار با شدت متفاوت در طول سال می‌شود. به‌طوری‌که برنامه محیط‌زیست سازمان ملل (UNEP) در گزارشی وقوع خشکسالی در منطقه جنوب غرب ایران و کشورهای همسایه همچون عراق را با کاهش رطوبت سطحی و زیرسطحی 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. (۲)

با توجه به اهمیت موضوع تاکنون تحقیقات بی‌شماری در داخل و خارج از کشور انجام شده است که به چند مورد اشاره خواهد شد.

کائین^۱ و همکاران (۷)، توفان‌های گرد و غبار در چین را با استفاده از نقشه‌های هوا در ترازهای ۸۵۰ و ۱۰۰۰ هکتو پاسکال و گرمایش زمین در بیابان مغولستان و سرمایش زمین در شمال چین را به‌عنوان عامل مؤثر در شکل‌گیری گرد و غبارهای شمال چین بیان کردند.

^۱ Qian

^۲ Miller

^۳ McGowan & Clark

^۴ Ginoux

^۵ Spectroradiometer

^۶ Deep Blue

^۷ Hsu

مناسب می‌تواند برای آشکارسازی پدیده گرد و غبار در مناطق خشک و نیمه‌خشک مناسب تلقی گردد. از جمله مطالعات مرتبط با پدیده گرد و غبار که توسط محققان کشورمان برای مناطق غرب، جنوب غرب و جنوب برای توفان‌های مختلف گرد و غبار انجام شده است مطالعه عزیزی و همکاران (۲) می‌باشد. در این مطالعه به ردیابی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران پرداخته شده است، از ترکیبی از بررسی‌های مدلی و سنجش از دور استفاده شد و نتایج حاصل از ردیابی‌های آنها نشان داد که دو مسیر اصلی برای انتقال گرد و غبار در منطقه وجود دارد: (۱) مسیر شمال غربی - جنوب شرقی (۲) مسیر غربی - شرقی و نیز موارد محدودی مسیر شمالی و جنوبی. بر اساس نتایج به‌دست آمده از پردازش تصاویر و خروجی‌های مدل منطقه‌ای 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 می‌شوند.

مفیدی و جعفری (۱۲) به بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو روی خاورمیانه در وقوع توفان‌های گرد و غبار تابستانه در جنوب غرب ایران پرداختند. در پژوهش مذکور با استفاده از بهره‌گیری از داده‌های شبکه‌بندی NCEP/NCAR و شاخص آئروسول TOMS ویژگی‌های دینامیکی و همدیدی هر یک از توفان‌های گرد و غباری از دو روز قبل از وقوع توفان تا زمان اوج در مقیاس ۶ ساعته بررسی شد. تعیین منابع اصلی گرد و غبار برای هر یک از توفان‌های گرد و غباری با بهره‌گیری از مدل لاگراژیتهی HYSPLIT و با استفاده از روش ردیابی

ارزیابی و پایش توفان گرد و غبار با استفاده از روش‌های سنجش از دور

پسگرد^۱ انجام شد. نتایج بیانگر آن بود که زبانۀ کم‌فشار زاگرس و پرفشار عربستان بیش از هر مؤلفه گردشی دیگری در شکل‌گیری توفان‌های مقیاس منطقه‌ای در منطقه خلیج فارس و جنوب غرب ایران نقش دارند.

اشرفی و همکاران (۱۳) به بررسی توفان گرد و غبار ماه ژوئن ۲۰۱۰ (خرداد ۱۳۹۰) ایران پرداختند. نامبردگان در این پژوهش با به‌کارگیری مدل‌سازی عددی و تصاویر ماهواره‌ای پدیده گرد و غبار را مطالعه کردند.

تقوی و همکاران (۴) به تشخیص و پایش توفان گرد و غبار ایران با استفاده از روش‌های سنجش از دور پرداختند. نتایج تحقیق بیانگر این بود که با مقایسه تصاویر بارزسازی شده با استفاده از طول موج‌های فرسرخ و مرئی با نقشه‌های مقادیر ضخامت نوری هواویز (AOT^۲) و خروجی مدل DREAM 8b و همچنین گزارش‌های ایستگاه می‌توان دریافت که استفاده از الگوریتم‌های آشکارسازی گرد و غبار در مقایسه با روش‌های دیگر (بازیابی هواویز با خروجی مدل) راه مطمئن‌تری برای پایش گرد و غبار است.

در این پژوهش، با هدف بررسی جامع ویژگی‌های شدیدترین موارد منجر به وقوع توفان‌های گرد و غبار طی سال‌های اخیر در غرب و جنوب غرب ایران با انتخاب یک دوره زمانی شاخص (از ۲۳ تا ۲۶ اسفند ۱۳۹۰) سعی شد تا ضمن ارزیابی ساختار منطقه‌ای گردش جو و سازوکار اصلی حاکم بر

¹Backward

²Aerosol Optical Thickness

وقوع و منشأ توفان‌های گرد و غبار وارد شده به مناطق نامبرده، مسیر حرکت آنها شناسایی شود.

روش تحقیق

در پژوهش حاضر ساختار پژوهش، کاربردی و از نظر نوع روش تحقیق سنجش از دور محسوب می‌شود. در این پژوهش برای آشکارسازی گرد و غبار از الگوریتم مبتنی بر پردازش تصویر، با داده حسگر مادیس (MODIS)^۱ استفاده شده است. (۱۵،۱۴)

حسگر مادیس دستگاهی با تفکیک رادیومتریکی زیاد (۱۲ بیت) است که با دو ماهواره آمریکایی Terra و Aqua حمل می‌شود. (۱۶)

زمان عبور دو ماهواره Terra و Aqua از خط استوا ۱۰:۳۰ و ۱۳:۳۰ به وقت محلی است. از جمله الگوریتم‌هایی که برای شناسایی توده‌های گرد و غبار در تصاویر ماهواره‌ای MODIS و SeaWIFS استفاده می‌شود الگوریتم دیپ بلو است. الگوریتم مذکور برای شناسایی محدوده و خصوصیات توفان‌های گرد و غبار اتفاق افتاده روی خشکی طراحی شده است و مبنای آن شناسایی اهداف تیره^۲ می‌باشد. (۱)

برای استفاده از الگوریتم نامبرده ابتدا تصحیحات اتمسفر ریلی^۳ با استفاده از DEM منطقه صورت گرفت. هدف از اجرای این نوع تصحیح حذف آثار تغییرات فشار سطح زمین در مقدار بازتابندگی آنهاست. سپس در مرحله بعد برای حذف پیکسل‌های آلوده به ابر از دو شاخص همگنی

فضایی^۴ (در طول موج ۴۱۲ نانومتری) و شاخص گرد و غبار (AI)^۵ (۱۷) به صورت هم‌زمان استفاده شده است. بنابراین در ادامه سایر تحلیل‌ها فقط روی پیکسل‌های فاقد ابر انجام می‌گیرد و میزان بازتابندگی سطح زمین در شرایط صاف و بدون گرد و غبار در باندهای مختلف طیفی اندازه‌گیری می‌شود. در این خصوص با استفاده از پایگاه داده ایجاد شده، میزان بازتابندگی سطح زمین در شرایط صاف و بدون غبار در باندهای ۴۱۲، ۴۷۰ و ۶۵۰ نانومتری سنجنده MODIS اندازه‌گیری شده است.

درنهایت با استفاده از روش حداکثر احتمال^۶ بازتابندگی سطح زمین در طول موج‌های آبی و همچنین عمق نوری گرد و غبارها در شرایط غبارآلود و بدون غبار با یکدیگر مقایسه شده‌اند و محدوده‌های گرد و غبارها با توجه به این اختلاف به وجود آمده شناسایی شده است. برای مطالعه شرایط اتمسفری لحظه وقوع توفان به بررسی پارامترهای مختلف هواشناسی از قبیل فشار سطح دریا، نقشه‌های سطوح فوقانی جو^۷ به ویژه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، تراز نقشه سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد با استفاده از سیستم تحلیل و نمایش شبکه GRADS^۷ برای تجزیه و تحلیل هم‌دید استفاده شده است. داده‌های مذکور در دوره ۴ روزه توفان با مشاهدات روزانه با دقت فضایی ۲/۵×۲/۵ درجه از مرکز پیش‌بینی‌های محیطی موسوم به NCEP از تارگاه مرکز ملی اقیانوس و جو^۷ یا NOAA تهیه شده است.

