



دوره ۳۴، شماره ۴، شماره ۱ پی‌اچ ۱۳۳، زمستان ۱۴۰۰، صفحه‌های ۱۵-۲
شناسه دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2021.352841.1377

مقاله‌ی پژوهشی



پژوهش‌های آبخرداری

شبیه‌سازی و تحلیل عددی طوفان گردوغبار ۱۰ جولای ۲۰۱۴ با مدل‌های جهانی در ایران مرکزی

فرشاد سلیمانی ساردو

استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده‌ی منابع طبیعی دانشگاه جیرفت

سارا کرمی

استادیار پژوهشکده‌ی هواشناسی و علوم جو، سازمان هواشناسی کشور

فرزانه وکیلی تجره

(نویسنده‌ی مسئول)* دانشجوی دکترای علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: vakili.farzane.t@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۴ آذر ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: ۳۰ خرداد ۱۴۰۰

چکیده

پدیده‌ی گردوغبار یکی از دشواری‌های زیست‌محیطی در منطقه‌ی ایران مرکزی است، به‌طوری‌که سالانه زیان‌های زیادی به بوم‌نظام‌های طبیعی و انسانی وارد می‌کند. ذره‌های گردوغبار سبب بیماری‌های تنفسی پرشماری شده است و از این راه بر تن‌درستی جامعه تاثیر می‌گذارد. کاهش دید ناشی از رخ‌دادهای گردوغبار هر ساله سبب لغو شدن پروازها و تصادف‌های جاده‌یی شده است و سبب زیان‌های مالی و جانی بسیاری می‌شود. پژوهش در این باره و شناسایی منشاء و چشمه‌های گردوغبار اهمیت زیادی دارد. شبیه‌سازی و تحلیل عددی طوفان‌های شدید گردوغبار با مدل‌های پیش‌بینی عددی یکی از روش‌های نوین پژوهش این پدیده است. هدف از این پژوهش شبیه‌سازی طوفان گردوغبار ۱۰ جولای ۲۰۱۴ برای کمی‌سازی و تحلیل عددی آن است. از مدل MACC-ECMWF بهره‌گرفته شد. خروجی‌های مدل برای کمیت‌های عمق دیداری هواپخش و غلظت گردوغبار استخراج و مجموعه‌ی زمانی تغییر این دو کمیت در گام زمانی یک ساعته بررسی شد. تحلیل مکانی مقدار عمق دیداری هواپخش و غلظت گردوغبار نشان داد که بیابان مرکزی ایران در استان‌های سمنان، شرق اصفهان، و بیابان لوت مرکزی در شرق استان کرمان بزرگ‌ترین چشمه‌ی گردوغبار ایران مرکزی است، و در روی‌داد گردوغبار نقش مهمی دارد. بررسی مجموعه‌ی زمانی دو کمیت عمق دیداری هواپخش و غلظت گردوغبار نیز نشان داد که در این پژوهش بیشینه‌ی مقدار آن‌ها در نیمه‌های شب حدود ساعت ۲۳:۰۰ بود.

واژگان کلیدی: شاخص AOD، غلظت گردوغبار، مدل MACC-ECMWF

مقدمه

گردوغبار یکی از آلاینده‌های طبیعی است که بر جنبه‌های مختلف زندگی انسان از جمله سلامتی، زیست‌بوم، حمل‌ونقل، صنعت، انرژی و مانند آن تاثیرگذار است. شدت این تاثیرگذاری به‌گونه‌ی است که زندگی جامعه‌ی انسانی را تغییر داده است و هزینه‌های اجتماعی، اقتصادی و بهداشتی سنگینی را بر جامعه تحمیل می‌کند.

بخش وسیعی از ایران در دهه‌های اخیر به شدت با پدیده‌ی گردوغبار و اثر مخرب آن روبه‌رو شده است. پدیده‌ی گردوغبار اثر مخربی بر زیرساخت‌های منطقه از جمله اقتصاد، کارخانه‌ها، کشاورزی، و مانند آن گذاشته و سبب مهاجرت ساکنان به جاهای دیگر کشور شده است (خالدی ۲۰۱۳). این پدیده تأثیر معنی داری بر شاخص سلامت جامعه‌های انسانی می‌گذارد و باعث کاهش کیفیت زندگی انسان‌ها می‌شود (گوودی ۲۰۰۶). روی‌داد گردوغبار در منطقه‌ی خشک و نیمه‌خشک فراوانی بیش‌تری دارد (شائو و دانگ ۲۰۰۶).

کاهش پوشش گیاهی و خاک لخت، بادهای فرساینده، بارش محدود به‌همراه تبخیر و تعرق شدید، رطوبت محدود خاک و هوا، و غیر آن از شرایط فرسایش بادی است که منجر به روی‌داد گردوغبار می‌شود (هافمن و همکاران ۲۰۱۱، لی و همکاران ۲۰۰۷). شرایط آب و هوایی عاملی مانند ناپایداری جو (علی‌جانی و رئیس پور ۲۰۱۱، المازویی ۲۰۱۳)، سرعت باد، دما (نگارش و لطیفی ۲۰۰۸)، بارش، تبخیر، تابش خورشید (ربادی ۲۰۱۳) و تغییر اقلیم (باباییان و همکاران ۲۰۱۰)، ویژگی‌های زمین‌شناسی (ربادی ۲۰۱۳) از دیگر عامل‌های ایجاد طوفان‌های گردوغبار است. بودن املاح در خاک، ویژگی‌های سطح منطقه و ناهمواری‌های سطح زمین (نگارش و لطیفی ۲۰۰۸) نبود رطوبت، منطقه‌های با خاک لای و غنی از رس (المازویی ۲۰۱۳)، نداشتن ساختمان مناسب خاک‌های منطقه، زیاد بودن نسبت ذره‌های ماسه‌ی کم‌تر از ۲۵۰ میکرون، ضعف پوشش گیاهی مناسب، درصد تاج پوشش گیاهی بسیار ناچیز (فراهانی و همکاران ۲۰۰۹)، خصوصیت‌های زمین مانند نبود پستی‌بلندی‌ها، شیب بسیار کم و مقاومت ساختار زمین‌شناسی (نخعی مقدم و ملک ۲۰۰۷)، و فعالیت‌های انسان و تخریب زمین از عامل‌های بسیار مهم در بیان‌زایی و تشدید طوفان‌های گردوغبار دانسته می‌شود (باباییان و همکاران ۲۰۱۰، ربادی ۲۰۱۳).

