

بررسی و شبیه‌سازی انتقال بلند برد ذرات گردو خاک از خاورمیانه تا شرق آسیا مطالعه موردی: (گردو خاک ۱۲-۱۸ مارس ۲۰۲۱)

سارا کرمی^۱، زهرا قصابی^{۲*}

^۱ استادیار گروه پژوهشی آلودگی هوا و گردو خاک، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران
^۲ استادیار گروه پژوهشی پیش آگاهی مخاطرات جوی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۱۹ ، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۳

چکیده

در این مطالعه پدیده شدید و گسترده گردو خاک در ۱۲-۱۸ مارس ۲۰۲۱ (۲۲ تا ۲۸ اسفند ۱۳۹۹) در بخش وسیعی از آسیا (خاورمیانه، آسیای مرکزی و شرقی) با استفاده از داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های همدیدی و برون‌داد مدل پخش HYSPLIT و مدل WRF-Chem بررسی شد. در روز ۱۲ مارس همزمان با انتقال ذرات گردو خاک از عراق به ایران، گسیل گردو خاک از بیابان‌های عربستان آغاز شده و ذرات گردو خاک به سمت کشورهای افغانستان، پاکستان و چین منتقل شدند. علاوه بر انتقال بلند برد، گسیل گردو خاک از چشمه‌های محلی در مناطق مرزی کشورهای افغانستان، پاکستان، ایران و مناطق مرکزی ترکمنستان و مناطق غربی و مرکزی چین سبب افزایش شدت پدیده و گستردگی مناطق تحت تاثیر گردو خاک شد. در تحلیل همدیدی، مجموعه‌ای از سامانه‌های کم‌فشار در جنوب عربستان، جنوب و جنوب شرقی ایران، قرقیزستان و چین مشاهده می‌شود که سبب گسیل و انتقال گردو خاک در منطقه مورد مطالعه شده است. محصولات ماهواره کالیپسو نشان می‌دهند که در بخش وسیعی از منطقه واقع در مسیر ماهواره ذرات معلق گردو خاک وجود دارد و ابرهای موجود در جو منطقه نیز بیشتر از نوع همرفت عمیق و سیروس هستند. مدل WRF-Chem گسیل گردو خاک از عراق، سوریه و عربستان سعودی و مسیر انتقال آن را بدرستی شبیه‌سازی کرده و فعالیت چشمه‌های گردو خاک اطراف دریاچه هامون، کشور ترکمنستان و مناطق مرکزی چین در خروجی مدل قابل مشاهده است. سطح مقطع قائم غلظت گردو خاک و کمیت‌های رطوبت نسبی، سرعت باد و دمای پتانسیلی نشان دهنده نفوذ ذرات گردو خاک تا ترازهای بالای جو است که سبب انتقال بلند برد آنها تحت تاثیر سرعت بیشتر باد شده است.

کلمات کلیدی: گردو خاک؛ شبیه‌سازی؛ انتقال بلند برد؛ خاورمیانه؛ آسیای مرکزی و شرقی

مقدمه

وقوع پدیده گردوخاک همه ساله در بسیاری از نقاط دنیا سبب بروز خسارات مالی و جانی زیادی می‌شود (میدلتون و همکاران، ۲۰۲۱، ۲۰۱۹؛ ملکی و همکاران، ۲۰۲۱). پدیده‌های گردوخاک سبب بروز بیماری‌های قلبی و تنفسی می‌شوند (یانگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ دنگ و همکاران، ۲۰۰۷). مقالات زیادی در زمینه اثر گردوخاک بر سلامت جامعه منشر شده است. از جمله ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۴) اثرات طوفان گردوخاک بر پذیرش اورژانس بیماری‌های قلبی عروقی و تنفسی در سنج‌ج را بررسی کردند. الطیار و طلیب (۲۰۱۴) تأثیر کوتاه مدت طوفان‌های گردوخاک بر خطر مرگ و میر ناشی از بیماری‌های تنفسی، قلبی عروقی و سایر عوامل در کویت را بررسی کردند. در مطالعه‌ای ارتباط بین طوفان‌های گردوخاک و مرگ و میر غیر تصادفی روزانه در ایالات متحده در دوره ۱۹۹۳-۲۰۰۵ تعیین شد (کروکز و همکاران، ۲۰۱۶). افزایش آمار تصادفات جاده‌ای و لغو پروازها به دلیل کاهش دید افقی ناشی از رخداد پدیده‌های گردوخاک از جمله خسارات مالی ناشی از گردوخاک است (بدوک و همکاران، ۲۰۱۳؛ گوئل، ۲۰۱۶؛ میری و میدلتون، ۲۰۲۲). نهشت گردوخاک در مناطق مختلف که گاهی کیلومترها با چشمه گسیل فاصله دارد سبب بروز خسارت در بخش‌های کشاورزی (گنزالز و همکاران، ۲۰۱۴؛ سیواکومار، ۲۰۰۵)، محیط‌زیست (الحمود و همکاران، ۲۰۱۷؛ الماسی و همکاران، ۲۰۱۴) و انرژی (چربی و گستلی، ۲۰۱۴؛ سیدان و همکاران، ۲۰۱۶) می‌شود. ذرات گردوخاک می‌توانند خسارات زیادی را به تجهیزات و زیرساخت‌های مختلف کشورها وارد کنند (الحمود، ۲۰۱۹؛ حق شناس و همکاران، ۲۰۲۲).

پدیده‌های گردوخاک دارای مقیاس‌های مختلفی هستند و عوامل جوی متفاوتی سبب شکل‌گیری آنها می‌شود (نامداری، ۲۰۱۸؛ حسین حمزه و همکاران، ۲۰۲۱). به طور کلی پدیده‌های گردوخاک را به دو دسته پدیده‌های گردوخاک همدیدی و میان مقیاس تقسیم می‌کنند (روبرتز و نیپرترز، ۲۰۱۲؛ پوکهارل و کاپلان، ۲۰۱۹). گرمی و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای پدیده‌های گردوخاک همدیدی را به ۴ دسته

گردوخاک چرخندی، پیش و پس جبهه‌ای و گردوخاک ناشی از باد شمال تقسیم کردند. پدیده‌های گردوخاک میان مقیاس مانند گردوخاک همرفتی، هبوب و ... معمولاً در اطراف چشمه‌های محلی گردوخاک شکل گرفته، منطقه تحت تأثیر آنها کوچک بوده و طول عمر کوتاهی دارند (سینو و همکاران، ۲۰۰۵؛ کاپلان و همکاران، ۲۰۱۱؛ والکر و همکاران، ۲۰۰۹). در پدیده‌های گردوخاک بزرگ مقیاس، گاهی ذرات گردوخاک مسافت‌های طولانی حتی بین قاره‌ای را طی می‌کنند و تا هزاران کیلومتر دورتر از چشمه گسیل منتقل می‌شوند. در مطالعات زیادی انتقال گردوخاک از آفریقا به قاره آمریکا بررسی شده است (پراسپرو و همکاران، ۲۰۱۴؛ آنسمان و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین تاناکا و همکاران (۲۰۰۵) انتقال گردوخاک از شمال آفریقا و خاورمیانه به شرق آسیا را مورد مطالعه قرار دارند. به دلیل وجود بیابان‌های وسیع در منطقه خاورمیانه، کشورهای واقع در این منطقه به شدت متأثر از پدیده گردوخاک هستند و گردوخاک گسیل شده از این منطقه، بسیاری از مناطق مختلف جهان را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (معصومی و همکاران، ۲۰۱۹؛ مریدنژاد و همکاران، ۲۰۱۵).

در مطالعات بسیاری، از مدل‌های عددی مختلف برای بررسی پدیده‌های گردوخاک و تعیین مسیر انتقال گردوخاک در جو استفاده شده است. آدیفسان و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی یک مورد توفان خاک شدید در غرب آفریقا پرداختند. در این مورد، نوسانات مونسون آفریقا را نیز مورد بررسی قرار دادند و آن را با طرحواره GOCART مدل WRF-Chem شبیه سازی کردند. هاید و همکاران (۲۰۱۸) با کمک مدل WRF-Chem، دوازده توفان خاک در صحرای آریزونا را شبیه سازی کردند و غلظت PM₁₀ را با داده های مشاهداتی مقایسه نمودند. اکبری و فرح بخشی (۲۰۱۵) برای بررسی و ردیابی گردوخاک در استان کرمانشاه مدل HYSPLIT را بکار بردند. کائو و همکاران (۲۰۱۵) نیز با استفاده از این مدل، چشمه‌های گردوخاک در غرب آسیا را تعیین کرده‌اند.

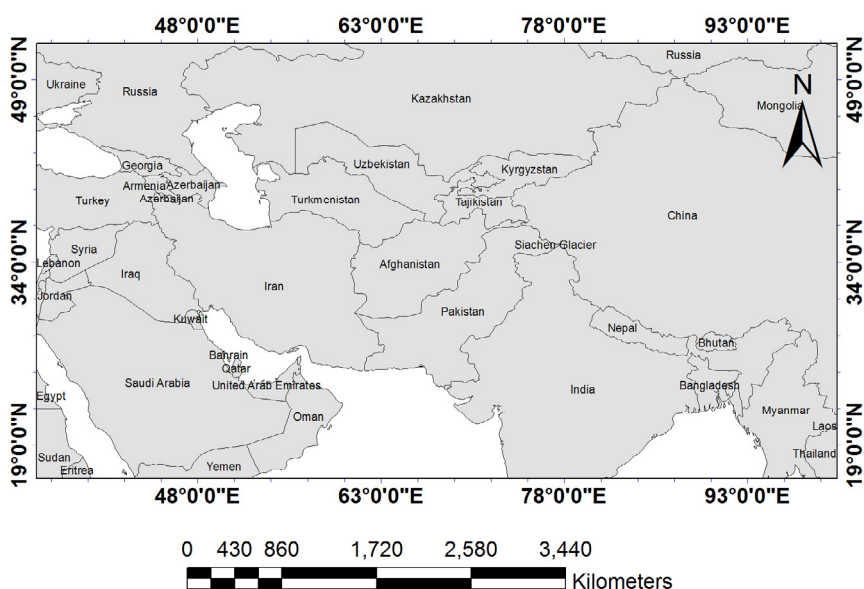
در این مطالعه یک مورد پدیده گردوخاک شدید و فراگیر در ۱۲ تا ۱۸ مارس سال ۲۰۲۱ (۲۲ تا ۲۸ اسفند ۱۳۹۹) مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار گرفته است. این پدیده گردوخاک که دارای طول عمر حدود یک هفته بود بخش وسیعی از آسیا

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، یک مورد پدیده شدید و گسترده گردوغاک در روزهای ۱۲ تا ۱۸ مارس سال ۲۰۲۱ مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار گرفت. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که شامل بخش‌هایی از خاورمیانه، آسیای مرکزی و شرق آسیا است.