^۴ Spatial homogeneity

^۵ Aerosol Index

^۶ Maximum likelihood

^۷ Grid Analysis and Display System

^۱ Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer

^۲ Dark targets

^۳ Reyleigh scattering

برای ارزیابی مقادیر گرد و غبار از خروجی‌های مدل DREAM¹ 8b نیکویچ^۲ و همکاران (۱۸) بهره بردیم. این یک مدل منطقه‌ای طراحی شده برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی چرخه جوی هواویز گرد و غباری معدنی و همه فرایندهای اصلی چرخه گرد و غبار جوی است و معادله غیرخطی دیفرانسیل جزئی اویلر را برای پیوستگی جرم گرد و غبار حل می‌کند. در طول انتگرال‌گیری مدل، محاسبه شارهای وارد شده گرد و غبار از طریق نقاط مدل که همان مناطق خشک و نیمه‌خشک و بیابانی هستند صورت می‌گیرد. هواویز گرد و غباری از متغیرهای مدل به دست می‌آید. متغیرهای تلاطمی در مرحله اولیه فرایند یعنی هنگامی که گرد و غبار از زمین به لایه‌های بالاتر بلند شده است با بادهای مدل در فازهای بعدی فرایندهای ترمودینامیکی و بارندگی مدل جوی و سیمای پوشش زمینی که توده خشک و مرطوب گرد و غبار را روی سطح زمین به وجود می‌آورد. یکی از کلیدهای اصلی مدل گرد و غبار رفتار مؤلفه‌های چشمه در معادله پیوستگی غلظت است. اشتباه و موفق نبودن در شبیه‌سازی فاز تولیدی چرخه گرد و غبار منتهی به پیش‌بینی غلط همه فرایندهای دیگر گرد و غباری می‌شود. بنابراین توجه ویژه‌ای برای متغیرسازی فاز تولید گرد و غبار شده است. فرسایش خاکی در مدل با متغیرهای نوع خاک، نوع پوشش گیاهی، مقدار رطوبت خاک و تلاطم جوی سطح کنترل می‌شود. شار عمودی گرد و غبار نیز تابعی از سرعت اصطکاک و رطوبت خاک است.

ارزیابی و پایش توفان گرد و غبار با استفاده از روش‌های سنجش از دور

نتایج تحقیقات پرز^۳ و همکاران (۱۹) نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن فاز تولید گرد و غبار می‌توان پیش‌بینی‌های آب و هوایی را در یک مدل منطقه‌ای بهبود بخشید. برای تعیین منابع اصلی گرد و غبار برای توفان گرد و غبار مورد مطالعه از مدل لاگرانژی یا امکان ردیابی پسگرد ذرات در ترازهای مختلف جو موسوم به HYSPLIT استفاده شد. (۲۱ و ۲۰)

در هواشناسی دینامیک و به طریق اولی در مکانیک سیالات دو رهیافت اصلی در مطالعه سیالات وجود دارد: رهیافت اویلری و رهیافت لاگرانژی (لاگرانژی).

در چارچوب لاگرانژی بسته هوا به مثابه یک حباب فرضی است که آن را در هنگام حرکت در اتمسفر دنبال می‌کنیم. (۲۲)

مدل HYSPLIT در حقیقت مدلی دوگانه^۴ برای محاسبات حرکت گرد و غبار، پراکندگی و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن با استفاده از رویکردهای PUFF و ذرات است. (۲۳ و ۲۴)

از آنجایی رهیافت لاگرانژی هر ذره در زمان‌های مختلف موقعیت‌های متفاوتی خواهد داشت، بنابراین رهیافت لاگرانژی این امکان را فراهم می‌کند که مدل‌های پایه لاگرانژی پس از انتخاب ذره در موقعیت مکانی و زمانی خاص، حرکت آن را در گام‌های زمانی دلخواه به سمت آینده (روش Forward) یا به سمت زمان‌های گذشته (روش پسگرد) ردیابی کنند. برای مسیریابی پسگرد، ذرات

³ Pérez

⁴ Hybrid

¹ Dust Regional Atmospheric Model

² Nickovic

در ایستگاه اهواز در زمان اوج هر یک از توفان‌های گرد و غباری در نظر گرفته شد.

در این مطالعه ذرات در سطح ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متری از سطح زمین در حد فاصل زمانی ۶ ساعته تا ۴۸ ساعت قبل ردیابی شدند. برای اجرای مدل از مجموع داده‌های FNL استفاده شد. داده‌های FNL (Final) در واقع داده‌های NCEP هستند که توسط آزمایشگاه هوا وابسته به NOAA مجدداً پردازش شده است. این داده‌ها با قدرت تفکیک ۱×۱ درجه، برای ۲۶ تراز فشاری (۱۰۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال) با گام زمانی ۶ ساعته از جولای ۱۹۹۹ در دسترس می‌باشند.

داده‌های FNL (Final) از سامانه یکپارچه‌سازی داده‌های جهانی^۱ (GDAS) برای تهیه داده‌های ورودی سیستم خود استفاده می‌کنند. خود سامانه GDAS نیز از جمع‌آوری داده‌های مشاهداتی سراسر جهان با استفاده از سامانه ارتباطات از راه دور (GTS^۳) و سایر منابع که به صورت بی‌وقفه گردآوری می‌گردد تشکیل می‌شود. در نهایت داده‌های FNL با مدلی مشابه مدلی که مرکز ملی پیش‌بینی محیطی برای تولید داده‌های سامانه پیش‌بینی جهانی (GFS^۴) استفاده می‌کند تولید می‌گردد. (۲۵) اندازه‌گیری‌های فوتومتری خورشید از تابش مستقیم خورشیدی معمولاً برای استخراج ضخامت عمق هواویز (AOT) استفاده می‌شود. با رویکرد فوق در پژوهش حاضر برای صحت‌سنجی کامل و منطبق بر واقعیت داده‌های ماهواره‌ای،

داده‌های آثرون با طول‌موج‌های مختلف (۵۵۰ و ۵۰۰ نانومتر) درون‌یابی شدند.

در این پژوهش برای تبیین علل وقوع توفان‌های گرد و غبار، توفان گرد و غبار مناطق جنوب غرب و جنوب کشور در بازه زمانی چهار روزه ۲۳ تا ۲۶ اسفند ۱۳۹۰ مطالعه شدند. این توفان گرد و غبار به مدت چهار روز در گستره ۴۳ شهر کشور رخ داده است.

برای سنجش وضعیت جوی و تحلیل هوا، مدل‌سازی عددی و سنجش و پایش تصاویر ماهواره‌ای از توفان گرد و غبار مورد مطالعه، از نرم‌افزارهای مختلفی مانند ArcGIS، ENVI، HYSPLIT و MATLAB استفاده شد.

بحث

میانگین دمای سطح زمین طی اسفند ۱۳۹۰ و یک ماه قبل از وقوع توفان بسیار بالا بوده است. به طوری که حتی در این ماه از سال (اسفند) دمای سطح خاک در منطقه‌ای که گرد و غبارها از آنجا نشأت گرفته‌اند به بالاتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد نیز رسیده است. (شکل شماره ۲) (به قسمت محاط در خط‌چین توجه شود)

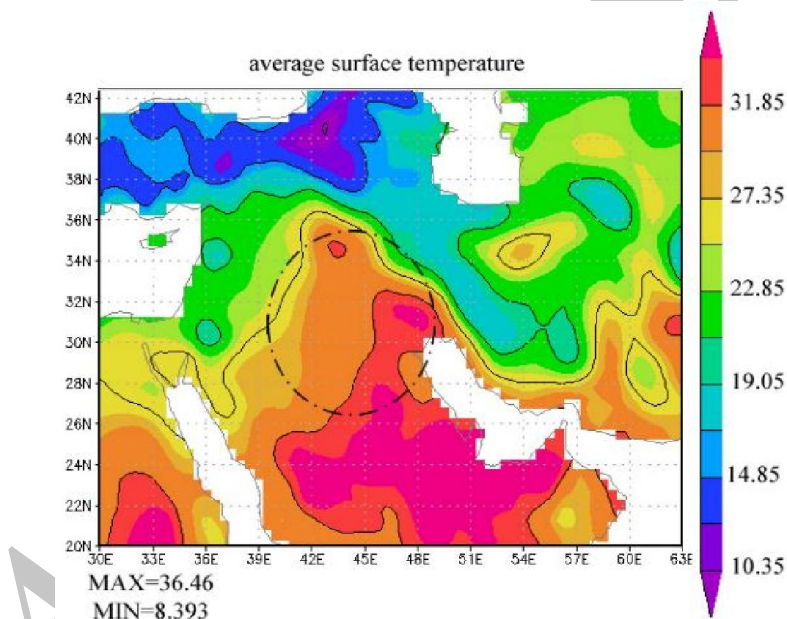
¹ Global Data Assimilation System

³ Global Telecommunications System

⁴ Global Forecast System



شکل شماره ۱: منطقه مورد مطالعه



شکل شماره ۲: میانگین دمای سطح زمین در ماه اسفند (زمان وقوع توفان گرد و غبار مورخ ۱۳۹۰/۱۲/۲۳)