در ایران مرکزی به دلیل شرایط خاص اقلیم و ویژگی‌های ساختمانی و شیمیایی خاک گردوغبار از مهم‌ترین دشواری‌های سکونت‌گاه‌ها است. بیابان‌های مهم دشت لوت و کویر در این منطقه شرایط را برای این رخ‌داد آسان‌تر کرده است. شبیه‌سازی عددی یکی از مناسب‌ترین ابزارهای بررسی گردوغبار، شناسایی چشمه‌های گسیل گردوغبار و چگونگی انتقال و نهشتن

ذره‌های آن شناخته می‌شود. در این روش حرکت ذره‌های گردوغبار مانند جدا شدن، برده‌شدن و رسوب‌گذاری با معادله‌ی حاکم بر رفتار سیال‌ها و گازها، و عامل مؤثر خاک و شرایط مرزی اقلیمی شبیه‌سازی می‌شود، و در پژوهش‌های بسیاری به‌کار گرفته شده است (مصباح‌زاده و همکاران ۲۰۲۰). چشمه‌های گردوغبار در ایران مرکزی بسیار است، بنابراین بسیاری از طوفان‌های گردوغبار شدید این منطقه در مقیاس منطقه‌ی است (مصباح‌زاده و همکاران ۲۰۲۰)؛ بررسی و شبیه‌سازی رخ‌دادهای گردوغبار در این منطقه با مدل‌های پیش‌بینی عددی گردوغبار منطقه‌ی ضروری است. پژوهش‌های گسترده‌ی برای شبیه‌سازی عددی گردوغبار با مدل‌های مختلف انجام شده‌است (کارگر و همکاران ۲۰۱۶، ژانگ و همکاران ۲۰۲۰، لیو و همکاران ۲۰۱۷، ژائو و همکاران ۲۰۱۷ و کای و همکاران ۲۰۱۹).

سنجش از دور و مدل‌های عددی اقلیمی یا مدل‌های ترکیبی از مهم‌ترین روش‌های بازتحلیل این پدیده است. این مدل‌ها توان محاسبه‌ی غلظت ذره‌های پایین‌دست جریان را با اطلاعاتی از نرخ انتشار ذره، خصوصیت منبع انتشار، پستی‌بلندی محل، هواشناسی منطقه و غلظت ذره‌های محیط دارد (عباسپور ۲۰۱۱). پژوهش‌های اخیر نشان داد که مدل‌های پیش‌بینی عددی گردوغبار برای درک بهتر تاثیر ذره‌های گردوغبار بر جو توسعه می‌یابد (رضازاده، ایران‌نژاد و شائو ۲۰۱۳).

هرگونه پیش‌بینی به‌دلیل تلاطم‌های جوی محدودیت‌هایی دارد، به همین دلیل هرگز نمی‌توان اطلاعات دقیقی درباره‌ی پیش‌بینی داد. مدل‌های عددی نمی‌تواند قانون‌های فیزیک حاکم بر معادله‌ی پویا را کامل نشان دهد. تمام پیش‌بینی‌ها با قطعیت‌نداشتن همراه است.

این مدل‌ها برای بهبود شبیه‌سازی طوفان‌های گردوغبار و تجزیه‌وتحلیل کیفیت هوا و پیش‌بینی کاربرد دارد. یکی از روش‌های جدید در تحلیل عددی این پدیده کاربرد مدل‌های جهانی است.

امروزه برای پژوهش رخ‌داد گردوغبار روش‌های گوناگونی به‌کار گرفته می‌شود. نتیجه‌ی اندازه‌گیری‌های PM و تاثیرشان بر کیفیت هوا در جنوب شرقی آمریکا (گوپتا و همکاران ۲۰۰۸) نشان داد که پژوهش‌های ماهواره‌ی برای پایش ذره‌ی معلق ابزاری کارآمد است. نتیجه‌ی بررسی تغییر مکانی و زمانی هواویزه‌ها با داده‌های مودیس پاکستان (خان و همکاران ۲۰۱۰) نشان داد که تغییر در اندازه‌ی عمق دیداری هواپخش‌الگوی فصلی خاصی دارد، به‌گونه‌ی که بیش‌ترین مقدار در فصل گسترش سامانه‌ی مانسون رخ می‌دهد. نتیجه‌ی لی و همکاران (۲۰۱۳) رابطه‌ی مستقیم و معنی‌داری بین مرگ‌ومیر روزانه و توفان گردوغبار در هشت کلان‌شهر کره نشان داد. نتیجه‌ی شبیه‌سازی توفان گردوغبار ۲۱-۱۸ مارس ۲۰۱۲

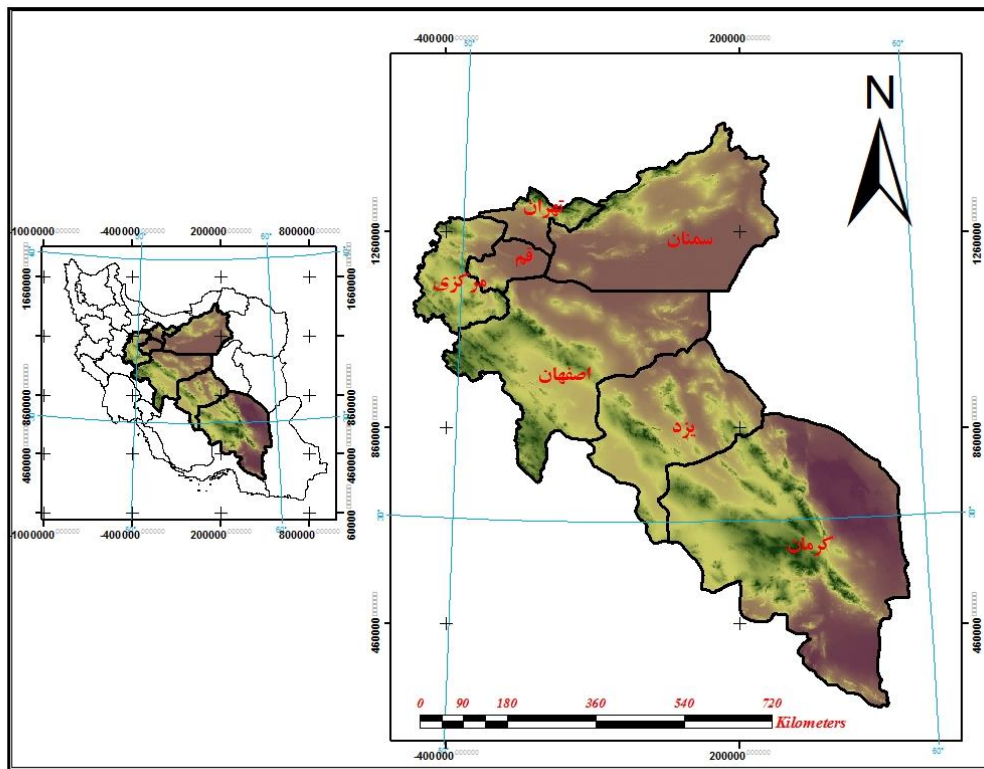
اخیر، تغییر اقلیم و پدیده‌ی گرم شدن جهانی در منطقه مهم‌ترین عامل‌های طبیعی گردوغبار بوده است. حسین حمزه و همکاران (۲۰۱۶) هم‌دیدگی و پویایی پدیده‌ی گردوغبار و شبیه‌سازی آن در جنوب غرب کشور در تابستان را با داده‌های ایستگاه هم‌دید و تصویرهای ماهواره‌ی مودیس و مدل عددی WRF-chem بررسی کردند. رضازاده و همکاران (۲۰۱۶) عمل‌کرد مدل‌های عددی فرسایش بادی در شبیه‌سازی گردوغبار خاورمیانه را با مدل WRF-chem و سه طرح‌واره‌ی غبار مارتیکرنا-برگامتی، لو-شائو و شائو، برای غبار ۹-۴ جولای سال ۲۰۰۹ خاورمیانه بررسی کردند. نتیجه‌ی بررسی روند تغییر طوفان‌های گردوغبار در ایران در دوره‌ی ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۴ با داده‌های مشاهده‌ی ۱۱۲ ایستگاه هواشناسی و روش‌های خوشه‌بندی و نرم‌افزار SPSS (محمدخان ۲۰۱۷) نشان داد که در مقایسه‌ی خوشه‌های به‌دست‌آمده با تبخیر و تعرق، دما، بارش، زمین‌ریخت‌شناسی و ارتفاع، به‌ترتیب تبخیر، دما و بارش هم‌بسته است.