نخست به منظور بررسی مناطق تحت پوشش گردوغاک تصاویر سنجنده مادیس ماهواره آکوا مورد مطالعه قرار گرفته است. برای بررسی شدت پدیده در مناطق مختلف، کمیت عمق نوری هواویزهای محاسبه شده با اجرای الگوریتم ترکیبی Dark Target و Deep Blue بر روی داده‌های مادیس ماهواره آکوا نشان داده شده است. الگوریتم‌های Dark Target و Deep Blue برای تفکیک اثرات سطحی از هواویزها بکار می‌روند. این دو الگوریتم روش‌های متفاوتی را برای شناسایی سیگنال بازتابی از سطح زمین بکار می‌برند. الگوریتم Deep Blue صرفاً بر روی زمین بکار می‌رود و اثر سطوح روشن و بیابانی را به خوبی تفکیک می‌کند در حالیکه Dark Target هم بر روی زمین و هم اقیانوس استفاده می‌شود و برای شناسایی سطوح تیره مانند مناطق دارای پوشش گیاهی مناسب است.

شامل کشورهای عراق، سوریه، ایران، کشورهای حاشیه جنوبی خلیج فارس، ترکمنستان، افغانستان، پاکستان، ازبکستان، قرقیزستان، تاجیکستان و چین را تحت پوشش قرار داد. در طول این پدیده گردوغاک، از یک طرف انتقال بلند برد ذرات گردوغاک از خاورمیانه تا چین رخ داده و از طرف دیگر چشمه‌های گردوغاک وسیع و محلی با شدت‌های مختلف فعال شده‌اند که سبب تشدید پدیده گردوغاک و گسترده‌گی مناطق تحت تاثیر آن شده است. به طور کلی، هدف این مقاله، بررسی و شبیه‌سازی این پدیده گسترده و فراگیر گردوغاک با استفاده از داده و محصولات ماهواره‌ای، نقشه‌های همدیدی و مدل‌های عددی پیش‌بینی گردوغاک بوده و چگونگی گسیل و انتقال ذرات گردوغاک و همچنین عوامل موثر بر شکل‌گیری چنین پدیده‌ای با استفاده از مجموعه مختلفی از داده‌ها بررسی شده است. این مقاله شامل چندین بخش است. در بخش اول روش کار و داده‌های مورد استفاده معرفی شده‌اند. در بخش نتایج و بحث، نتایج حاصل از بررسی داده‌ها و محصولات ماهواره‌ای، تحلیل همدیدی و خروجی دو مدل WRF- و HYSPLIT به تفکیک ارائه شده و در نهایت در بخش جمع‌بندی، مهم‌ترین نتایج و دستاوردهای این مطالعه ارائه شده است.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. برخی طرحواره‌های مورد استفاده در اجرای مدل WRF-Chem.

WRF Single-Moment 5-class scheme (Hong et al., 2004)	میکروفیزیک
RRTM scheme (Mlawer et al., 1997)	تابش موج بلند
Goddard shortwave (Chou and Suarez, 1999)	تابش موج کوتاه
Noah Land Surface Model (Chen, 2004)	فیزیک سطحی
Yonsei University scheme (Noh et al. 2003; Hong et al. 2006)	لایه مرزی
Grell 3D (Grell, 1993)	طرحواره کومولوس

گردوخاک مناطق مرکزی عربستان وارد خلیج فارس، تنگه هرمز و مناطق جنوبی ایران شده است. در این روز گردوخاک شدید در شرق و جنب شرقی ایران و مرز سه کشور ایران، افغانستان و پاکستان مشاهده می‌شود. در روز ۱۴ مارس با انتقال شرق سوی گردوخاک، مقدار آن در جنوب شرقی ایران، جنوب غربی افغانستان و بخش وسیعی از پاکستان به شدت افزایش یافته است. در روز ۱۵ مارس، گردوخاک جنوب افغانستان و سراسر کشور پاکستان را تحت پوشش قرار داده است. در این روز در شمال غربی کشور هند و بخش وسیعی از چین گردوخاک مشاهده می‌شود. در روز ۱۶ مارس کشورهای افغانستان و پاکستان همچنان متاثر از گردوخاک هستند و در کشور چین در میان ابرها، گردوخاک شدیدی نشان داده شده است. در این روز مجدداً گردوخاک قابل توجهی در عربستان، جنوب غربی ایران، بخش وسیعی از خلیج فارس و دریای عمان مشاهده می‌شود. در روز ۱۷ مارس، شدت گردوخاک در کشور چین افزایش یافته و از طرف دیگر با انتقال توده گردوخاک جنوب غربی ایران، بخش وسیعی از دریای عمان و مناطق جنوب شرقی ایران تحت پوشش گردوخاک قرار گرفته است. در روز ۱۸ مارس، گردوخاک در کشور پاکستان، شمال غربی هند و پاکستان همچنان مشاهده می‌شود (نشان داده نشده).

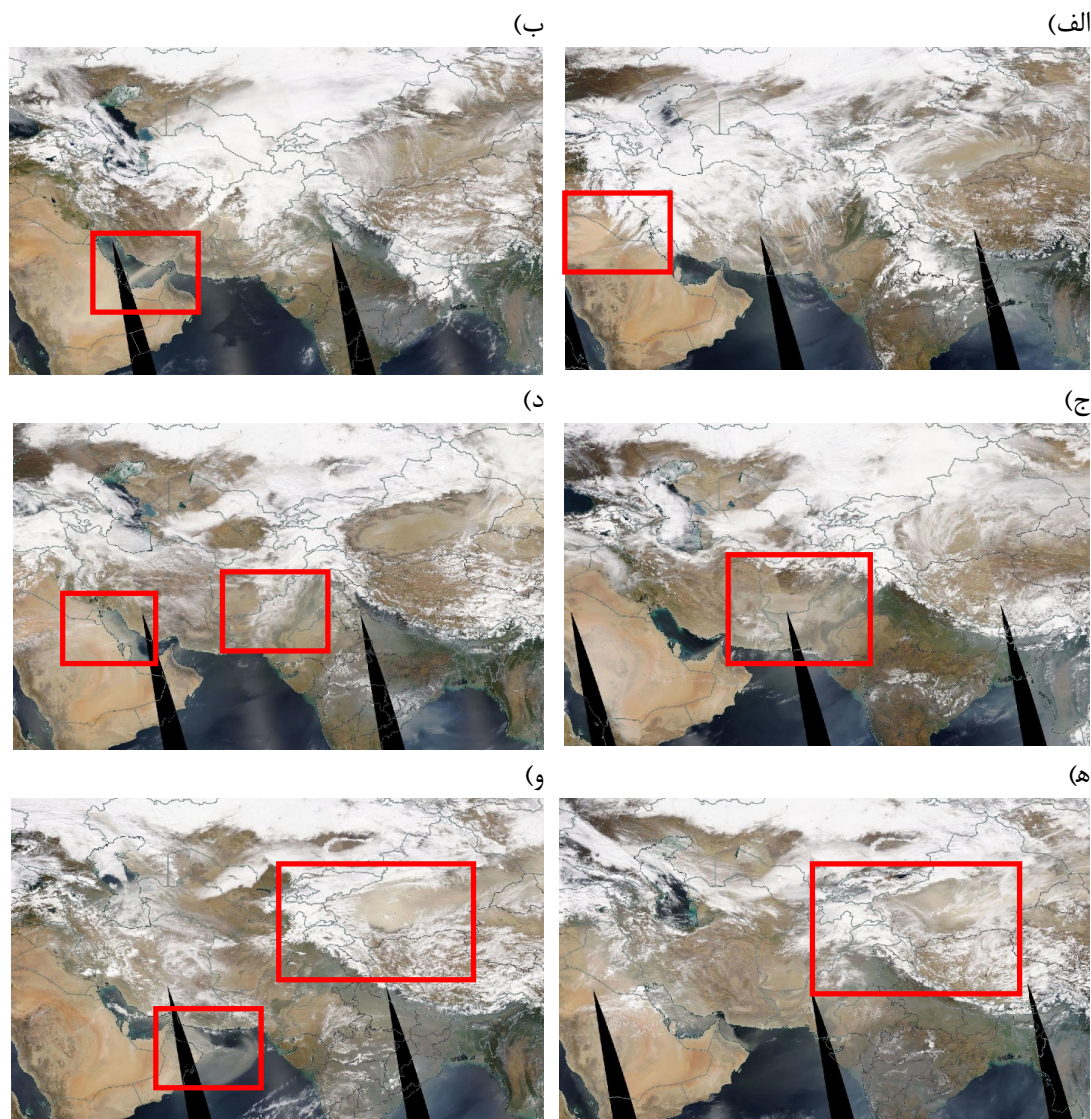
عمق نوری هواویزها برای روزهای ۱۳ تا ۱۸ مارس سال ۲۰۲۱ که با ترکیب الگوریتم‌های Dark Target و Deep Blue بر روی داده‌های سنجنده مادیس ماهواره آکوا محاسبه شده در شکل ۳ نشان داده شده است. در روز ۱۳ مارس بیشترین مقادیر AOD^۱ در مناطق مرکزی عربستان، خلیج فارس و منطقه‌ای واقع در مرز سه کشور ایران، افغانستان و پاکستان مشاهده می‌شود. در روز ۱۴ مارس مقادیر AOD

میزان انتقال قائم ذرات، نوع آنها (نمک دریا، انواع آلاینده‌های اقیانوسی و قاره‌ای، گردوخاک، سولفات و ...) و ابرناکی منطقه با استفاده از محصولات ماهواره کالیپسو بررسی شده است. تحلیل همدیدی الگوهای جوی حاکم بر منطقه با نقشه میانگین فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیلی، باد و دما در تراز $hPa 850$ ، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز $hPa 500$ و باد در تراز $hPa 300$ که با استفاده از داده‌های NCEP/NCAR با تفکیک افقی $2/5$ درجه ترسیم شده‌اند، انجام شده است. به منظور بررسی مسیر انتقال ذرات گردوخاک، ارتفاع نفوذ ذرات و زمان رسیدن ذرات به مناطق مختلف، مدل پخش HYSPLIT به صورت پیشرو از ساعت ۱۲ UTC روز ۱۳ مارس با استفاده از داده‌های GFS با تفکیک افقی $0/25$ درجه اجرا شده است. برای شبیه‌سازی این پدیده گردوخاک از مدل WRF-Chem با طرحواره گسیل گردوخاک AFWA استفاده شد. به دلیل گستردگی مناطق تحت تاثیر گردوخاک در این مورد مطالعاتی، مدل بر روی یک شبکه با تفکیک افقی ۲۱ کیلومتر و ۴۰ تراز قائم، اجرا شده است. داده‌های FNL با تفکیک افقی $0/25$ درجه به عنوان شرایط اولیه و مرزی مدل بکار گرفته شده‌اند. طرحواره‌های مورد استفاده در اجرای مدل در جدول ۱ نشان داده شده است.

