



سنجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران / سال هشتم، شماره اول، بهار ۱۳۹۵  
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.8, No. 1, Spring 2016

۱-۱۸

## ارائه و ارزیابی مدل جدید مکانی-زمانی انتشار ریزگردها در مقیاس منطقه‌ای (DustEM)

الهام خدابنده‌لو<sup>۱</sup>، عباس علیمحمدی سراب<sup>۲\*</sup>، ابوالقاسم صادقی نیارکی<sup>۳</sup>، علی درویشی بلورانی<sup>۴</sup>، علی اصغر آل‌شیخ<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد GIS دانشکده نقشه‌برداری (ژئودزی و ژئوماتیک)، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲. دانشیار گروه GIS دانشکده نقشه‌برداری (ژئودزی و ژئوماتیک)، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳. استادیار گروه GIS دانشکده نقشه‌برداری (ژئودزی و ژئوماتیک)، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۴. استادیار گروه RS/GIS دانشکده جغرافیا، پژوهشکده ژئوآنفورماتیک دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۲/۱۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۲۱

### چکیده

طوفان‌های گردوغبار یکی از مهم‌ترین چالش‌های اخیر در منطقه غرب آسیا محسوب می‌شود. این پدیده به‌علت خشکسالی شدت بیشتری یافته و آثار منفی فراوانی در زندگی مردم منطقه گذاشته است. از آنجاکه این منطقه در کمربند خشک و گردوغباری جهان قرار گرفته، ضروری است تا ابعاد گوناگون ریزگردها به‌خوبی واکاوی شود. پیش‌بینی و مدل‌سازی این پدیده می‌تواند از به خطر افتادن جان میلیون‌ها انسان جلوگیری کند. بنابراین، ارائه مدل منطقه‌ای برای بررسی ابعاد گوناگون این پدیده ضروری است. المان‌های هواشناسی و اقلیمی مؤثر در پدیده ریزگرد همواره در حال تغییرند بنابراین، باید از مدل‌های مکانی-زمانی برای مدل‌سازی و بصری‌سازی آن بهره برد. بدین منظور، در این مطالعه با استفاده از قابلیت‌های مدل‌سازی مکانی-زمانی سیستم اطلاعات مکانی (GIS) و داده‌های به‌دست‌آمده از سنجش از دور (RS) همچون سرعت باد، رطوبت خاک، بافت خاک و مدل ارتفاعی زمین مدلی برای برآورد میزان گردوغبار برخاسته از سطح زمین طراحی و توسعه داده شد. مدل طراحی شده که (DustEM (Dust Emission Model نامیده شده است، میزان انتشار جریان‌های افقی ریزگرد را محاسبه می‌کند. در این مطالعه مدل‌سازی برای بازه زمانی سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷ صورت گرفت و نتایج به‌دست‌آمده از آن با داده‌های AOD سنجنده MODIS ارزیابی شد. به‌منظور شناسایی مناطق با فعالیت ریزگرد بالا، خروجی مدل در سه طبقه مناطق با فعالیت کم، متوسط و زیاد با استفاده از حد آستانه‌های ۰/۳ و ۰/۶ برای شاخص AOD طبقه‌بندی شد و این مدل به‌صورت مکانی-زمانی مناطق بحرانی را شناسایی می‌کند. میانگین شاخص صحت برای دوره مورد مطالعه ۷۳/۶٪ به‌دست آمد که بیانگر دقت بالای مدل در شناسایی مناطق بحرانی است.

**کلید واژه‌ها:** مدل‌سازی مکانی-زمانی، کانون‌های ریزگرد، سیستم اطلاعات مکانی.

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ایران، تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک. تلفن: ۰۹۱۳۱۴۸۲۱۷۴

## ۱- مقدمه

دوره کوتاه‌مدت (دقیقه و ثانیه) مورد نظر است. داده‌های هواشناسی جزء این دسته قرار می‌گیرند. المان‌های یک GIS زمانمند شامل پایگاه داده زمانمند، نمایش و تجسم زمانمند و تحلیل زمانمند است. مهم‌ترین روش‌های مطرح در مدل‌سازی زمانمند براساس لایه‌های Time stamped در GIS شامل: Time stamping layers (snap shot model)، Time stamping attribute (space time composite)، Time stamping spatial objects (spatio-temporal objects). (objects) است که در این مطالعه، مدل‌سازی به روش Snapshot صورت گرفته است. در مدل Snapshot هر لایه شامل داده‌هایی است که از نظر زمانی همگون‌اند و در زمان‌های جدید، لایه‌های جدید ساخته می‌شوند (کل اطلاعات تغییر یافته و تغییر نیافته ذخیره می‌شوند). انتشار ریزگرد به صورت پراکنده و به‌ویژه ناهمگن، تعیین دقیق اثر آن را سخت کرده است. بنابراین، مدل کردن یکی از بهترین راه‌های ممکن برای کمی کردن میزان انتشار (ساطع شدن) ریزگرد در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Fecen et al., 1999). مدل‌سازی اثر باد برای یافتن جهت و شدت جابه‌جایی ذرات مهم است. پارامتر تأثیرگذار دیگر ویژگی‌های توده هوا، مانند مقدار رطوبت خاک است که برای ارتفاع جابه‌جایی توده ریزگرد بسیار اهمیت دارد. بر این اساس، آغاز طوفان‌های ریزگرد زمانی است که سرعت باد از حد آستانه سرعت فرسایش بادی بیشتر شود. شایان ذکر است که این حد آستانه به عوارض سطحی خاک بستگی دارد.

بزرگ‌ترین منبع دائمی گردوغبار در نیمکره شمالی معمولاً در منطقه عربی کمربند گردوغبار واقع است که از ساحل غربی شمال آفریقا شروع و با عبور از روی خاورمیانه، تا آسیای مرکزی و جنوب تا چین ادامه می‌یابد. میزان حرکت ریزگرد در مقیاس جهانی در خارج از این منطقه بسیار کم است (Prospero et al., 2002). توزیع جغرافیایی و الگوهای فصلی منابع مهم ریزگرد با استفاده از اندازه‌گیری‌های روزانه ذرات معلق<sup>۳</sup>

طوفان‌های ریزگرد یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیط‌زیستی در منطقه غرب آسیاست و زندگی بسیاری از مردمان کشورهای منطقه را تحت تأثیر آثار مخرب خود قرار داده است. این طوفان‌ها مشکلات گوناگونی مانند مرگ‌ومیر و خسارات ناشی از تصادفات، اختلال در سیستم حمل‌ونقل، عملیات‌های هوایی پدید می‌آورند و آثار مخربی بر سلامت انسان همچون آلرژی، بیماری‌های تنفسی و عفونت‌های چشمی دارند (WHO, 2005). براساس تعریف مک تینش و پیت‌بالدو<sup>۱</sup> (۱۹۸۷)، طوفان‌های ریزگرد جابه‌جایی حجم عظیمی از بادرفتها به وسیله جریان‌های متلاطم جوی است که منجر به کاهش میزان دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر می‌شود (Darvishi, 1392). طوفان‌های شدید ممکن است باعث کاهش قابلیت دید در مناطق کانونی تا نزدیک صفر شوند. ذرات ریزگرد که به صورت عمودی ترکیب می‌شوند و در حرکت‌اند، امکان دارد به ارتفاع چندین کیلومتر برسند و همچنین، در بعد افقی مسافت تا چندین هزار کیلومتر را به وسیله بادهای قوی بیمایند. مشاهدات و شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند در مناطقی مثل شمال آفریقا که میزان ساطع شدن ریزگردها بالاست، ریزگرد در سطح و میزان تشعشعات تروپوسفریک<sup>۲</sup> و در نتیجه، در چرخه اتمسفری بسیار مؤثر بوده است (Grini et al., 2006; Haywood et al., 2005; Miller et al., 1998; Carlos Perez et al., 2006; Rodwell et al., 2008).

زمانمندی یکی از ویژگی‌های ذاتی اطلاعات مکان مرجع است که در دهه اخیر مورد توجه کاربران GIS قرار گرفته است. در GIS زمانمند با دو مجموعه داده پویا و ایستا روبه‌روایم. اطلاعات ایستا شامل نقشه‌های توپوگرافی، راه‌ها و غیره است و در آن المان، موقعیت مکانی در پیوند کوتاه تغییر نمی‌کند اما در دوره زمانی بلندمدت دچار تغییر می‌شود (Asproth et al., 1995). اطلاعات پویا در GIS به داده‌هایی گفته می‌شود که مکان مرجع‌اند و طی زمان تغییر می‌کنند و تغییرات در

1. Mc Tainsch and Pitbaldo  
2. tropospheric radiation budgets  
3. aerosol

برای پیش‌بینی توسعه داده شده‌اند. مدل‌های ریزگرد معمولاً به پیش‌بینی میزان ساطع شدن ذرات، مسیر جابه‌جایی آن‌ها در اتمسفر و فرونشست می‌پردازند. به‌طور کلی، می‌شود این مدل‌ها را به‌صورت On-Line یا Off-Line با مدل‌های پیش‌بینی کوتاه یا میان‌مدت هواشناسی دسته‌بندی کرد. مدل‌های جهانی و برخی مدل‌های منطقه‌ای همچون BSC-DREAM8b، CHIMERE-DUST و NMMB/BSC-Dust تغییرات کوتاه‌مدت برای پیش‌بینی هوا، از نظر قابلیت دید و کیفیت هوا، سه تا پنج روز را نشان می‌دهند. درمقایسه با مدل‌های جهانی، مدل‌های منطقه‌ای امکان استفاده از خصوصیات سطح و ویژگی‌های منطقه‌ای در مقیاسی کوچک‌تر از سینوپتیک را فراهم می‌کنند (Tegen et al., 2002) در جدول ۱ نمونه‌ای از مدل‌ها همراه با جزئیات آورده شده است.

