

شبیه‌سازی گسیل غبار با مدل پیش‌بینی عددی وضع هوا WRF-Chem و با استفاده از داده‌های جدید سطح در منطقه خاورمیانه

مریم رضازاده^{۱*}، پرویز ایران‌نژاد^۲ و یاپینگ شائو^۳

^۱ دانشجوی دکتری هواشناسی، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

^۲ دانشیار، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

^۳ استاد، موسسه ژئوفیزیک و هواشناسی، دانشگاه کلن، آلمان

(دریافت: ۹۱/۵/۱۵، پذیرش نهایی: ۹۱/۱۰/۵)

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی میزان گسیل غبار برآورد شده با مدل منطقه‌ای پیش‌بینی عددی و تحقیقاتی WRF-Chem در منطقه خاورمیانه با استفاده از سری داده‌های بهبود یافته پارامترهای سطح است. این داده‌ها، که در برگیرنده پوشش گیاهی، بافت خاک و توپوگرافی‌اند، به کمک داده‌های ماهواره‌ای حس گر مادیس و داده‌های USGS تهیه شده‌اند، و با تلفیق آنها، مناطق مستعد گسیل غبار منطقه مشخص شده است. از آنجا که داده‌های سطح موجود در مدل WRF-Chem شامل داده‌های میانگین پنج‌ساله و با تفکیک افقی کم است و همچنین به دلیل اهمیت شرایط سطحی مناطق چشمه غبار در تعیین میزان گسیل غبار و نحوه توزیع آن در منطقه، مقایسه‌ای بین نتایج داده‌های موجود در مدل WRF-Chem با داده‌های جدید صورت گرفت که نشان‌دهنده ناتوانی داده‌های موجود در مدل برای نمایان کردن جزئیات خصوصیات بافت خاک و پوشش گیاهی منطقه بود. هرچند که داده‌های جدید، میزان خطا را در شناسایی چشمه‌های غبار و به دنبال آن تعیین میزان گسیل و نحوه توزیع غبار کاهش می‌دهد. علاوه بر آن، گسیل غبار با داده‌های سطح موجود در مدل و داده‌های ورودی جدید برای توفان غبار دوره ۱۳ تا ۱۸ تیرماه ۱۳۸۸ شبیه‌سازی و چشمه‌های غبار موثر و میزان گسیل از هریک از آنها و نحوه توزیع غبار در منطقه بررسی شد. نتایج شبیه‌سازی‌ها، چهار چشمه عمده غبار را در منطقه خاورمیانه نشان می‌دهد که شامل سودان، عربستان سعودی و بخشی از عراق، ایران و افغانستان، و پاکستان هستند که هریک از این چشمه‌ها در طی رویداد غبار، نقش‌های متفاوتی دارند. همچنین این توفان غبار بر فراز چشمه سودان شکل می‌گیرد و با جریان‌های جنوب‌غربی به سمت شمال‌شرق تا ایران و ترکمنستان کشیده شده است. در پایان دوره، چشمه ضعیف‌تری در جنوب شرق ایران در بار غبار موجود در منطقه مشارکت کرده است. همچنین نتایج حاصل از شبیه‌سازی گسیل غبار، نشان می‌دهد که الگوی گسیل غبار حاصل از داده‌های جدید، گستردگی بیشتری در اطراف چشمه‌های اصلی غبار تعیین شده در منطقه خاورمیانه دارند.

واژه‌های کلیدی: مدل WRF-Chem، چشمه غبار، گسیل، منطقه خاورمیانه، بافت خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی

Dust emission simulation with the WRF-Chem model using new surface data in the Middle East region

Rezazadeh, M.¹, Irannejad, P.² and Shao, Y.³

¹Ph.D. Student of Meteorology, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

²Associate Professor, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

³Professor, Institute of Geophysics and Meteorology, University of Cologne, Germany

(Received: 05 Aug 2012, Accepted: 25 Dec 2012)

Abstract

Airborne dust particles can affect the radiation balance of the surface and the atmosphere

E-mail: mrezaazadeh@ut.ac.ir

دورنگار: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۵۴۸

تلفن: ۰۲۱-۶۱۱۱۸۲۷۴

*نگارنده رابط:

both directly through scattering and absorbing radiation and indirectly by changing the nucleation, optical properties and the life time of clouds by acting as cloud condensation nuclei. Mineral dust also significantly affects air quality and human health. The results of study on sources and the temporal characteristics of dust storms in the Middle East presented the Middle East is as one of the region most affected by dust in the world, next to Africa.