نتایج و بحث

تصاویر و محصولات ماهواره‌ای

شکل ۲ تصاویر رنگ حقیقی سنجنده مادیس ماهواره آکوا را از روز ۱۲ تا ۱۷ مارس ۲۰۲۱ نشان می‌دهد. در روز ۱۲ مارس توده گردوخاک از دو منطقه واقع در شمال و مرکز عربستان سعودی گسیل می‌شود. در این روز گردوخاک در پشت و مقابل توده ابر مشاهده می‌شوند. در روز ۱۳ مارس

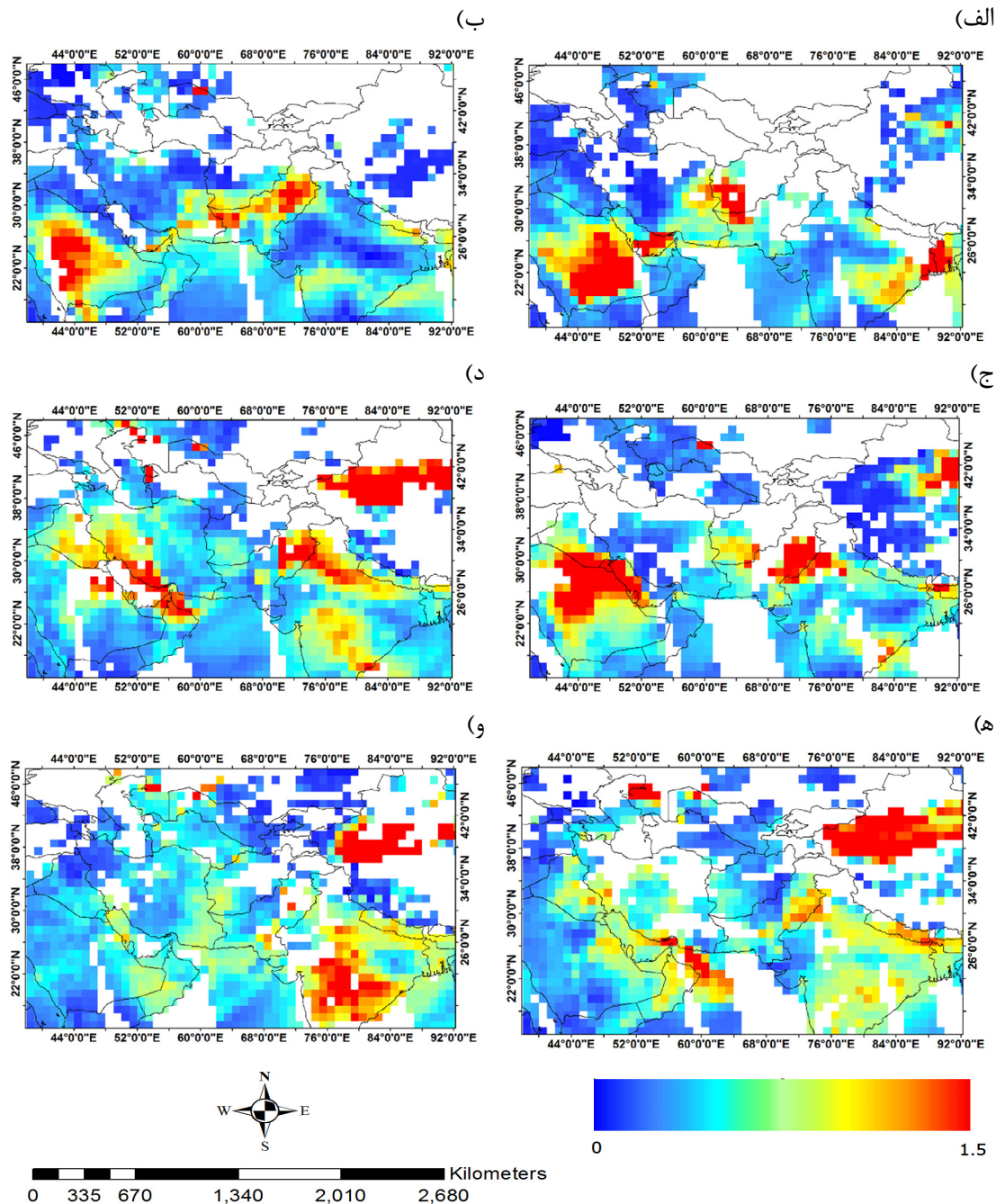


شکل ۲. تصاویر رنگ حقیقی سنجنده مادیس ماهواره آکوا در روز الف (۱۲ ب) ۱۳ ج) ۱۴ د) ۱۵ ه) ۱۶ و) ۱۷ ماه مارس سال ۲۰۲۱. مستطیل قرمز رنگ محدوده گردوغاز در تصویر را نشان می‌دهد.

هند مشاهده می‌شود.

شکل ۴ الف بخشی از مسیر ماهواره کالیپسو را در ساعت حدود ۱۰ UTC روز ۱۲ مارس سال ۲۰۲۱ نشان می‌دهد. قسمت رنگی مسیری است که سطح مقطع کمیت‌های مختلف مربوط به آن (پوشش ساختار قائم جو، نوع هواویزها و نوع ابرها) در سایر شکل‌ها نشان داده شده است. پوشش ساختار قائم جو (شکل ۴ ب) نشان می‌دهد که در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر از حدود ۲۷ درجه شمالی ذرات معلق از سطح تا

بر روی پاکستان افزایش یافته است. در روز ۱۵ مارس افزایش AOD در جنوب شرقی عراق، شمال غربی عربستان و نیمه غربی خلیج فارس مشاهده می‌شود. در این روز مقدار AOD در مناطق مرکزی چین نیز بیشینه است. در روز ۱۶ مارس عمیق نوری هواویزها در بخش وسیعی از کشور هند و مناطق مرکزی چین افزایش نشان داده است. در روز ۱۷ مارس مقدار AOD بر روی دریای عمان نیز قابل توجه است. در روز ۱۸ مارس بیشینه مقادیر AOD در غرب چین و مناطق مرکزی

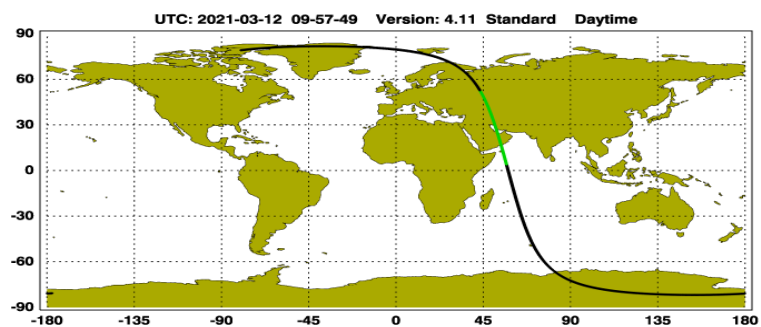


شکل ۳. عمق نوری هواویزها سنجنده مادیس ماهواره آکوا در روز الف (۱۳ ب) ۱۴ ج) ۱۵ د) ۱۶ ه) ۱۷ و) ۱۸ ماه مارس سال ۲۰۲۱.

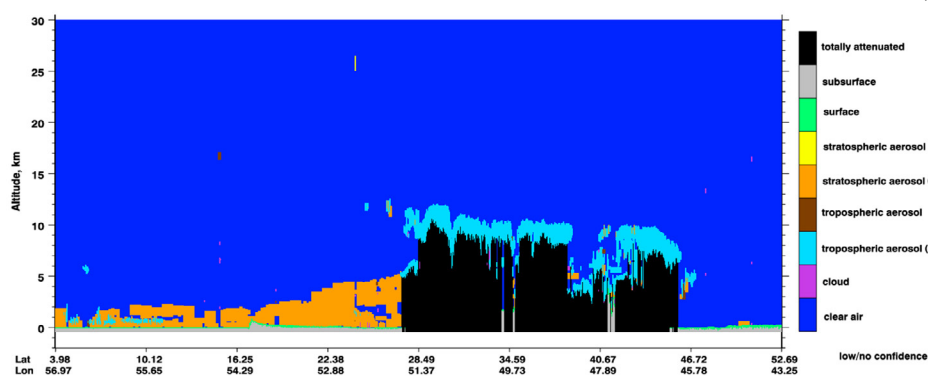
ابر، هواویزها در زیر توده ابر قابل مشاهده نیستند. بررسی نوع هواویزها (شکل ۴ج) نشان می‌دهد که در بخش وسیعی از منطقه واقع در مسیر ماهواره ذرات معلق گردوخاک وجود دارد.