از داده‌های سنجنده TOMS بین سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۱ که از سوی گئورگی (V. Gyorgy, 2012) انجام شده است، نشان می‌دهد کانون‌های عمده در مناطقی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار دارند که میزان بارش در آن‌ها اندک است. اغلب فعالیت‌های شدید و متعدد کانون‌ها در عرض‌های مدار استوایی رخ داده است که دسترسی به منابع آب محدود است و دچار خشکی شدید است. در منطقه غرب آسیا کانون‌های ریزگرد در مناطق پست واقع شده‌اند که بیشتر بر مراکز حوزه‌های داخلی و یا محدوده منتهی به آب‌های آزاد منطبق شده‌اند. به‌دلیل آثار قابل توجه ریزگردها بر محیط و اقلیم (Change, 2007) نیاز به شناخت و فهم بهتر در زمینه چرخه‌های اتمسفری این پدیده کاملاً محسوس است. پیش‌بینی و مدسازی انتشار ریزگرد می‌تواند از به‌خطر افتادن سلامت میلیون‌ها انسان جلوگیری کند. به همین دلیل در دو دهه اخیر، مدل‌های تجربی و عملی بسیاری

جدول ۱. مشخصات کلی مهم‌ترین مدل‌های ریزگرد استفاده‌شده در مقیاس جهانی و منطقه‌ای

مدل	مؤسسه	پوشش	داده‌های هواشناسی	نویسندگان	اندازه ذرات
LMDzT-INCA	LSCE	جهانی	ECMWF/IFS	(Schulz et al., 1998) (Guelle et al., 2000)	1-log normal mode, mass and number (width 2, MMD varying 1.5-2.5 $\mu\text{m}$ )
MACC	ECMWF	جهانی	ECMWF/IFS	(Ginoux et al., 2001a; J.-J. Morcrette et al., 2008; J. J. Morcrette et al., 2009b)	3 اندازه (0.03-20 $\mu\text{m}$ )
BSC-DREAM8b	BSC-CNS	منطقه‌ای	NCEP/GFS	(Janjic, 1994; Shao et al., 1993) (Ginoux et al., 2001a)	8 اندازه (0.1-10 $\mu\text{m}$ )
CHIMERE	LMD	منطقه‌ای	NCEP/GFS	(Alfaro et al., 2001; Marticorena et al., 1995b) (Menut et al., 2005)	9 اندازه (0.039-20 $\mu\text{m}$ )
DREAM8- NMME-MACC	SEEVCCC	منطقه‌ای	ECMWF	(Janjic, 1994; Shao et al., 1993)	8 اندازه (0.1-10 $\mu\text{m}$ )
NMMB/BSC- Dust	BSC-CNS	منطقه‌ای / جهانی	NCEP/GFS	(Janjic, 1994; Marticorena et al., 1995b)	8 اندازه (0.1-10 $\mu\text{m}$ )
MetUM	U. K. Met office	منطقه‌ای	MetUM	(Woodward, 2001, 2011)	2 اندازه (0.1-10 $\mu\text{m}$ )
GEOS-5	NASA	جهانی	GEOS-5 Atmospheric Data Assimilation System	(Ginoux et al., 2001a)	5 اندازه (0.73 $\mu\text{m}$ , 1.4 $\mu\text{m}$ , 2.4 $\mu\text{m}$ , 4.5 $\mu\text{m}$ , 8.0 $\mu\text{m}$ )
NGAC	NCEP	جهانی	NCEP GDAS	(Ginoux et al., 2001a)	5 اندازه (0.73 $\mu\text{m}$ , 1.4 $\mu\text{m}$ , 2.4 $\mu\text{m}$ , 4.5 $\mu\text{m}$ , 8.0 $\mu\text{m}$ )

طوفان‌های گردوغبار می‌شود برای جابه‌جایی ذرات دو شرط اساسی زیر را مطرح کرد. (۱) نوع خاک سطح شرایط مناسبی برای جابه‌جایی ذرات داشته باشد و (۲) سرعت باد از حد آستانه بیشتر شود. بر این اساس، در جدول ۲ فاکتورهای محیطی و هواشناسی که در شکل‌گیری طوفان‌های ریزگرد و همچنین، جابه‌جایی آن مؤثرند آورده شده است.

#### حد آستانه سرعت فرسایش بادی<sup>۴</sup>

جابه‌جایی ریزگرد تحت تأثیر ویژگی‌های سطح و سرعت باد است. تجربیات آزمایشگاهی و مشاهدات بیانگر رابطه غیرخطی بین تعداد و اندازه ذرات مربوط به توزیع جابه‌جایی ریزگرد و سرعت باد سطحی است (Bagnold, 1941). از آنجاکه توزیع اندازه ذرات نسبت یکسانی در هر منطقه ندارد، نقشه توزیع محلی خاک که شامل کلاس‌های بافت در ۳۰ سانتیمتر بالای خاک است، از داده‌های FAO/UNESCO با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر به دست آمده است. برای هر کلاس، براساس مثلث بافت خاک درصد لوم ریز و درشت، شن و رس تخمین زده شده است (Hillel, 1982).

شپانسکی و همکاران در سال ۲۰۰۷ مدل MUSCAT را ارائه کردند (Schepanski et al., 2007). این مدل با استفاده از مدل هواشناسی CASMO، توسعه یافته به وسیله سرویس هواشناسی آلمان (Deutscher Wetter Dienst) (Steppele et al., 2003) مدل شیمیایی حمل و نقل ایروسل (Wolke et al., 2004) و اسکیمای انتشار ریزگرد (Tegen et al., 2002) طراحی و پیاده سازی شده است. مدل MUSCAT (Wolke et al., 2004) در آلمان توسعه یافت و هدف اصلی آن شبیه‌سازی فرایندهای انتشار، حمل و فرونشست ذرات معلق بوده است. در این مدل از حد آستانه سرعت فرسایش بادی (Iversen et al., 1982) و نسخه اصلاح شده آن (Marticorena et al., 1995a) استفاده شده است. مدل BODEX در ۲۰۰۵ روند افزایش وقوع ریزگرد در مناطق بیابانی را بررسی کرده است. براساس این مدل، بودل<sup>۱</sup> در چاد فعال‌ترین منطقه معرفی شده است (Schepanski, 2009).

#### فاکتورهای مؤثر در شکل‌گیری طوفان‌های گردوغبار با بررسی مدل‌های موجود و مبانی فیزیکی ایجاد

جدول ۲. فاکتورهای اصلی محیطی و اقلیمی تأثیرگذار در شکل‌گیری، اندازه و تعداد طوفان‌های ریزگرد (V. A. Gyorgy, 2012)

دیگر موارد	ژئومورفولوژی	زمین‌شناسی و خاک‌شناسی	اقلیم و هواشناسی	
تغییرات کاربری زمین چرای بیش از حد دام water diversions	Relief energy حرکت‌های توده جهت شیب شبکه زهکشی	هوازدگی فیزیکی و شیمیایی <sup>۲</sup> اندازه ذرات ترکیب معدنی نوع خاک محتوای رطوبتی خاک <sup>۳</sup> محتوای کربن خاک ترکیب آلی خاک	خشکی دما (مقدار، توزیع و freez- thaw actions) رطوبت (مقدار، توزیع و شدت) تبخیر و تعرق	شکل‌گیری ریزگرد
پوشش و نوع گیاهان	Surface roughness کانال‌های باد Orographic obstacles	بیابان و soil crusts	توده هوا سرعت باد همرفتی و دیگر حرکت‌های مخصوص باد رطوبت	جابه‌جایی ریزگرد

1. Bodele
2. physical and chemical weathering
3. bulk density
4. Threshold Friction Velocity

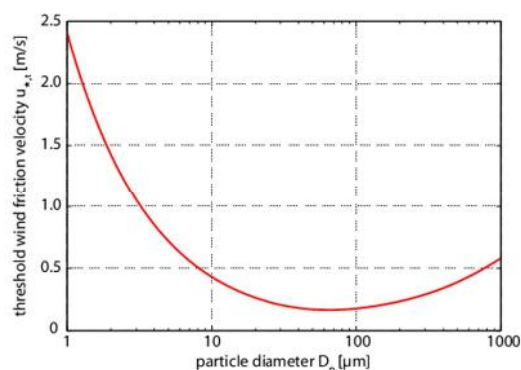
می‌کنند حدود ۵۰٪ ریزگردهای موجود در اتمسفر از سطوح فرسایش خاک ناشی از فعالیت‌های انسان نشأت می‌گیرد (Tegen et al., 1995).

