

تحلیل و ردیابی مسیرهای ورود توفان‌های گرد و غبار به شرق ایران با استفاده از مدل پخش لاگرانژی ذرات HYSPLIT

زهرا یارمرادی: دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

بهروز نصیری*: دانشیار گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

غلام‌حسن محمدی: کارشناس هواشناسی آذربایجان شرقی، تبریز

مصطفی کرم‌پور: استادیار گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۴)

چکیده

امروزه معضل توفان‌های گرد و خاک به بحرانی منطقه‌ای و جهانی تبدیل شده‌است. پژوهش حاضر بر آن است که با استفاده از مدل عددی، تصاویر ماهواره‌ی MODIS و شاخص AOD و نقشه‌های همدیدی، به تعیین منابع گرد و غبار و چگونگی حرکت آنها بر فراز نیمه‌ی شرقی ایران طی فصل گرم سال بپردازد. در مرحله‌ی اول با استفاده از داده‌های مشاهداتی، تصاویر ماهواره و شاخص عمق اپتیکی گرد و غبار، توفان‌های گرد و غبار فصل گرم طی دوره‌ی آماري ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ مشخص شد. سپس به بررسی عوامل همدیدی مؤثر بر رخداد این پدیده پرداخته شد؛ برای این امر با مراجعه به تارنمای مرکز اروپایی، پیش‌بینی میان‌مقیاس جوئی (ECMWF) داده‌های دما، فشار تراز دریا (SLP)، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد، ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای ۸۵۰، ۵۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال با دقت فضایی ۰/۲۵ * ۰/۲۵ درجه دریافت شد. در مرحله‌ی بعد برای منشأیابی این توفان‌ها، از مدل پخش لاگرانژی HYSPLIT به روش پسگرد استفاده شد. نتایج حاصل از مطالعات همدید نشان داد زمانی که یک سلول مستقل پرفشار بر شمال شرق افغانستان و شمال شرق ایران، همچنین سلول کم فشار بسته‌ای بر جنوب غرب افغانستان وجود دارد، گرادیان شدیدی بین این مناطق ایجاد و باعث می‌شود سرعت باد در سطح زمین به بیش از ۱۴ متر بر ثانیه برسد. اختلاف شدید فشاری و دمایی در منطقه، نبود رطوبت و زاویه‌ی تابش بالا سبب می‌شود گرد و غبار بیابان‌های خارج از مرزهای شمالی و شرقی به منطقه هدایت شود. همچنین در این فصل، منطقه تحت تسلط پرفشار جنب حاره آזור قرار دارد که بلوکه شدن آن در سطوح بالا به تداوم گرد و غبار در شرق ایران به مدت سه روز منجر شده‌است. خروجی‌های مدل و تصاویر ماهواره نشان داد که به طور کلی بیش از ۹۰ درصد منابع اصلی غبار برای توفان‌های گرد و غباری شرق ایران، محدوده‌ای در حد فاصل بیابان‌های مرکزی ترکمنستان، قزاقستان، افغانستان و دشت سیستان است.

واژگان کلیدی: ردیابی، گرد و غبار، HYSPLIT، MODIS.

۱- مقدمه

توفان گرد و خاک پدیده‌ای است که در نتیجه‌ی بادهای آشفته ایجاد می‌شود و با بالا بردن مقادیر زیادی گرد و غبار به درون هوا، دید افقی را به کمتر از ۱۰۰۰ متر کاهش می‌دهد (Natsagdari, 2002). درن واحی مشخصی از جهان، این توفان‌ها در ردیف بزرگ‌ترین مشکلات جدی محیطی قرار می‌گیرد و بیشتر در مناطق خشک و نیمه خشک رخ می‌دهد (Arimoto, 2000). این پدیده هر ساله خسارت‌های جبران‌ناپذیری به مزارع، تأسیسات، جاده‌ها، ترافیک و حمل و نقل وارد می‌سازد و با آلوده‌سازی هوا به مشکلات تنفسی منجر می‌شود (Lashkari, 2008). به دلیل موقعیت جغرافیایی ایران در کمربند خشک و نیمه خشک جهان، این کشور به صورت مکرر در معرض سیستم‌های گرد و غبار محلی و سینوپتیک قرار دارد (Goudie, 1983 & Goudie and Midleton, 1992 & Washington et al, 2003 & Engelstaedter, 2006 & Kaskaoutis, 2010). در ایران، چاله‌های مرکزی بیشترین تعداد روزهای گرد و خاکی را به خود اختصاص می‌دهند؛ به طوری که در مناطق وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، فراوانی وقوع روزهای مذکور به بیش از ۱۵۰ روز در سال می‌رسد (Alijani and Raispour, 2012). توفان‌های ماسه و گرد و خاک نه تنها در ایران بلکه در سایر کشورهای آسیایی، آفریقایی و آمریکایی به خسارت‌های مالی و جانی فراوانی منجر می‌شود (Lin, 2002). بیشتر توفان‌های گرد و خاک در آسیای مرکزی و قزاقستان در دوره‌ی گرم سال روی می‌دهد (رامانوف، ۲۰۰۱). مناطق کوچکی که به منزله‌ی یک حوضه‌ی توپوگرافی کم ارتفاع همراه با دریاچه‌های خشک شده (حوضه‌ی هامون) در مرزهای ایران، افغانستان و پاکستان هستند، نقش قابل توجهی در تولید و انتشار گرد و غبار دارند (Alam et al, 2011).

تصاویر مادیس، کاربردهای فراوانی در بحث گرد و غبار دارد و تاکنون مقالات فراوانی در زمینه‌ی کاربرد این تصاویر در شناسایی منابع و تحلیل مسیرهای حرکتی توفان‌های گرد و غباری چاپ شده‌است. MODIS، اطلاعات خود را از ماهواره‌ی ترا و آکوا دریافت می‌کند که این تصاویر، عمق اپتیکی را در تمام سطح کره‌ی زمین در مدت زمان ۱ تا ۲ روز نشان می‌دهد و هر چه این عمق کمتر باشد، مقدار گرد و غبار در جو بیشتر است. از پارامترهای مهم در بررسی هواویزهای ناشی از گرد و غبار، عمق اپتیکی هواویز (AOD) است. به طور خلاصه، می‌توان از عمق اپتیکی کمتر از ۰/۱ به عنوان شاخص آسمان صاف و بدون گرد و غبار و شفاف با حداکثر قابلیت دید استفاده کرد؛ در حالی که عمق اپتیکی ۴ بیانگر حضور حجم متراکمی از هواویزها است که مانع از رسیدن نور خورشید به سطح زمین می‌شود (Ashrafi et al, 2013). یکی از مشکلات اساسی در بررسی آلودگی‌هایی مانند گرد و غبار، تعیین کمی رابطه بین کیفیت هوا و چشمه‌ی آلودگی است. شناسایی چشمه‌ی آلودگی، اولین گام در فرآیند تعیین استراتژی مؤثر بر کنترل آلودگی است. روش‌های مختلفی مانند سنجش از دور، بررسی نقشه‌های هواشناسی، همدیدی، روش‌های عددی و غیره برای این منظور به کار گرفته می‌شود. یکی از راه‌های یافتن منابع آلودگی، استفاده از مسیر انتقال جریان هوا است؛ در این حالت، مسیرهای برگشت از نقطه گیرنده می‌تواند محل چشمه را مشخص کند (Petzold et al, 2009). از این روش، برای نشان دادن نحوه‌ی پخش آلودگی و تعیین چشمه بسیار استفاده شده‌است (Rousseau, 2004). خطای محاسبه‌ی مسیر به طور معمول حدود ۲۰ درصد است (Stohl, 1998) که این خطا را می‌توان با استفاده از مجموعه‌ای از مسیرها کاهش داد. مدل‌های پخش، انتقال ذرات را از چشمه تا

مکان نمونه‌گیری توصیف می‌کند. با استفاده از مدل‌های مشابه می‌توان مکان هوای نمونه‌گیری را به صورت برگشت در زمان محاسبه کرد (Draxler and Hess, 1998). بنابراین، دینامیک باد در انتقال و پخش ذرات نقش اساسی برعهده دارد (Salazar, 1994). روش محاسبه‌ی این مدل، ترکیبی میان دیدگاه‌های اوپلری (مجموع غلظت ذرات در هر شبکه در طول مسیر حرکت تعیین می‌شود) و لاگرانژی (غلظت ذرات برای هر شبکه با استفاده از پخش و انتقال ذرات انجام می‌شود) است و به همین دلیل، مدل HYSPLIT را مدلی دوگانه می‌نامند (Draxler and Hess, 1998).