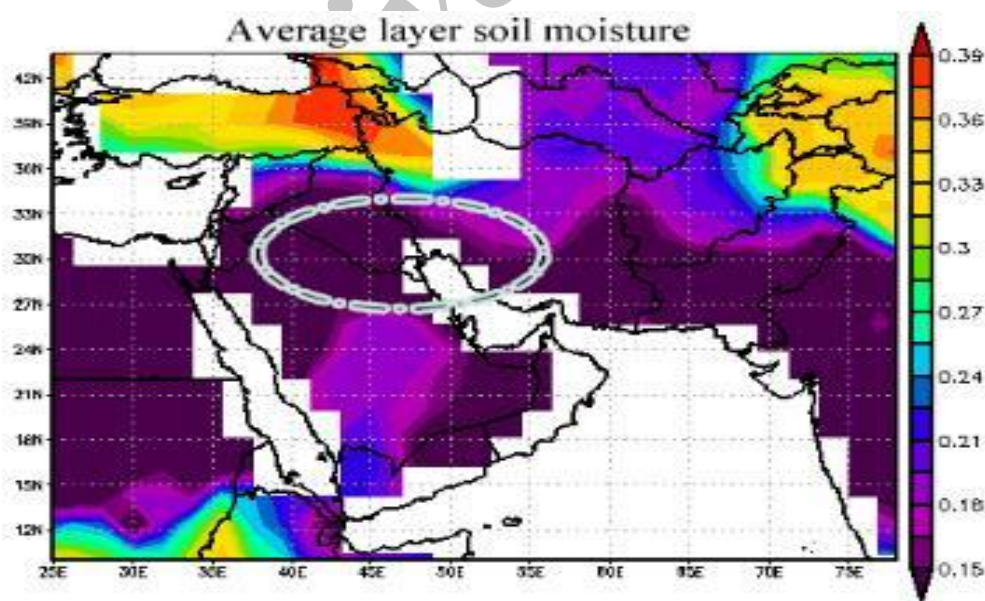
همانند مناطق شمالی کشور کاهش یافته است و مقدار کسر رطوبتی کمتر از $0/15$ بر مترمربع نیز رسیده است. بنابراین با توجه به شرایط دمایی و رطوبتی به وجود آمده و همچنین نبود پوشش گیاهی در سطح زمین می‌توان انتظار داشت که تابش امواج بلند از سطح زمین در این گونه مناطق در حد قابل ملاحظه‌ای بالا باشد، چرا که مقدار امواج

بنابراین به‌طور قطع هم‌زمان با بالا رفتن دمای سطح خاک می‌توان انتظار داشت که میزان رطوبت سطح نیز کاهش یابد. (شکل ۳ مؤید همین مسئله است) همان‌طور که در شکل شماره ۳ نشان داده شده است، میزان رطوبت سطح خاک در مناطقی که گرد و غبار از آنجا ناشی می‌شود به مقدار قابل ملاحظه‌ای نسبت به سایر مناطق موجود در شکل

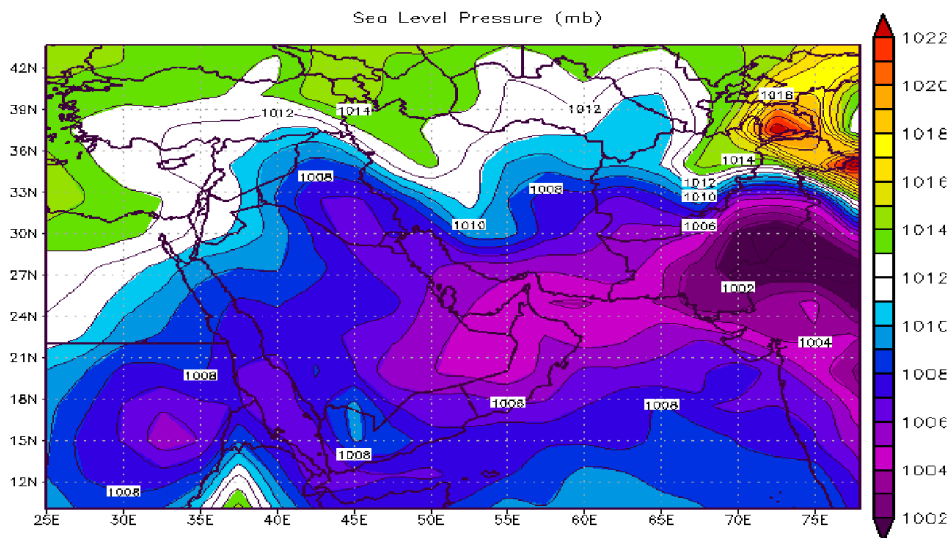
۴ نشان داده شده است در روز وقوع حادثه، مرکز کم‌فشاری با فشار کمتر از ۱۰۰۸ هکتوپاسکال روی منطقه وقوع توفان مستقر شده است. به‌طور کلی دو منشأ برای نحوه توزیع فشار روی کره زمین ذکر شده است که در اغلب موارد ماهیت سیکلون‌ها و آنتی‌سیکلون‌ها هم از آنها ناشی می‌شود و عبارتند از منشأ حرارتی و منشأ دینامیکی.

در حالت حرارتی که توفان حاضر نیز جزء این دسته قرار می‌گیرد، تراکم و وزن معینی از هوا با عامل حرارتی تغییر می‌کند، به‌طوری‌که وقتی هوا حرارت دید، منبسط می‌شود، در نتیجه از تراکم و فشردگی آن کاسته و وزن آن نیز کاهش می‌یابد. در پی بروز چنین پدیده‌ای حرکات چرخشی هوا در سطح زمین خیلی سریع و شدید است.

الکترومغناطیسی تابش شده از سطح زمین ارتباط کاملاً مستقیمی با دمای سطح آن دارد که در مناطق مشخص شده نیز این امر صادق است. بنابراین در مجموع می‌توان گفت که در سطح زمین با توجه به دمای بالای سطح زمین و در نتیجه کاهش محسوس رطوبت سطح خاک و خشک شدن آن، شرایط کاملاً مناسبی برای بروز توفان گرد و غبار فراهم شده است و این مناطق در صورت مهیا شدن شرایط اتمسفری کاملاً آماده انتقال گرد و غبارها به اتمسفرند. در نقشه‌های فشار سطح دریا که بیشترین کاربرد را در مطالعات سینوپتیک و هواشناسی دارند فشار هوای تمام نقاط شبکه جهانی به سطح دریا تبدیل شده و با استفاده از روش‌های ترسیمی مانند میانمایی ترسیم شده‌اند. همان‌طور که در شکل شماره ۳

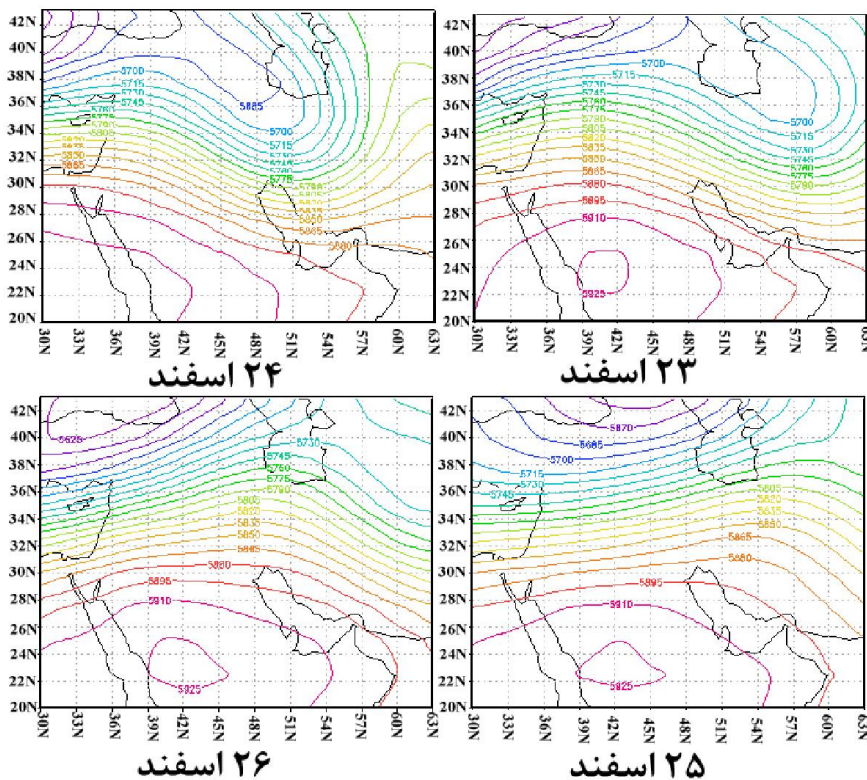


شکل شماره ۳: میانگین رطوبت سطح خاک در ماه اسفند (زمان وقوع توفان گرد و غبار مورخ ۱۳۹۰/۱۲/۲۳)