#### تابع کانون‌های ریزگرد

مدل‌های قدیمی‌تر برای مناطق خشک و بدون پوشش گیاهی استفاده می‌شدند تا موقعیت کانون‌های مولد طوفان‌های گردوغبار تعیین شود. به‌تازگی، بررسی میانگین شاخص ذرات معلق<sup>۱</sup> (AI) که از داده‌های ماهواره<sup>۲</sup> TOMS به‌دست می‌آید، نشان می‌دهد که حوزه‌های محصورشده در خشکی‌ها و رسوبات انباشته‌شده در کف دریاچه‌های خشک‌شده احتمال دارد کانون‌های اصلی باشند که نقش اصلی را در ساطع شدن ریزگردهای جهانی برعهده دارند (Perez et al., 2011). در مدل‌های گوناگون، کانون‌ها به روش‌های متفاوتی معرفی شده‌اند و بین کانون‌های تعیین‌شده اختلاف زیادی وجود دارد. برای نمونه، مدل‌های زیر با رویکردهای متفاوت کانون‌های متفاوتی را معرفی کرده‌اند: (۱) براساس توپوگرافی (Ginoux et al., 2001b)، (۲) هیدرولوژی (Tegen et al., 2002)، (۳) ژئومورفولوژی (Zender et al., 2003)، (۴) انعکاس سطح به‌دست‌آمده از تصاویر MODIS (Grini et al., 2005)، (۵) فراوانی شاخص AI TOMS (Washington et al., 2003) و (۶) آلبدوی مرئی و فرابنفش (Morcrette et al., 2009a).

مدل میزان انتشار ریزگرد از سوی تیخن و همکاران<sup>۴</sup> (2002) با توجه به نتایج کار مارتیکورنا و همکارانش<sup>۵</sup> (1995a) توسعه داده شد. این مدل ویژگی‌های سطح مانند surface roughness، توزیع ویژگی‌های خاک، پوشش گیاهی و رطوبت خاک، انواع کاربری زمین، و قابلیت فرسایش‌پذیری را برای محاسبه حد آستانه سرعت فرسایشی باد و زمان و اندازه شار

در مناطق کانونی انتشار مستقیم ذرات کوچک ریزگرد به‌وسیله باد ناچیز است. حد آستانه سرعت فرسایش بادی برای ذرات خاک (به‌عبارتی، سرعت باد بالای سطح که ذرات شروع به حرکت در جهت افقی می‌کنند) نشان‌دهنده اندازه ذره بهینه برای بلند شدن بین ۶۰ تا ۸۰ میکرومتر است. مطالعات تونل باد نشان داده است که برای ذرات کوچک‌تر از ۳۵ میکرومتر با کاهش قطر ذرات، حد آستانه سرعت فرسایش افزایش می‌یابد (شکل ۱). به‌دلیل نیروهای بین‌ذره‌ای و جاذبه زمین برای ذرات کوچک‌تر و بزرگ‌تر از این مقدار، حد آستانه سرعت فرسایش بادی افزایش می‌یابد (Iversen et al., 1982).



شکل ۱. حد آستانه سرعت فرسایش بادی برای اندازه‌های متفاوت ذرات خاک (Marticorena et al., 1995a)

توزیع اندازه ذرات خاک براساس شرایط جغرافیایی منطقه‌ای تعیین می‌شود. هم‌چسبندگی و هم‌نیروهای گرانشی به اندازه ذرات مرتبط است و به‌وسیله ویژگی‌های سطح خاک بیان می‌شود. نیروی چسبندگی به ترکیب معدنی خاک بستگی دارد. برای نمونه، ذرات رس درمقایسه با ذرات کوارتز در اندازه یکسان، چسبندگی بالایی دارند. بلند شدن گردوغبار در صحرا در بیشتر موارد با سرعت‌های پایین باد روی می‌دهد. سرعت باد بین  $6.5 \text{ ms}^{-1}$  تا  $13.5 \text{ ms}^{-1}$  است که به‌طور میانگین  $10 \text{ ms}^{-1}$  است (Helgren et al., 1987). خاک سطوحی که به‌وسیله انسان تخریب شده است، باعث فرسایش بادی می‌شود به‌طوری‌که برخی مطالعات بیان

1. aerosol Index
2. Total Ozone Mapping Spectrometer aerosol (TOMS)
3. UV Visible albedo
4. Tegen et al.
5. Marticorena et al.

باد در ارتفاع ۱۰ متر در دو مؤلفه افقی و عمودی است که قدرت تفکیک مکانی یک درجه و زمانی شش ساعته دارد و سرعت باد از آن محاسبه می‌شود. این داده‌ها از پایگاه داده NCEP استخراج می‌شوند. داده‌های مربوط به رطوبت سطحی خاک در عمق ۳۰ سانتیمتری نیز، همانند داده‌های سرعت باد، از پایگاه داده NCEP استخراج شده است. نقشه DEM منطقه مطالعاتی از پایگاه داده USGS استخراج شده که دارای قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر و مربوط به سال ۲۰۱۰ است. برای تهیه نقشه خاک از داده‌های خاکی که به وسیله FAO تهیه شده، استفاده شده است. داده خاک یکی از مهم‌ترین لایه‌های اطلاعاتی است. نقشه بافت خاک اصولاً به وسیله مثلث بافت خاک تعیین می‌شود. این داده‌ها در سطح جهانی درصد Sand، Silt و Clay موجود در خاک را مشخص می‌کنند. برای آماده‌سازی این لایه اطلاعاتی نقشه رستر با پایگاه داده خاک مرتبط شد و برای منطقه مطالعاتی سه نقشه نشان‌دهنده لوم، رس و شن آماده شد (شکل ۲).

### ۲-۳- مدل DustEM

برای مدل‌سازی ریزگرد ساطع‌شده، در مرحله نخست باید رابطه میان سرعت باد و حد آستانه سرعت باد برای فرسایش بادی محاسبه شود. در مرحله دوم، حد آستانه سرعت فرسایش بادی محاسبه شده با استفاده از شرایط محیطی تصحیح می‌شود و میزان ریزگرد ساطع‌شده از مقایسه سرعت باد موجود و حد آستانه سرعت باد محاسبه می‌شود. در مرحله آخر، برای ارزیابی مقادیر به‌دست‌آمده، باید حجم ریزگرد ساطع‌شده را با استفاده از روابط ریاضی به شاخص AOD تبدیل کرد. ارزیابی، با بررسی همبستگی بین نتایج مدل ارائه‌شده و داده‌های سنجنده MODIS بررسی می‌شود. شکل ۳ روند کلی مدل‌سازی را نشان می‌دهد.

افقی و عمودی<sup>۱</sup> در نظر می‌گیرد. در این مدل، با استفاده از این داده‌ها، موقعیت دقیق‌تر کانون‌ها تعیین و شدت فعالیت آن روی بیابان‌ها و قاره‌ها با دقت بیشتری اندازه‌گیری می‌شود (Laurent et al., 2008).

هدف اصلی پژوهش حاضر، ارائه مدلی برای تخمین میزان ریزگرد ساطع‌شده در منطقه غرب آسیاست. این مقاله شامل بخش‌های زیر است: در بخش دوم منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده و همچنین، تبیین علمی مدل توسعه یافته آورده شده است. بخش سوم شامل مبانی نظری مدل است. بخش چهارم به نتایج و بحث و روش ارزیابی مدل پرداخته و در نهایت، نتیجه‌گیری در بخش آخر ارائه شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

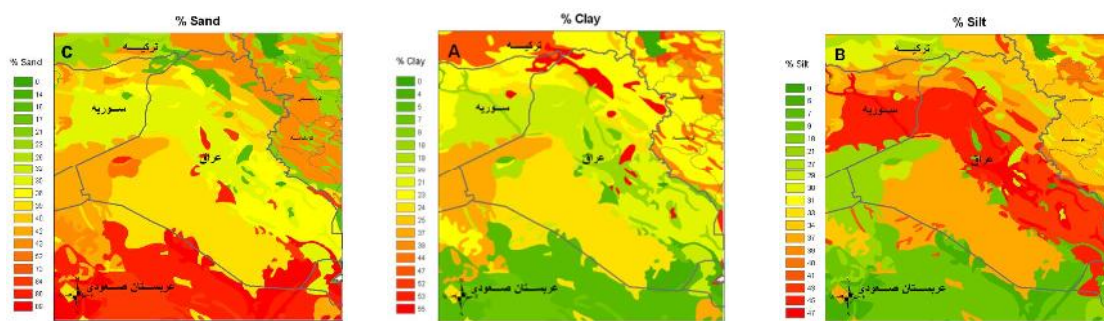
منطقه مطالعه حاضر بخشی از غرب آسیا در طول جغرافیایی ۳۸ تا ۴۸ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ تا ۳۸ درجه شمالی است و کل کشور عراق (مهم‌ترین منبع کانون‌های گردوغبار در غرب آسیا) و بخش‌هایی از ترکیه، سوریه، اردن، عربستان، کویت و ایران را شامل می‌شود. براساس اطلاعات آماری ذرات معلق در کشورهای منطقه غرب آسیا، کشور عراق در سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۰۶، ۲۰۰۷، ۲۰۰۸ به ترتیب دارای ۱۳۸، ۱۴۶، ۱۶۸، ۱۷۷، ۱۶۶ و ۲۰۰ روز گردوغباری بوده که بین کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا بیشترین مقدار را داشته است (Iranian Society of Consulting Engineers, 1391).