In this paper, we have studied the rates of dust emission simulated by WRF-Chem model by using new datasets of surface parameters. These data are vegetation cover, soil texture and topography, derived from MODIS sensor and USGS. We have defined the potential sources of dust by combining the derived datasets. The surface condition of the dust source regions can be determined with higher resolution, and hence the emission of dust and its distribution in the study area can be simulated more precisely. The default surface data available in WRF-Chem model are low resolution and are based on 5-year averages. Because of the crucial role surface conditions play in dust emission and loading, we compared simulations of WRF-Chem model by using the default surface data and those by using the new data. Results show the inadequacy of the default data in presenting details of soil texture and vegetation cover over the region. The new static data improve the identification of dust sources and the determination of dust emission and dust distribution.

There is no dust sources input data in WRF-Chem model. We have determined and entered the potential dust sources as input data into the WRF-Chem model and found improved estimations of dust emission rates in the region. To determine the potential dust sources in the Middle East, topography, vegetation and soil texture data were used. By using MODIS sensor dataset for leaf area index, the amount of 0.2 for leaf area index is estimated over the region. So Dasht-e Kavir and Dasht-e Lut as a basement height in the study area, we estimated 1000 m above the sea level as the threshold height, below which the soil erosion and dust emission from the surface may occur.

We simulated dust emission using the new static data for the 4-9 July 2009 dust event over the Middle East and identified the contributing sources of dust in this event. Now, available the dust emission scheme in the WRF-Chem model is GOCART. In the scheme dust particles with a radius of 0.1 to 6 μm are examined. In this scheme particle size distribution is done in seven categories and mass distribution of particles varies linearly depending on radius within each category. In this paper the GOCART emission scheme is used to estimation the rate of dust emission and loading. Based on the simulation results four major dust sources are found in this region. These regions are Sudan, Saudi Arabia and Iraq, Iran and Afghanistan, and Pakistan, each playing different roles during the dust event. According to the results, the 4-9 July 2009 dust storms originated over Sudan and were transported to Iran and Turkmenistan by southwesterly flows. At the end of the period, a weak source in the southeast of Iran contributed in dust loading over the region. We found that the pattern of dust emission in the region was highly consistent with the geographical distribution of potential dust sources as defined by the new datasets of surface parameters.

Dust emission simulation results by using the new data and the default data in the model show that they have the same pattern for dust sources in the Middle East. However, the emission pattern resulted from the new data was more accurate than the one from the default data. The pattern from the new data shows that the dust emission contributing areas extend to the surrounding areas of the main sources of dust emission in the Middle East. Therefore, the dust emission pattern from the new data is more widespread than that from using the default data in the model.

The amounts of the model simulated dust emission using the new data and the default

data were compared for the 4-9 July 2009. Results show that the estimated dust emission amount by using the new data is consistently greater than that by using the default data over the region. These areas include a small area in East Iran (Lut Desert), the eastern edge of the desert of Saudi Arabia, Afghanistan and Pakistan border, the eastern border of Iraq and sporadic areas in sub-Saharan Africa. These areas are part of the marginal areas of dust sources in the Middle East that the new surface data have entered in WRF-Chem model. The extent of dust emission patterns around the main dust sources in the Middle East, which can be achieved by new data.