Malekoty و همکاران (۲۰۱۲) به مطالعه‌ی همدیدی و عددی انتقال و شناسایی چشمه توفان‌های گرد و غبار سنگین در منطقه‌ی خاورمیانه طی روزهای ۱۳ تا ۱۷ تیر ۱۳۸۸ پرداختند و از مدل HYSPLIT و داده‌های سنجنده‌ی مودیس استفاده کردند. نتایج مدل HYSPLIT نشان داد که مناطق کویری و خشک مرکز عراق و سوریه، منشأ توفان‌های ذکر شده‌است که با تصاویر سنجنده‌ی مودیس مطابقت خوبی دارد. Vali و همکاران (۲۰۱۵) با تحلیل اقلیمی و ردیابی توفان‌های گرد و غبار فراگیر در جنوب و مرکز ایران با استفاده از مدل HYSPLIT و نقشه‌های جوی سطوح بالا، به این نتیجه رسیدند که توده‌ی گرد و غباری از مناطق شمال غرب عراق و شرق سوریه سرچشمه گرفته و با جهت شمال غربی و جنوب شرقی به ایران وارد شده‌است. همچنین نتایج پایگاه گردش جو میانه و بالا نشان داد که وجود مرکز کم‌فشار قوی در شرق ایران و پرفشار در شمال آفریقا، به ایجاد بادهای غربی و ورود گرد و غبارهای حداکثری به منطقه منجر شده‌است. Mohammadpour و همکاران (۲۰۱۵) به تحلیل طوفان‌های گرد و غبار استان یزد بر مبنای مدل‌سازی عددی با استفاده از مدل WRF و HYSPLIT طی دوره‌ی آماری ۱۳۷۹-۱۳۸۸ پرداختند. نتایج نشان داد که عبور سامانه‌های چرخندی از سطوح بالای جو و ریزش هوای سرد ناشی از آن همراه با گرمایش سطحی در سطح زمین، زمینه‌ی ایجاد ناپایداری در منطقه را فراهم ساخته‌است. منشأ توفان، وجود چشمه‌ی احتمالی توفان در مناطق خشک و نمک‌زار حاصل از خشک شدن باتلاق گاوخونی و کویرهای اطراف آن است. Akbary and Farahbakhshi (۲۰۱۶) به تحلیل سینوپتیک و شبیه‌سازی مسیر حرکت توفان‌های شدید گرد و غبار در جنوب غرب ایران با استفاده از مدل HYSPLIT طی دوره‌ی آماری ۲۰۱۷-۲۰۰۰ پرداختند. بررسی سینوپتیکی توفان گرد و غبار نشان داد که استقرار سلول‌های کم‌فشار در مرکز کشور به همگرایی و مکش هوا در سطح زمین منجر شده‌است. از سوی دیگر، تاوایی منفی در جنوب عراق و تاوایی مثبت قوی در نواحی داخلی ایران نیز به تقویت حرکات سیکلونی، وزش باد شدید و انتقال گرد و خاک از بیابان‌های مجاور به داخل کشور منجر شده‌است. خروجی‌های مدل نیز نشان داد که منشأ تولید گرد و غبار شامل مناطق خشک جنوب ترکیه، بیابان‌های عراق و سوریه است که اغلب با جهات غربی و شمال غربی و بالاتر از ارتفاع ۱۵۰۰ متر به منطقه وارد شده‌اند. Karegar و همکاران (۲۰۱۶)، طی تحقیقی به شبیه‌سازی عددی طوفان ماسه و گرد و غبار شدید در شرق ایران پرداختند. آنها با استفاده از مدل WRF_Chem، DREAM و تصاویر ماهواره‌ای، به شناسایی منبع الگوی ایجاد ریزگرد و پیش‌بینی این رخداد پرداختند. نتایج نشان داد منطقه‌ی سیستان به ویژه بستر خشک تالاب هامون واقع در شرق ایران، چشمه‌ی اصلی طوفان ماسه و ریزگرد بوده‌است. همچنین شکل‌گیری طوفان‌های منطقه‌ی سیستان با توجه به ایجاد بادهای محلی، به شدت از ویژگی‌های جغرافیایی محلی متأثر می‌شود.

با توجه به گسترش وقوع گرد و غبار در سال‌های آتی، خشکسالی و تغییرات اقلیمی و به وجود آمدن پهنه‌های بیابانی نوظهور، مطالعه‌ی این پدیده امری مهم تلقی می‌شود. پس باید با استفاده از تحقیقات علمی در جهت شناخت عوامل مؤثر بر رخداد این پدیده گام برداریم و مناطق منشأ ورود گرد و غبار را شناسایی کنیم. هدف اصلی این پژوهش، شناسایی چشمه‌ها و ردیابی مسیر ورود گرد و غبار به شرق ایران با استفاده از مدل HYSPLIT، تصاویر ماهواره و تحلیل‌های همدیدی است.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

حوزه‌ی آبخیز شهر داراب با مساحت ۳۰۱۳۵ هکتار، در ارتفاعات شمالی و شرقی مشرف به شهر داراب بین طول شرقی ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۴۱ دقیقه و عرض شمالی ۲۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۲ دقیقه قرار گرفته‌است و از جنوب به شهر داراب منتهی می‌شود. منطقه‌ی مورد مطالعه، قسمتی از حوزه‌ی رودخانه‌ی رودبال است و روستاهای آب‌جوان، سنگ‌چارک و تنگ‌کتویه در محدوده‌ی آن قرار دارد. از نظر تقسیمات کشوری، جزو بخش مرکزی شهرستان داراب به شمار می‌رود.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

۳- مواد و روش

در این تحقیق، ابتدا توفان‌های گرد و غبار فصل گرم سال طی دوره‌ی آماری ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ با استفاده از داده‌های هواشناسی، کد پدیده و دید افقی مطالعه شد. طبق دستورالعمل سازمان هواشناسی جهانی، روز همراه با گرد و غبار به روزی گفته می‌شود که حداقل در یکی از ۸ سینوپ گزارش شده از ایستگاه هواشناسی، یکی از کدهای مربوط به گرد و غبار شامل کدهای ۰۶، ۰۷، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸ در گروه هوای حاضر گزارش شده باشد (محمدی، ۱۳۹۴). سپس ۱۵ مورد توفان گرد و غبار شناسایی و الگوهای همدیدی آنها استخراج شد (جدول ۱). با توجه به نزدیک بودن الگوهای جوی گرد و غبار در فصل گرم سال و مسیرهای ورودی آنها به منطقه، برای جلوگیری از زیاده‌گویی یک نمونه توفان فراگیر (۱۲ تا ۱۴ آگوست ۲۰۱۸) برای تحلیل انتخاب شد. برای صحت بیشتر با استفاده از تصاویر بانند

مرئی MODIS مربوط به ماهواره‌ی ترا و آکوا، موج توفان در این روز شناسایی و غلظت گرد و غبار سطحی نیز با استفاده از شاخص ارزیابی تمرکز گرد و غبار AOD^۱ تأیید شد (محمدی، ۱۳۹۴). سپس داده‌های فشار هوا در سطح دریا (SLP)، دما، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد و ارتفاع ژئوپتانسیلی در سطوح ۸۵۰، ۵۰۰ و ۲۵۰ و جریان‌های جتی از مرکز پیش‌بینی هواشناسی به میان مقیاس اروپایی (ECMWF) با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ * ۰/۲۵ دریافت شد. سپس داده‌های مذکور با استفاده از نرم‌افزار GRADS به نقشه تبدیل و عامل همدیدی توفان بررسی شد. در مرحله‌ی بعد با استفاده از مدل HYSPLIT، مسیر حرکت ذرات و منشأ آنها در سه سطح ۵۰۰، ۱۰۰ و ۱۵۰۰ متری برای ۲۴ ساعت قبل از توفان مشخص شد. داده‌های هواشناسی مدل نیز از سامانه‌ی جهانی داده‌گواری GDAS^۲ نیم درجه به دست آمد که این مدل‌های میان مقیاس، میدان پیوسته‌ای را برای شرایط هواشناسی فراهم می‌آورد. علاوه بر داده‌های هواشناسی، زمان شروع، مختصات جغرافیایی نقاط آغاز، زمان کل اجرا، جهت حرکت پسرو^۳ یا پیشرو^۴، تراز بالای مدل (ترازی که بالاتر از آن، ارتفاع در محاسبات حذف خواهد شد) و چگونگی حرکت عمودی نیز در مدل وارد شد. مدل برای تمامی موارد، اجرا و خروجی آن با نقشه‌های همدیدی و تصاویر ماهواره مقایسه شد. در تمامی موارد، خروجی مدل توانست منشأ شکل‌گیری و نحوه‌ی انتشار توفان‌ها را با دقت بسیار زیادی پیش‌بینی کند.