### ۲-۲- داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این مدل به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته نخست، داده‌های ماهیت دینامیک که همواره در حال تغییرند. این داده‌ها شامل سرعت باد، میزان رطوبت سطحی خاک است. دسته دوم داده‌هایی با ماهیت تقریباً ایستا، شامل مدل رقومی ارتفاع و نقشه توزیع و ویژگی‌های خاک منطقه است. داده‌های سرعت

1. horizontal and vertical flux

### الهام خداینده‌لو و همکاران



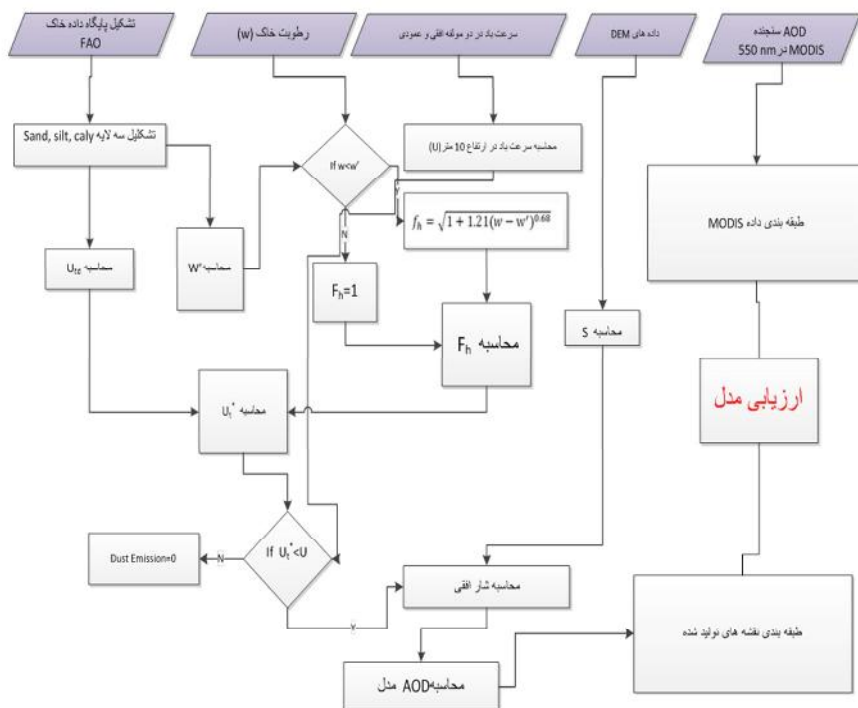
شکل ۲. نقشه مربوط به درصد (a) شن (sand)، (b) لوم (silt) و (c) رس (clay) موجود در خاک.

در اینجا چهار کلاس بافت خاک با شعاع‌های ذرات به میزان ۰/۷۳، ۱/۶، ۱۸ و ۳۸ میکرومتر در نظر گرفته شده است. این مقادیر براساس کار (Tegen et al., 2002) تطبیق داده شده‌اند. دو دسته نخست قابلیت جابه‌جایی در مدت زمان طولانی در اتمسفر را دارند و می‌توانند بیش از دوازده ساعت در هوا معلق بمانند (Basart et al., 2012). حد آستانه سرعت فرسایش بادی برای خاک خشک و برای اندازه‌های گوناگون ذره خاک ( $u_{tkd}^*$ ) با استفاده

از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Bagnold, 1941).

$$u_{tkd}^* = A_k \sqrt{2gr_k \frac{\rho_k - \rho_a}{\rho_a}} \quad (1) \text{ رابطه}$$

که در آن چگالی ذره،  $\rho_k$  چگالی هوا،  $\rho_a$  چگالی هوا،  $g$  شتاب جاذبه زمین، شعاع ذره و  $r_k$  ضریبی ثابت برای هر اندازه ذره است. در این رابطه، حد آستانه سرعت فرسایش بادی برای خاک خشک محاسبه می‌شود و در صورتی که خاک مرطوب باشد، این مقدار افزایش می‌یابد.



شکل ۳. ساختار کلی مدل DustEM

## ۲-۴- رطوبت خاک

برای شبیه‌سازی بزرگ‌مقیاس میزان ریزگرد منتشرشده در نواحی نیمه‌خشک به محاسبه اثر رطوبت خاک در حد آستانه سرعت فرسایش بادی نیاز است. رطوبت خاک باعث جذب ذرات خاک می‌شود و نیروی بین ذرات را افزایش می‌دهد. نیروی بین ذره‌ای فاکتور اصلی در افزایش حد آستانه سرعت فرسایش بادی است. هنگامی که رطوبت خاک نزدیک به  $w'$  (که تابعی از بافت خاک است) ولی کوچک‌تر از بیشترین مقدار آب جذب‌شده است، این نیروی موئینگی به اندازه کافی در افزایش حد آستانه سرعت فرسایش بادی مؤثر نخواهد بود. بدین ترتیب، نسبت لازم برای تبدیل حد آستانه فرسایش برای خاک خشک و مرطوب تابعی از رطوبت خاک و بافت خاک خواهد بود. ضرایب معادله (۲) با استفاده از داده‌های تجربی کارهای فسن و همکاران<sup>۱</sup> (1999) به دست آمده است.

رابطه تجربی بین درصد رس موجود در خاک و  $w'$  به شرح زیر است. نسبت حد آستانه فرسایش برای خاک‌هایی با بافت‌های متفاوت شبیه‌سازی شده است به گونه‌ای که بیشترین انطباق را با داده‌های واقعی داشته باشد (Fecen et al., 1999). تأثیر رطوبت خاک در سرعت حد آستانه تأثیر براساس رابطه (۲) (Fecen et al., 1999) به دست می‌آید.

$$f_h = 1 \quad (w \leq w')$$

$$f_h = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.21(w - w')^{0.68}}} \quad (w > w')$$

رابطه (۲)

که در آن،  $w$  میزان رطوبت لایه سطحی است که به وسیله مدل پیش‌بینی شده است.  $w'$  میزان آب جذب‌شده است که تابع افزایشی از میزان رس موجود در خاک است. بیشترین میزان آب جذب‌شده یا حد آستانه محتوای آب گراویمتری خاک که  $w'$  است، تابع افزایشی از میزان رس موجود در خاک است. براساس داده‌های تجربی فسن و همکارانش (1999) در رابطه (۳) داریم.

$$w' = 0.0014(\%clay)^2 + 0.17(\%clay) \quad (۳)$$

رابطه (۳)

که در آن  $\%Clay$  میزان رس موجود در خاک را نشان می‌دهد. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، ساطع شدن ریزگرد ارتباط غیرخطی با سرعت باد دارد. به همین دلیل، خطاهای کوچک در محاسبه مقدار سرعت باد به خطاهای بزرگ در میزان پیش‌بینی ریزگرد ساطع‌شده می‌انجامد (Bergametti et al., 2007). حد آستانه سرعت فرسایش باد هم وقوع طوفان و هم شدت آن را براساس داده‌های تجربی کنترل می‌کند (Bagnold, 1941).

در مدل DustEM از نتایج کار ژینو و همکاران<sup>۲</sup> (2001b) استفاده شده است. در این مدل فرض شده که توپوگرافی کم با زمین خشک، شامل رسوبات انباشته‌شده، پتانسیل کانون ریزگرد بودن را دارد. فاکتور کانون فرسایش‌پذیر  $S$  به صورت زیر تعریف می‌شود (رابطه ۴).

$$S = \left( \frac{H_{max} - H_i}{H_{max} - H_{min}} \right)^5 \quad (۴)$$

که در آن،  $S$  احتمال انباشته شدن رسوبات را در سلول  $i$  که دارای ارتفاع  $H_i$  است، نشان می‌دهد.  $H_{min}$  و  $H_{max}$  بیشترین و کمترین ارتفاع در توپوگرافی  $1^\circ \times 1^\circ$  پیرامون سلول  $i$  است. رسوبات انباشته‌شده در گودال‌ها، در طول دوره‌های بارندگی شدید، منبعی از ذرات معرفی می‌شوند که به آسانی قابلیت بلند شدن را دارند. در اینجا فرض می‌شود که در توپوگرافی پست، رسوبات انباشته‌شده فراوان است و امکان دارد به منزله کانون معرفی شود. این رابطه به طور دقیق میزان رسوبات نشان نمی‌دهد بلکه محل‌های محتمل برای رسوبات انباشته‌شده را نشان می‌دهد. برای تعریف کنتراست توپوگرافی این مکان‌ها و به دست آوردن بهترین برازش برای معرفی کانون‌ها، پروسپرو و همکاران<sup>۳</sup> در سال ۲۰۰۲ عبارت  $S$  را به توان ۵ رساندند.

1. Fecen et al.
2. Ginoux et al.
3. Prospero et al.



## ۲-۵- شار افقی و عمودی

معمولاً جریان ریزگرد به دو مؤلفه افقی و عمودی تقسیم می‌شود. جریان افقی ( $F_h$  ( $\text{Kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ )) و جریان عمودی ( $F_v$  ( $\text{Kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )) به وسیله معادلات زیر تقریب زده می‌شوند که رابطه غیرخطی بین جریان ریزگرد و سرعت باد را نشان می‌دهد. همان‌طور که در بسیاری از مطالعات نشان داده شده، جهش ذرات<sup>۱</sup> به‌طور تقریبی با توان سوم سرعت باد ارتباط دارد. در شبیه‌سازی شار افقی به‌وسیله NMMB/BSC-Dust براساس کار وایت<sup>۲</sup> (1979)، شار افقی به این صورت محاسبه می‌شود (رابطه ۵).

$$H = \frac{\rho_a}{g} u^{*3} \sum_{k=1}^4 \left(1 + \frac{u_{tk}^*}{u^*}\right) \left(1 - \frac{u_{tk}^{*2}}{u^{*2}}\right) s_i \quad u^* > u_{tk}^* \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن،  $\rho_a$  چگالی هوا،  $u^*$  سرعت باد،  $g$  ثابت شتاب جاذبه،  $u_{tk}^*$  حد آستانه سرعت فرسایش بادی و  $s_i$  مساحت نسبی سطح برای هر اندازه ذره  $k$  است. از آنجاکه آزمایش‌های مربوط به ریزگرد در تونل‌های باد فیزیکی به‌سختی صورت می‌گیرد، این فرایند هنوز کاملاً شناخته نشده است. بنابراین، شار عمودی از شار افقی تخمین زده می‌شود و به همین دلیل است که معادلات تقریب دارند. شار عمودی براساس مدل ارائه‌شده از سوی مارتیکورنا و همکاران (1995a) با استفاده از ضریب  $\alpha$  از شار افقی محاسبه می‌شود.