مواد و روش‌ها

طوفان‌های گردوغبار یکی از دشواری‌های انکارناپذیر در ایران مرکزی است و سالانه زیان‌های جبران‌ناپذیری به زیرساخت‌ها و سلامت عمومی جامعه در این منطقه وارد می‌کند. این پژوهش در ایران مرکزی بر استان‌های کرمان، اصفهان، یزد، سمنان، قم، تهران، و مرکزی انجام شده است. همه‌ی شرایط اقلیمی و خاک محور این منطقه‌ها نشان می‌دهد که روی‌داد طوفان‌های گردوغبار از خصوصیت‌های بارز آنها است. طوفان‌های شدید ماسه و شن در این منطقه‌ها باعث خالی‌شدن بعضی از سکونت‌گاه‌ها از مردم شده است. اقلیم خشک و کم بارش، پوشش گیاهی تنک، و خاک لخت و خشک از جمله خصوصیت‌های این منطقه است. این شرایط برای فرسایش بادی، و در نتیجه طوفان‌های شدید گردوغبار بسیار مناسب است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی را نشان داده است.

(پراکاش و همکاران ۲۰۱۵) نشان داد که این طوفان در حدود ۹۴ میلیون تن گردوغبار تولید کرده، که ۵/۳ میلیون تن آن روی خلیج فارس و دریای عرب و ۱/۲ میلیون تن آن در دریای سرخ نشست کرده است. سونگ و همکاران (۲۰۱۶) متغیرهای مکانی و زمانی انتشار گردوغبار در شمال چین را در یک دوره‌ی ۳۰ ساله با سامانه‌های مدل‌سازی یک‌پارچه‌ی فرسایش بادی بررسی کردند. نتیجه‌ی پژوهش عددی از توفان‌های گردوغبار با مفهوم برآورد و یا تخمین هزینه درآمد جهانی گردوغبار (کلوزه و شائو ۲۰۱۶) نشان داد که تلاطم هوا ممکن است باعث توسعه‌ی گردوغبار شود، و اندازه‌ی ورودی گردوغبار به مؤلفه‌های اتمسفر و بیشینه‌ی انتشار گردوغبار به اندازه‌ی پایداری اتمسفر بستگی دارد. نبوی و همکاران (۲۰۱۶) توزیع گردوغبار در غرب آسیا را با داده‌های همگن‌شده‌ی ماهواره‌ی مودیس بررسی، و منبع گردوغبار منطقه‌هایی در مرز عراق و عربستان سعودی و اخیراً شمال غرب عراق را با تصویرهای مودیس مشخص کردند.

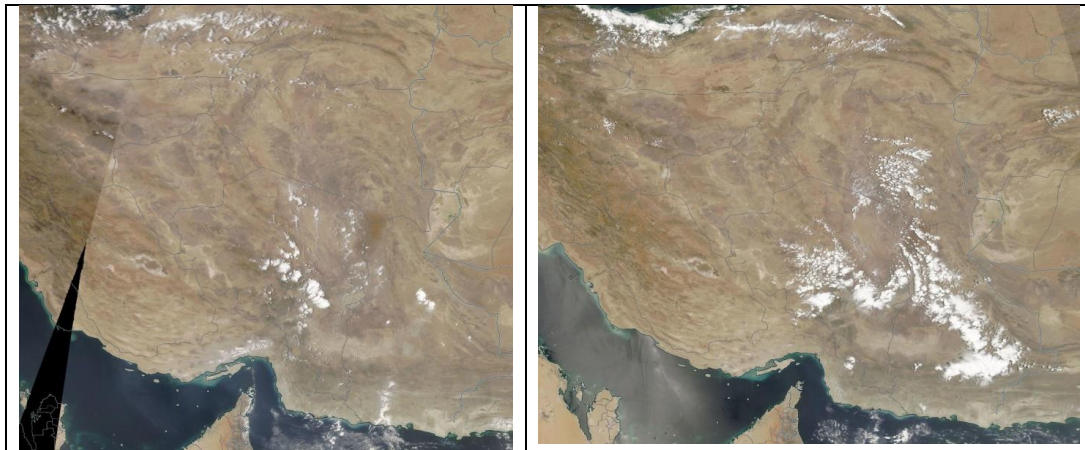
نتیجه‌ی آشکارسازی و پهنه‌بندی گردوغبارهای استان کرمانشاه با تصویرهای سنجنده‌ی مودیس (شمشیری و همکاران ۲۰۱۴) نشان داد که ایستگاه سومار بیش‌ترین گردوغبار زیر ۱۰۰ متر دارد. نتیجه‌ی شبیه‌سازی طوفان ماسه و گردوغبار شدید شرق ایران با مدل WRF-Chem و تصویرهای ماهواره‌ی مودیس و طرح‌واره‌ی GOCART (کارگر و همکاران ۲۰۱۵) نشان داد که منطقه‌ی سیستان به‌ویژه بستر خشک تالاب هامون در شرق ایران چشمه‌ی اصلی طوفان ماسه و ریزگرد بوده است. غفاری و مصطفی‌زاده (۲۰۱۵) اثر و راه‌کارهای پدیده‌ی گردوغبار در ایران را بررسی کردند و عمده‌ترین علت روی‌داد پدیده‌ی گردوغبار به‌ویژه در غرب ایران را ناپایداری جوی در صحراهای عربستان، عراق، کویت، و سوریه، روی‌داد خشک‌سالی‌های متوالی با شدت و وسعت زیاد در نبود پوشش گیاهی دانستند. نتیجه‌ی بررسی منشأهای داخلی و خارجی ریزگردها و طوفان‌های گردوغباری در ایران و روش‌های مهار آنها با تحلیل تصویرهای ماهواره‌ی مودیس (کرمانی و همکاران ۲۰۱۶) نشان داد که خشک‌سالی‌های



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه.

و غلظت گردوغبار با نرم‌افزار GRADS ترسیم شد. تصویرهای ماهواره‌ی سنجنده‌های اکوا و ترا در ۱۰ جولای ۲۰۱۴ در شکل ۲ نشان داده شده است.

خروجی‌های مدل MACC-ESMWF برای رخداد گردوغبار ۱۰ جولای ۲۰۱۴ از ۲۰۱۹ (AEMET) با فرمت NC گرفته شد، و برای تحلیل نقشه‌های شاخص‌های عمق دیداری هواپخش



شکل ۲- تصویرهای ماهواره‌ی سنجنده‌های اکوا و ترا در ۱۰ جولای ۲۰۱۴.