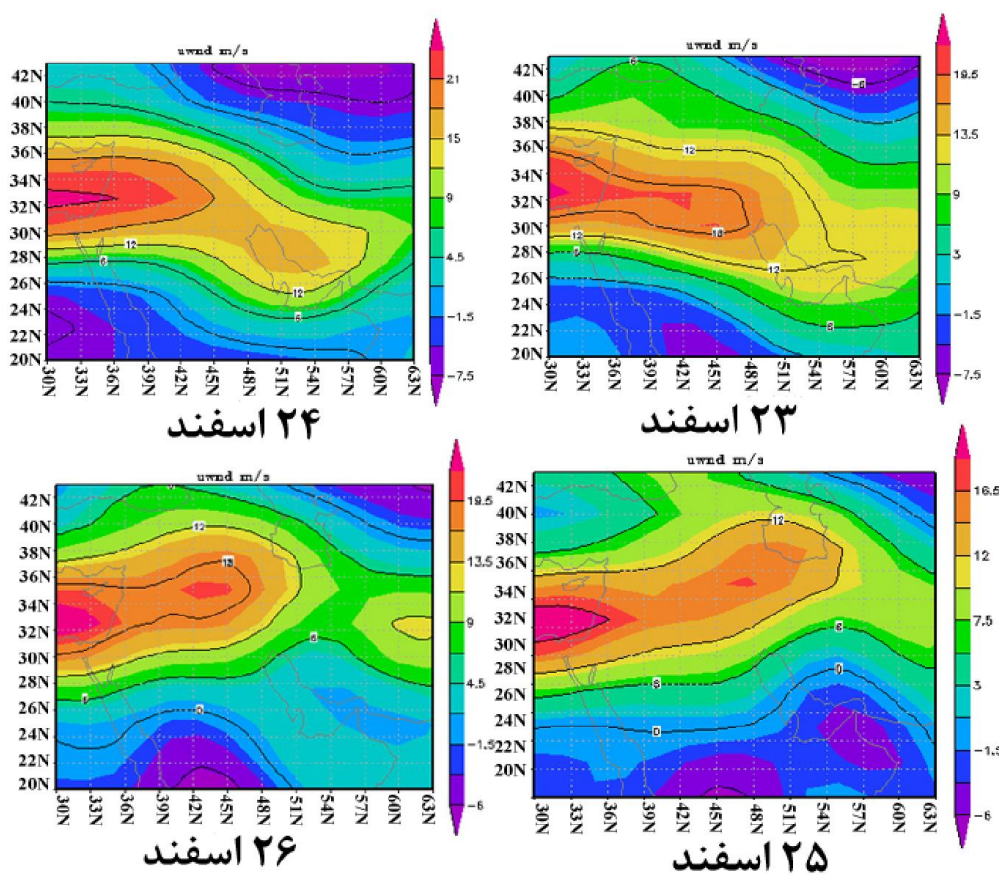
شکل شماره ۴: آرایش الگوی فشار سطح زمین در ۲۳ اسفند ۱۳۹۰

نقشه‌های سطوح فوقانی جو به‌ویژه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال سامانه‌های فشار سطح زمین شکل بارزتر و روشن‌تری از دینامیسم سامانه‌های جوی را به نمایش می‌گذارد. با توجه به نقشه‌های همدیدی می‌توان استقرار کم‌فشار در سطح زمین را در جنوب غرب و جنوب کشور، علت اصلی این رویداد گرد و غبار دانست. در رویداد ۲۳ اسفند کم فشار قوی‌تری در منطقه مستقر است که شدت آن بر رویداد توفان در این روز و مقادیر ضخامت نوری بازیابی شده حسگر مودیس اثر داشته و با افزایش غلظت گرد و غبار نیز همراه است. (شکل شماره ۵)



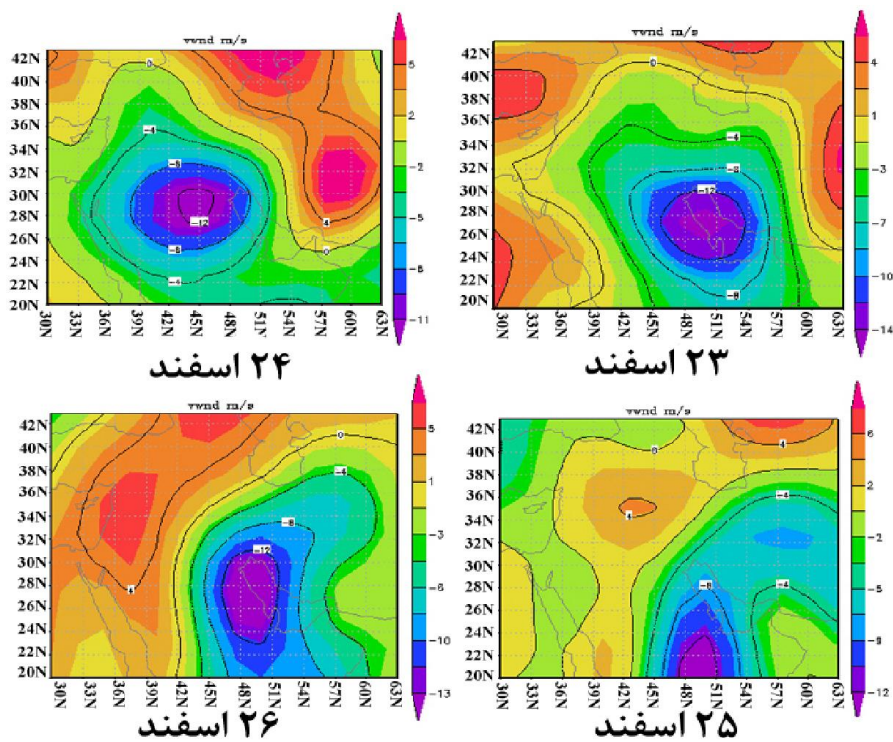
شکل شماره ۵: الگوی آرایش سطوح فوقانی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای وقوع توفان

مهم‌ترین پارامتر مؤثر در وقوع توفان‌های گرد و غبار، باد است که در روز وقوع توفان گرد و غبار مورخ ۲۳ اسفند ۱۳۹۰ مؤلفه مداری باد جهت (در صورت منفی بودن، جهت وزش باد شرقی است و در صورت مثبت بودن، جهت وزش باد غربی است) و سرعت بادهای مداری در زمان موردنظر غربی بوده است و سرعت آن در مرزهای جنوب غرب کشور بیش از ۱۳ متر بر ثانیه بوده است. (شکل شماره ۶)