## ۳- پیاده‌سازی و ارزیابی مدل

پس از آماده‌سازی داده‌ها، مدل DustEM در نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شد. برای پیاده‌سازی، نخست، پایگاه داده‌ای از لایه‌های ورودی تهیه و این لایه‌ها به‌صورت ورودی با فرمت‌های متفاوت و با استفاده از نرم‌افزار MATLAB خوانده شد. سپس با استفاده از داده‌های ورودی، حد آستانه محاسبه شد و از مقایسه حد آستانه و مقدار مدلسازی برای هر روز، حجم ریزگردی که امکان پخش داشت، به‌دست آمد. پس از آن، همه لایه‌های محاسباتی به شاخص AOD تبدیل و

پس از آستانه‌گذاری روی لایه محاسبه‌شده، لایه مورد نظر در فرمت TIFF ذخیره شد و ارزیابی در Function‌های نوشته‌شده بدین منظور صورت پذیرفت. برای ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده از مدل، میزان ریزگرد ساطع شده با استفاده از رابطه ۶ به شاخص AOD تبدیل و در طول موج ۵۵۰ نانومتر محاسبه می‌شود. جهت ارزیابی نتایج حاصل از AOD ارزیابی‌شده، از سنجنده MODIS (رابطه ۶) استفاده شد. در این مدلسازی از ترکیب مؤثر المان‌های مدلسازی که در بالا اشاره شد، به شناسایی کانون‌های ریزگرد به‌صورت زمانمند و مکانی در سه دسته مناطق بحرانی، نیمه‌بحرانی و امن پرداخته شده است تا بشود با توجه به داده‌های موجود در منطقه غرب آسیا طوفان‌های ریزگرد را پیش‌بینی کرد.

$$AOD(\lambda) = \sum_{k=1}^4 AOD_k(\lambda) =$$

$$\sum_{k=1}^4 \frac{3}{4 \rho_k r_k} M_k Q_{ext}(\lambda)_k$$

رابطه (۶)

که در آن، برای هر اندازه ذره  $k$ ،  $\rho_k$  چگالی ذره،  $r_k$  شعاع مؤثر،  $M_k$  میزان ریزگرد بلندشده و  $Q_{ext}(\lambda)_k$  فاکتور extinction efficiency در طول موج  $\lambda$  است که با استفاده از تئوری پراش Mie محاسبه می‌شود.

یکی از مهم‌ترین مراحل مدلسازی ارزیابی روش ارائه‌شده است. با توجه به اینکه ضرایب مدل‌ها برای شرایط گوناگون محیطی متفاوت‌اند، باید مدل ارائه‌شده را با داده‌های واقعی مقایسه و مدل را با توجه به شرایط اقلیمی برای ماه‌های گوناگون انتخاب کرد و میزان اطمینان نتایج مدل را مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش، برای ارزیابی مدل دو روش ماتریس خطا یا آشفتگی<sup>۳</sup> و شاخص جذر میانگین مربعات<sup>۴</sup> استفاده به‌کار رفته است. برای مقایسه مقادیر ریزگرد ساطع شده باید به شاخص AOD تبدیل شود و با شاخص AOD سنجنده MODIS ارزیابی شود. در ادامه، نخست

1. Particle saltation
2. White
3. Confusion Matrix
4. Root Mean Square Error (RMSE)

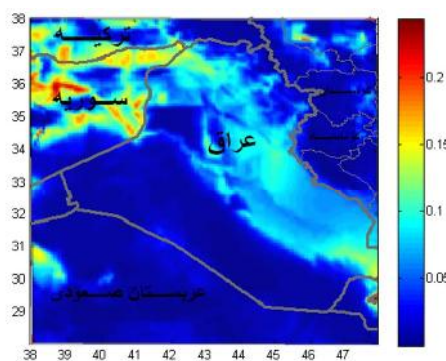
میانگین AOD برای هر روز محاسبه شده است. محاسبات بر مبنای داده‌های سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷ و به صورت روزانه بوده است. برای محاسبه دقت کلی، پس از محاسبه ماتریس خطا برای سه طبقه شاخص بالا، متوسط و پایین ریزگرد برای داده‌های مدل و MODIS، فاکتور دقت کلی محاسبه شده و میانگین این شاخص برای هر ماه به دست آمده است.

#### ۴- نتایج و بحث

برای مدل‌سازی مکانی، میانگین این شاخص برای ماه‌های متفاوت محاسبه شده و در شکل‌های ۴ تا ۸ آورده شده است. شکل ۴ میانگین شاخص AOD را برای سه ماه ژانویه، فوریه و مارچ نشان می‌دهد. در ماه ژانویه کمینه شاخص کلاسترینگ نقشه‌ها بیان می‌کند وضعیت وقوع طوفان‌ها در مقایسه با ماه‌های فوریه و مارچ بیشتر بوده و بنابراین، در بخش‌های شمالی تعداد روزهای طوفانی بیشتر بوده است. مقادیر بیشینه برای هر سه ماه نوسان کمتری داشته و این خود نشان می‌دهد که وضعیت روزهای طوفانی در مناطق مرکزی و جنوبی که دارای میانگین شدت بیشتری اند، تقریباً یکسان بوده است.

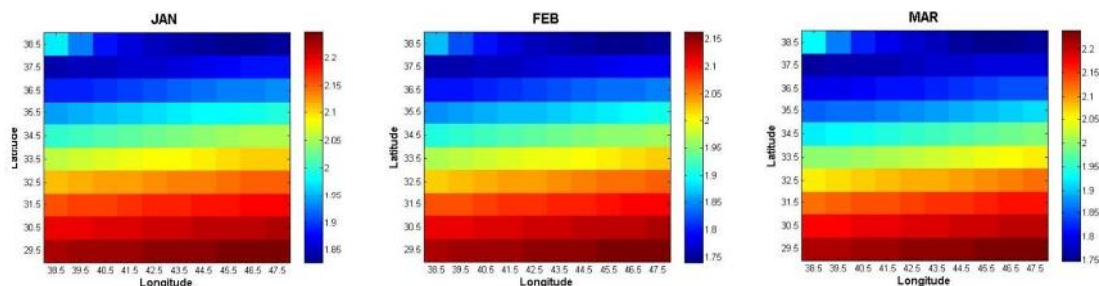
در ماه‌های آوریل، می و ژوئن، طبق شکل ۵، شدت وقوع طوفان‌ها در مقایسه با سه ماهه پیش افزایش پیدا کرده و میانگین کلاسترینگ به ۱ نزدیک شده است. این خود نشانه افزایش وقوع طوفان‌ها به نسبت سه ماهه پیش، هم در عرض‌های شمالی و هم در عرض‌های جنوبی است.

چگونگی تبدیل شاخص ریزگرد به AOD بیان شده و سپس، روش‌های ارزیابی شرح داده شده و نتایج ارزیابی برای هفت سال مدل‌سازی ارائه شده است. ارزیابی مدل با استفاده از میانگین شاخص AOD که با استفاده از مدل‌های ریاضی محاسبه شده‌اند، صورت گرفته است. برای نمونه، برای سال ۲۰۰۷ و برای ماه‌های مارچ، آوریل و می (فصل بهار) محاسبه شده است. شکل ۳ میانگین شاخص AOD به دست آمده از مدل DustEM را برای ماه‌های مارس، آوریل و می نشان می‌دهد.



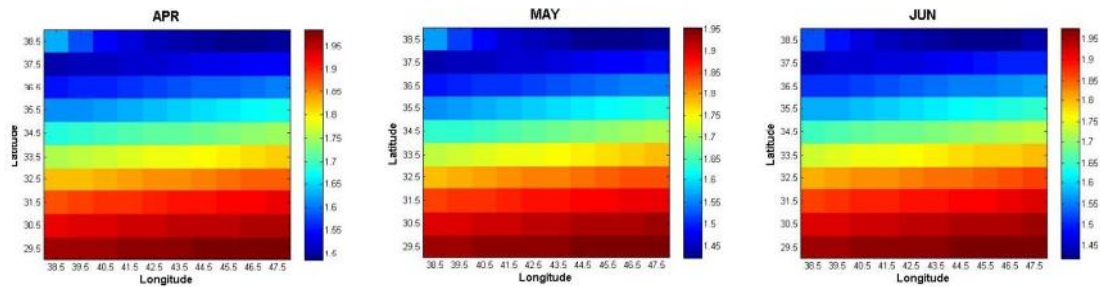
شکل ۳. میانگین AOD مدل DustEM در ماه‌های مارچ، آوریل و می ۲۰۰۷

نتایج مدل‌سازی با استفاده از ماتریس خطا، ضرایب دقت کلی، دقت کاربر و تولیدکننده و دقت نقشه‌ای که نتایج طبقه‌بندی شده را با نقشه شاخص AOD سنجنده MODIS مقایسه می‌کند، ارزیابی شده است. برای این منظور، شاخص دیگری به کار رفته است. میانگین AOD در مدل و داده MODIS مقایسه شده و اختلاف