ماهواری، داده‌گاری داده‌های ناماهواری و مدل‌سازی تولید می‌کند (مورکرت ۲۰۰۸، ۲۰۰۹؛ بندیتی ۲۰۰۹). داده‌های بازتحلیل

مدل CAMS^۱ یکی از خدمات‌هایی است که برنامه‌ی مشاهده‌ی زمین اتحادیه‌ی اروپا می‌دهد و داده‌هایی را با مشاهده‌های

شاخص عمق دیداری هواپخش (AOD) یکی از سنج‌های مهم در پژوهش گردوغبارها است. منظور از عمق دیداری هواپخش توزیع هواپخش‌های گردوغبار جو است. این کمیت وابسته به طول موج، به شکل کاهش نور در واحد طول روی مسیری مشخص تعریف می‌شود. مسیر دیداری عمودی، فاصله‌ی عمودی از سطح زمین در قسمت بالایی جو است. مقدار عمق دیداری می‌تواند با تراکم تعداد هواویزه‌ها (هواپخش‌ها) و ویژگی‌های آن ذره متفاوت باشد. دامنه‌ی تغییر عمق دیداری ۰/۱ تا ۰/۲ را برای شرایط هوای قاره‌یی صاف و ۰/۱ تا ۰/۵ را برای هوای دریایی صاف پیشنهاد می‌کند. بیش‌تر بودن مقدار عمق دیداری هواپخش از این مقدار نشان‌دهنده‌ی تراکم هواویزه‌ها در امتداد ستون عمودی هوا است، و دید در امتداد آن ستون کم است. میانگین عمق دیداری جهانی در شرایط عادی به‌علت غبار نمک ذره‌ی ناشی از کانی‌ها حدود ۰/۰۲۳ برآورد شده‌است. درحالی‌که عمق دیداری گردوغبارهای عمده‌ی دنیا در محدوده‌ی ۰/۳ تا ۲/۵ است که بیان‌گر نقش مهم گردوغبارها در کاهش نور است. عمق دیداری هواپخش‌ها معمولاً با افزایش طول موج کاهش می‌یابد و مقدار آن در تابش‌های طول موج بلند بسیار کم‌تر از تابش‌های طول موج کوتاه است.

نتایج

شاخص عمق دیداری هواپخش استخراج شده در این منطقه نشان‌دهنده‌ی گستره‌ی گردوغبار در جنوب استان سمنان و شرق استان اصفهان است؛ اندازه‌ی شاخص در این منطقه‌ها گاه به ۰/۵۵ و یا ۰/۶ می‌رسد. در جنوب استان یزد و قسمت شرقی استان کرمان نیز مقدار عمق دیداری هواپخش زیاد است. بودن در کنار بیابان‌های دشت کویر (بیابان مرکزی و بیابان لوت) از مهم‌ترین دلیل‌های آن است. شکل ۳ تغییر مکانی شاخص عمق دیداری هواپخش در این پژوهش با گام زمانی ۶ ساعتی را نشان می‌دهد. این داده‌ها با فرمت NC بارگیری و با نرم‌افزار GRADS رسم شده بود.

CAMS متشکل از میدان‌های سه‌بعدی ترکیب جوی، از جمله گونه‌های شیمیایی و هواویز است. داده‌های بازتحلیل گازهای گلخانه‌یی جداگانه تولید می‌شود. CAMS با مرکز اروپایی پیش‌بینی میان مقیاس وضع هوا ECMWF^۲ برای تولید داده‌های گردوخاک اجرا می‌شود (کاسموپولوس و همکاران ۲۰۱۷). خروجی‌های این مدل از AEMET (۲۰۱۹) گرفته شد. فرآیند مدل سازی برپایه‌ی سنج‌سازی ساختمانی ECMWF با مدل LOA/LMD-Z (بوچر و همکاران ۲۰۰۲) بود و سنج‌سازی رطوبت خاک، گسیل گردوغبار باد سطح ۱۰ متری، نمک دریا، کربن و گسیل سایر هواویزه‌ها را با داده‌های میانگین اقلیمی سالانه یا ماهانه^۳ EDGAR و^۴ SPEW انجام داد (کاسموپولوس و همکاران ۲۰۱۷). مدل CAMS طرح‌واره‌ی گسیل گردوخاک جینو و همکاران (۲۰۰۱) را به‌کارمی‌برد که به داده‌های سرعت باد سطح ۱۰ متری و سرعت آستانه‌ی فرسایش بادی نیاز دارد. در این رابطه، FP شار گردوغبار برای ذره‌یی با اندازه‌ی p است.

$$F_p = \begin{cases} CS_{Sp} u_{10m}^2 (u_{10m} - u_t) & \text{if } u_{10m} > u_t \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

C کمیت بی‌بعد برابر با $S \cdot 1 \mu g S^2 m^{-5}$ همان تابع منبع^۵، u_{10m} سرعت افقی باد در ۱۰ متر، و u_t سرعت آستانه‌ی باد است. در CAMS عمق نوری هواویزه‌ها بر پایه‌ی بار گردوخاک در ستون جو با رابطه‌ی ۲ به‌دست آمد.

$$AOD(\lambda) = \sum_1^8 AOD(\lambda) = \sum_1^8 \frac{3}{4\rho_k r_k} M_k Q_{ext}(\lambda)_k \quad (2)$$

برای هر اندازه از ذره‌ی K کمیت ρ_k چگالی ذره، شعاع r_k شعاع موثر، M_k بار گردوخاک ستون جو و $Q_{ext}(\lambda)_k$ ضریب خاموشی است که با نظریه‌ی پراکندگی Mie و شاخص‌های شکست گردوغبار محاسبه شد. کد Mie در مدل CAMS از تون و آکرمن (۱۹۸۱) به‌دست آمد.

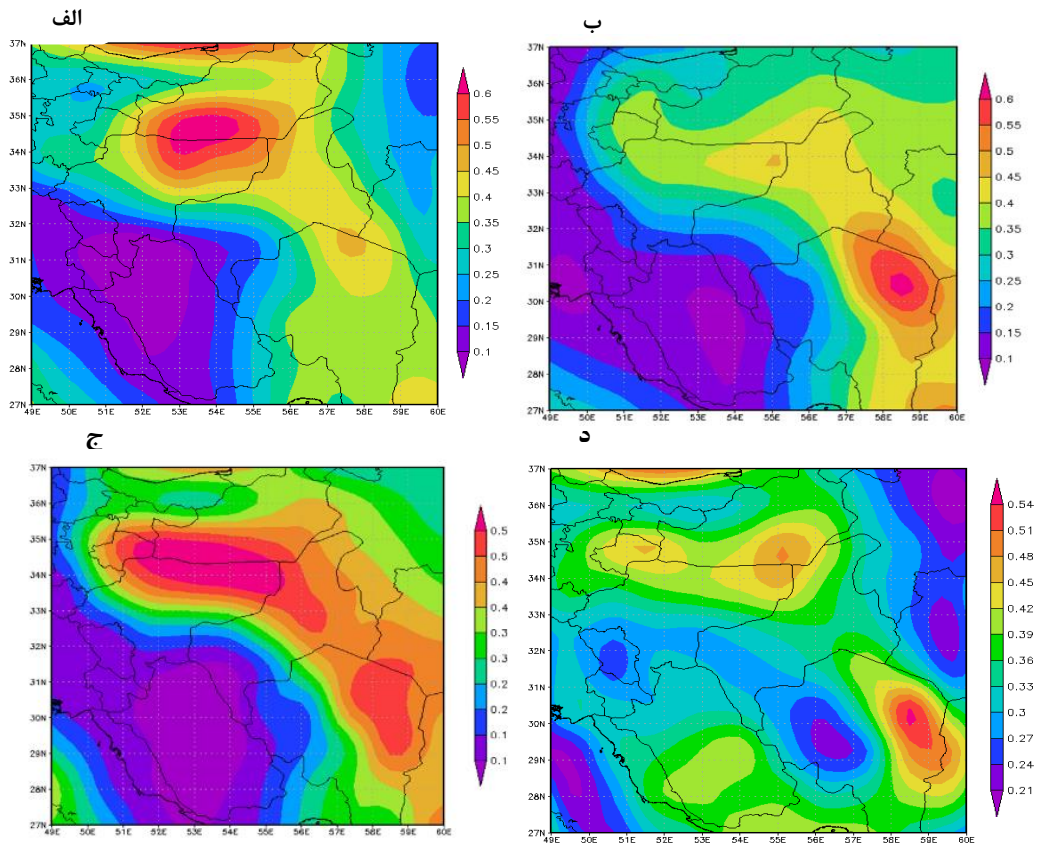
2 - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