۳-۱ مدل HYSPLIT

مدل HYSPLIT مدلی دوگانه برای محاسبات خط سیر حرکت گرد و غبار، پراکندگی و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن با استفاده از رویکردهای PUFF و ذرات است (Draxler and Hess, 1998). در این مدل، محاسبه‌ی مسیر و غلظت آلاینده با استفاده از حداقل پارامترهای هواشناسی انجام می‌شود (Escudero et al, 2006). روش محاسبه‌ی مدل، ترکیبی میان دیدگاه‌های اویلری^۵ (مجموع غلظت ذرات بر هر شبکه در طول مسیر حرکت تعیین می‌گردد) و لاگرانژی^۶ (مجموع غلظت ذرات برای هر شبکه با استفاده از حرکات پخش و انتقال ذرات تعیین می‌شود) است؛ به همین دلیل، HYSPLIT را مدلی دوگانه می‌نامند (Shan et al, 2009). در بعد مدل‌سازی گرد و غبار لازم است مناطقی که منابع انتشار هستند، مشخص شود. در این مدل به صورت پیش‌فرض مناطقی که کاربری بیابانی دارند، تعریف شده‌اند. این مناطق با توجه به نوع خاک سطحی (ماسه‌ای، شنی، سیلت، رس و ...)، حساسیت خاصی به فرسایش بادی دارند. پس از تعیین منابع بیابانی، مدل‌سازی با اجرای تنظیمات مدل و ورود داده‌های هواشناسی شروع می‌شود. داده‌های هواشناسی مدل را می‌توان از داده‌های دوبار تحلیل شده‌ی مرکز ملی اقیانوسی و جو آمریکا^۷، داده‌های تحلیل شده‌ی GDAS^۸ یا مدل‌های میان مقیاس جوی مثل MM5^۹ و WRF^{۱۰} به دست آورد که این مدل‌های

¹ Aerosol optical depth

² Global Data Assimilation System

³ Backward

⁴ Forward

⁵ Eulerian

⁶ Lagrangian

⁷ NCAR/NCEP Reanalysis Data

⁸ Global Data Assimilation System

⁹ Mesoscale Model

¹⁰ Weather Research and Forecasting

میان مقیاس، میدان‌های پیوسته‌ای را برای شرایط هواشناسی فراهم می‌سازد. دقت مدل در مطالعه تا حدود زیادی به داده‌های هواشناسی بستگی دارد؛ هر چه دقت و تفکیک این داده‌ها بالاتر باشد، نتایج دقیق‌تر خواهد بود (Ashrafi, 2013).

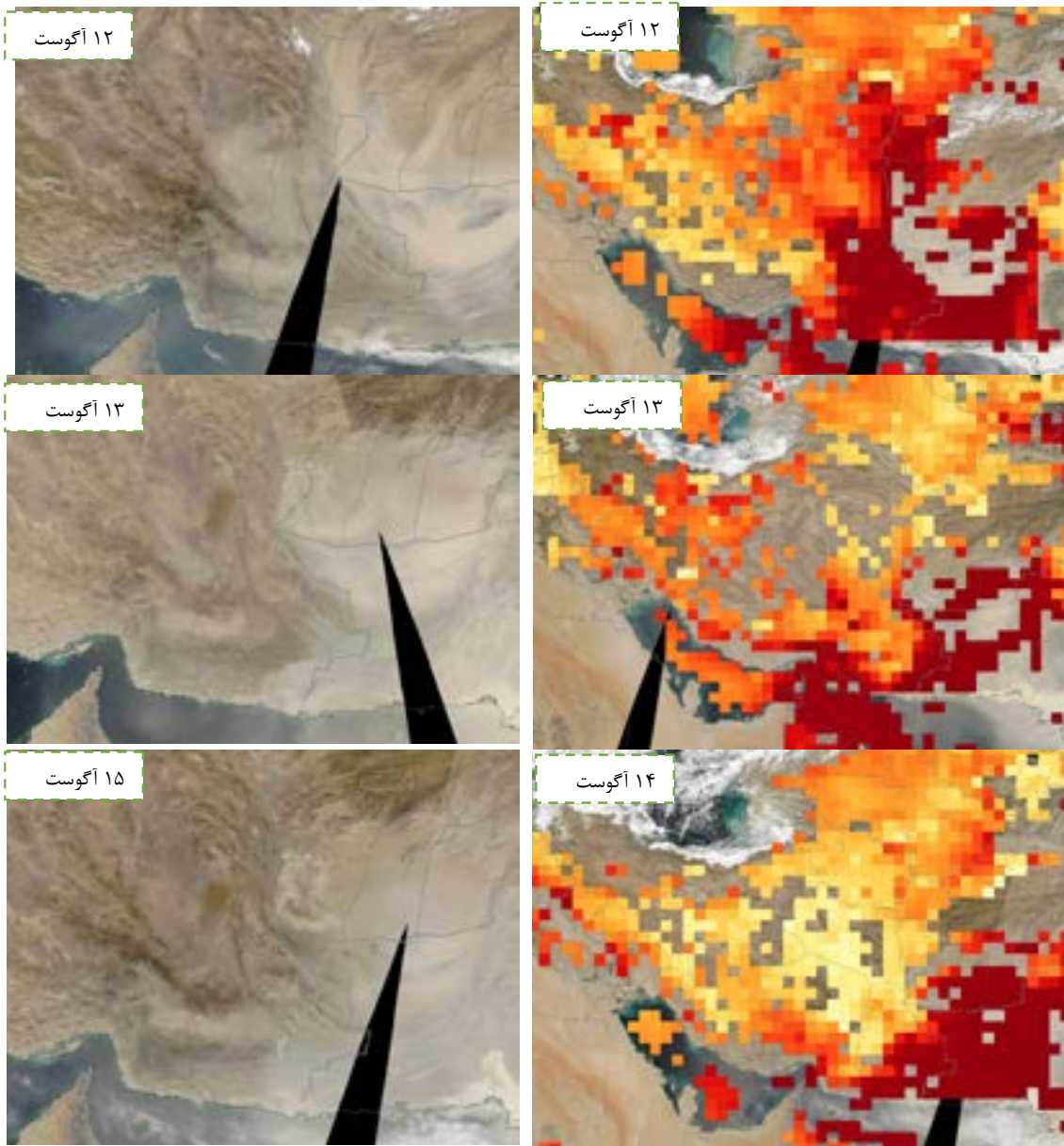
جدول ۱: تاریخ وقوع توفان‌های گرد و غبار فصل گرم در شرق ایران

ردیف	زمان رخداد	ردیف	زمان رخداد	ردیف	زمان رخداد
۱	۲۰۱۸/۸/۲۷-۲۰	۶	۲۰۱۷/۷/۱۷-۱۵	۱۱	۲۰۱۴/۸/۱۶-۱۴
۲	۲۰۱۸/۸/۷-۶	۷	۲۰۱۶/۷/۲۹-۲۷	۱۲	۲۰۱۳/۸/۱۴-۱۲
۳	۲۰۱۸/۸/۱۴-۱۱	۸	۲۰۱۵/۹/۴-۳	۱۳	۲۰۱۲/۸/۵-۳
۴	۲۰۱۸/۷/۱۲-۱۰	۹	۲۰۱۵/۸/۱۱-۸	۱۴	۲۰۱۱/۸/۶
۵	۲۰۱۷/۸/۵-۱	۱۰	۲۰۱۴/۹/۲۰-۱۸	۱۵	۲۰۱۰/۹/۱۶

۴- یافته‌ها (نتایج)