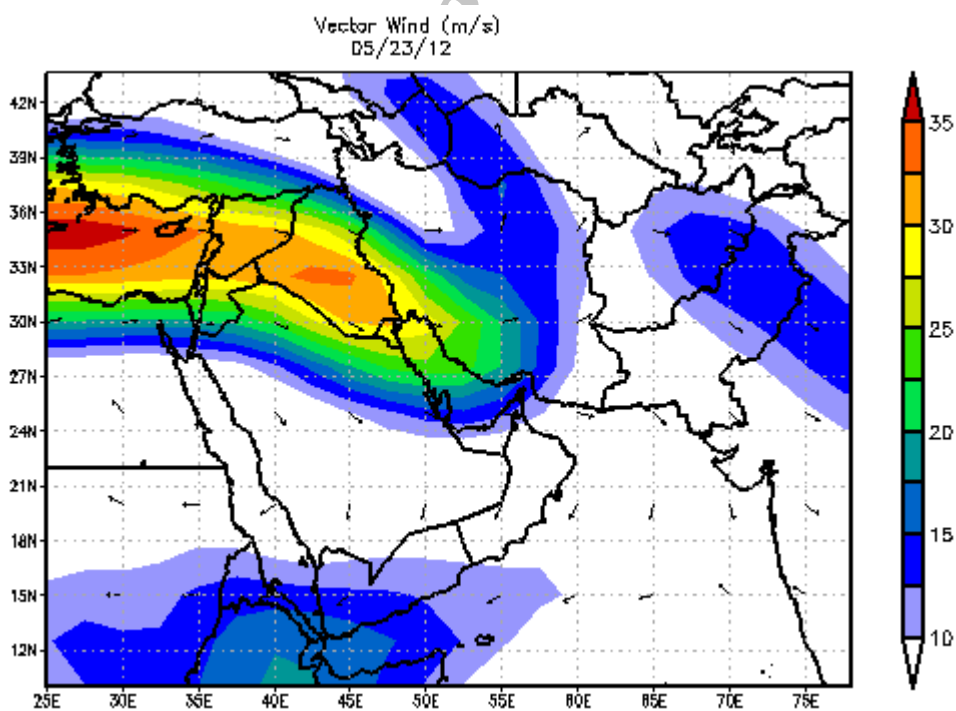


شکل شماره ۶: الگوی آرایش مؤلفه مداری باد برای روزهای وقوع توفان

مؤلفه نصف‌النهاری سرعت باد نیز در جهت شمالی (در صورت مثبت بودن مقادیر سرعت باد) و جنوبی (در صورت منفی بودن مقادیر سرعت باد) روی جنوب غرب ایران، جنوبی است و تأثیر همین الگو بر ۵۲ شهر جنوب غرب و جنوب ایران در طی چهار روز با وقوع توفان گرد و غبار شدید همراه بوده است. (شکل شماره ۷)



شکل شماره ۷: الگوی آرایش مؤلفه نصف‌النهاری باد برای روزهای وقوع توفان



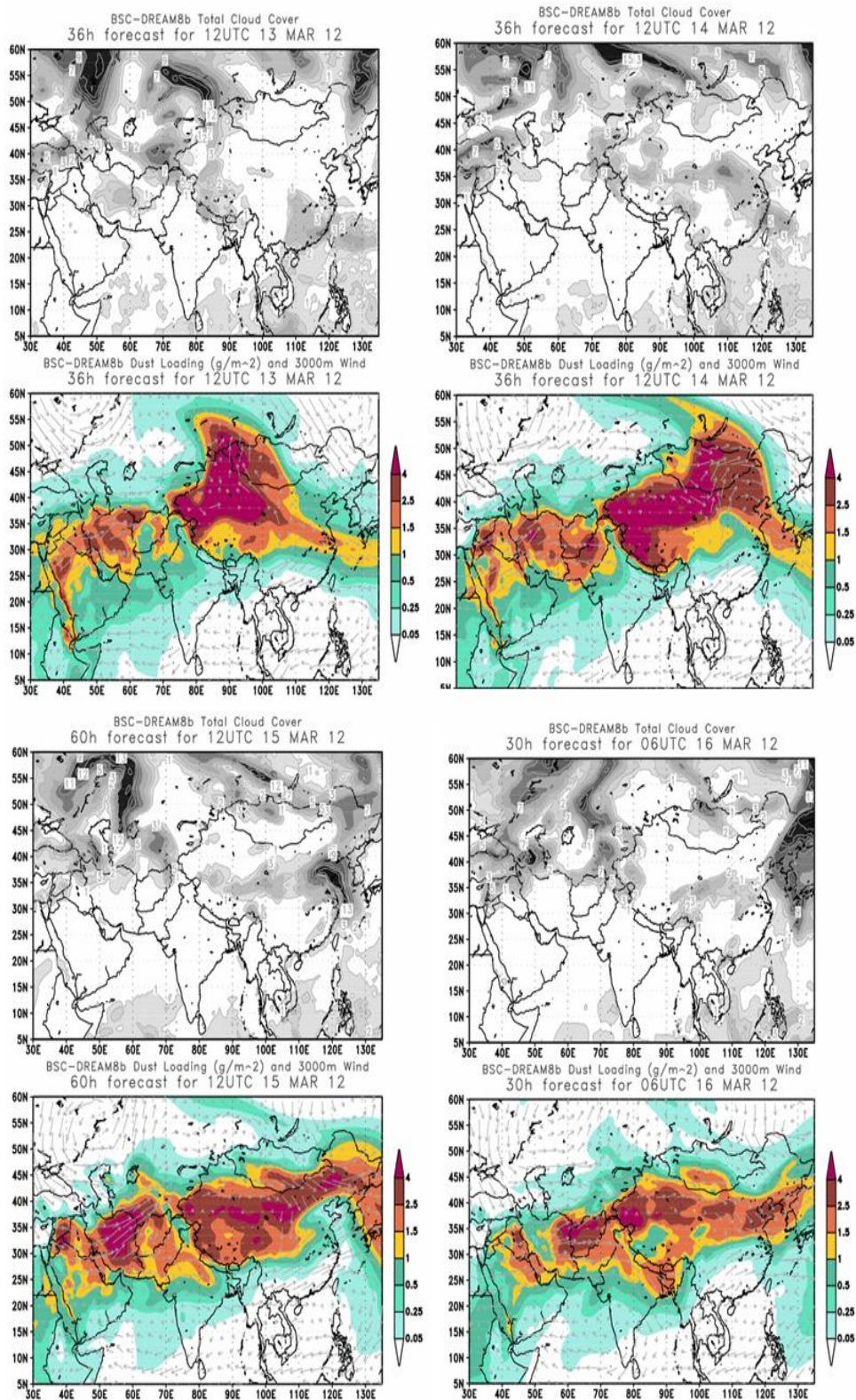
شکل شماره ۸: الگوی آرایش جهت باد برای روز وقوع توفان (مورخ ۲۳ اسفند ۱۳۹۰)

بنابراین در مجموع با در نظر گرفتن شرایط سطح زمین و همچنین شرایط جوئی روز وقوع توفان می‌توان نتیجه گرفت که با مهیا شدن شرایط رطوبتی و دمایی سطح خاک (افزایش دمای سطح خاک و رطوبت آن) سطح زمین آماده انتقال ذرات گرد و غبار بوده و هم‌زمان با وزش بادهای نسبتاً تند غربی در سطح منطقه‌ای ذرات به ذرات به داخل کشور منتقل و منجر به بروز توفان مورخ ۲۳ تا ۲۶ اسفند ۱۳۹۰ در سطح کشور شده است. ارتباط بین مؤلفه‌های گردشی با توفان گرد و غباری نشان داد که در دوره گرم سال در پی آغاز گردش موسمی در جنوب شرق آسیا یک جریان غرب سوی مداوم در وردسپهر فوقانی شکل می‌گیرد که محل اصلی همگرایی و نزول چاهه‌های گرمایی جنوب غرب آسیا و شرق مدیترانه است. در پی تسلط غرب سو با منشأ موسمی، گردش و اچرخندی گسترده‌ای روی جنوب غرب آسیا شکل می‌گیرد که با تشکیل و تداوم مراکز پرفشار شبه ساکنی در ترازهای فوقانی تا ترازهای زیرین جو همراه می‌گردد. بررسی‌ها نشان داد که در زمان وقوع توفان گرد و غبار جریان‌ات زیرین جو در یک حرکت شرق سو از جانب عراق به سمت غرب ایران می‌وزند. بررسی نقشه‌های همدید نشان داد که مؤلفه مقیاس منطقه‌ای گردش جو در ترازهای زیرین نقش اصلی را در وقوع توفان‌های گرد و غباری جنوب غرب و جنوب ایران بر عهده دارند. نقشه جهت باد نیز به خوبی مؤید تأثیر باد بر توفان ۲۳ تا ۲۶ اسفند ۱۳۹۰ بوده است. همان‌طور که در شکل شماره ۸ نیز مشخص می‌باشد، در روز شروع