ارتفاع حدود ۵ کیلومتری مشاهده می‌شوند، در حالی که در عرض‌های جغرافیایی شمالی توده قابل توجه ابر در ارتفاع حدود ۱۰ کیلومتری قابل مشاهده است. البته به دلیل پوشش

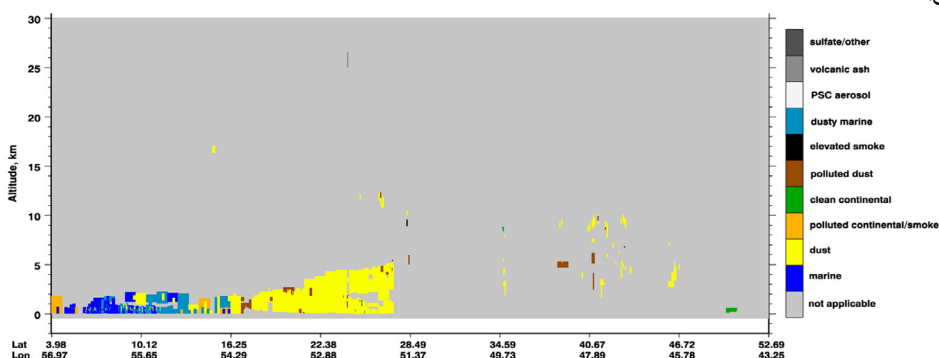
(الف)



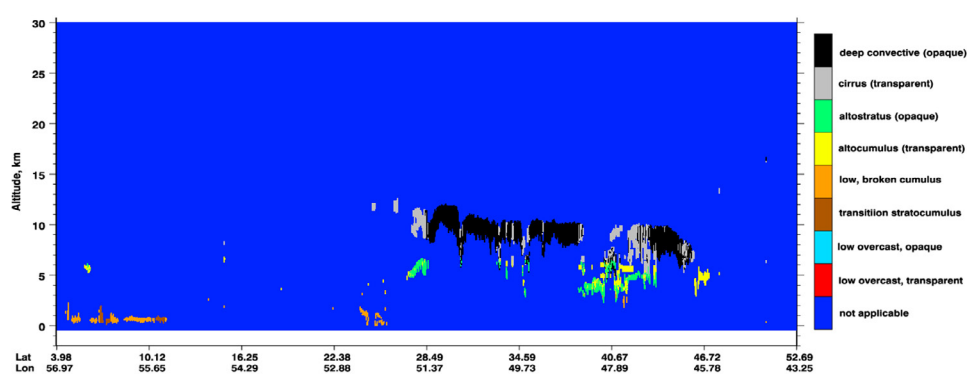
(ب)



(ج)



(د)



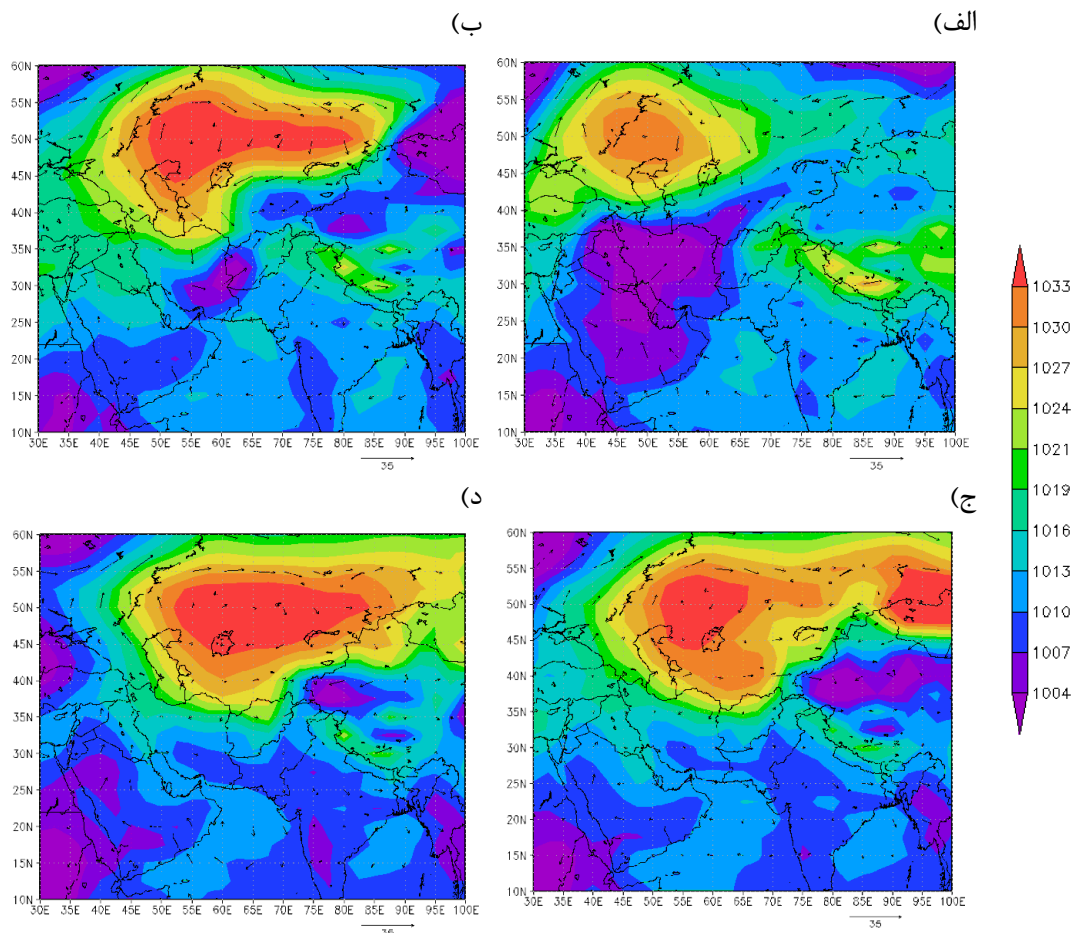
شکل ۴. الف) بخشی از مسیر ماهواره کالیپسو ب) پوشش ساختار قائم جو ج) نوع هواویزها د) نوع ابرها محصول ماهواره کالیپسو در ساعت ۹:۵۷ UTC روز ۱۲ ماه مارس سال ۲۰۲۱.

همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده، ابرهای واقع در منطقه (حدود عرض جغرافیایی ۳۰ درجه شمالی) نیز بیشتر از نوع همرفت عمیق و سیروس هستند. البته بر روی خلیج فارس در پایین ابرهای سیروس و در ارتفاع حدود ۶ کیلومتری، ابر آلتوکومولوس و پایین آن نیز ابر آلتواستراتوس قابل مشاهده است.

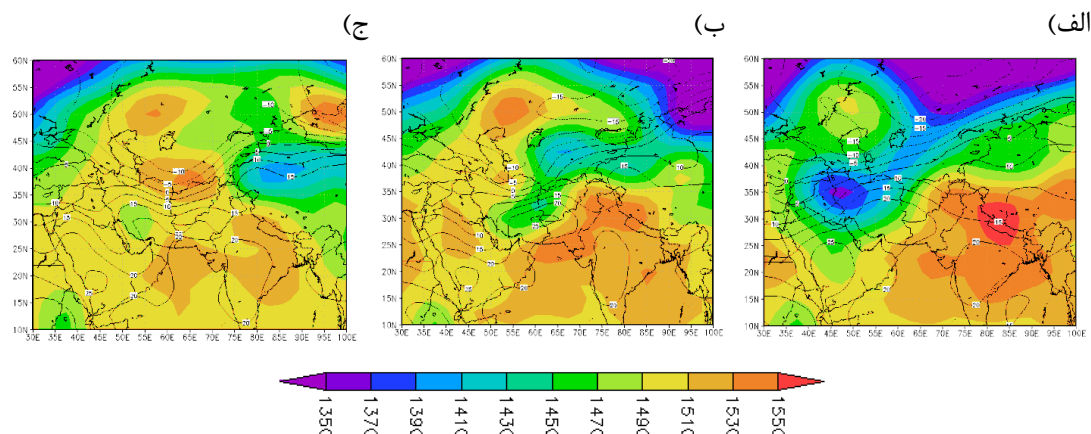
تحلیل همدیدی

نقشه میانگین فشار سطح دریا و سرعت باد تراز $hPa 850$ در ساعت UTC ۱۲ روزهای ۱۲ تا ۱۵ مارس سال ۲۰۲۱ در شکل ۵ نشان داده شده است. در روز ۱۱ مارس سامانه کم‌فشاری در شرق مدیترانه شکل گرفته است (در شکل نشان داده نشده). در روز ۱۲ مارس کم‌فشار تقویت شده و به سمت

شرق انتقال یافته است. در این روز سامانه کم‌فشار کشورهای سوریه، عراق، ایران و عربستان سعودی را تحت پوشش قرار داده است. یک سامانه کم‌فشار دیگر بر روی ترکمنستان واقع شده که زبانه آن تا قرقیزستان (غرب کشور چین) رسیده است. سامانه کم‌فشار دیگری نیز بر روی شمال کشور چین قرار گرفته است. تغییر جهت باد نشان دهنده استقرار جبهه در مناطق جنوبی عراق و کشور عربستان سعودی است. در منطقه مرکزی عربستان وزش باد شدید سبب گسیل گردوخاک از سطح شده و ذرات گردوخاک توسط باد غربی به سمت خلیج فارس منتقل شده‌اند. بر روی خلیج فارس و مناطق جنوبی ایران، باد غالب جنوب‌غربی است که سبب انتقال ذرات گردوخاک به سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر شده است. از طرف دیگر سامانه پرفشاری در شمال دریای خزر مشاهده می‌شود که باعث



شکل ۵ میانگین فشار سطح دریا و سرعت باد تراز $hPa 850$ در ساعت UTC ۱۲ روز (الف) ۱۲ (ب) ۱۳ (ج) ۱۴ (د) ۱۵ ماه مارس سال ۲۰۲۱.

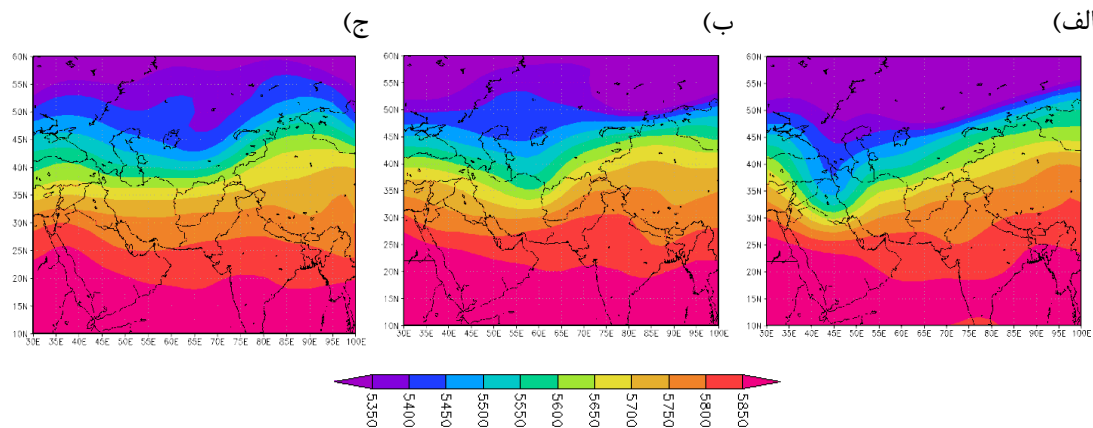


شکل ۶. ارتفاع ژئوپتانسیلی و دما در تراز ۸۵۰ hPa در ساعت ۱۲ UTC روز الف (۱۲ ب) ۱۳ ج) ۱۴ ماه مارس سال ۲۰۲۱.