۴-۱ بررسی همدیدی توفان گرد و غبار

برای بررسی همدیدی توفان گرد و غبار، ۱۲ تا ۱۴ آگوست ۲۰۱۸ انتخاب شد که علت آن گسترده‌گی و تأثیرگذاری آن در سراسر ایستگاه‌های منطقه‌ی نیمه شرقی ایران بود که دید افقی را در اکثر ایستگاه‌ها به کمتر از ۲۰۰ متر تقلیل داد. در این روز بستر خشک هامون، پوزک، صابری و هیرمند و دشت‌های افغانستان در تغذیه‌ی توفان سهیم بودند. شکل شماره‌ی ۲، تصاویر باند مرئی و عمق اپتیکی غلظت گرد و غبار سطحی و منشأ ورود گرد و غبار به منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در تصاویر باند مرئی روز قبل از توفان، هسته‌ی گرد و غبار در مرزهای ترکمنستان با شمال شرق ایران شکل گرفته بود که در روز ۱۲ آگوست ۲۰۱۸ به سمت عرض‌های پایین و نیمه‌ی شرقی کشور گسترش قابل ملاحظه‌ای داشت. سپس در روز سیزدهم به سمت افغانستان، پاکستان و ایستگاه‌های نیمه‌ی جنوب و جنوب شرقی گسترش یافت و در روز چهاردهم در خارج از مرزهای ایران به سمت پاکستان عقب‌نشینی کرد. تصاویر شاخص عمق اپتیکی و غلظت گرد و غبار سطحی نیز نشان داد که در این روز عمق اپتیکی و غلظت گرد و غبار در مناطق شرقی ایران (و بیابان‌های افغانستان، پاکستان و ترکمنستان) بسیار بالاست. با حرکت توده‌ی حامل گرد و غبار به سمت عرض‌های پایین و ایستگاه‌های جنوب شرقی، غلظت سطحی و عمق اپتیکی در منطقه‌ی جنوب شرق نیز افزایش می‌یابد. بنابراین تصاویر عمق اپتیکی نیز توفان مذکور و شدت آن را برای نیمه‌ی شرقی ایران و محدوده‌ی افغانستان، پاکستان و مناطق جنوبی تأیید می‌کند که با نتایج Draxler (1998) و Stohl (1998) همسو می‌باشد.

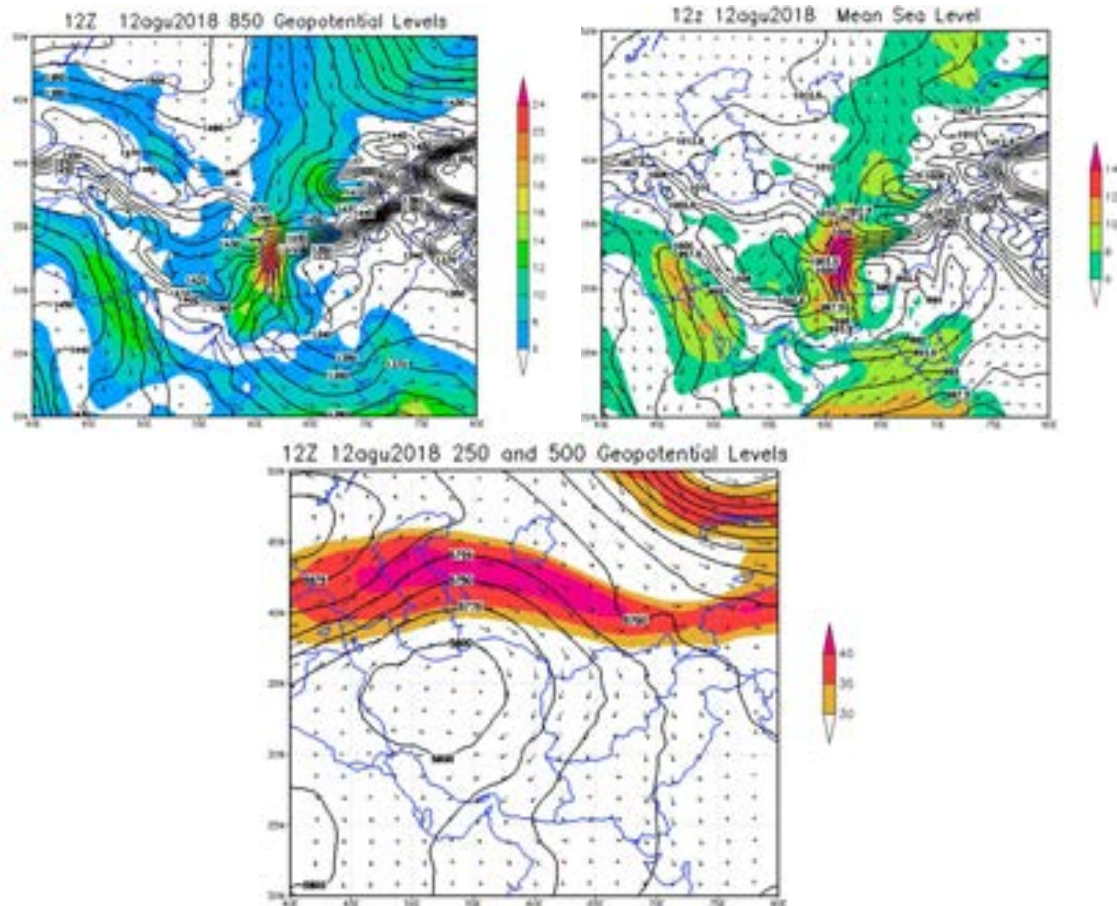


شکل ۲: تصاویر AOD به رنگ قرمز (شدت و غلظت گرد و غبار) و MODIS (بانده مرئی) به ترتیب زوجی برای روزهای گرد و غبار ۱۲ تا

۱۴ آگوست ۲۰۱۸

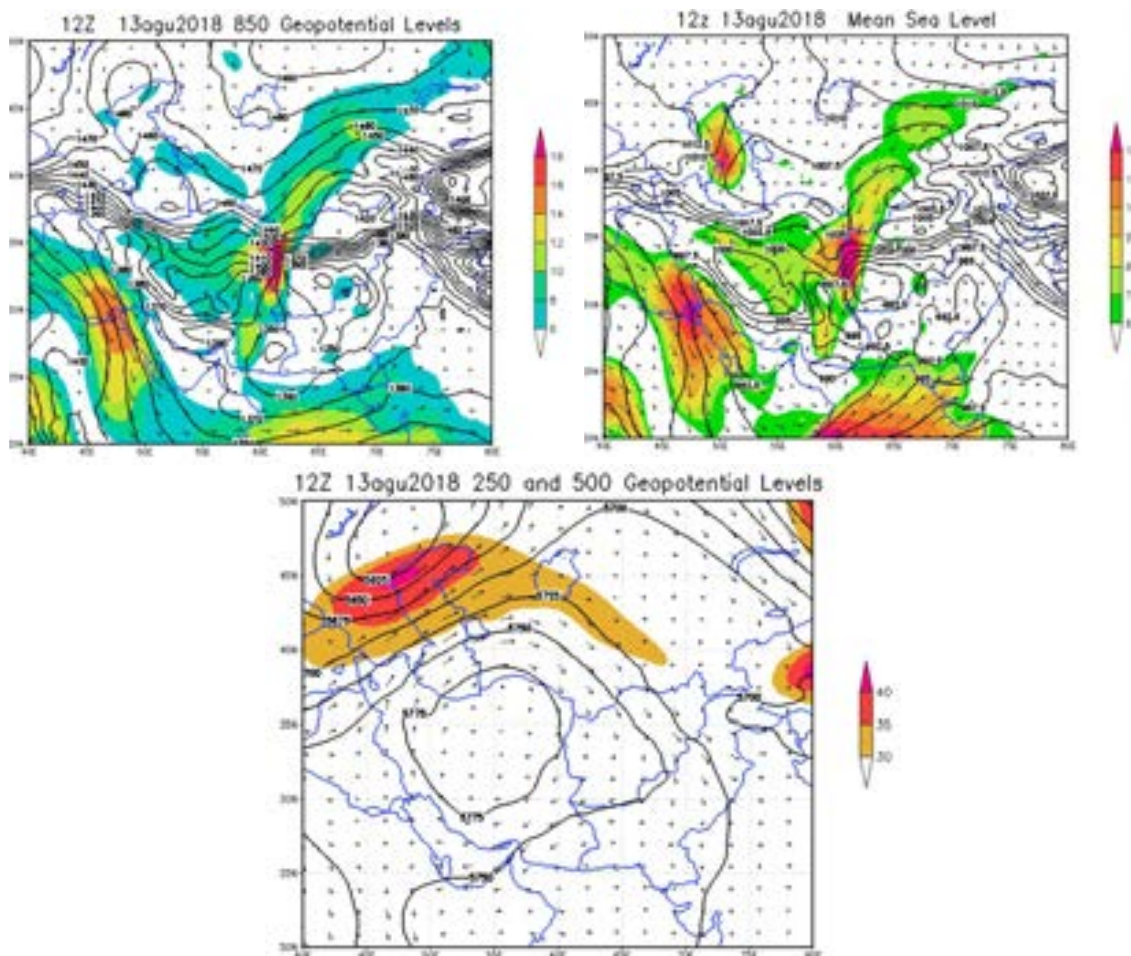
در نقشه‌ی تراز دریا روز ۱۲ آگوست ۲۰۱۸، مرکز کم‌فشار قوی دو سلولی - که یک هسته‌ی آن بر روی شرق پاکستان است و هسته‌ی دیگر آن بر جنوب افغانستان - با فشار مرکزی ۹۹۰ هکتوپاسکال شکل گرفت که زبانه‌های آن به سمت شرق ایران، خلیج فارس و عربستان تا شمال عراق پیشروی کرد. همچنین در شمال شرق افغانستان، هسته‌ی مرکزی پرفشار با فشار مرکزی ۱۰۱۰ هکتوپاسکال مشاهده شد؛ به طوری که شمال شرق منطقه نیز شرایط پرفشاری ۱۰۱۰ هکتوپاسکالی داشت. هسته‌ی پرفشار باد با سرعت ۱۴ متر بر ثانیه در مرزهای شرقی ایران شکل گرفت. در این روز، خط همدمای ۴۰ درجه‌ی سانتیگراد از مرزهای شرقی ایران عبور کرد؛ در حالی که در مرزهای