3 - Emission Database for Global Atmospheric Research

4 - Spectated Particulate Emission Wizard

5 - Source Function

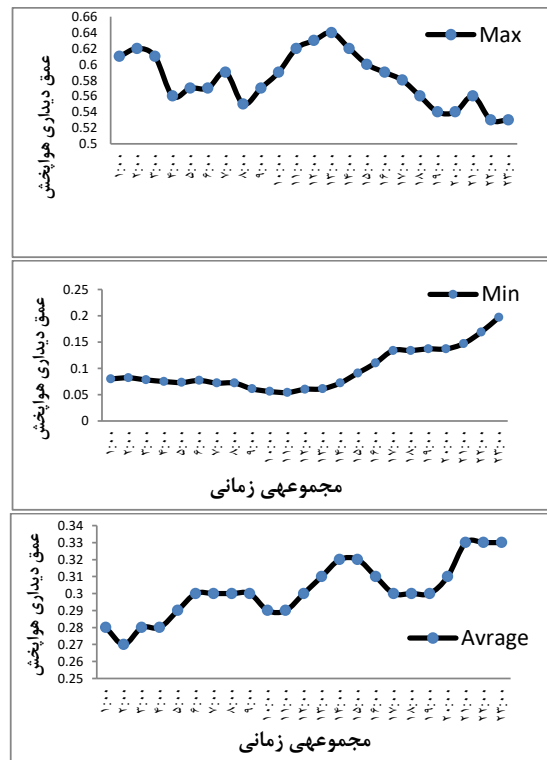
6 - Aerosol Optical Depth



شکل ۳- پهنه‌بندی شاخص عمق دیداری هواپخش با مدل MACC-ESMWF در ایران مرکزی در گام زمانی ۶ ساعته برای طوفان ۱۰ جولای ۲۰۱۴ (الف) ۰۶:۰۰ UTC، ب) ۱۲:۰۰ UTC، ج) ۱۸:۰۰ UTC، د) ۰۰:۰۰ UTC.

بیشینه‌ی دارد، به طوری که دامنه‌ی تغییر آن در ساعت پایانی شب کمینه است. مجموعه‌ی زمانی تغییر این شاخص بر پایه‌ی داده‌های بیشینه، میانگین و کمینه‌ی مقدار شاخص عمق دیداری هواپخش با گام زمانی یک ساعته در پژوهش با نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد (شکل ۴).

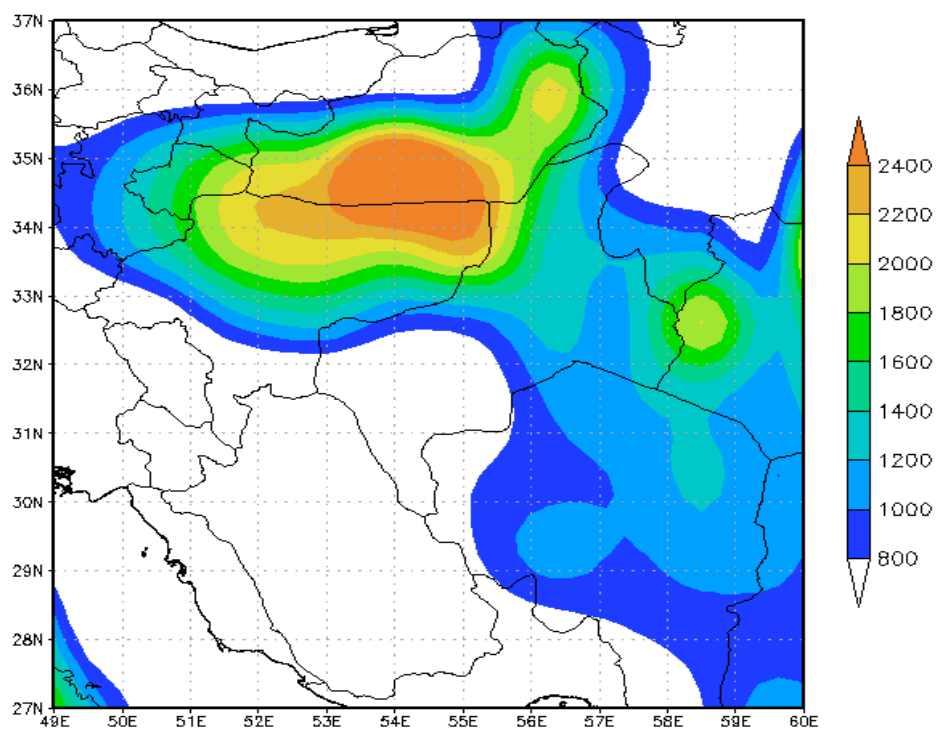
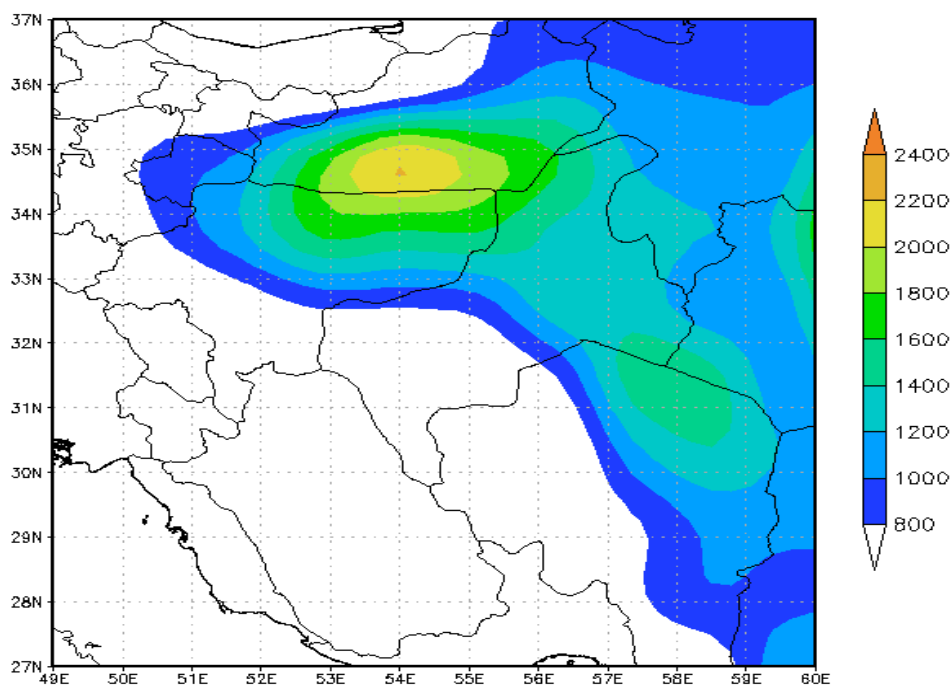
بررسی تغییر شاخص عمق دیداری هواپخش در شبانه‌روز در ۱۰ جولای ۲۰۱۴ نشان می‌دهد که میانگین شاخص آن در ساعت‌های پایانی افزایش یافت، اما بیشینه‌ی آن در ساعت‌های پایانی شب کاهش پیدا کرد، و در ظهر به بیش‌ترین تراز خود رسید. کمینه‌ی شاخص عمق دیداری هواپخش در ساعت‌های پایانی شب افزایش