Keywords: WRF-Chem model, Dust source, Emission, Middle East region, Soil texture, Topography, Vegetation cover

۱ مقدمه

سطح تنها ۱٪ کل جرم خاک جابه‌جا شده در فرایند فرسایش بادی را تشکیل می‌دهد (گیلت، ۱۹۷۷؛ نیکلینگ و گیلز، ۱۹۹۳)، به دلیل امکان شناور ماندن طولانی در جو و انتقال با گردش‌های جوئی، نقش مهمی در اقلیم بازی می‌کنند.

دهه گذشته شاهد گسترش مدل‌های پیش‌بینی عددی غبار برای بهبود درک تاثیر ذرات غبار بر جو بوده است (تگن و فونگ، ۱۹۹۴؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۰؛ گینو و همکاران، ۲۰۰۱؛ این و پارک، ۲۰۰۳؛ گنگ و همکاران، ۲۰۰۳؛ شائو و همکاران، ۲۰۰۳؛ یونو و همکاران، ۲۰۰۳). اگرچه نتایج شبیه‌سازی مدل‌های عددی بهبود یافته است، هنوز عدم قطعیت‌هایی در برآورد گسیل غبار مشاهده می‌شود. برای مثال، می‌توان به آزمایش مشخصات هواویز منطقه‌ای آسیا (ACE Asia) اشاره کرد که در این آزمایش سه مدل غبار منطقه‌ای برای یک پدیده غبار در آسیا بررسی شده است. مقادیر برآورد شده گسیل غبار برای ۳ ماه مارس، آوریل و مه ۲۵۰ میلیون تن، درحالی‌که برای یازده روز (۵ تا ۱۵) آوریل ۶۴۳ میلیون تن برآورد شده است (هوبرت و همکاران، ۲۰۰۳). مقایسه نتایج هشت مدل غبار (یونو و همکاران، ۲۰۰۶) نشان می‌دهد که غلظت بیشینه حاصل از هر مدل با نتایج مدل‌های دیگر فرق داشته است. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که مقادیر برآورد شده از مدل‌های گوناگون برای گسیل غبار

ذرات غبار یکی از هواویزهای مهم جوئی است که بر کیفیت هوا (کلیرن و همکاران، ۲۰۰۰؛ لیو و همکاران، ۲۰۰۶) و سلامتی انسان (ون و همکاران، ۲۰۰۴؛ چن و همکاران، ۲۰۰۴) تاثیر بسزایی دارند. همچنین ذرات غبار، به دلیل جذب و پراکنش تابش طول موج بلند و طول موج کوتاه، نقش موثری در بودجه تابشی جو و سطح و در نتیجه در اقلیم دارند (کوکلی و همکاران، ۱۹۸۳؛ تگن و لیسس، ۱۹۹۶؛ سوکولیک و تون، ۱۹۹۶؛ ون و همکاران، ۲۰۰۴؛ کیم و همکاران، ۲۰۰۸؛ مشایخی و همکاران، ۱۳۸۹). فرسایش بادی مسئله‌ای جدی در ایران و بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است و فرایندی است که طی آن ذرات خاک در اثر جریان باد به حرکت در می‌آید. فرسایش بادی فرایند پیچیده‌ای است که تحت تاثیر عوامل گوناگون از جمله شرایط جوئی (باد، بارش و دما)، مشخصات سطح زمین (توپوگرافی، رطوبت سطح، طول زبری، پوشش گیاهی) و ویژگی‌های خاک (بافت، ترکیب و تراکم) و کاربری اراضی (کشاورزی) است. حرکت ذرات خاک به دو شکل جهش (Saltation) و تعلیق (Suspension) است. جهش مربوط به ذرات درشت ماسه و حرکتی کوچک در امتداد سطح و در جهت وزش باد است. تعلیق مربوط به ذرات ریز غبار است. این ذرات عمدتاً در نتیجه برخورد ذرات جهنده به سطح از آن جدا و در جو شناور می‌شوند. اگر چه ذرات غبار گسیل شده از

برای تعیین میزان گسیل غبار و نحوه توزیع آن روی منطقه طرحواره گسیل غبار GOCART به کار رفته است.