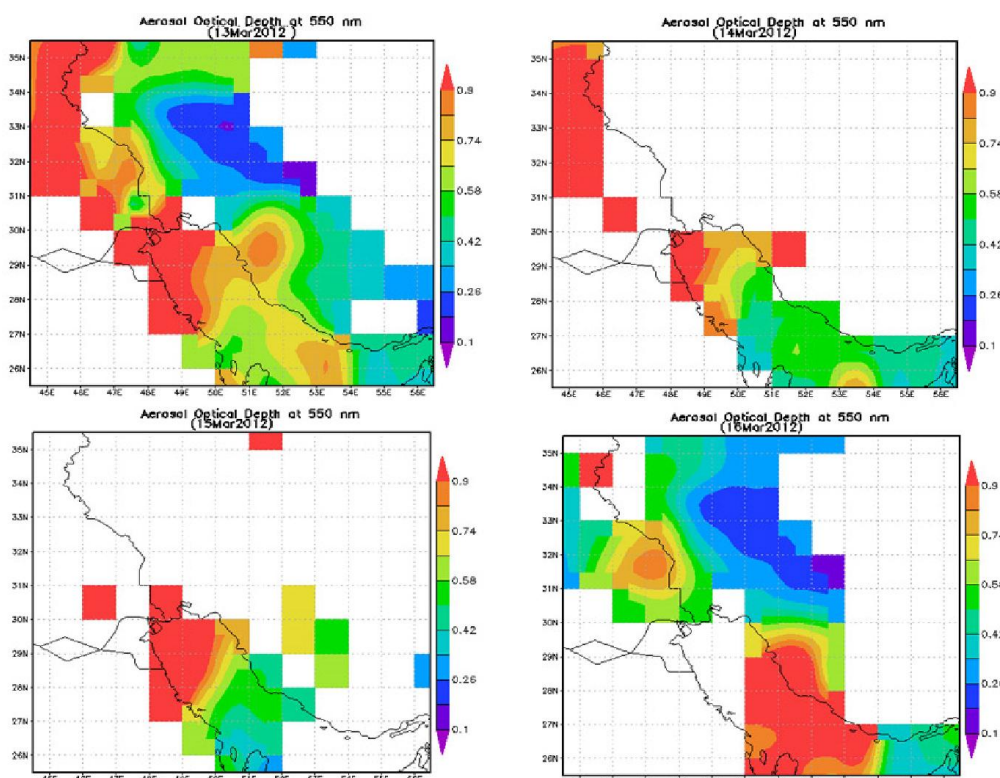
توفان سرعت باد در مرزهای جنوب غرب ایران تا ۳۰ متر بر ثانیه نیز رسیده است. مرکز این توفان در شمال آفریقا با سرعت ۳۵ متر بر ثانیه شکل گرفته است و در مرزهای جنوبی ایران به ۲۵ تا ۲۰ متر بر ثانیه نیز رسیده است.

به منظور راست‌آزمایی نتایج ارائه شده از تحلیل‌های همدیدی منجر به بروز توفان گرد و غبار، نتایج حاصل این بخش با سایر مطالعات در این خصوص از قبیل ذوالفقاری و عابدزاده (۲۶)، طاووسی و همکاران (۲۷)، خوشحال و همکاران (۲۸)، و ولی و همکاران (۲۹) بررسی شد که بیانگر این مطلب است که همراهی شرایط جو بالا در قالب سامانه‌های گردشی اتمسفری در صورت نبود رطوبت سبب افزایش خشکی، ایجاد و تقویت توفان‌های گرد و غبار در کشور می‌شود.

با توجه به تصاویر حاصل از پردازش، می‌توان گفت که در فرایند آشکارسازی گرد و غبار در غرب و جنوب غرب ایران به‌طور کلی با استفاده از طول موج‌های فروسرخ گرمایی، به‌خصوص روی آب‌ها نتایج بهتری به دست می‌آید. با قبول این مدعا می‌توان گفت که مقادیر AOT مادیس مطابقت بهتری با آشکارسازی صورت گرفته به روش فروسرخ دارد. خروجی مدل DREAM 8b در این چهار روز (شکل شماره ۹)، مقادیر غلظت بر واحد سطح گرد و غبار در روزهای ۲۳ تا ۲۶ اسفند ۱۳۹۰ می‌باشد، در روز دوم وقوع توفان گرد و غبار بیشتر از سه روز دیگر بوده است. این نتایج در تصاویر AOT مادیس شکل شماره ۱۰ نیز مشهود است.



شکل شماره ۹: خروجی مدل DREAM 8b برای چهار روز وقوع توفان گرد و غبار



شکل شماره ۱۰: ضخامت نوری هواویز مادیس در چهار روز وقوع توفان از بالا سمت چپ ۱۳۹۰/۱۲/۲۳ و روز آخر پایین سمت راست

مناطق مرزی نیمه غربی نفوذ کرده بودند. پارامتر دیگر دخیل در انتخاب این ارتفاع، جابه‌جایی ذرات غبار در ارتفاع پایین است. بررسی نقشه‌های حاصل از مدل نشان می‌دهد که به‌طور کلی دو مسیر، گرد و غبار را به کشور منتقل می‌کنند: الف) مسیر شمال غرب- جنوب شرق (از مناطق شمال غرب عراق و شرق سوریه گرد و غبارها را به منطقه منتقل می‌کند؛ ب) مسیر غرب به شرق (از مرکز عراق گرد و غبارها را به جنوب غرب و غرب ایران منتقل می‌کند).

چهار نقشه خروجی گرفته‌شده از مدل HYSPLIT برای چهار روز وقوع توفان مسیر شمال غرب- جنوب شرق مسیر اصلی پراکنش گرد و غبار به منطقه است. مسیر دوم یا غرب به شرق که از مرکز عراق نشأت می‌گیرد از فراوانی کمتری نسبت به

همان‌طور که گفته شد برای ردیابی مسیر ذرات از مدل HYSPLIT از روش پسگرد استفاده شده است، به طوری که همزمان با آغاز اولین گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه مسیر باد تا ۲۴ ساعت قبل از آن مورد قرار گرفته است. در واقع مسیر باد برای روز قبل از توفان گرد و غبار در ایستگاه‌های درگیر با این پدیده ارزیابی شده است. مسیر باد رسیده، با رنگ‌های سبز، آبی و قرمز نشان داده شده است. ارتفاع نمایش داده‌شده در پایین هر نقشه، که مسیرهای باد رسیده به ایستگاه‌ها از آن منشأ می‌گیرند نشان‌دهنده ارتفاع مسیر طی شده از سطح زمین است. در این پژوهش ارتفاع ۵۰۰ متر از سطح زمین انتخاب شده است. مهم‌ترین دلیل انتخاب این ارتفاع، ردیابی مسیر ذرات یک روز قبل از ورود اولین گرد و غبار رخ داده در منطقه بوده که به

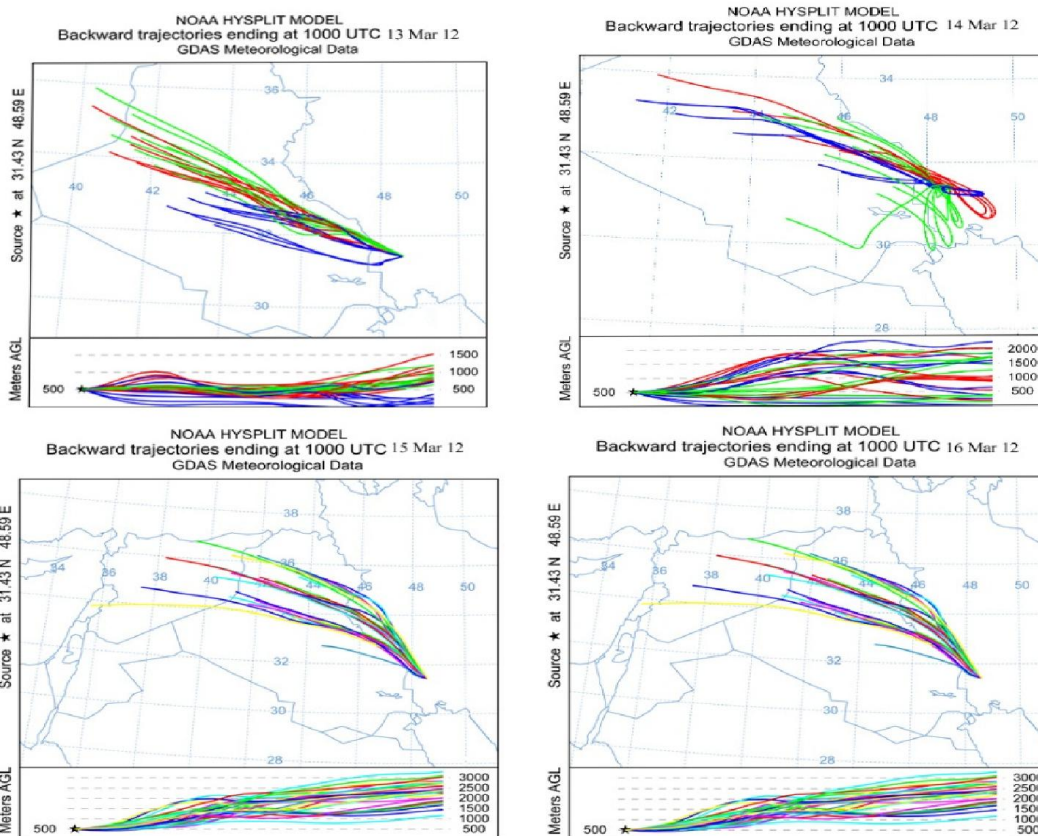
مسیرهای مشخص وارد ایران می‌شود و منطقه مورد مطالعه را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. با این حال برخی از مطالعات از قبیل عطایی و احمدی (۳۲) کانون‌های اصلی توفان‌های گرد و غبار جنوب غرب ایران را دو منطقه غرب بغداد و هورالعظیم می‌دانند. تاکنون نظرات مختلفی در خصوص گرد و غبارهای غرب و جنوب غرب ایران ابراز گردیده است، از جمله رشنو (۳۳) ضمن یک بررسی آماری از گرد و غبارهای استان خوزستان عوامل ایجادکننده آن را به دو دسته انسانی و طبیعی تقسیم کرد. وی خشکسالی‌های اخیر را مهم‌ترین عامل طبیعی و جنگ تحمیلی، سدسازی، تأسیسات انتقال آب از مناطق پر آب به مناطق کم آب را عوامل مؤثر انسانی پدیده گرد و غبار غرب و جنوب غرب ایران بر شمرد. آنچه که موجب اختلاف نظر در خصوص منشأ توفان‌های گرد و غبار ایران به خصوص غرب و جنوب غرب ایران شده فقدان یک مقیاس ثابت برای مطالعات گرد و غبار و مدل‌های ارزیابی آن می‌باشد، لذا با بررسی تحلیل موارد بیشتری از توفان‌های گرد و غبار با چنین مقیاسی می‌توان نسبت به منشأیابی این پدیده مخرب جوی با قطعیت بیشتری سخن گفت. آنچه که نتایج پژوهش حاضر را از سایر مطالعات مشابه جدا کرده است ارزیابی همزمان الگوهای همدید بزرگ مقیاس، مدل‌های ارزیابی خاص توفان‌های گرد و غبار و تحلیل‌های ماهواره‌های این پدیده جوی بوده است. لذا استفاده از قابلیت تصاویر ماهواره‌ای و بررسی گرد و غبار از روی این تصاویر می‌تواند زمینه‌ساز پژوهش‌های آینده باشد. ذکر این نکته ضروری است