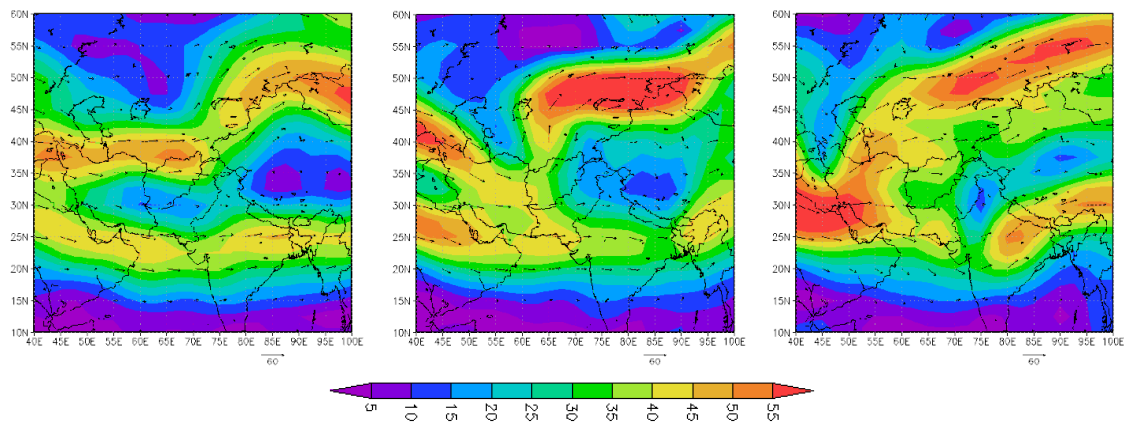
و غرب ایران در بالای کم‌فشار سطحی مشاهده می‌شود که زبانه‌های آن تا مناطق مرکزی عربستان سعودی رسیده است. از طرف دیگر در شمال خزر، در بالای پرفشار سطحی مرکز پراتفاهی شکل گرفته است. در این روز زبانه سامانه کم‌ارتفاع روی روسیه تا شمال‌شرقی ایران نیز رسیده است. در روز ۱۳ مارس مرکز کم‌ارتفاع روی ایران تضعیف شده و با انتقال به سمت شرق در مناطق شرقی ایران واقع شده است. همچنین مرکز کم‌ارتفاعی بر روی قزاقستان و ترکمنستان نشان داده شده است. در روز ۱۴ مارس با تقویت سامانه پراتفاهی، افزایش ارتفاع قابل توجهی در بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود.

ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ hPa در ساعت ۱۲ UTC روزهای ۱۲ تا ۱۴ مارس سال ۲۰۲۱ در شکل ۷ نمایش داده شده است. در روز ۱۲ مارس تراف عمیقی از سمت روسیه تا نیمه شمالی عربستان کشیده شده است، به گونه‌ای که کشور ایران در جلوی محور تراف واقع شده و تحت تاثیر جریانات صعودی این منطقه قرار دارد. در روز ۱۳ مارس، تراف به سمت شرق منتقل شده و محور آن در شرق ایران قرار گرفته است. در روز ۱۴ مارس نیز انتقال شرق سوی تراف مشاهده می‌شود و محور آن در شرق دریاچه آرال واقع شده است. در این روز دامنه تراف کاهش قابل توجهی یافته و جریان های مداری در بخش وسیعی از کشورهای ایران، افغانستان و پاکستان مشاهده می‌شود.

ایجاد گرادیان فشار بر روی دریای خزر شده است. در روز ۱۳ مارس با نفوذ زبانه‌های پرفشار تا نیمه شمالی ایران، سامانه کم‌فشار تضعیف شده و بر روی مناطق جنوب‌شرقی ایران قرار گرفته است. کم‌فشار واقع بر روی ترکمنستان تضعیف و به سمت شرق (غرب کشور چین) منتقل شده است. در این روز مجموعه ای از سامانه‌های کم‌فشار در جنوب عربستان، جنوب و جنوب شرقی ایران، قرقیزستان و چین به صورت قطار موج مشاهده می‌شوند. در روز ۱۳ مارس بادهای شدید جنوب‌غربی در منطقه دریاچه هامون و مرز کشورهای ایران، افغانستان و پاکستان نشان داده شده است که می‌تواند سبب فعالیت چشمه‌های گردوغاک واقع در این منطقه شود. در روز ۱۴ مارس سامانه کم‌فشار واقع در جنوب ایران، مجدداً تضعیف شده و با انتقال به سمت شرق به کم‌فشار واقع بر روی کشور هند پیوسته است. در این روز کاهش فشار بر روی کشور چین قابل توجه است و دو سامانه کم‌فشار در غرب و مرکز این کشور مشاهده می‌شود. جهت باد در غرب کشور چین، غربی و شمال غربی است. در روز ۱۵ مارس کم‌فشار واقع در مرکز کشور چین با سرعت بیشتری به سمت شرق منتقل شده ولی کم‌فشار واقع در غرب این کشور همچنان در این منطقه مستقر است. در منطقه غربی کشور چین باد شرقی مشاهده می‌شود. شکل ۶ ارتفاع ژئوپتانسیلی و دمای تراز ۸۵۰ hPa را در ساعت ۱۲ UTC روزهای ۱۲ تا ۱۴ مارس سال ۲۰۲۱ نشان می‌دهد. در روز ۱۲ مارس مرکز کم‌ارتفاعی در شرق عراق



شکل ۷. ارتفاع ژئوپتانسیلی در تراز $hPa500$ در ساعت UTC 12 روز الف (ب) ۱۲ (ج) ۱۳ تا ۱۴ ماه مارس سال ۲۰۲۱.



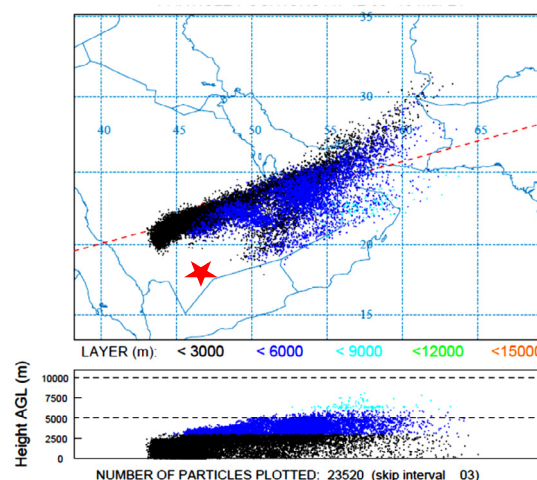
شکل ۸. سرعت باد در تراز $hPa300$ در ساعت UTC 12 روز الف (ب) ۱۲ (ج) ۱۳ تا ۱۴ ماه مارس سال ۲۰۲۱.

خروجی مدل HYSPLIT

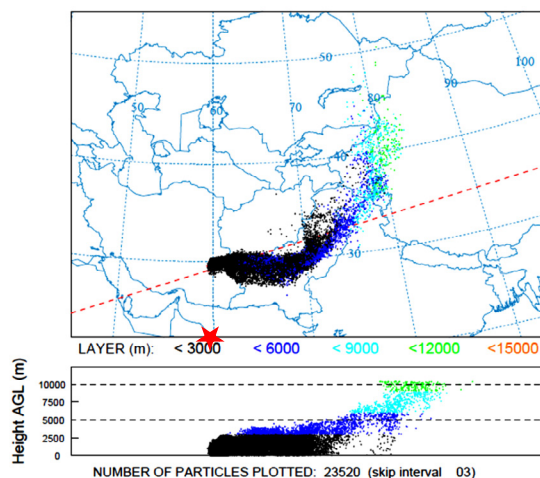
شکل ۹ خروجی سطح مقطع قائم موقعیت ذرات مدل پخش HYSPLIT که در ساعت UTC ۱۲ روز ۱۳ مارس سال ۲۰۲۱ به صورت پیش رو از منطقه ای در عرض جغرافیایی $22.59^{\circ}N$ و طول جغرافیایی $44/76^{\circ}E$ واقع در مرکز کشور عربستان سعودی به مدت ۲۴ ساعت اجرا شده را نشان می‌دهد. موقعیت ذرات نشان می‌دهد که انتقال ذرات گردوخاک از این منطقه به سمت خلیج فارس، دریای عمان و مناطق جنوب شرقی ایران صورت گرفته است. در نزدیکی نقطه شروع بیشتر ذرات تا ارتفاع حدود ۳۰۰۰ متری انتقال یافته‌اند؛ به تدریج با افزایش فاصله، ارتفاع نفوذ ذرات تا ۶۰۰۰ متر افزایش یافته است. از آنجا که اجرای مدل پخش HYSPLIT

شکل ۸ سرعت باد در تراز $hPa300$ را در ساعت UTC ۱۲ روزهای ۱۲ تا ۱۴ مارس سال ۲۰۲۱ نشان می‌دهد. در روز ۱۲ مارس هسته جت جنب حاره‌ای در شمال عربستان سعودی واقع شده و سرعت باد در این منطقه به بیش از $55 m/s$ رسیده است. در روز ۱۳ مارس سرعت باد در مناطق شمالی عربستان کاهش یافته ولی سرعت باد در شمال غربی ایران افزایش یافته است. در این روز سرعت باد در هسته جت قطبی واقع در شمال چین افزایش قابل توجهی نشان می‌دهد. در روز ۱۴ مارس، سرعت باد تراز $hPa300$ در شمال و جنوب ایران قابل توجه بوده ولی در مناطق مرکزی ایران، جنوب افغانستان، شمال پاکستان و همچنین مناطق مرکزی چین کمتر از مناطق مجاور است.

(الف)

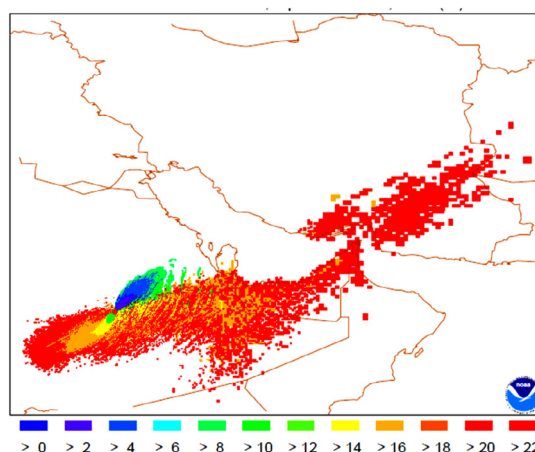


(ب)

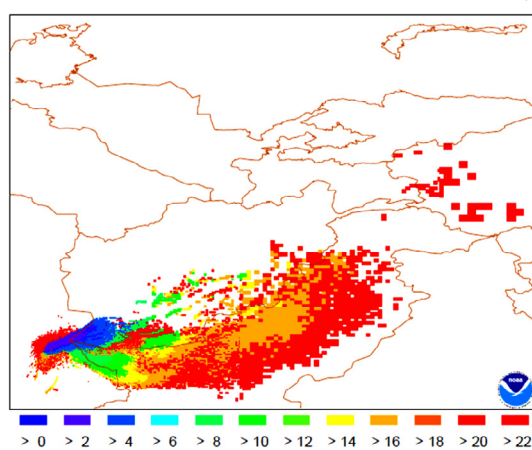


شکل ۹. خروجی سطح مقطع قائم موقعیت ذرات مدل پخش HYSPLIT در ساعت UTC12 (الف) روز ۱۳ مارس (ب) روز ۱۴ مارس سال ۲۰۲۱.