شمال شرقی کشور خط همدمای ۳۰ درجه‌ی سانتیگراد ملاحظه می‌شد. اختلاف دما بین مناطق شمالی و جنوبی، ۱۰ درجه‌ی سانتیگراد بود. فشردگی خطوط در این روز، شدت ناپایداری و جریان شدید باد را در این منطقه نشان می‌داد که با شدت یافتن جریان باد و از طرفی عبور از روی مناطق بیابانی، به سمت منطقه‌ی مورد مطالعه حرکت می‌کرد و روزهای گرد و غباری را بر روی منطقه در پی داشت. در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز مرکز کم ارتفاع ۱۳۴۰ ژئوپتانسیل متر، در جنوب افغانستان و شمال پاکستان بسته شد که زبانه‌های آن تا شرق مدیترانه نیز پیشروی کرد. مرکز پرارتفاعی در اروپای مرکزی نیز شکل گرفت که زبانه‌های آن شمال شرق منطقه را پوشش داد و سرعت باد در مرزهای شرقی ایران نیز به ۲۴ متر بر ثانیه افزایش یافت. در سطح ۵۰۰، الگوی زبانه پرفشار آזור بر روی ایران قرار داشت؛ طوری که سلول هم ارتفاع بسته ۵۸۰۰ ژئوپتانسیل متر در مرکز ایران مشاهده می‌شد که شرق زبانه پرارتفاع نیمه‌ی شرقی ایران را پوشش می‌داد. جریان جت قوی نیز بر روی ترکمنستان وجود داشت که سرعت باد در مرکز آن به بیش از ۴۵ متر بر ثانیه می‌رسید. این شرایط به تقویت جریان‌های افقی و عمودی اتمسفری در محدوده‌ی فعالیت رودباد منجر می‌شد که در صورت فعالیت در مناطق مستعد تولید گرد و غبار، شرایط را برای انتقال آن در مسافت‌های طولانی مهیا می‌ساخت. عواملی از قبیل خشکی سطح زمین، تابش شدید و بستر خشک و عاری از رطوبت دریاچه‌ی هامون، شرایط مطلوبی را برای رخ دادن توفان گرد و غبار مذکور فراهم کرده بود (شکل ۳). نتایج این الگو با مطالعات Mofidi and Kamali (۲۰۱۳) و Alijani and Raispour (۲۰۱۲) همخوانی دارد.



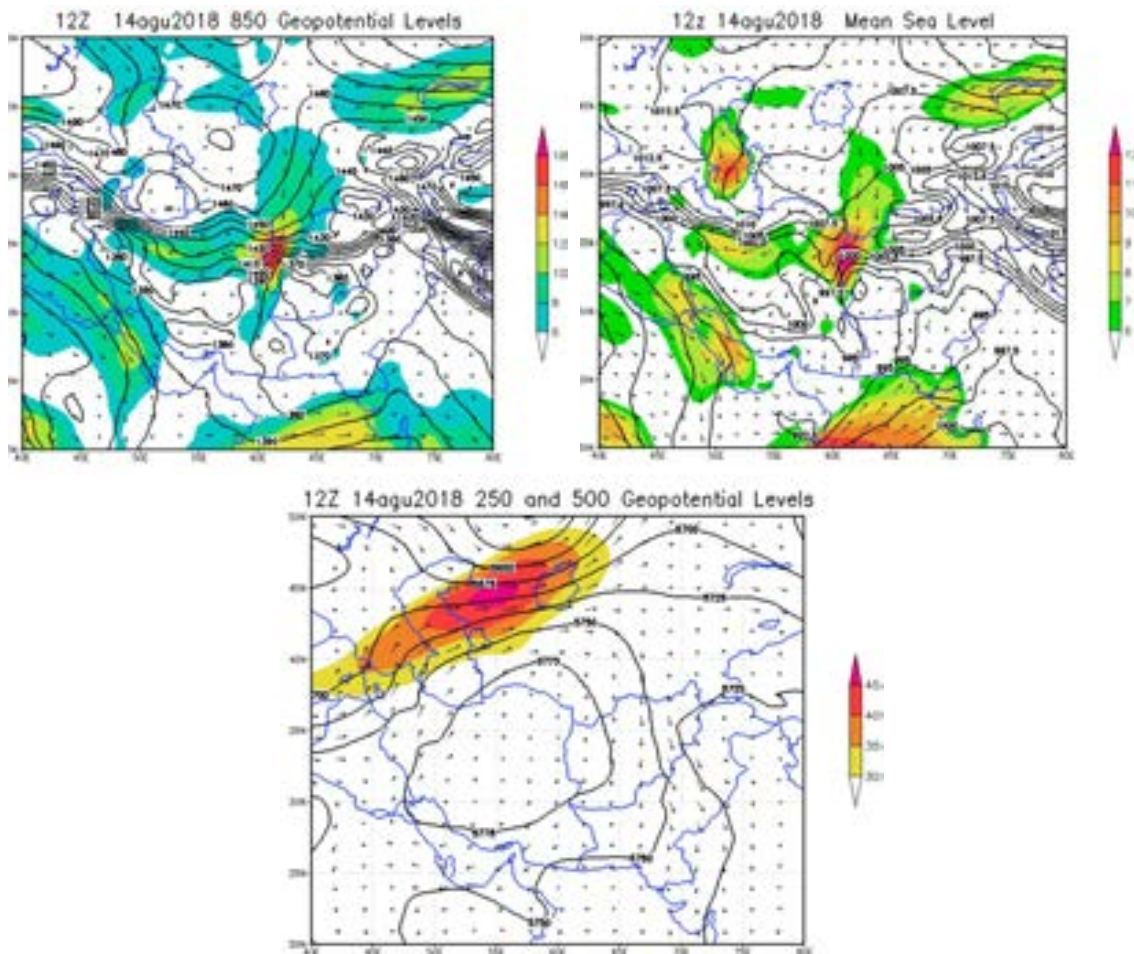
شکل ۳: به ترتیب از راست به چپ نقشه‌های فشار سطح دریا (خطوط مشکی)، نقشه‌ی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ و ۵۰۰ (خطوط مشکی)، نقشه-های سرت باد و جریان جت (هابلات رنگی) برای روز ۱۲ آگوست ۲۰۱۸

در روز ۱۳ آگوست ۲۰۱۴ نیز کم‌فشار با سلول هم‌فشار بسته ۹۹۰ بر روی جنوب افغانستان و شمال ترکمنستان واقع بود که نسبت به روز قبل عقب‌نشینی مختصری داشت. کم‌فشار روز قبل که در جنوب پاکستان قرار داشت، در این روز بر روی عمان قرار گرفت و زبانه‌های حاصل از آن تا شرق مدیترانه پیشروی کرد. پرفشار شمال شرق کشور نیز نسبت به روز قبل به سمت غرب خزر عقب‌نشینی کرد و مرزهای شمالی، دمای ۳۰ درجه و جنوب و جنوب شرقی، دمای ۴۰ درجه داشت. هسته‌ی پرسرعت باد بیش از ۱۴ متر بر ثانیه نیز در مرزهای شرقی برقرار بود. در تراز ۸۵۰، سرعت باد نسبت به روز قبل کاهش یافت و به ۱۶ تا ۱۸ متر بر ثانیه رسید. مرکز کم‌ارتفاع ۱۳۴۰ نیز به دو سلول کوچک تقسیم شد. در سطح ۵۰۰ هم ارتفاع ۵۸۰۰ نسبت به روز قبل عقب‌نشینی کرد و بر روی شمال آفریقا مستقر شد که زبانه‌ی آن به صورت بلوکی‌نگامگایی شکل، منطقه‌ی مطالعه را پوشش داد. سرعت جریان جت نیز نسبت به روز قبل کاهش یافت و به سمت شمال خزر و ترکیه جابجا شد. جهت جریان‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه، شمال شرقی - جنوب شرقی است که پس از گذر از مناطق خشک و بیابانی ترکمنستان و افغانستان، ذرات گردوغبار را به منطقه منتقل می‌کرد (شکل ۴).