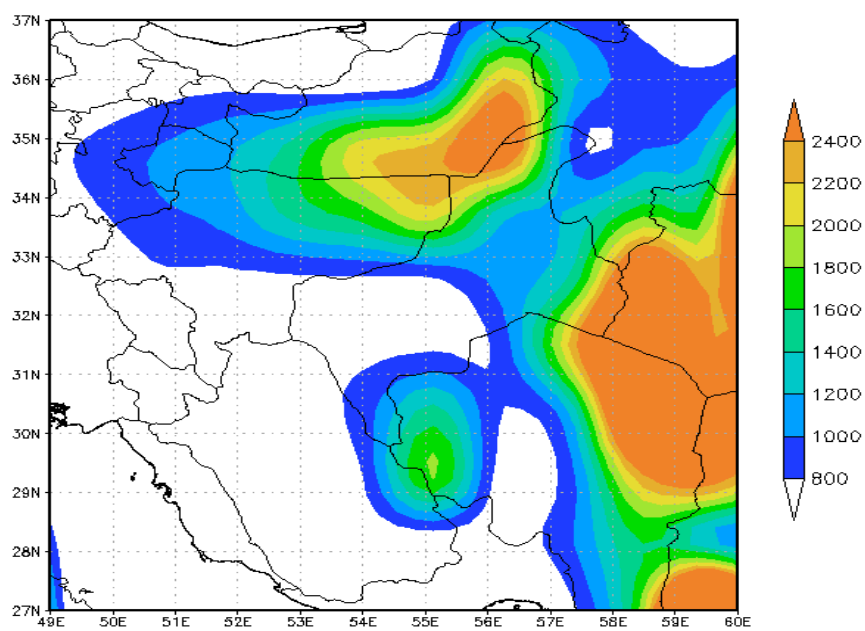
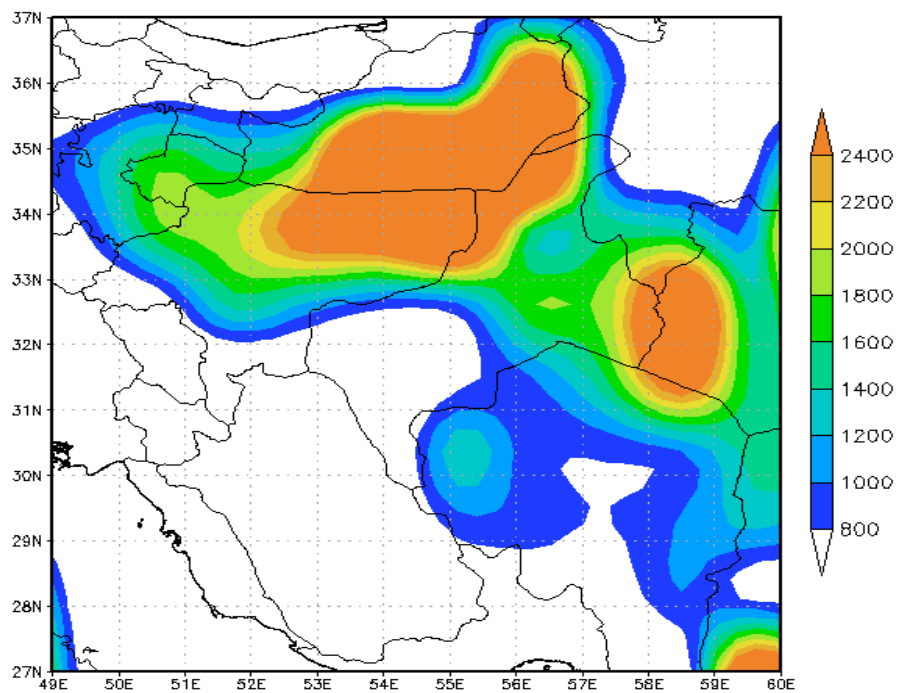


شکل ۴- بررسی مجموعه‌ی زمانی تغییر بیشینه (بالا)، کمینه (میان)، و میانگین (پایین) شاخص عمق دیداری هواپخش در شبانه‌روز در ۱۰ جولای ۲۰۱۴ با گام زمانی یک‌ساعتی با مدل MACC-ESMWF.

در این منطقه به گسترش این پدیده کمک می‌کند. نقشه‌های استخراج‌شده مشخص کرد که شرق اصفهان جنوب سمنان و یزد و کرمان کانونهای گردوغبار ایران مرکزی است و بیابان‌های دشت کویر (بیابان مرکزی) و دشت لوت از مهم‌ترین دلیل‌های زیادشدن اندازه‌ی گردوغبار و رسیدن مقدار آن به حدود ۲۴۰۰ میلی‌گرم در مترمکعب است. نقشه‌های پهنه‌بندی‌شده با مدل MACC-ESMWF در گام زمانی ۶ ساعتی برای طوفان ۱۰ جولایی ۲۰۱۴ در شکل ۵ نشان داده شده است.

بررسی عددی اندازه‌ی غلظت گردوغبار در زمان روی‌داد این پدیده نشان می‌دهد که در بعضی از منطقه‌ها تا ۲۴۰۰ میلی‌گرم بر مترمکعب می‌رسد. این گستره‌ی گردوغبار در ساعت پایانی این روی‌داد شدیدتر نشان داده شد. به‌طور کلی اندازه‌ی غلظت گردوغبار در بعضی از استان‌ها به‌خصوص در منطقه‌ی خور و بیابانک در شرق اصفهان، و استان سمنان شدیدتر و بیابان مرکزی ایران در این منطقه است. اندازه‌ی شدت این پدیده از سوی سمنان به کرمان (شمال شرقی) و یزد است. بیابان لوت





شکل ۵- پهنه بندی شاخص غلظت گردوغبار با مدل MACC-ESMWF در ایران مرکزی در گام زمانی ۶ ساعتی برای طوفان ۱۰ جولای ۲۰۱۴ (الف) ۰۶:۰۰ UTC، ب) ۱۲:۰۰ UTC، ج) ۱۸:۰۰ UTC، د) ۰۰:۰۰ UTC.

بحث و نتیجه‌گیری

مجموعه‌ی زمانی متوسط مقدار شاخص عمق دیداری هواپخش در گام زمانی یک ساعته‌ی نشان می‌دهد که هر چه از زمان روی‌داد این رخساره گذشت مقدار آن افزایش پیدا کرد و روند آن تا نیمه شب افزایشی بود، به طوری که در ساعت ۲۳:۰۰ بیش‌ترین مقدار شاخص عمق دیداری هواپخش مشاهده شد.