شکل ۴. طبقه‌بندی مناطق بحرانی در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارچ

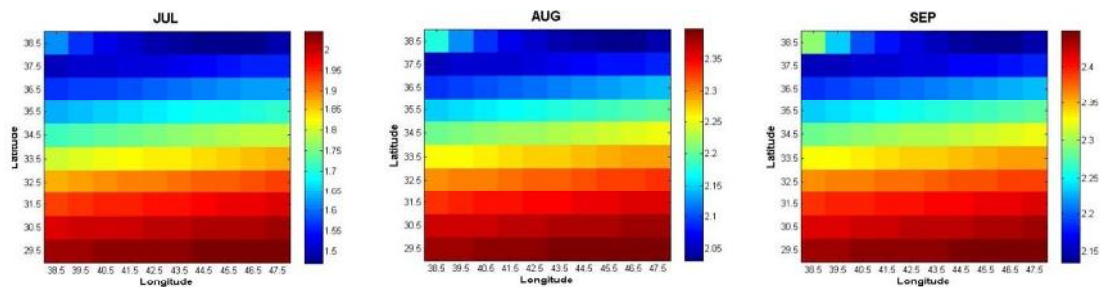
## الهام خدابنده‌لو و همکاران



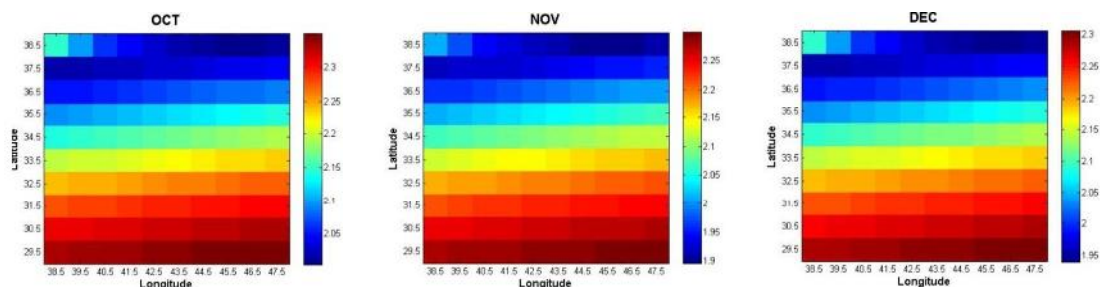
شکل ۵. طبقه‌بندی مناطق بحرانی در ماه‌های آوریل، می و ژوئن

در ماه اکتبر، طبق تصویر ۷، میانگین وقوع طوفان‌ها کاهش چشمگیری یافته و از روزهای بحرانی فاصله بسیار گرفته است که نشان می‌دهد وقوع طوفان‌ها به دلیل افزایش رطوبت هوا کاهش داشته است. در نوامبر و دسامبر، کاهش کمیته تصاویر نشان‌دهنده افزایش وقوع طوفان‌هاست اما به دلیل نزدیک بودن مقادیر به ۲، که مقادیر میانگین وقوع طوفان‌ها را نشان می‌دهد، شدت طوفان‌ها در این ماه‌ها همچنان کم است و از روزهای بحرانی فاصله بسیار دارد.

در ماه ژوئیه نیز شدت وقوع طوفان‌ها، هم در بخش‌های شمالی و هم در بخش‌های جنوبی، کاهش یافته است و با افزایش این روند در ماه‌های اوت و سپتامبر، اعداد کمیته از ۲ تجاوز می‌کند و این نشان می‌دهد وقوع طوفان‌ها در این ماه‌ها کاهش داشته است. افزون بر این، بیشینه این مقادیر نیز بیشتر از ۲ شده است و بیان می‌کند وقوع طوفان‌ها به‌طور میانگین، در ماه‌های میانی سال، کاهش داشته است (شکل ۶).



شکل ۶. طبقه‌بندی مناطق بحرانی در ماه‌های ژوئیه، اوت و سپتامبر

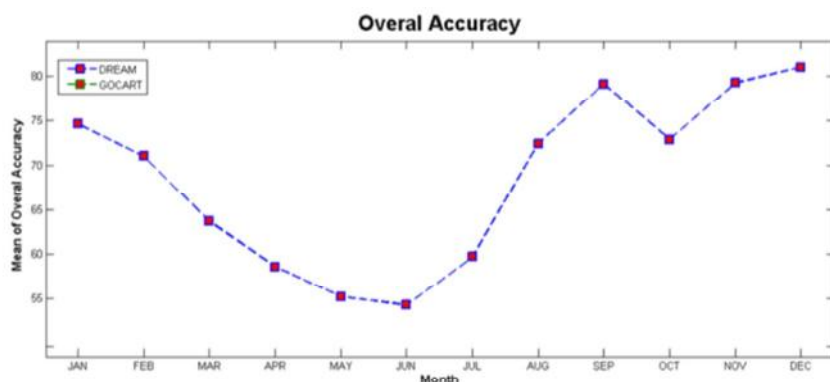


شکل ۷. طبقه‌بندی مناطق بحرانی در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر

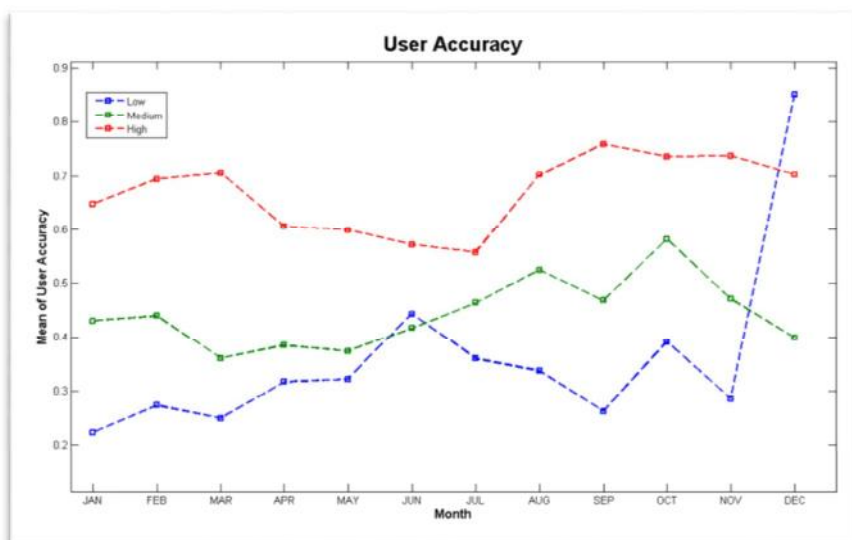
شکل ۹ دقت کاربر برای مدل را نشان می‌دهد. همانند دقت کلی، دقت کاربر و دقت تولیدکننده نیز به صورت میانگین ماهیانه براساس داده‌های روزانه هفت سال محاسبه شده است.

در این نمودار خطوط آبی و سبز و قرمز، به ترتیب، دقت طبقه‌بندی کاربر را برای مناطق با شار ریزگرد کم، متوسط و زیاد نشان می‌دهد. این نمودار بیان می‌کند که مدل در شناسایی مناطق بحرانی موفق‌تر بوده است. دقت تولیدکننده برای مدل در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نتایج مقایسه مقادیر مدل AOD سنجنده MODIS در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

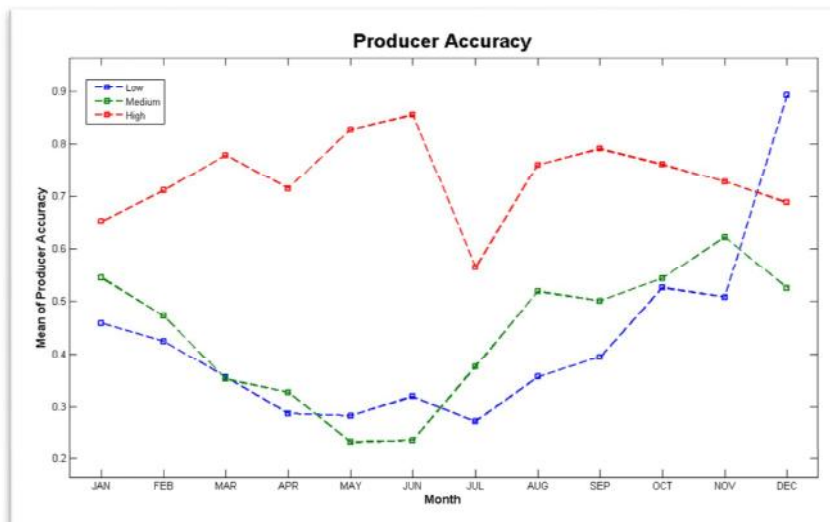
بررسی نتایج ارزیابی دقت (شکل ۸) نشان می‌دهد که دقت کلی برای ماه‌های مارس، فوریه و ژانویه روند کاهشی داشته و برای ماه‌های آوریل، می و ژوئن به کمترین مقدار خود می‌رسد. همچنین، برای ماه‌های سپتامبر، اوت و ژوئیه روند افزایشی داشته و بیشترین دقت طبقه‌بندی داده‌ها متعلق به سه‌ماهه آخر سال، یعنی اکتبر و نوامبر و دسامبر است. دقت مدل ارائه‌شده برای بهار و تابستان به کمترین میزان رسیده که این خود ممکن است به دلیل افزایش پوشش گیاهی باشد که در مدل‌سازی در نظر گرفته نشده است.