شکل ۴: به ترتیب از راست به چپ نقشه‌های فشار سطح دریا (خطوط مشکی)، نقشه‌ی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ و ۵۰۰ (خطوط مشکی)، نقشه‌ی های سرت باد و جریان جت (هایلات رنگی) برای روز ۱۳ آگوست ۲۰۱۸

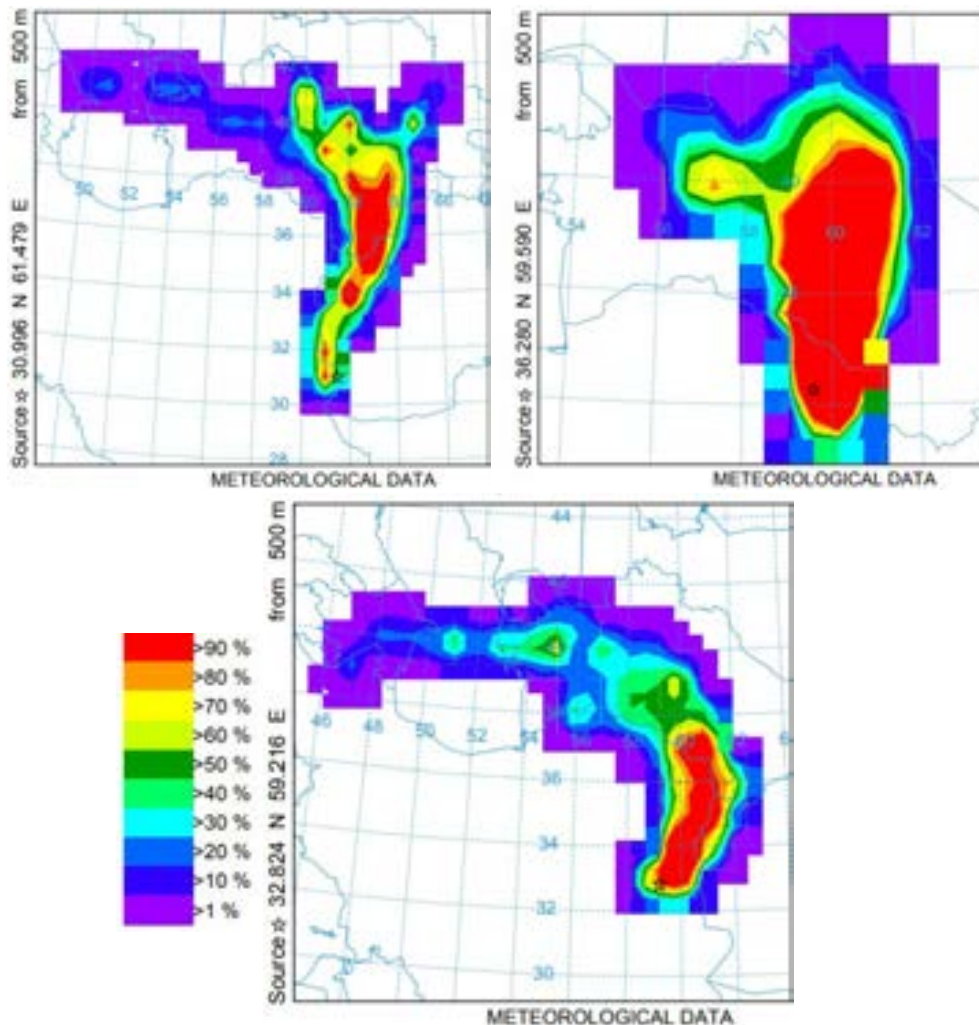
در روز ۱۴ آگوست ۲۰۱۸، مرکز کم‌فشار روز قبل به ۹۹۵ هکتوپاسکال افزایش یافت، به سمت جنوب شرق پاکستان جابجایی اندکی داشت و کل منطقه زیر نفوذ زبانه‌های کم فشار بود؛ به طوری که اختلاف فشار بین شمال و جنوب منطقه در این روز ضعیف شد. اختلافات دما نیز در منطقه از بین رفت؛ به گونه‌ای که خط همدمای ۴۰ درجه در نیمه‌ی شرقی حاکم شد. هسته‌ی سرعت باد نیز به منطقه‌ی کوچکی محدود شد. در سطح ۸۵۰ نیز شرایط سطح زمین حاکم است. در سطح ۵۰۰، جریان جت به سمت ترکیه عقب‌نشینی کرد و زبانه‌ی پرارتفاع آזור، منطقه را احاطه کرد. به وضوح دیده می‌شود که کاهش اختلاف دما و شیو فشار در منطقه به کاهش ناپایداری هوا نسبت به روز قبل منجر شده‌است؛ به طوری که در این روز شدت و وسعت توفان گرد و غبار کاهش یافت، دید افقی از وضعیت مطلوب‌تری برخوردار شد و شرایط جوی نسبتاً صاف و آرامی بر منطقه حاکم شد (شکل ۵).



شکل ۵: به ترتیب از راست به چپ نقشه‌های فشار سطح دریا (خطوط مشکی)، نقشه‌ی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ و ۵۰۰ (خطوط مشکی)، نقشه‌های سرت باد و جریان جت (هابلات رنگی) برای روز ۱۴ آگوست ۲۰۱۸

۲-۴ خروجی مدل HYSPLITE

با توجه به شکل ۶، خروجی‌های مدل HYSPLIT به صورت نقشه برای روزهای ذکر شده ارائه و سه ایستگاه زابل، بیرجند و مشهد به عنوان ایستگاه‌های مرجع انتخاب شد. ذرات در سه سطح ۱۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۵۰۰ از سطح زمین در حد فاصل زمانی ۲۴ ساعت قبل از توفان، به روش پسگرد ردیابی شد. همان طور که ملاحظه می‌شود در بیش از ۹۰ درصد پیش‌بینی مدل منشأ توفان‌های گرد و غبار، منطقه‌ی بیابان‌های ترکمنستان، قزاقستان، شمال غرب افغانستان و دشت سیستان بود که بیشترین درصد فراوانی را به خود اختصاص داده بود. بررسی مسیرهای انتقال ذرات در توفان‌های گزارش شده نشان می‌داد که ذرات گرد و غبار مسیر مشابهی را از شمال غرب و شمال شرق به جنوب شرق پیموده‌است. در واقع نتایج تحقیق با نتایج Azizi و همکاران (۲۰۱۳)، Rivandi و همکاران (۲۰۱۳) و Ashrafi و همکاران (۲۰۱۳) همسو می‌باشد.



شکل ۶: فراوانی خروجی مدل HYSPLIT و مسیر رو به عقب انتقال گرد و غبار برای سه ایستگاه مرجع در شرق کشور در تاریخ ۱۲ تا ۱۴ آگوست ۲۰۱۸

۵- بحث و نتیجه گیری

نیمه شرقی ایران به دلیل وجود بادهای ۱۲۰ روزه، رطوبت اندک، پوشش گیاهی ضعیف و بسترهای خشک منطقه‌ای، مکانی مستعد برای رخ دادن پدیده‌ی گرد و غبار به صورت مکرر است؛ از این رو، شناخت چگونگی پیدایش و مسیر وزش توفان‌های گرد و غباری می‌تواند در یافتن راهکارهایی برای کاهش اثرات زیان‌بار این پدیده در منطقه‌ی مورد مطالعه مؤثر واقع شود. لذا در این پژوهش به تحلیل آماری، همدیدی و سنجش از دور گرد و غبار در شرق ایران پرداخته شد. با توجه به مطالعات صورت گرفته و بر اساس نتایج حاصل از تصاویر ماهواره‌ی MODIS و شاخص ارزیابی غلظت گرد و غبار، صحرای قره‌قوم در ترکمنستان، دشت مارگو و ریگستان در افغانستان و دشت سیستان، منابع اصلی گرد و غبار در شرق ایران هستند. این مناطق اکثراً پوشیده از رس، ماسه، تپه‌های ماسه‌ای و رسوبات کف دریاچه‌های خشک شده‌است که در فصل گرم سال همزمان با فعالیت باد ۱۲۰ روزه می‌تواند به فرسایش خاک و انتقال گرد و غبار به منطقه منجر شود. کارگر در تحقیق سال ۱۳۹۴ خود نیز به این امر