مجموعه‌ی زمانی متوسط شاخص غلظت گردوغبار در گام زمانی ۱ ساعته‌ی در زمان روی‌داد گردوغبار روند افزایشی نشان داد، به طوری که هر چه از زمان روی‌داد گردوغبار گذشت اندازه‌ی غلظت آن افزایش یافت و در نیمه‌شب به اوج مقدار خود رسید. شاخص‌های بیشینه و کمینه‌ی این سنجه روند منظمی را نشان نداد.

تحلیل مکانی شاخص عمق دیداری هواپخش در پژوهش نشان داد که قسمت‌های شمال شرقی استان کرمان که در حوزه‌ی لوت است به دلیل شرایط خاص اقلیم و خاک از منطقه‌هایی است که مقدار این شاخص در آن افزایش یافت، و ممکن است آن را چشمه‌ی گردوغبار معرفی کرد. از دیگر چشمه‌های گردوغبار با شاخص عمق دیداری هواپخش بیابان مرکزی ایران در استان سمنان و شرق استان اصفهان است. تحلیل مکانی شاخص غلظت گردوغبار نشان داد که توده‌ی

گردوغبار روی بیابان‌های لوت و بیابان مرکزی ایران (دشت کویر) متمرکز است، که با نتیجه‌ی تحلیل مکانی شاخص عمق دیداری هواپخش (خروجی مدل) مطابقت دارد. تطبیق‌دادن این دو شاخص نشان داد که بیش‌ترین گردوغبار برخاسته در منطقه‌ی ایران مرکزی در بیابان‌های لوت مرکزی و بیابان مرکزی (دشت کویر) است. در پژوهش‌های دیگری نیز در سراسر جهان برای پژوهش منشاء و پوشش غبار از ابزارها و روش‌های دیگری بهره گرفته شده‌است، که نشان می‌دهد با شاخص‌هایی از عمق دیداری هواپخش می‌توان بطور نسبتاً دقیق منطقه‌های برداشت گردوغبار را مشخص کرد (ارجمند و همکاران ۲۰۱۸، گودی و میدلتون ۲۰۰۰). بیشینه و کمینه‌ی گردوغبار در گام زمانی یک ساعته‌ی از روند منظمی پی روی نمی‌کرد، اما روند میانگین غلظت گردوغبار تقریباً منظم از ساعت ۱:۰۰ تا ۲۳:۰۰ افزایش داشت، و نقطه‌ی فراز و نشیب هم مشاهده شد. نتیجه نشان داد که بیابان‌های ایران به‌خصوص در قسمت‌های شرق اصفهان (جندق، خور و بیابانک، چوپانان)، استان سمنان، بخش‌های شرقی استان کرمان، شمال غرب سیستان و بلوچستان، یزد، و طبس که عمدتاً در بیابان لوت است از چشمه‌های اصلی گردوغبار است، که با پژوهش مصباحزاده و همکاران (۲۰۲۰) در فلات مرکزی ایران مطابقت دارد.

- Abbaspour M. 2011. Air pollution modeling. 1st Edition, Tehran, Sharif University of Technology Scientific Publishing Institute. 474 p.
- Alijani B, Raispour K. 2011. Statistical analysis, synoptic dust storms in southeastern Iran (Case study of Sistan Region). *Geographical Studies of Arid Areas*, 2(5):107–132.
- Almazroui M. 2014. Climatology and monitoring of dust and sand storms in the Arabian Peninsula. Center of Excellence for Climate Change Research (CECCR). King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia. pp:1–31, website: <http://ceccr.kau.sa>.
- Arjmand M, Rashki A, Sargazi H. 2018. Monitoring of spatial and temporal variability of desert dust over the Hamoun e Jazmurian, southeast of Iran based on the satellite data. *Journal of Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*. 27(106): 153–168. (In Persian).
- Babaian E, Bahrami H, Babaian F. 2010. Dust storm and recent evolution and developments, proceedings of the national conference on wind erosion and dust storms, Yazd-Iran, February 27–28, 2: 73–80.
- Benedetti A, Morcrette J, Boucher O, Dethof A, Engelen RJ, Fisher M, Flentjes H, Huneeus N, Jones L, Kaiser J.W, Kinne S, Mangold A, Razinger M, Simmons AJ, Suttie M, The GEMS-AER team. 2009. Erosol analysis and 14 forecast in the ECMWF integrated forecast System. Part II: Data assimilation, *J. Geophys. es.* 114(6):1–17. D13205, doi:10.1029/2008JD011115.
- Boucher O. Pham M. 2002. History of sulfate aerosol radiative forcings. *Geophysical Research Letters*, 29(9): 1–22.
- Cai P, Nie W, Chen D, Yang S, Liu Z. 2019. Effect of air flow rate on pollutant dispersion pattern of coal dust particles at fully mechanized mining face based on numerical simulation, *Fuel*. pp. 623–635.
- Ghafaari D, Mustafa Zadeh R. 2015. Investigation of the origin, effects and strategies of dust phenomenon in Iran. *Journal of Conservation and Exploitation of Natural Resources*, 4(2): 107–129.
- Ginoux P, Chin M, Tegen I, Prospero JM, Holben B, Dubovik O, Lin SJ. 2001. Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model, *Geophysics. Res.* 106(17):20255–20274. 10.1029/2000JD000053.
- Goudie AS. 2009. Dust storms: Recent developments. *Journal of Environmental Management*, 90(1): 89–94.
- Goudie AS, Middleton NJ. 2000. Dust storms in south west Asia. *Acta Universitatis Carolinae, Supplement, Geographica, XXXV, Supplementum*, pp. 73–83
- Goudie A, Middleton NJ. 2006. Desert dust in the global system. Springer, Heidelberg, pp 193–199. Gupta SA, Christopher. 2008. Seven year particulate matter air quality assessment from surface and satellite measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, European Geosciences Union.* 8 (1):327–365.
- Higashi T, Kambayashi Y, Ohkura N. 2014. Exacerbation of daily cough and allergic symptoms in adult patients with chronic cough by Asian dust: A hospital-based study in Kanazawa. *Atmospheric Environment*, 2014(97): 537–543.
- Hoffmann C, Funk R, Reiche M, Li Y. 2011. Assessment of extreme wind erosion and its impacts in Inner Mongolia, China. *Aeolian Res.* pp. 343–351.
- Hossein H, Fattahi A, Zoljavadi M, Ghaffarian P, Ranjbar A. 2016. Synoptic and dynamic analysis of dust phenomenon and its simu-