(الف)



(ب)



شکل ۱۰. خروجی زمان رسیدن ذرات به مناطق مختلف در مسیر انتقال خود از نقطه شروع مدل پخش HYSPLIT در ساعت UTC12 (الف) روز ۱۳ مارس (ب) روز ۱۴ مارس سال ۲۰۲۱.

زمان رسیدن ذرات به مناطق مختلف در مسیر انتقال خود از نقطه شروع در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در اجرای ساعت ۱۲ UTC روز ۱۲ مارس (شکل ۹الف) تا حدود ۱۴ ساعت پس از شروع اجرای مدل ذرات در اطراف نقطه آغاز باقی مانده‌اند و پس از حدود ۲۰ ساعت از شروع اجرا انتقال ذرات سرعت گرفته و تا مناطق شرقی ایران نفوذ کرده‌اند. در اجرای ساعت ۱۲ UTC روز ۱۳ مارس (شکل ۹ب) انتقال ذرات با سرعت بیشتری صورت گرفته به گونه ای که تا ۱۶

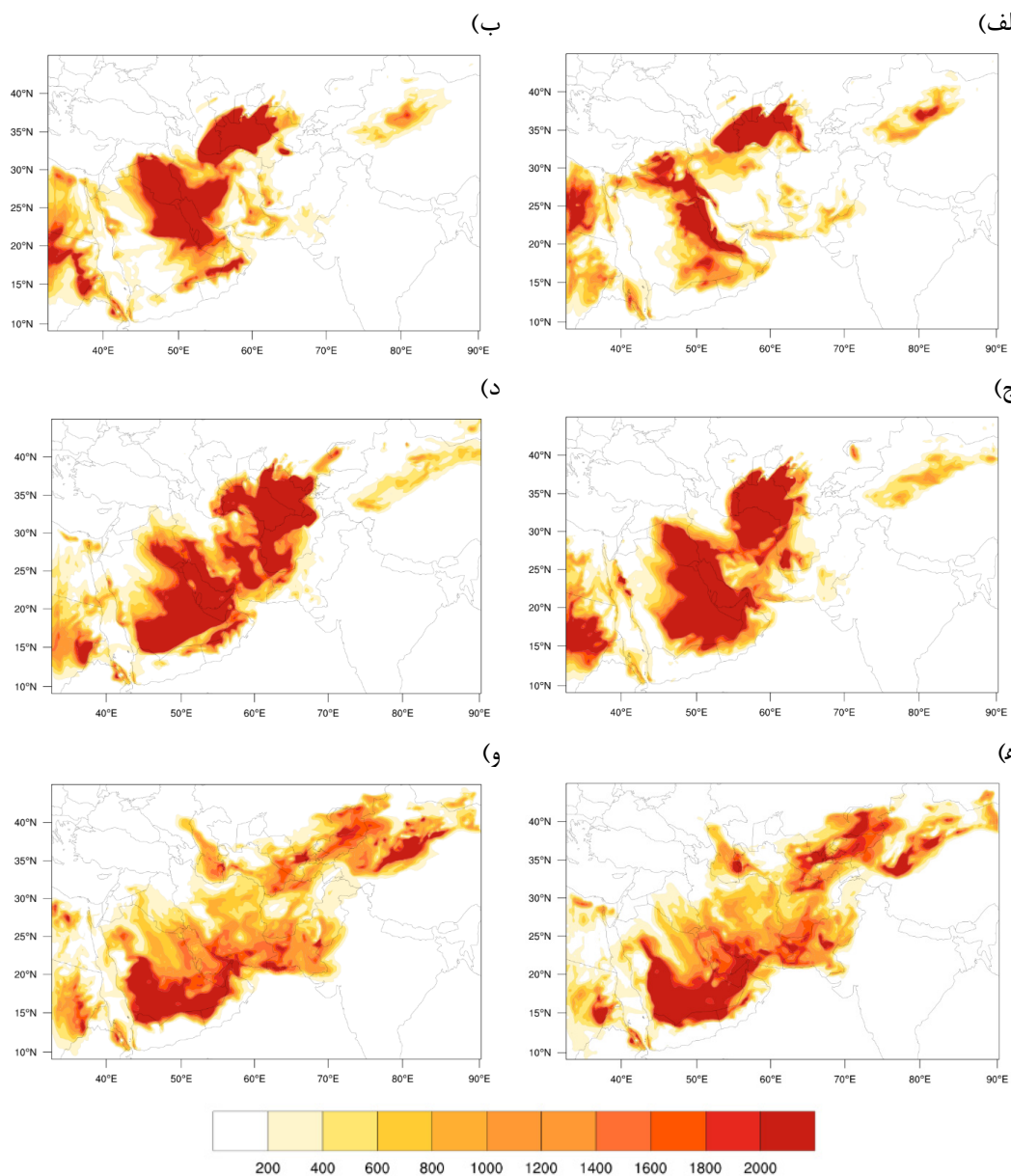
حداکثر تا ۲۴ ساعت امکان پذیر است، در ادامه نقطه ای واقع در جنوب شرقی ایران به عنوان مبدا در نظر گرفته شده و مجدداً مدل از ساعت ۱۲ UTC روز ۱۴ مارس به مدت ۲۴ ساعت اجرا شده است. خروجی مدل نشان می‌دهد که مسیر انتقال ذرات از جنوب شرقی ایران به سمت جنوب افغانستان، کشور پاکستان و غرب کشور هند است. بیشتر ذراتی که از این مسیر به چین منتقل شده‌اند، در ارتفاع بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متری هستند.

ساعت پس از شروع اجرا ذرات به مناطق شرقی پاکستان نیز رسیده‌اند. در این روز پس از گذشت ۲۲ ساعت انتقال ذرات معلق به مناطق غربی کشور چین نیز مشاهده می‌شود.

خروجی مدل WRF-Chem

خروجی غلظت سطحی گردوخاک خروجی مدل WRF-Chem در روزهای ۱۲ تا ۱۴ مارس سال ۲۰۲۱ در شکل

۱۱ نشان داده شده است. در ساعت ۰۶ UTC روز ۱۲ مارس شرق سوریه و مناطق وسیعی از کشورهای عراق و عربستان سعودی تحت تاثیر گردوخاک قرار دارند. همچنین در شرق دریای خزر و بخش وسیعی از کشور ترکمنستان غلظت گردوخاک قابل توجه است. در ساعت ۱۲ UTC گردوخاک از سواحل جنوبی خلیج فارس وارد آن شده و غلظت آن در نیمه جنوبی خلیج فارس قابل توجه است. در ساعت ۱۸ UTC



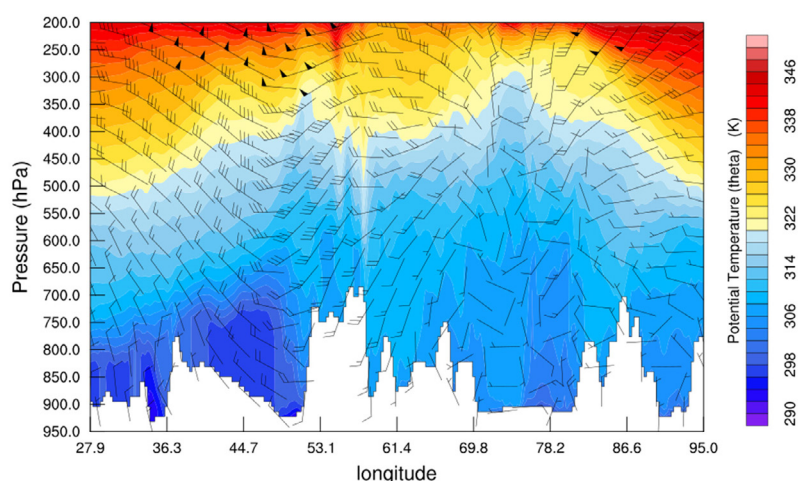
شکل ۱۱. خروجی غلظت سطحی گردوخاک خروجی مدل WRF-Chem در (الف) ساعت ۰۶ UTC روز ۱۲ (ب) ساعت ۱۲ UTC روز ۱۲ (ج) ساعت ۰۶ UTC روز ۱۳ (د) ساعت ۱۲ UTC روز ۱۳ (ه) ساعت ۰۶ UTC روز ۱۴ (و) ساعت ۱۲ UTC روز ۱۴. ۱۵ ماه مارس سال ۲۰۲۱.

طرف دیگر گردوغاک از سمت کشورهای افغانستان، پاکستان و تاجیکستان وارد مناطق غرب و جنوب‌غربی چین شده‌اند. در ساعت UTC۰۰ روز ۱۵ مارس بخش وسیعی از منطقه خاورمیانه، آسیای مرکزی و کشور چین واقع در شرق آسیا تحت پوشش گردوغاک قرار دارند.

سطح مقطع قائم دمای پتانسیلی، باد، رطوبت نسبی و غلظت گردوغاک در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه شمالی در ساعت UTC۱۵ روز ۱۲ مارس و UTC۹ روز ۱۳ مارس در شکل ۱۲ نشان داده شده است. در روز ۱۲ مارس در منطقه ای واقع در حدود ۵۰ درجه شرقی (غرب عراق) شیب خطوط همدمای پتانسیلی و تغییر جهت باد از شمال‌غربی به جنوب‌شرقی نشان دهنده وجود جبهه سرد است. در این منطقه رطوبت نسبی حدود ۹۰ درصد مشاهده می‌شود که نشان دهنده احتمال وجود ابر است. در زیر توده ابر و پشت منطقه جبهه غلظت گردوغاک قابل توجه بوده و ذرات گردوغاک تا حدود تراز ۵۵۰ hPa نیز نفوذ کرده‌اند. در روز ۱۳ مارس جبهه سرد به سمت شرق جابجا شده و بر روی ایران قرار گرفته است. در این روز میزان رطوبت نسبی در منطقه کاهش یافته و در محدوده ای واقع در غرب افغانستان ذرات گردوغاک تا حدود تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال نیز نفوذ کرده اند.