مسیر اولیه برخوردار است. ولی در کل عاملی برای انتقال ذرات تلقی خواهد شد. همان‌طور که در شکل نیز مشاهده می‌کنید، ذرات غبار مسیر مشابهی را از شمال غرب به جنوب شرق تا اهواز پیموده‌اند. به عبارتی با در نظر گرفتن بررسی‌های همدیدی انجام‌شده و خروجی مدل HYSPLIT باد شمال سازوکار اصلی انتقال ذرات از محدوده‌ای حد فاصل عراق، سوریه تا شرق مدیترانه به منطقه مورد مطالعه است. نکته مهم دیگری که از بررسی خروجی‌های مدل حاصل می‌گردد آن است که ذرات گرد و غبار در لایه‌ای کم‌عمق و در پایین‌ترین لایه جو به منطقه منتقل می‌گردند (به خط قرمز در نقشه‌ها توجه گردد). این شکل از وجود یک جت تراز زیرین خبر می‌دهد که موجب انتقال افقی ذرات گرد و غبار در یک لایه کم‌عمق می‌گردد و از بخش عمودی آن در لایه‌های بالاتر جو جلوگیری می‌کند. پیدایش چنین شرایطی همان‌طوری که در بررسی همدیدی ارائه‌شده، ناشی از شیب فشار بسیار زیاد زبانه کم‌فشار و پرفشار می‌باشد. (منظور کم‌فشار در منطقه مورد مطالعه کم فشار زاگرس و منظور از پرفشار، پرفشار عربستان است) همان‌طور که بحث شد و خروجی‌های مدل HYSPLIT نشان می‌دهد منابع اصلی گرد و غبار برای توفان‌های گرد و غباری از جنوب غرب ایران از محدوده‌ای در حدفاصل مرکز تا شمال عراق، شرق سوریه و مرکز عراق و تا شمال عربستان سعودی منشأ می‌یابد. (شکل شماره ۱۱)

نتایج سایر مطالعات نظیر (۴، ۱۲، ۳۰ و ۳۱) نیز بیانگر این مطلب است که منشأ اصلی گرد و غبارهای ایران از مناطق نامبرده است که طی همین

رطوبت سطحی و زیرسطحی، از بین رفتن پوشش گیاهی، توسعه پهنه‌های رسوبی و ریزدانه، احداث‌های سدهای عظیم روی رودخانه‌های منتهی به حوضه آبریز بین‌النهرین (عراق) و گسترش وسیع مکانی پدیده‌های نامبرده در سال‌های اخیر عوامل اصلی رخداد گرد و غبارهای منطقه بوده‌اند. لذا آنچه از نتایج این پژوهش بر می‌آید، این است که بهترین سطح مطالعات گرد و غبار مطالعاتی با مقیاس بزرگ است و فقط با بررسی چنین مقیاسی می‌توان به علل اصلی چنین وقایعی پی برد.

که در پژوهش حاضر هدف، شناسایی کانون‌های اصلی سرچشمه گرد و غبارهای منطقه غرب و جنوب غرب ایران بوده است و هیچ مطالعه‌ای نمی‌تواند نقش تغییرات زیست‌محیطی ناشی از دخالت انسان از قبیل از بین رفتن پوشش گیاهی، سدسازی و خشک شدن دریاچه‌ها و قطع درختان را نادیده گیرد و کانون‌های سرچشمه گرد و غبار پژوهش حاضر نیز ناشی از دخالت انسان بوده است. چرا که بر اساس گزارش‌های محیط زیست سازمان ملل (UNEP) خشکسالی‌های منطقه جنوب غرب ایران و کشورهای همسایه همچون عراق، کاهش



شکل شماره ۱۱: خروجی مدل HYSPLIT برای مناطق منشأ گرد و غبار ۲۳ تا ۲۶ اسفند ۱۳۹۰

نتیجه‌گیری

آلاینده‌های محیط‌های جغرافیایی به‌وسیله هواویزها و گرد و غبار ناشی از توفان در خاورمیانه به‌ویژه در سال‌های اخیر به یکی از معضلات زیست‌محیطی در منطقه تبدیل شده است. گرد و غبار اغلب منشأ طبیعی دارد و با توجه به مشخصات، تمرکز، غلظت عمودی و توزیع اندازه آن جدا از تأثیرات مستقیم بر آلودگی هوا و حمل ذرات آلوده از منطقه‌ای به منطقه دیگر، می‌تواند با تأثیر بر تابش حرارتی و خورشیدی، توازن تابش بر زمین را تغییر دهد و باعث تغییرات وضعیت آب و هوایی و دمایی در منطقه و نهایتاً حیات موجودات زنده آن منطقه شود. در این خصوص لازم است با شبیه‌سازی پدیده انتشار، انتقال و فرونشست گرد و غبار، زمان و شدت وقوع این پدیده در مناطق موردنظر پیش‌بینی گردد. لذا این پژوهش، با رویکرد ارزیابی و پایش توفان گرد و غبار با تأکید بر سنجش از دور انجام شده است. غرب ایران به لحاظ نزدیکی به مناطق منشأ گرد و غبار در غرب آسیا منطقه‌ای مستعد برای رخداد مکرر پدیده گرد و غبار در طی سال است. ارتباط بین مؤلفه‌های گردشی با توفان گرد و غباری، نشان داد که در دوره گرم سال در پی آغاز گردش موسمی در جنوب شرق آسیا یک جریان غرب سوی مداوم در وردسپهر فوقانی شکل می‌گیرد که محل اصلی همگرایی و نزول چاهه‌های گرمایی جنوب غرب آسیا و شرق مدیترانه است. در پی تسلط غرب سو با منشأ موسمی، گردش و اچرخندی گسترده‌ای روی جنوب غرب آسیا شکل می‌گیرد که با تشکیل و تداوم مراکز پرفشار شبه ساکنی در

ترازهای فوقانی تا ترازهای زیرین جو همراه می‌گردد. بررسی‌ها نشان داد که در زمان وقوع توفان گرد و غبار، جریانات زیرین جو در یک حرکت شرق سو از جانب عراق به سمت غرب ایران می‌وزند. نتایج خروجی مدل DREAM 8b در این چهار روز، بیانگر آن است که مقادیر غلظت بر واحد سطح گرد و غبار در روزهای ۲۳ تا ۲۶ اسفند ۱۳۹۰ افزایش یافته است و محدوده وسیع‌تری را در برگرفته است. ردیابی مسیر ذرات از مدل HYSPLIT از روش پسگرد نشان داد که گرد و غبارها از دو مسیر به کشور منتقل می‌گردند: الف) مسیر شمال غرب- جنوب شرق (از مناطق شمال غرب عراق و شرق سوریه گرد و غبارها را به منطقه منتقل می‌کند؛ ب) مسیر غرب به شرق (از مرکز عراق گرد و غبارها را به جنوب غرب و غرب ایران منتقل می‌کند). همچنین مشخص شد که ذرات گرد و غبار در لایه‌ای کم‌عمق و در پایین‌ترین لایه جو به منطقه منتقل می‌گردند. نتایج شاخص AOT نیز نشان داد که در روز وقوع توفان مقدار شاخص بالا و برابر با ۰/۹ بوده است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از این شاخص می‌توان گرد و غبارها را شناسایی کرد. پرواضح است که گرد و غبارهای موجود در جو منطقه مورد مطالعه به شکل فوق‌العاده‌ای برای سلامتی خطرناک است.