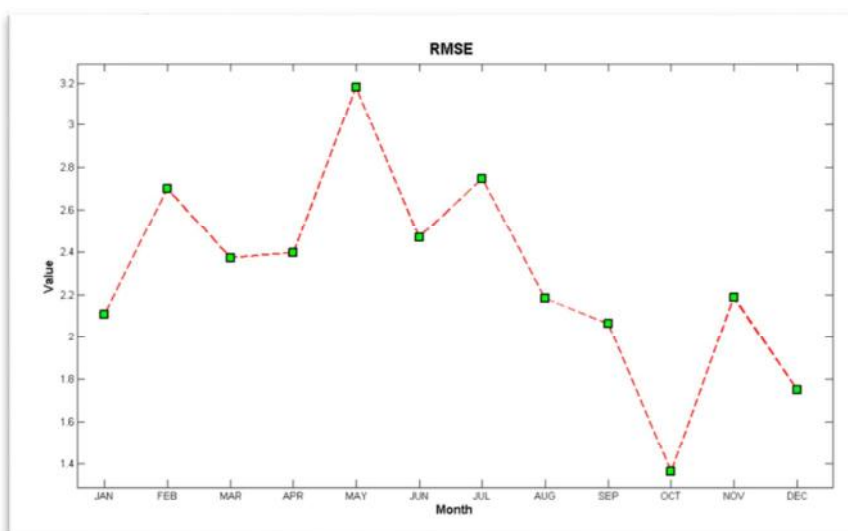
شکل ۸. میانگین دقت کلی مدل‌سازی برای ماه‌های گوناگون



شکل ۹. نمودار میانگین دقت کاربر برای مدل DustEM در ماه‌های گوناگون



شکل ۱۰. نمودار میانگین دقت تولیدکننده برای مدل



شکل ۱۱. میانگین شاخص RMSE مدل DustEM برای ماه‌های گوناگون

فصل‌ها پوشش گیاهی در منطقه وجود ندارد، در نظر گرفتن این فاکتور در مدلسازی تأثیر چندانی نخواهد داشت. بنابراین، از این عامل در منطقه مورد بررسی صرف‌نظر شد. پیشنهاد می‌شود که در کارهای آتی فاکتور پوشش گیاهی و آثار فصلی آن در مدل ارزیابی شود. به دلیل تأثیر گردوخاک در محیط‌زیست و اقلیم، ضروری است این پدیده از نظر فیزیکی مورد تحلیل بهتری قرار گیرد و پیش‌بینی دقیقی از چرخه

نتایج مدل نشانه دقت بالای مدل در پیش‌بینی مناطق کانونی است. در ضمن، کاهش دقت مدل در پیش‌بینی حجم ریزگرد ساطع شده در ماه‌های میانی سال ممکن است به دلیل لحاظ نشدن فاکتور پوشش گیاهی و فاکتورهای دیگر محیطی در مدل باشد. شایان ذکر است که منطقه مطالعاتی دارای پوشش گیاهی تنک است که در فصل بهار و تابستان در حرکت ریزگردها تأثیر فراوانی دارند. با توجه به اینکه در این

گردوخاک و آثار آن در جو ارائه شود. به این دلیل، توسعه شبکه‌های پایش، مدلسازی عددی، روندیابی و هشدار این پدیده از موارد ضروری است. در پژوهش حاضر، مدلی مناسب برای شبیه‌سازی محیطی ارائه شده است که با توجه به فاکتورهایی همچون سرعت باد و رطوبت خاک، می‌تواند سرعت آستانه فرسایشی را برای هر پیکسل به صورت زمانمند محاسبه کند. در صورتی که سرعت باد محاسبه شده بیشتر از حد آستانه باشد، فرض بر این است که خاک از منطقه حرکت خواهد کرد. در اینجا، به دلیل نبود داده‌های دقیق خاک و باد و رطوبت، از داده‌های در دسترس در پایگاه داده‌های NCEP و FAO بهره برده شده اما همان‌طور که پیش‌تر نیز بیان شد، کوچک‌ترین اشتباه در داده باد، باعث بروز خطای بزرگ در نتایج می‌شود. در صورت استفاده از داده‌های شبکه‌های هواشناسی منطقه‌ای، می‌شود به دقت‌های بسیار بهتری رسید. افزون بر این، با شناسایی کانون‌ها با مدل ارتفاع رقومی و معرفی آن به مدل، به منزله مناطق محتمل، امکان افزایش دقت در مدلسازی وجود دارد.

به دلیل ماهیت ریاضی مدل، برای رسیدن به نتیجه‌ای که با واقعیت هم‌خوانی بیشتری داشته باشد، دسترسی به داده‌هایی با دقت بیشتر ضروری است. به عبارتی دیگر، هرچند شناسایی معادلات و روابط موجود میان پدیده‌های طبیعی، همچون سرعت باد و میزان فرسایش، شدت دما و میزان صعود هوا، نوع و بافت خاک و میزان مقاومت آن‌ها در مقابل فرسایش و موارد دیگر نقش مهمی در پیش‌بینی واقعه گردوغبار دارد، تا زمانی که ورودی‌های مدل با واقعیت اختلاف بسیار داشته باشند، نمی‌شود برای پیش‌بینی به نتایج دقیق دست یافت (Darvishi, 1392). نبود و یا کمبود ابزار و اطلاعات زمینی سنجش شده واقعه گردوغبار انجام دادن مرحله اعتبارسنجی مطالعات را در غرب آسیا با مشکل روبه‌رو می‌کند. به علت نامناسب بودن قدرت تفکیک داده‌های حاصل از سنجنده‌های TOMS یا MODIS، به دست آوردن نتیجه دقیق مشکل است.

بیشتر محققان در امر سنجش از نتایج کسب شده، از داده‌های ایستگاه‌های زمینی استفاده می‌کنند. این در حالی است که ایستگاه‌های شبکه AERONET در منطقه غرب آسیا تراکم کمی دارند و داده‌های دید افقی حاصل از ایستگاه‌های هواشناسی (در صورت وجود) نیز سنخیت چندانی با خروجی مدل‌ها، همچون میزان غلظت گرد و غبار، ندارند. به همین دلیل، در بیشتر مدل‌های منطقه‌ای گردوغبار غرب آسیا، مرحله اعتبارسنجی پیش‌بینی‌ها و در نتیجه، شناسایی نقص‌های احتمالی در محاسبات با مشکل روبه‌روست (Darvishi, 1392).

##### ۵- نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین پدیده‌های طبیعی در سال‌های اخیر طوفان‌های ریزگرد است که باعث بروز مشکلات فراوانی شده است. به منظور مقابله با این پدیده باید فاکتورهای اصلی و تأثیرگذار شناسائی شوند و با ترکیب فاکتورها، با استفاده از مدل‌ها، طوفان‌های ریزگرد را پیش‌بینی کرد. هدف از این پژوهش ارائه روشی برای مدلسازی کانون‌های ریزگرد است که با توجه به شرایط منطقه‌ای و داده‌های موجود، برای منطقه غرب آسیا مؤثر باشد. در این تحقیق، پس از بررسی و مطالعه عوامل تأثیرگذار، با استفاده از مدل‌هایی که از آزمایش‌های تونل باد به دست آمده‌اند، به مدلسازی این پدیده پرداخته شد. به عبارتی، در این مدلسازی شناسایی مناطق بحرانی ریزگرد به صورت زمانمند و مدلسازی پویای آن برای سامانه‌های پیش‌بینی طوفان‌های ریزگرد صورت گرفته که هدف آنها پیش‌بینی مناطق از نظر وضعیت بحرانی، متوسط و امن است. برای شناسایی مناطقی که فعالیت ریزگرد بالایی دارند، خروجی مدل در سه طبقه با فعالیت کم، متوسط و بالای ریزگرد با استفاده از حدود آستانه ۰/۳ و ۰/۶ برای شاخص AOD طبقه‌بندی شد. خروجی مدل با استفاده از شاخص AOD سنجنده MODIS مورد سنجش قرار گرفت. ارزیابی مدل‌ها با استفاده از داده‌های روزانه سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷ صورت گرفت.