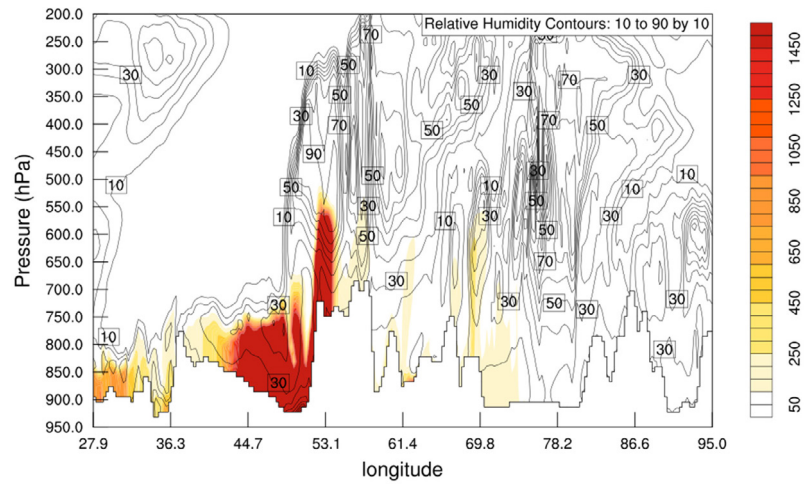
غلظت گردوغاک بر روی عراق، شمال عربستان، خلیج فارس و جنوب‌غربی ایران به شدت افزایش یافته است. در ساعت UTC۶ روز ۱۳ مارس ذرات گردوغاک از سمت جنوب‌غربی ایران و همچنین شمال‌شرقی کشور وارد مناطق مرکزی کشور شده و بخش وسیعی از ایران متاثر از گردوغاک است. در این ساعت فعالیت چشمه های محلی واقع در مرز کشورهای ایران، افغانستان و پاکستان سبب افزایش قابل توجه گردوغاک در این مناطق شده است. در ساعت UTC۱۸ گردوغاک مناطق مرکزی و جنوبی عربستان از روی تنگه هرمز عبور کرده و وارد مناطق جنوب‌شرقی ایران و نیمه غربی افغانستان شده است. نیمه شمالی کشور افغانستان نیز تحت تاثیر چشمه های گردوغاک واقع در ترکمنستان قرار گرفته است. در این ساعت چشمه های گردوغاک داخلی کشور چین نیز فعال شده و در بخش وسیعی از مناطق شمالی و غربی این کشور گردوغاک مشاهده می‌شود. در ساعت UTC۱۸ روز ۱۴ مارس گردوغاک با انتقال به سمت شرق و شمال‌شرقی وارد افغانستان و پاکستان شده و بخش وسیعی از این کشورها تحت تاثیر گردوغاک قرار دارند. گردوغاک ترکمنستان با انتقال به سمت شرق کشورهای ازبکستان و قرقیزستان را تحت تاثیر قرار داده و وارد مناطق غرب و شمال‌غربی چین شده است. از

(الف)

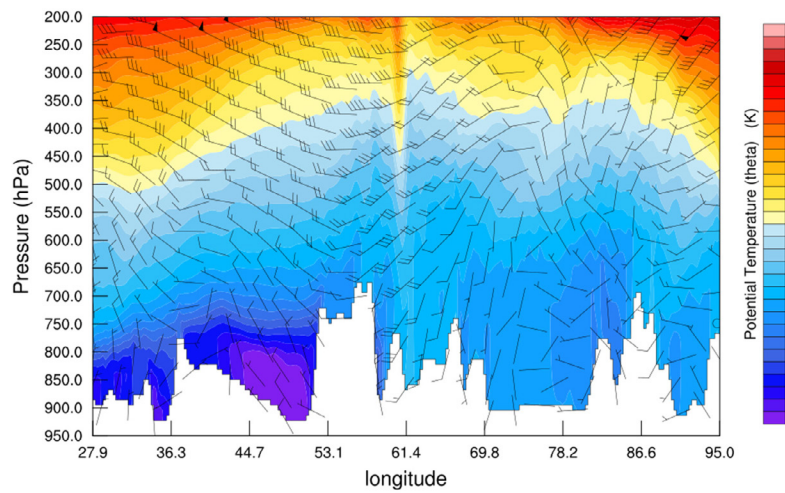


شکل ۱۲. سطح مقطع قائم الف) باد و دمای پتانسیلی ب) غلظت گردوغاک و رطوبت نسبی در ساعت UTC۱۵ روز ۱۲ مارس، ج) باد و دمای پتانسیلی د) غلظت گردوغاک و رطوبت نسبی در ساعت UTC۹ روز ۱۳ مارس سال ۲۰۲۱.

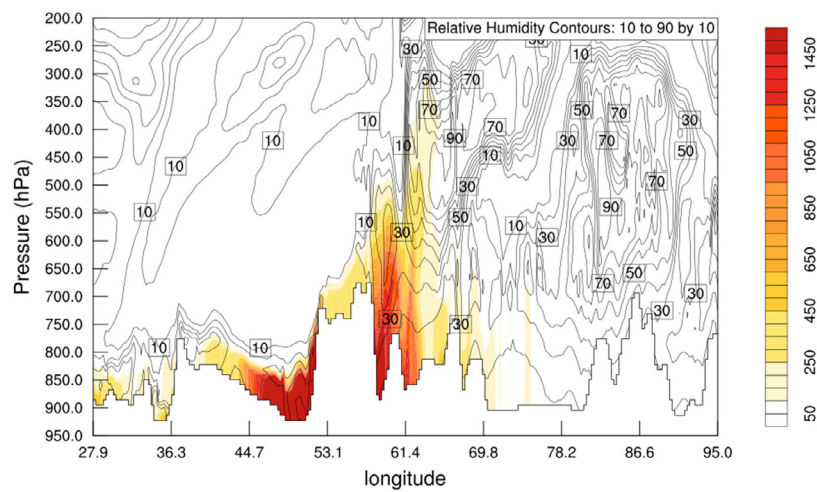
(ب)



(ج)



(د)



ادامه شکل ۱۲. سطح مقطع قائم الف) باد و دمای پتانسیلی ب) غلظت گردوخاک و رطوبت نسبی در ساعت ۱۵ UTC روز ۱۲ مارس، ج) باد و دمای پتانسیلی د) غلظت گردوخاک و رطوبت نسبی در ساعت ۰۹ UTC روز ۱۳ مارس سال ۲۰۲۱.

جمع‌بندی

در این مطالعه یک مورد پدیده گردوغاک شدید و فراگیر که از روز ۱۲ مارس سال ۲۰۲۱ آغاز شده و تا ۱۸ مارس (۲۲ تا ۲۸ اسفند ۱۳۹۹) ادامه داشته است، مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار گرفت. بر اساس تصاویر ماهواره‌ای، گسیل گردوغاک از شرق سوریه، عراق و مناطق شمالی عربستان آغاز شد و به تدریج با انتقال سامانه کم‌فشار و جبهه سرد وابسته به آن به سمت شرق ذرات گردوغاک از مناطق مرکزی و جنوبی عربستان و همچنین سواحل جنوبی خلیج فارس و دریای عمان گسیل شد. جریان‌های جنوب و جنوب‌غربی حاکم بر منطقه سبب انتقال ذرات گردوغاک به سمت جنوب‌شرقی ایران، پاکستان، افغانستان و غرب چین شدند. همچنین گسیل گردوغاک از اطراف دریاچه هامون، مناطق مرکزی ترکمنستان و چین و انتقال آن به سایر نقاط منطقه مورد مطالعه، نیز سبب گستردگی، شدت و طول عمر بیشتر این پدیده گردوغاک شده است. محصولات کالیپسو وجود ابرهای همرفتی تا ارتفاعات بالای جو و ذرات گردوغاک در پایین و اطراف توده‌های ابر را نشان می‌دهد. در نقشه‌های همدیدی، تغییر جهت باد، فرارفت دما و چرخش خطوط هم‌فشار نشان دهنده حضور جبهه‌های جوی در منطقه است. خروجی مدل پخش HYSPLIT انتقال ذرات معلق از عربستان به سمت خلیج فارس و مناطق جنوب‌شرقی ایران و از آنجا به سمت پاکستان، افغانستان و غرب چین را نشان می‌دهد. بر اساس خروجی این مدل، سرعت انتقال ذرات گردوغاک در روز ۱۳ مارس بیشتر بوده و در مناطق غرب چین، ذرات معلق تا ارتفاع بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متری نیز نفوذ کرده‌اند. شبیه‌سازی با مدل WRF-Chem نیز انتقال گردوغاک از عربستان به سمت افغانستان، پاکستان و هند را به خوبی نشان داده است؛ به گونه‌ای که در روز ۱۵ مارس سال ۲۰۲۱ بخش وسیعی از کشورهای حاشیه جنوبی خلیج فارس، عراق، کویت، عربستان، ایران، افغانستان، پاکستان، ترکمنستان، ازبکستان، قرقیزستان، تاجیکستان و چین تحت پوشش گردوغاک قرار دارند. خروجی مدل، انتقال قائم گردوغاک در روز ۱۲ مارس را تا حدود تراز $hPa 500$ و در روز ۱۳ مارس تا حدود تراز $hPa 300$ نشان داده است. نتیجه این مقاله با مطالعه تاناکا و همکاران (۲۰۰۵)

مطابقت دارد. آنها در یک پدیده گردوغاک در ماه مارس سال ۲۰۰۳ را با استفاده از یک مدل انتقال سه بعدی گردوغاک بررسی کردند و نتیجه گرفتند که گردوغاک از شبه جزیره عربستان به شمال کوه‌های تین‌شان در چین منتقل شده و در عرض ۶ تا ۷ روز به ژاپن رسیده است.