پیشنهادات

در راستای تحقق هر چه سریع‌تر اهداف توسعه پایدار منطقه‌ای پیشنهادهایی ارائه می‌گردد:
۱- انجام عملیات بیابان‌زدایی در عراق و سوریه؛

- ۲- برگزاری دوره‌های آموزشی مدیریت زیست‌محیطی ریزگردها و مقابله با بیابان‌زایی برای مسئولان کشورهای غرب آسیا؛
- ۳- به‌روزرآوری نرم‌افزارهای مدل‌سازی و پیش‌بینی توسط سازمان هواشناسی کشورهای منطقه برای اعلام به‌موقع وقوع گرد و غبار؛
- ۴- نظارت بر مدیریت منابع آب و کاربری اراضی در استان‌های تحت تأثیر پدیده گرد و غبار؛
- ۵- تهیه و تحلیل نقشه‌های هواشناسی در سطوح مختلف جوی برای پیش‌بینی زمان وقوع پدیده گرد و غبار.

References

- Farajzadeh M, Karimi n. (2013) *Principles of satellite meteorology*. Tehran: Samt (In Persian)
- Azizi G, Miri M, Nabavi A. (2012) *Dust in the western half of the tracking events*. Journal of Arid Regions Geographic Studies. 7:81-63 (In Persian)
- Azizi G, Roshani M. (2008) *Study of climate change on the southern shores of the Caspian Sea to man-Kendall method*. Geographical research. 64:13-28 (In Persian)
- Taghavi F, Owwad E, Safarrad T, Irannejad P. (2013). *Identifying and monitoring dust storm in the western part of Iran using remote sensing techniques*. Earth and Space Physics Journal. 39(3):83-96 (In Persian)
- Anselin, L., I. Syabri and Y Kho. (2009) *GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis*. In Fischer MM, Getis A (eds) Handbook of applied spatial analysis. Berlin, Heidelberg and New York: Springer
- Zhao TX-P, Ackerman S, Guo W. (2010) *Dust and smoke detection for multi-channel imagers*. Remote Sensing. 2(10):2347-68
- Qian W, Quan L, Shi S. (2002) *Variations of the dust storm in China and its climatic control*. Journal of Climate. 15(10):1216-29
- Miller, S.D. (2003) *A consolidated technique for enhancing desert dust storms with MODIS*. Geophysical Research Letters. 30 (20)
- McGowan H, Clark A. (2008) *Identification of dust transport pathways from Lake Eyre, Australia using Hysplit*. Atmospheric Environment. 42 (29): 6915-25
- Ginoux P, Garbuzov D, Hsu N. (2010) *Identification of anthropogenic and natural dust sources using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Deep Blue level 2 data*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012). 115 (D5)
- Hsu N, Jeong MJ, Bettenhausen C, Sayer A, Hansell R, Seftor C, et al. (2013) *Enhanced Deep Blue aerosol retrieval algorithm: The second generation*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 118(16):9296-315
- Mofidi A, Jafari.J. (2011) *Examining the role of regional atmospheric circulation on the Middle East in the summer dust storms in the South West of Iran*. Journal of Arid Regions Geographic's Studies. 5:45-17 (In Persian)
- Ashrafi K, Shafipour Motlagh M, Aslmand A. (2013) *Pathways dust storm on the use of numerical modeling and satellite images*. Journal of Environment. 56:3-12 (In Persian)
- Lin I, Chen J-P, Wong GT, Huang C-W, Lien C-C. (2007) *Aerosol input to the South China Sea: results from the MODerate resolution imaging spectroradiometer, the quick scatterometer, and the measurements of pollution in the troposphere sensor*. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 54(14):1589-601
- Chopping M, Moisen GG, Su L, Laliberte A, Rango A, Martonchik JV, et al. (2008) *Large area mapping of southwestern forest crown cover, canopy height, and biomass using the NASA Multiangle Imaging Spectro-Radiometer*. Remote Sensing of Environment. 112 (5):2051-63

16. Thome KJ, Czapla-Myers JS, Biggar SF. (2008). *Vicarious calibration of Aqua and Terra MODIS. Optical Science and Technology*, SPIE's 48th Annual Meeting. International Society for Optics and Photonics
17. Ciren P, Kondragunta S. (2014) *Dust aerosol index (DAI) algorithm for MODIS*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres.119(8):4770-92
18. Nickovic S, Kallos G, Papadopoulos A, Kakaliagou O. (2011) *A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012). 106 (D16):18113-29
19. Pérez C, Nickovic S, Baldasano J, Sicard M, Rocadenbosch F, Cachorro V. (2006) *A long Saharan dust event over the western Mediterranean: Lidar, Sun photometer observations, and regional dust modeling*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012). 111(D15)
20. Draxler R, Rolph G. (2011) *HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory)*. NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, Maryland. Model access via NOAA ARL READY Website
21. Wang F, Chen D, Cheng S, Li J, Li M, Ren Z. (2010) *Identification of regional atmospheric PM10 transport pathways using HYSPLIT, MM5-CMAQ and synoptic pressure pattern*. Environmental Modelling & Software. 25(8):927-34
22. Fallah Qalhy G. (2014) *Principles of Meteorology*. Sabzevar: Hakim Sabzevar University Press; (In Persian)
23. Draxler RR, Hess G. (1998). *An overview of the HYSPLIT_4 modelling system for trajectories*. Australian Meteorological Magazine. 47(4)
24. Draxler, R.R. and Rolph, G.D., (2003) *HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website* <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>
25. Stunder, B.J.B. (1997) *NCEP Model Output-FNL ARCHIVE DATA, TD-6141*. Prepared for National Climatic Data Center (NCDC) This document and archive grid domain maps are also available at <http://www.arl.noaa.gov/ss/transport/archives.html>
26. Zolfaghari H, Abed Zadeh H. (2005) *Synoptic analysis systems Dust West Iran*. Geography and Development. 23(46):15-34 (In Persian)
27. Tavousi T, Khosravi M, Raeis Pour K. (2010) *Synoptic analysis systems dust in Khuzestan province*. Geography and Development.20:97-118 (In Persian)
28. Khoshhal dastjerdi J, Mosavai Sh, kashki. (2012) *Synoptic analysis of dust storms in Ilam (1987-2005)*. Geography and Environmental Planning. 23(46):15-34 (In Persian)
29. Vali A, Khamoshi S, Mosavi H, Panahi F, Tamski A. (2014) *Climate analysis and tracking of dust storms sweeping southern and central Iran*. Ecology, 40(4):961-72 (In Persian)
30. Zolfaghari M, Hashemi Mn. (2011) *Synoptic Survey and dynamic phenomenon fourteenth to the seventeenth of July 2008 dated dust Country*. The second national conference of wind erosion and dust storms; 16 & 17 Feb; Yazd University p.24 (In Persian)
31. Mihanparast m, Rangbar sadatabadi a, Meshkati a. (2010) *Studying the role of pressure gradient and 895 hPa Nawa in creation and transmission of dust phenomenon in the summer in the western part of the country*. Twelfth Fluid Dynamics Conference 2010 (In Persian)
32. Ataee H, Ahmadi F. (2011). *Dust as one of the environmental problems of the Islamic world, case study: Khuzestan*. Fourth International Congress of the Islamic World Geographers.pp.1-19 (In Persian)
33. Reshno A. (2019). *The phenomenon of dust in Khuzestan province*. Journal of precipitation (General Directorate of Meteorology Khuzestan).pp16-2 (In Persian)