- University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, PP.996.
- Darvishi, a. et al., 1392, **Theoretical Analysis of Criteria for the Identification and Modeling of Dust Storms (with a Focus on West Asia)**, University of Tehran- Geoinformatics Research Institut. UNEP Report.
- Fecen, F. et al, 1999, **Parametrization of the Increase of the Aeolian Erosion Threshold Wind Friction Velocity due to Soil Moisture for Arid and Semi-Arid Areas**, Paper presented at the Annales Geophysicae. , 17, 149-157, 149-157.
- Ginoux, P. et al, 2001a, **Sources and Distributions of Dust Aerosols Simulated With the GOCART Model**, Journal of Geophysical Research, 106(D17), 20255-20220,20273 .
- Ginoux, P. et al, 2001b, **Sources and Distributions of Dust Aerosols Simulated with the GOCART Model**, Journal of Geophysical Research, 20255-20220,20273 .
- Grini, A. et al, 2005, **Model Simulations of Dust Sources and Ttransport in the Global Atmosphere: Effects of Soil Erodibility and Wind Speed Variability**, Journal of Geophysical Research, 10.1029/2004JD005037, D02205 .
- Grini, A., Tulet, P. & Gomes, L.,2006, **Dusty Weather Forecasts Using the MesoNH Mesoscale Atmospheric Model**, Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012). 10.1029/2004JD005037.
- Guelle, W., Balkanski, Y., Schulz, M., Marticorena, B., Bergametti, G., Moulin, C. & Perry, K., 2000, **Modeling the Atmospheric Distribution of Mineral Aerosol: Comparison with Ground Measurements and Satellite Observations for Yearly and Synoptic Timescales over the North Atlantic**, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1997-2012 .
- شاخص صحت برای دوره مورد مطالعه ۷۳/۶٪ به دست آمد که بیانگر دقت بالای مدل در شناسایی مناطق بحرانی است. افزون بر این، نقشه‌های توزیع مکانی ریزگرد در نقشه در ماه‌های گوناگون، نشانه‌الگوی یکسان در شدت وقوع طوفان‌های ریزگرد است. وقوع طوفان‌های از شمال نقشه در همه ماه‌ها بیشتر از مناطق مرکزی و مناطق جنوبی نقشه بوده است و با توجه به این نکته، می‌شود علت اصلی طوفان‌ها را فاکتورهای ثابت در مدل، همچون وضعیت توپوگرافی دانست که باعث شده در همه فصل‌های سال مناطق بحرانی با توجه به وضعیت وزش باد و رطوبت، مرزهای مشخص داشته باشند.
- ۶- منابع**
- Alfaro, S.C. & Gomes, L.,2001, **Modeling Mineral Aerosol Production by Wind Erosion: Emission Intensities and Aerosol Size Distributions in Source Areas**, Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012), 106(D16),18075-18084 .
- Asproth, V., Hakansson, A. & Revay, P., 1995, **Dynamic Information in GIS Systems**, Computers, environment and urban systems, 107-115 .
- Bagnold, R.A., 1941, **The Physics of Blown Sand and Desert Dunes**, Courier Dover Publications.
- Basart, S. et al., 2012, **Development and Evaluation of the BSC-DREAM8b Dust Regional Model over Northern Africa, the Mediterranean and the Middle East**, Tellus B., 64 , v64i0.18539,1-23.
- Bergametti, G. et al, 2007, **Key Processes for Dust Emissions and their Modeling. Regional Climate Variability and its Impacts in The Mediterranean Area**, Springer. 63-81.
- Change, I.P.O.C.,2007, **Climate Change 2007: The Physical Sciencebasis**, Cambridge

- Gyorgy, V.A., 2012, **Spatio-Temporal Distribution of Dust Storms- A Global Coverage Using NASA TOMS Aerosol Measurements**, Hungarian Geographical Bulletin, 61(4), 275–298 .
- Haywood, J.M., Allan, R.P., Culverwell, I., Slingo, T., Milton, S., Edwards, J. & Clerbaux, N., 2005, **Can Desert Dust Explain the Outgoing Longwave Radiation Anomaly Over the Sahara During July 2003**, Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012). 108(D18), 8577.
- Helgren, D.M., & Prospero, J.M., 1987, **Wind Velocities Associated with Dust Deflation Events in the Western Sahara**, J. Climate Appl. Meteor, 1147-1151 .
- Hillel, D., 1982, **Introduction to Soil Physics**, Academic press New York.
- Iranian Society of Consulting Engineers, 1391, **Review Causes Dust Mitigation Solutions to the Harmful Effects of this Phenomenon**, Iranian Society of Consulting Engineers .
- Iversen, J.D., & White, B.R., 1982, **Saltation Threshold on Earth, Mars and Venus**, Sedimentology, 29(1), 111-119.
- Janjic, Z.I., 1994, **The Step-Mountain Eta Coordinate Model: Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer, and Turbulence Closure Schemes**, Monthly Weather Review, 927-945.
- Laurent, B., Marticorena, B., Bergametti, G., Leon, J.F. & Mahowald, N.M., 2008, **Modeling Mineral Dust Emissions from the Sahara Desert Using New Surface Properties and Soil Database**, Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012).
- Marticorena, B., & Bergametti, G., 1995a, **Modeling the Atmospheric Dust Cycle: 1. Design of a Soil-Derived Dust Emission Scheme**, Journal of Geophysical Research, 100(D8), 16415-16416, 16430.
- Marticorena, B., & Bergametti, G., 1995b, **Modeling the Atmospheric Dust Cycle: 1. Design of a Soil-Derived Dust Emission Scheme**, Journal of Geophysical Research, 16415-16416, 16430.
- Menut, L., Schmechtig, C. & Marticorena, B., 2005, **Sensitivity of the Sandblasting Flux Calculations to the Soil Size Distribution Accuracy**, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1875-1884.
- Miller, R.L. & Tegen, I., 1998, **Climate Response to Soil Dust Aerosols**, Journal of Climate, 10.1175/1520-0442(1998)011, 3247-3267.
- Morcrette, J.-J., Beljaars, A., Benedetti, A., Jones, L. & Boucher, O., 2008, **Sea-Salt and Dust Aerosols in the ECMWF IFS Mmodel**, Geophysical Research Letters, 114(D6), D06206.
- Morcrette, J.J., Boucher, O., Jones, L., Salmond, D., Bechtold, P., Beljaars, A., . . . Razinger, M., 2009a, **Aerosol Analysis and Forecast in the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Integrated Forecast System: Forward Modeling**, Journal of Geophysical Research, D06206.
- Morcrette, J.J., Boucher, O., Jones, L., Salmond, D., Bechtold, P., Beljaars, A., . . . Razinger, M., 2009b, **Aerosol Analysis and Forecast in the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Integrated Forecast System: Forward Modeling**, Journal of Geophysical Research, 114(D6), D06206.
- Perez, C., Haustein, K., Janjic, Z., Jorba, O., Huneus, N., Baldasano, J.M., . . . Miller, R.L., 2011, **Atmospheric Dust Modeling From Meso to Global Scales with the Online NMMB/BSC-Dust Mode-Part 1: Model Description, Annual Simulations and Evaluation**, Atmospheric Chemistry and Physics, 10.5194, 13001-13027.
- Perez, C., Nickovic, S., Baldasano, J.M., Sicard, M.I., Rocadenbosch, F. & Cachorro, V.E., 2006, **A Long Saharan Dust Event over the Western Mediterranean: Lidar, Sun Photometer Observations, and Regional Dust Modeling**, Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012). 111(D15).



- Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E., & Gill, T.E., 2002, **Environmental Characterization of Global Sources of Atmospheric Soil Dust Identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) Absorbing Aerosol Product**, *Reviews of Geophysics*, 40(1), 2-1-2-31.
- Rodwell, M.J. & Jung, T., 2008, **Understanding the Local and Global Impacts of Model Physics Changes: An Aerosol Example**, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 10.1002/qj.298, 1479-1497.
- Schepanski, K., 2009, **Characterising Saharan Dust Sources and Export using Remote Sensing and Regional Modelling**, Christian-Albrechts-University.
- Schepanski, K., Tegen, I., Laurent, B., Heinold, B. & Macke, A., 2007, **A New Saharan Dust Source Activation Frequency Map Derived from MSG-SEVIRI IR-Channels**, *Geophysical Research Letters*, 34(18), L18803.
- Schulz, M., Balkanski, Y. J., Guelle, W. & Dulac, F., 1998, **Role of Aerosol Size Distribution and Source Location in a Three-Dimensional Simulation of a Saharan Dust Episode Tested Against Satellite-Derived Optical Thickness**, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012)*, 10579-10592.
- Shao, Y., Raupach, M. & Findlater, P., 1993, **Effect of Saltation Bombardment on the Entrainment of Dust by Wind**, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012)*, 12719-12726.
- Stappeler, J., Doms, G., Schttler, U., Bitzer, H.W., Gassmann, A., Damrath, U. & Gregoric, G., 2003, **Meso-Gamma Scale Forecasts Using the Nonhydrostatic Model LM**, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 82(1-4), 75-96.
- Tegen, I. & Fung, I., 1995, **Contribution to the Atmospheric Mineral Aerosol Load from Land Surface Modification**, *Journal of Geophysical Research*, 100(D9), 18707-18718, 18726.
- Tegen, I., Harrison, S.P., Kohfeld, K., Prentice, I.C., Coe, M. & Heimann, M., 2002, **Impact of Vegetation and Preferential Source Areas on Global Dust Aerosol: Results from a Model Study**, *Journal of Geophysical Research*, 107(D21), 4576.
- Washington, R., Todd, M., Middleton, N.J., & Goudie, A.S., 2003, **Dust-Storm Source Areas Determined by the Total Ozone Monitoring Spectrometer and Surface Observations**, *Annals of the Association of American Geographers*, 93(2), 297-313.
- White, B.R. ,1979, **Soil Transport by Winds on Mars**, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978-2012)*, 84(B9), 4643-4651.
- WHO, W.H., Organization, 2005, **WHO Air Quality Guidelines Global Update 2005**, Report on a Working Group Meeting, Bonn, Germany, 18-20 October 2005: WHO Regional Office for Europe.
- Wolke, R., Hellmuth, O., Knoth, O., Schrder, W., Heinrich, B. & Renner, E., 2004, **The Chemistry-Transport Modeling System LM-MUSCAT: Description and CityDelta Applications Air Pollution Modeling and Its Application XVI**, Springer, 978-1-4613-4697-5, 427-439.
- Woodward, S., 2001, **Modeling the Atmospheric Life Cycle and Radiative Impact of Mineral Dust in the Hadley Centre Climate Model**, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012)*, 18155-18166.
- Woodward, S., 2011, **Mineral Dust in HadGEM2**, Hadley Centre Technical Note.
- Zender, C.S., Newman, D. & Torres, O., 2003, **Spatial Heterogeneity in Aeolian Erodibility: Uniform, Topographic, Geomorphic, and Hydrologic Hypotheses**, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012)*, 108(D14), 4416.