مراجع

- Adefisan, E.A. and Ogbaego, A.J., 2018. Performance evaluation of WRF-CHEM in simulating harmattan dust over West Africa. *J Climatol Weather Forecasting*, 6(232), p.2.
- Akbary, M. and Farahbakhshi, M., 2015. Analyzing and Tracing of Dust Hazard in Recent Years in Kermanshah Province. *International Journal of Environmental Research*, 9(2).
- Al-Hemoud, A., Al-Dousari, A., Misak, R., Al-Sudairawi, M., Naseeb, A., Al-Dashti, H. and Al-Dousari, N., 2019. Economic impact and risk assessment of sand and dust storms (SDS) on the oil and gas industry in Kuwait. *Sustainability*, 11(1), p.200.
- Al-Hemoud, A., Al-Sudairawi, M., Neelamanai, S., Naseeb, A. and Behbehani, W., 2017. Socioeconomic effect of dust storms in Kuwait. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(1), pp.1-9.
- Almasi, A., Mousavi, A.R., Bakhshi, S. and Namdari, F., 2014. Dust storms and environmental health impacts. *Journal of Middle East Applied Science and Technology*, 8, pp.353-356.
- Al-Taiar, A. and Thalib, L., 2014. Short-term effect of dust storms on the risk of mortality due to respiratory, cardiovascular and all-causes in Kuwait. *International journal of biometeorology*, 58(1), pp.69-77.
- Ansmann, A., Baars, H., Tesche, M., Müller, D., Althausen, D., Engelmann, R., Pauliquevis, T. and Artaxo, P., 2009. Dust and smoke transport from Africa to South America: Lidar profiling over Cape Verde and the Amazon rainforest. *Geophysical Research Letters*, 36(11).
- Baddock, M.C., Strong, C.L., Murray, P.S. and McTainsh, G.H., 2013. Aeolian dust as a transport hazard. *Atmospheric environment*, 71, pp.7-14.
- Cao, H., Amiraslani, F., Liu, J. and Zhou, N., 2015. Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. *Science of the Total Environment*, 502, pp.224-235.
- Charabi, Y. and Gastli, A., 2012. Spatio-temporal assessment of dust risk maps for solar energy systems using proxy data. *Renewable Energy*, 44, pp.23-31.
- Chen, Y.S., Sheen, P.C., Chen, E.R., Liu, Y.K., Wu, T.N. and Yang, C.Y., 2004. Effects of Asian dust storm events on daily mortality in Taipei, Taiwan.

- in dust storms. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D23).
- Karami, S., Kaskaoutis, D.G., Kashani, S.S., Rahnama, M. and Rashki, A., 2021. Evaluation of nine operational models in forecasting different types of synoptic dust events in the Middle East. *Geosciences*, 11(11), p.458.
- Maleki, S., Miri, A., Rahdari, V. and Dragovich, D., 2021. A method to select sites for sand and dust storm source mitigation: case study in the Sistan region of southeast Iran. *Journal of Environmental Planning and Management*, 64(12), pp.2192-2213.
- Masoumi, A., Laleh, E. and Bayat, A., 2019. Optical and physical properties, time-period, and severity of dust activities as a function of source for the main dust sources of the Middle East. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 185, pp.68-79.
- Middleton, N., Kashani, S.S., Attarchi, S., Rahnama, M. and Mosalman, S.T., 2021. Synoptic causes and socio-economic consequences of a severe dust storm in the Middle East. *Atmosphere*, 12(11), p.1435.
- Middleton, N., Tozer, P. and Tozer, B., 2019. Sand and dust storms: underrated natural hazards. *Disasters*, 43(2), pp.390-409.
- Miri A, Middleton N. Long-term impacts of dust storms on transport systems in south-eastern Iran. *Natural Hazards*. 2022 May 18:1-22.
- Mlawer, E.J., Taubman, S.J., Brown, P.D., Iacono, M.J. and Clough, S.A., 1997. Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D14), pp.16663-16682.
- Moridnejad, A., Karimi, N. and Ariya, P.A., 2015. A new inventory for Middle East dust source points. *Environmental monitoring and assessment*, 187(9), pp.1-11.
- Namdari, S., Karimi, N., Sorooshian, A., Mohammadi, G. and Sehatkashani, S., 2018. Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East. *Atmospheric environment*, 173, pp.265-276.
- Noh, Y., Cheon, W.G., Hong, S.Y. and Raasch, S., 2003. Improvement of the K-profile model for the planetary boundary layer based on large eddy simulation data. *Boundary-layer meteorology*, 107(2), pp.401-427.
- Pokharel, A.K. and Kaplan, M.L., 2019. Organization of dust storms and synoptic-scale transport of dust by Kelvin waves. *Earth System Dynamics*, 10(4), pp.651-666.
- Prospero, J.M., Collard, F.X., Molinié, J. and Jeannot, A., 2014. Characterizing the annual cycle of African dust transport to the Caribbean Basin and South America and its impact on the environment and air quality. *Global Biogeochemical Cycles*, 28(7), pp.757-773.
- Roberts, A. and Knippertz, P., 2012. Haboobs: convectively generated dust storms in West Africa. *Weather*, 67(12), pp.311-316.
- Environmental research*, 95(2), pp.151-155.
- Chou, M.D. and Suarez, M.J., 1999. *A solar radiation parameterization for atmospheric studies* (No. NASA/TM-1999-104606/VOL15).
- Crooks, J.L., Cascio, W.E., Percy, M.S., Reyes, J., Neas, L.M. and Hilborn, E.D., 2016. The association between dust storms and daily non-accidental mortality in the United States, 1993–2005. *Environmental health perspectives*, 124(11), pp.1735-1743.
- Deng, F., Guo, X., Liu, H., Fang, X., Yang, M. and Chen, W., 2007. Effects of dust storm PM_{2.5} on cell proliferation and cell cycle in human lung fibroblasts. *Toxicology in vitro*, 21(4), pp.632-638.
- Ebrahimi, S.J.A., Ebrahimzadeh, L., Eslami, A. and Bidarpoor, F., 2014. Effects of dust storm events on emergency admissions for cardiovascular and respiratory diseases in Sanandaj, Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), pp.1-5.
- Gohel, H., 2016. Conscious study of impact of dust storm on aviation and airport management. *Journal Homepage: http://www.ijmra.us*, 4(9).
- Gonzalez-Martin, C., Teigell-Perez, N., Valladares, B. and Griffin, D.W., 2014. The global dispersion of pathogenic microorganisms by dust storms and its relevance to agriculture. *Advances in agronomy*, 127, pp.1-41.
- Grell, G.A., 1993. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Monthly weather review*, 121(3), pp.764-787.
- Haghshenas, M., Hooshmand, R.A. and Gholipour, M., 2022. Power distribution system resilience enhancement planning against extreme dust storms via pre-and post-event actions considering uncertainties. *Sustainable Cities and Society*, 78, p.103626.
- Hamzeh, N.H., Karami, S., Kaskaoutis, D.G., Tegen, I., Moradi, M. and Opp, C., 2021. Atmospheric dynamics and numerical simulations of six frontal dust storms in the Middle East region. *Atmosphere*, 12(1), p.125.
- Hong, S.Y. and Lim, J.O.J., 2006. The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (WSM6). *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 42(2), pp.129-151.
- Hong, S.Y., Dudhia, J. and Chen, S.H., 2004. A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. *Monthly weather review*, 132(1), pp.103-120.
- Hyde, P., Mahalov, A. and Li, J., 2018. Simulating the meteorology and PM₁₀ concentrations in Arizona dust storms using the Weather Research and Forecasting model with Chemistry (Wrf-Chem). *Journal of the Air & Waste Management Association*, 68(3), pp.177-195.
- Kaplan, M.L., Vellore, R.K., Lewis, J.M. and Young, M., 2011. The role of unbalanced mesoscale circulations

- to East Asia. *Atmospheric Environment*, 39(21), pp.3901-3909.
- Tanaka, T.Y., Kurosaki, Y., Chiba, M., Matsumura, T., Nagai, T., Yamazaki, A., Uchiyama, A., Tsunematsu, N. and Kai, K., 2005. Possible transcontinental dust transport from North Africa and the Middle East to East Asia. *Atmospheric Environment*, 39(21), pp.3901-3909.
- Walker, A.L., Liu, M., Miller, S.D., Richardson, K.A. and Westphal, D.L., 2009. Development of a dust source database for mesoscale forecasting in southwest Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D18).
- Yang, C.Y., Tsai, S.S., Chang, C.C. and Ho, S.C., 2005. Effects of Asian dust storm events on daily admissions for asthma in Taipei, Taiwan. *Inhalation toxicology*, 17(14), pp.817-821.
- Saidan, M., Albaali, A.G., Alasis, E. and Kaldellis, J.K., 2016. Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment. *Renewable Energy*, 92, pp.499-505.
- Seino, N., Sasaki, H., Yamamoto, A., Mikami, M., Zhou, H. and Zeng, F., 2005. Numerical simulation of mesoscale circulations in the Tarim Basin associated with dust events. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 83, pp.205-218.
- Sivakumar, M.V., 2005. Impacts of sand storms/dust storms on agriculture. In *Natural disasters and extreme events in agriculture* (pp. 159-177). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Tanaka, T.Y., Kurosaki, Y., Chiba, M., Matsumura, T., Nagai, T., Yamazaki, A., Uchiyama, A., Tsunematsu, N. and Kai, K., 2005. Possible transcontinental dust transport from North Africa and the Middle East

Investigation and simulation of long-range transport of dust particles from the Middle East to East Asia in a case study

Sara Karami¹, Zahra Ghassabi^{2*}

¹ Assistant Professor of Meteorology, Department of Air pollution and dust, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran

² Assistant Professor of Meteorology, Department of Atmospheric Hazard Forecast, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: z.ghassabi@gmail.com

Received: 09 March 2020 , accepted: 13 June 2021

ABSTRACT

The severe and widespread dust on March 12-18, 2021 over a large part of Asia investigated. Satellite data, synoptic maps, and the HYSPLIT diffusion model and the WRF-Chem model outputs have used. On March 12, the dust particles transferred from Iraq to Iran and the dust emission started from the deserts of Arabia; and the dust particles were transferred to the countries of Afghanistan, Pakistan and China. In addition to long-range transport, the dust emission from local sources in the border areas of Afghanistan, Pakistan, Iran as well as the central of Turkmenistan and the western/central of China increased the intensity of the phenomenon and the extent of the areas affected by dust. In the synoptic analysis, a series of low-pressure systems observed in the south of Arabia, south/southeast Iran, Kyrgyzstan and China, which caused the dust emission and transport in the area. CALIPSO products show that in a large part of the region, there are suspended dust particles, and clouds are mostly deep convective and cirrus. The WRF-Chem model correctly simulates the dust emission from Iraq, Syria and Saudi Arabia and its transfer path. The activity of dust sources around Lake Hamon, Turkmenistan and central China can be seen in the output of the model. The vertical cross-section of dust concentration and quantities of relative humidity, wind speed and potential temperature indicate the penetration of dust particles to the upper levels of the atmosphere, which is the reason for their long-range transport under the influence of higher wind speed.

Keywords: dust; simulation; long-range transport; Middle East; Central and Eastern Asia

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Karami, S.; Ghassabi, Z. (2021). Investigation and simulation of long-range transport of dust particles from the Middle East to East Asia in a case study. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 4(2): 161-177

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