اشاره کرده‌است (Karegar, 2016). با توجه به الگوهای سینوپتیکی رخداد گرد و غبار طی دوره‌ی گرم سال، سطوح فوقانی فلات ایران تحت سیطره‌ی پرفشار جنب حاره آزر قرار دارد و در سطح زمین هم کم‌فشار حرارتی در نیمه‌ی شرقی گسترش می‌یابد. زمانی که دو هسته‌ی کم فشار قوی با مرکزیت ۹۹۰ هکتوپاسکال، در جنوب غرب افغانستان و جنوب شرق پاکستان استقرار یابد؛ به گونه‌ای که زبانه‌های آن به سمت منطقه‌ی مورد مطالعه نفوذ و تا شرق مدیترانه پیشروی کند، شرایط مناسب را برای صعود حجم عظیمی از گرد و غبار به هوا فراهم می‌سازد که در صورت خشک بودن منطقه و شمال شمال غربی و شمال شرقی بودن جریان‌های سطوح فوقانی، این پدیده تشدید می‌شود و به نیمه‌ی شرقی ایران انتقال می‌یابد. در سطوح بالای جو به دلیل پایداری هوا، رخداد بلو کینگ و سکون هوا، گرد و غبار از نظر زمانی دوام بیشتری دارد و روند نشست آن به سطح زمین، روزهای بیشتری دوام خواهد داشت. عقب‌نشینی پرفشار مستقر در شمال شرق و کم‌فشار مستقر در جنوب افغانستان به کاهش گرد و غبار و خروج آن از منطقه‌ی مورد مطالعه منجر شده‌است. نقشه‌های تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز مؤید همین وضعیت است. نتایج حاصل از خروجی مدل‌سازی HYSPLIT نیز نشان داد که منشأ گرد و غبارهای نیمه‌ی شرقی ایران در توفان بررسی شده به میزان ۹۰ درصد از بیابان‌های ترکمنستان، شمال غرب افغانستان، قزاقستان و دشت سیستان سرچشمه می‌گیرد که با جهت شمال شمال غربی و شمال شرقی وارد منطقه‌ی مورد مطالعه می‌شود. نتایج به دست آمده در این تحقیق با نتایج پژوهش Rezazadeh و همکاران (۲۰۱۳)، karegar و همکاران (۲۰۱۶)، Rashki و همکاران (۲۰۱۵)، Alijani and Raispour (۲۰۱۲)، Doostan (۲۰۱۸)، Alizadeh Choobari و همکاران (۲۰۱۴) — که ضمن تحلیل همدیدی گرد و غبار در شرق ایران، مدل‌سازی عددی را نیز بررسی کرده‌اند — همخوانی دارد و نشان می‌دهد که اختلاف شدید فشاری بین دریای خزر و پاکستان سبب تشدید سرعت باد و ایجاد توفان گرد و غبار با جریان‌های شمال — شمال غربی در منطقه می‌شود. در تمامی موارد، نتایج مدل با مطالعات همدیدی و ماهواره‌ای مقایسه و تأیید شده‌است.

منابع

1. Alam, K.; Qureshi, S.; & T. Blaschke, 2011. Monitoring Spatio-temporal aerosol patterns over Pakistan based on MODIS, TOMS and MISR satellite data and a HYSPLIT model, *Atmospheric Environment*, 45, 4641- 4651.
2. Akbary, M., & M. Farahbakhshi., (2016). Synoptic Analysis and Path Simulation of Severe Dust Storms. *Geographic Space*. 16 (55), 291- 273. (In Persian)
3. Alijani, B., & K. Raispour., (2012). Statistical analysis of dust storms in south east of Iran (Case study: Sistan province). *Journal of Arid Regions Geographical Studies*. 5, 107 - 128. (In Persian)
4. Arimoto. R., 2002. Relationships to source, troposphere chemistry, transport and deposition, *Earth science*. 30.
5. Alizadeh-Choobari, O.; Zavar-Reza, P.; & A. Sturman, 2014. The “wind of 120 days” and dust storm activity over the Sistan Basin, *Atmospheric Research*, 143, 328 -341.

6. Ashrafi, Kh.; Shafipour, M.; & A. Aslmand, 2013. Study of Dust Storm route on Iran by Using Numerical Modeling and Satellite Images, *Environmental Science and Engineering*, 00(56), 3 - 12 (In Persian).
7. Azizi, Gh.; Miri, M.; & S. M. Nabavi, 2013. Detection of dust phenomena in the southwestern part of Iran, *Journal of Arid Regions Geographical Studies*, 7, 1-18 (In Persian)
8. Bayat, A.; Masoumi, A.; & H. R. Khalesifard, 2010. Retrieval of atmospheric optical parameters from ground-based sun-photometer measurements for Zanjan, Iran, *Atmospheric Measurement Techniques Discussion*, 3, 2633 - 2649. (In Persian)
9. Draxler, R., & G. D. Hess., (1998). An overview of the HYSPLIT_4 modeling system for trajectories, dispersion and Deposition, *Australian Meteorological Magazine*, 47, 295 - 308.
10. Doostan , R., 2018. Synoptic Analysis of Dust in the North East of Iran, *jurnal of natural environment hazards*, 7(16), 23 - 44. (In Persian)
11. Escudero, M.; Stein, A.; Draxler, R. R.; Querol, X.; Alastuey, A.; Castillo, S.; & A. Avila, 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*, 111: D06210doi:10.1029/2005JD006395.
12. Engelstaedter, S.; Washington. R.; & I. Tegen, 2006. North African dust emissions and transport, *Earth Science Review*, 79, 73 - 100, doi:10.1016/j.earscirev.2006.06.004.
13. Goudie, A. S., 1983. Dust storms in space and time, *Prog. Phys. Geogr*, 7, 502 - 530.
14. Goudie, A. S., & N. J. Middleton., (1992). The changing frequency of dust storms through time. *Climate Change*. 20, 197 - 223.
15. Kaskaoutis, D. G.; Kalapureddy, M. C. R.; Krishna Moorthy, K.; Devara, P. C. S.; Nastos, P. T.; Kosmopoulos, P. G.; & H. D. Kambezidis, 2010a. Heterogeneity in premonsoon aerosol types over the Arabian Sea deduced from shipboard measurements of spectral AODs, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 4893 - 4908.
16. Karegar, E.; Bodagh Jamali, J.; Goshtasb, H.; Ranjbar saadat abadi, A.; & M. Moeinaddini, 2016. Numerical Simulation of Extreme Sand and Dust Storm in East of Iran, by the WRF_Chem Model Case study; 1 May & 1 June 2011, *Jurnal of Natural Environment*, 69(4), 1077-1089. (In Persian)
17. Kim, D.; Chin, M.; Yu, H.; Eck, T. F.; Sinyuk, A.; Smirnov, A.; & B. N. Holben, 2011. Dust optical properties over North Africa and Arabian Peninsula derived from the AERONET dataset, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, 20181 - 20201.
18. Lin, Gguanghui., 2002. dust storm in the 1930 and sand storm in 1999 in the USA, *Global Alarm; dust and sand storm from the world dry lands*, 160 - 170.
19. Lashkari, H., 2008. Synoptic analysis of the incidental cold wave in Iran, *Natural Geography Research*, 66, 18 - 1. (In Persian)
20. Mohammadi, Gh. H., 2015. Analysis of Atmospheric Mechanisms in Dust Transport over West of Iran. Ph.D. Thesis, climatology department, University of Tabriz, Iran. 127 Pages. (In Persian)
21. Maghrabi, A.; Alharbi, B.; & N. Tapper, 2011. Impact of the March 2009 dust event in Saudi Arabia on aerosol optical properties, meteorological parameters, sky temperature and emissivity, *Atmospheric Environment*, 45, 2164 - 2173.
22. Middleton, N. J., 1986. Dust storms in the Middle East, *Arid Environment*, 10, 83 - 96.
23. Middleton, N. J., & A. S. Goudie., (2001). Saharan dust: sources and trajectories, *Transactions of the Institute of British Geographers*, 26, 165 - 181.