- lation in southwestern Iran in summer 2005. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*. Third Year. pp.102-91
- Kargar A, Badaq Jamali J, Ranjbar A, Moinaldini M. 2015. Numerical simulation of sandstorm and severe dust in eastern Iran using WRF-Chem model (Case study: 14 and 15 June 2012). *Journal of Environmental Science and Engineering*, Second Year. 2 (3): 44-35.
- Kermani M, Taherian A, Izanloo M. 2016. Analysis of satellite images of fine dust and dust storms in Iran in order to investigate internal and external sources and their control methods. *Rahavard Salamat Magazine*, 2(1) : 39-57.
- Khaledi K. 2013. Economic losses of dust storm on the western provinces of Iran Case study: Ilam, Khuzestan and Kermanshah (Modeling Quarterly). *Economic*. 7(23): 105-125.
- Khan A, Muhammad Jawed I, Blaschke T, Qureshi S, Khan G. 2010. Monitoring spatiotemporal variations in aerosols and aerosol-cloud interactions over Pakistan using MODIS data. *Advances in Space Research*. 4(46): 1162-1176.
- Klose M, Shao Y. 2016. A numerical study on dust devils with implications to global dust budget estimates, *Aeolian Research*. 8(22): 47-58. doi:10.1016/j.aeolia.2016.05.003, 2016.
- Kosmopoulos PG, Kazadzis S, Taylor M, Athanasopoulou E, Speyer O, Raptis PI, Marinou E, Proestakis E, Solomos S, Gerasopoulos E, Amiridis V. 2017. Dust impact on surface solar irradiance assessed with model simulations, satellite observations and ground-based measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 10(7):2435-2453.
- Lee H, Kim H, Honda Y, Lim YH, Yi S. 2013. Effect of Asian dust storms on daily mortality in seven metropolitan cities of Korea. *Atmospheric Environment*. 5(79): 510-517.
- Li J, Okin GS, Alvarez L, Epstein H. 2007. Quantitative effects of vegetation cover on wind erosion and soil nutrient loss in a desert grassland of southern New Mexico, USA. *Biogeochemistry*. pp. 317-332.
- Lu Y, Saad A, Sasmito AP, and Kurnia JC. 2017. Prediction of air flow, methane, and coal dust dispersion in a room and pillar mining face. *International Journal of Mining Science and Technology*. pp. 657-662.
- MohammadKhan S. 2017. Investigation of the status and trend of changes in dust storms in Iran in the period 1985 to 2005. *Journal of Rangeland and Watershed Management*, 70(2): 495-514.
- Morcrette JJ, Beljaars A, Benedetti A, Jones L, Boucher O. 2008. Sea-salt and dust aerosols in the ECMWF IFS. *Geophys. Res. Lett.* doi:10.1029/2008GL036041.
- Morcrette JJ, Boucher O, Jones L, Salmond D, Bechtold P, Beljaars A, Benedetti A, Bonet A, Kaiser JW, Razinger M, Schulz M, Serrar S, Simmons AJ, Sofiev M, Suttie M, Tompkins AM, Untch A. the GEMS-AER team. 2009. Aerosol analysis and forecast in the ECMWF Integrated Forecast System.
- Nabavi S, Haimberger L, Samimi C. 2016. Climatology of dust distribution over West Asia from homogenized remote sensing data. *Aeolian Research*. 4(21) : 93-107.
- NakhaeiMoghadam MA, Malek H. 2007. The Impact of Regional Specific Issues on the Implementation of Water Facilities and Drainage Irrigation Networks, Case Study: "Sandstorm in Sistan", National Conference on Water Facilities and Irrigation and Drainage Networks, University of Tehran-Iran, 1-3 Aban, pp. 97-104.
- Negaraesh H, Latifi L. 2008. Geomorphological analysis of the progress of sand dunes in the east of Sistan plain in recent droughts.

- Journal of Geography and Development. 2(12):43–60.
- Powell JT, Chatziefthimiou AD, Banack SA. 2015. Desert crust microorganisms, their environment, and human health. *Journal of Arid Environments*. 5(112): 127–133.
- Prakash PJG, Stenchikov S, Kalenderski S, Osipov H. 2015. The impact of dust storms on the Arabian Peninsula and the Red Sea. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 10(15): 199–222.
- Rabadi J. 2013. Climate Change Signals and Impacts: From region to sub region, Impacts of Sand and Dust Storms (On Agriculture). Representative of WMO for West Asia, Beirut, 1-16 July, RCM Application & Analysis. pp.1–35.
- Rezazadeh M, Irannejad P, Shao Y. 2016. Performance of wind erosion models in Middle East dust simulations. *Environmental Erosion Research*, 6. 3 (23) :14–32.
- Rezazadeh M, Irannejad P, Shao Y. 2013. Simulation of dust emission with WRF-Chem numerical weather forecasting model and using new surface data in the Middle East. *Journal of Earth and Space Physics*. 39(1):191–212.
- Shamshiri SR, Jafari S, Soltani Ramezani N. 2014. Dust detection and mapping in Ker-manshah Province using MODIS satellite imagery. *Iranian Journal of Applied Ecology*. 4(7) 29– 41. (In Persian).
- Shao Y, Dong CH. 2006. A review on East Asian dust storm climate, modelling and monitoring. *Global and Planetary Change* 52. pp.1–22.
- Song H, Zhang K, Piao S, Wan S. 2016. Spatial and temporal variations of spring dust emissions in northern China over the last 30 years. *Atmospheric Environment*. 10(126):117–127.
- Toon OB, Ackerman TP. 1981. Algorithms for the calculation of scattering by stratified spheres. *Appl. Opt.* 4(20):3657–3660.
- Qiuli Z, Xiangrong H, Long Y, Min L, Wenru F, Jun Zh, Xinzhe L. 2020. Numerical Simulation of the Tar Mist and Dust Movement Process in a Low-Temperature Dry Distillation Furnace”, *Journal of Chemistry*. Article ID-2356038, 16 pages, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/2356038>
- Zhou G, Zhang Q, Bai R, Fan T, and Wang G. 2017. The diffusion behavior law of respirable dust at fully mechanized caving face in coal mine: CFD numerical simulation and engineering application. *Process Safety and Environmental Protection*. pp. 117–128.



Watershed Management Research

VOL. 34, No.4, Ser. No: 133, Winter 2022, pp. 2-15

DOI: 10.22092/WMRJ.2021.352841.1377

Research Paper



Simulation and Numerical Analysis of Dust Storm of July 10, 2014 Using the MACC-ECMWF Model in Central Iran

Farshad Soleimani Sardo

Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources, Jiroft University

Sara Karami

Assistant Professor, Institute of Meteorology and Atmospheric Sciences, Meteorological Organization of I.R. of Iran

Farzaneh Vakili Tajareh

(Corresponding Author)* Ph.D. Student in Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

*Corresponding Author's Email: vakili.farzane.t@ut.ac.ir

Received: 14 December 2020 Accepted: 20 June 2021

Abstract

Dust storms, one of the environmental problems in Central Iran, annually damage natural and human ecosystems. The dust has irreversible effects on human societies, including respiratory diseases and declining public health. Therefore, performing research on this subject and identifying the origin of dust is of great importance. Simulation and numerical analysis of severe dust storms are one of the new methods of studying this phenomenon. For the numerical analysis of dust, data related to the storm of July 10, 2014, and the MACC-ECMWF model were used for simulation. The results of the MACC-ECMWF model were extracted based on the Aerosol Optical Depth indices and dust concentration. The time series of the changes in the value of the AOD indices and dust concentration in a one-hour period indicated that the values of these two indices had an increasing trend and reached a maximum at 23:00. Also, spatial analysis of the Aerosol Optical Depth and dust concentrations showed that the Central Desert of Iran, extending from Semnan and East Isfahan Provinces to the Central Loos Desert in the east of the Province of Kerman, is the largest dust source in Central Iran.

■ **Keywords:** AOD index, dust concentration, MACC-ECMWF model ■