24. Malekoty, H.; Baba Hussein, S.; Noahgar, A.; Azadi, M.; & M. R. Mohammadpour, 2012. Numerical and Synoptic Study of Emission, Transport and Identify Potential Sources of a Severe Dust Storm Over Middle East, *Environmental Erosion Research*, 3(4), 69 - 80 (In Persian)
25. Mofidi, A., & S. Kamali., (2013). Investigating the Structure of Dust-storms in the Sistan Region by using Regional Climate Model RegCM4; Case Study July 30, 2001, First desert national Congress, 1 - 16. (In Persian)
26. Mohammadpour Penchah, M. R.; Memarian, M. H.; & S. M. Mirrokni, 2015. Modeling and Analysis of Dust Storms of Yazd Province Using Numerical Models, *Geography and Environmental Hazards*, 3(12), 67 - 83. (In Persian)
27. Natsagdari, L.; Jugder, D.; & Y. Schung, 2002. Analysis of dust storms observed. Mongolia during 1937-1999, *Atmospheric Environment*, 37(9 - 10), 1401 - 1411.
28. Petzold, A.; Rasp, K.; Weinzierl, B.; Esselborn, M.; Hamburger, T.; & A. Dornbrack, 2009. Saharan dust absorption and refractive index from aircraft-based observation during SAMUM2006, *journal of Tellus*, 61, 118 - 130.
29. Prospero, J. M.; Blades, E.; Naidu, R.; Mathison, G.; Thani, H.; & M. C. Lavoie, 2008. Relationship between African dust carried in the Atlantic trade winds and surges in pediatric asthma attendances in the Caribbean. Int, *journal of Biometeorol*, 52, 823 - 832.
30. Rivandi, A.; Mirrokni, M.; & A. Mohammadiha, 2013. Investigation of Formation and Propagation of Dust Storms Entering to the West and Southwest of Iran Using Lagrangian Particle Diffusion Model, HYSPLIT, *journal of Research Climatology*, 13, 1 - 149.
31. Rashki, A.; Kaskaoutis, D. G.; Francois, P.; Kosmopoulos, P. G.; & M. Legrand, 2015. Dust-storm dynamics over Sistan region, Iran: Seasonality, transport characteristics and affected areas, *Aeolian Research*, 16, 35 - 48.
32. Saligheh, M.; Khosravi, M.; & I. Pudineh, 2010. The Effects of Local Changes Climate in Lake Hamoon in Sistan, Fourth International Congress of Geographers of the Islamic World, Zahedan, 15 - 1. (In Persian)
33. Rezazadeh, M.; Irannejad, P.; & Y. Shao, 2013. Climatology of the Middle East dust events, *Aeolian Research*, 103 - 109.
34. Romanoff. B., 1961. Dust storms in Gobi an Zone of Mongolia, The First PRC-Mongolia Workshop on climate change in arid and semi - arid Region over the Central Asia. 21.
35. Rousseau, D. D.; Duzer, D.; Etienne, J. L.; Cambon, G.; Jolly, D.; Ferrier, J.; & P. Schevin, 2004. Pollen record of rapidly changing air trajectories to the North Pole, *Journal of Geophysical Research*, 109.
36. Shan, W.; Yin, Y.; Lu, H.; & S. Liang, 2009. A meteorological analysis of ozone episodes using HYSPLIT modeland surface data, *Atmospheric Research*, 93, 767 - 776.
37. Salazar, C.; Alvarez, C.; Silva, H. A.; & C. Dorantes, 1994. Radioactivity in air around nuclear facilities in Mexico, *Environmental International*, 20, 747 - 756.
38. Smirnov, A.; Holben, B. N.; Dubovic, O.; O'Neill, N. T.; Eck, T. F.; Westphal, D. L.; Gorothe, A. K.; Pietras, C.; & I. Slutsker, 2002. Atmospheric aerosol optical properties in the Persian Gulf, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 59, 620 - 634.
39. Stohl, A., 1998. Computation, accuracy and applications of trajectories - a review and bibliography, *Atmospheric Environment*, 32, 947 - 966.
40. Vali, A. A.; Khamooshi, S.; Mousavi, SH.; Panahi, F.; & E. Tamassoki, 2015. Climatic Analysis and Routing of Comprehensive Dust Storms in the South and Center of Iran, *journal of environmental studies*, 40(4), 961 - 972. (In Persian)

41. Washington, R.; Todd, M. C.; Middleton, N. J.; & A. S. Goudie, 2003. Dust-storm source areas determined by the total ozone monitoring spectrometer and surface observations, *Annals of the American Association of Geographers*, 93, 297 - 313.

Analysis and tracking dust storms routes entering to east of Iran using the particle diffusion HYSPLIT model

Zahra Yarmoradi: *Ph.D. Student in Climatology, University of Lorestan, Khorramabad*

Behrouz Nasiri¹: *Associate Professor, Department of Climatology, University of Lorestan, Khorramabad*

Gholam Hasan Mohamadi: *Meteorological Expert of East Azarbaijan, Tabriz*

Mostafa Karampour: *Assistant Professor, Department of Climatology, University of Lorestan, Khorramabad*

Article History (Received:2019/02/10

Accepted: 2019/05/25)

Extended abstract

1- Introduction

A dust storm is one of the biggest serious environmental problems in the arid and semi-arid regions of the world, causing irreparable damages to farms, facilities, roads, traffic and transportation every year and respiratory problems by contaminating the air. Due to the geographic location of Iran which is in the arid and semi-arid belt of the world, the country is frequently exposed to local and synoptic dust systems. Considering the increasing occurrence of dust in the coming years, drought and climate changes and the emergence of desert zones, the study of this phenomenon is considered important and should be studied by using scientific researches to identify the factors affecting the occurrence of this phenomenon and dust source areas. The main purpose of this research is to identify the sources and also track the dust route entering the east of Iran using the HYSPLIT model, satellite images and synoptic analysis.

2- Methodology

In this study, At first, warm season dust storms were studied by using weather data, phenomenal code and horizontal visibility. Then, the storm from August 12 to 14, 2018, was recorded using weather data for East stations and horizontal visibility. For more accuracy, MODIS images of the storm wave on this day were identified and the surface dust concentration was confirmed using the AOD Index. Then, using the European Center for Average Meteorological Data (ECMWF) with a spatial resolution of $0.25 * 0.25$, sea level pressure (SLP), temperature, direction and wind speed, and geopotential height At 850, 500 and 250 levels, jet streams were investigated and The synoptic factor of the dust storm was determined. In the next step, using the HYSPLIT model, the path of motion of particles and their source were determined at three levels of 500, 1000 and 1500 meters for 24 hours before the storm. The meteorological data of the model was obtained from a 0.5 degree GDAS.

3- Results

The intensity and extent of the dust storm from August 12 to 14, 2018 showed that its horizontal visibility had been decreased to less than 200 meters across stations in eastern half areas of Iran. On this day, the dry bed of Hamoun, Pozak, Saberi and Hirmand, Afghanistan's plains have been contributed to nourish the storm. The results of synoptic studies showed that when there is a high pressure independent cell in the north-east of Afghanistan and north-east of Iran as well as a low-pressure cell in the southwestern part of Afghanistan, a severe gradient is made between these regions that causes the wind speed at ground level to be more than 14 meters per second. The severe pressure and temperature differences in the region, the lack of humidity and the high radiation angle have

¹ Corresponding Author: Nasiri.b@lu.ac.ir

drove the dust of deserts outside the northern and eastern borders toward the region, and this area has been under the Azores subtropical high pressure, which its blockage at high levels leads the persistence of dust for three days in eastern Iran. The results of the model also showed that more than 90% of the dust entry routes to the east enters the eastern part of Iran from the deserts of Turkmenistan, Khazakhstan and Afghanistan.

4- Discussion & Conclusions

Due to 120-day winds, low humidity, poor vegetation and dry regional substrates, the eastern part of Iran is prone to the frequent occurrence of dusty phenomena. Based on satellite images and AOD index, the storm has formed in the desert region of Turkmenistan and has been expanding to eastern Iran. According to the synoptic study of the warm period of the dust storm in the east, the upper levels of the Iranian plateau are under the control of the Azores high pressure and on the ground surface, the thermal low is also increasing in the eastern half. When two strong low-pressure nuclei with a 990 hp center in southeastern Afghanistan and southeastern Pakistan were deployed so that its tabs penetrated into the studied region and progressed to the Mediterranean, it created the appropriate conditions for climbing a huge amount of dust into the air that in the case of dryness of the area and north-northwestern and northeastern flow of the upper levels, this phenomenon intensified and moved to the eastern part of Iran. At high atmospheric levels, due to air stability and blocking events, as well as air stagnation, the dust is more durable temporally and the process of bringing it down to the ground surface will last longer days. The results of the HYSPLITE modeling output also showed that the source of dust of the eastern half of Iran in the storm studied enter the studied area from the deserts of Turkmenistan and northwest of Afghanistan and Khazakhstan with the north, northwest and northeastern directions up to 90 percent. In all cases, the results of the model are compared with and confirmed by satellite and synoptic studies.

Key Words: Tracking, Dust, HYSPLI, MODIS.