۲ توصیف مدل

در این پژوهش از مدل پیش‌بینی عددی وضع هوا به همراه شیمی (WRF-Chem) که گرل و همکاران در ۲۰۰۵ در ویرایش سوم مدل WRF گنجانده‌اند، استفاده می‌شود. در این مدل تحقیقاتی، از دستگاه مختصات قائم فشاری-هیدروستاتیک خشک با قابلیت نوسان در شبکه قائم استفاده شده است که تراز پایین در سطح زمین و تراز بالایی در فشار ثابت است. معادلات حاکم بر مدل از معادلات کاملاً غیرهیدروستاتیک اولری و تراکم‌پذیر با پایستاری متغیرهای نرده‌ای (اسکالر) است. متغیرهای پیش‌یابی عبارت‌اند از مولفه‌های u و v سرعت در مختصات دکارتی، بی‌هنجاری دمای پتانسیلی، بی‌هنجاری ژئوپتانسیلی و بی‌هنجاری فشار سطحی، انرژی جنبشی تلاطم و متغیرهای نرده‌ای مانند نسبت آمیختگی بخار آب، نسبت آمیختگی باران و برف، نسبت آمیختگی قطرات آب و یخ در ابر. شبکه افقی مدل شبکه جابه‌جا شده C-آراکوا است. در طرحواره گام زمانی مرتبه دوم یا سوم رانگ-کوتا با گام زمانی کوچک‌تر برای مدهای گرانی و آکوستیک به کار رفته است و همچنین این قابلیت را دارد که می‌توان گام زمانی را متغیر در نظر گرفت. شرایط مرزی بدین‌صورت تعریف می‌شود که مرز بالا جاذب امواج گرانی به‌شکل پخشی‌میرایی یا میرایی‌ریلی برای سرعت قائم باشد و با تراز فشاری ثابت و به‌صورت سطح صلب در نظر گرفته می‌شود. مرز پایینی نیز یک مرز فیزیکی است. چهار نوع تصویر نقشه برجسته‌نگار (استریوگراف) قطبی، مخروطی لامبرت، استوانه‌ای مرکاتور و طول-عرض جغرافیایی برای شبیه‌سازی داده‌ها در مدل وجود دارد. مدل شامل هسته دینامیکی، بخش فیزیکی و بخش

متفاوت باشد. علاوه بر آن نتایج حاصل از بعضی تحقیقات روی مدل‌ها نشان می‌دهند که پراکندگی در مقادیر گسیل غبار برآورد شده از طرحواره‌های متفاوت گسیل غبار نیز وجود دارد. شرایط مرزی سطحی که شامل بافت خاک و پوشش گیاهی است نیز پراکندگی زیادی در نتایج گسیل غبار به‌وجود می‌آورد (این و پارک، ۲۰۰۳؛ شائو و همکاران، ۲۰۰۲).

در حال حاضر طرحواره‌های گسیل غبار متعددی موجودند که به پارامترهای ورودی متفاوتی نیاز دارند (مارتیکرنا و برگامتی، ۱۹۹۵؛ آلفارو و همکاران، ۱۹۹۷؛ آلفارو و گومز، ۲۰۰۱؛ گینو و همکاران، ۲۰۰۱؛ این و پارک، ۲۰۰۳). در هرکدام از این طرحواره‌های گسیل غبار روش پارامترسازی متفاوتی برای سازوکار فرسایش باد در نظر گرفته شده است که پراکندگی در نتایج شبیه‌سازی را موجب می‌شود.

از آن‌جا که داده‌های سطح موجود در مدل WRF-Chem شامل داده‌های میانگین پنج‌ساله و با تفکیک افقی کم هستند، در این تحقیق داده‌های سطح جدید شامل داده‌های ماهواره‌ای حس‌گر مادیس و داده‌های USGS برای تعیین پوشش گیاهی، نوع بافت خاک و توپوگرافی در مدل WRF-Chem وارد شده است. با تلفیق داده‌های بافت خاک، پوشش گیاهی و توپوگرافی مناطق مستعد گسیل غبار منطقه تحت عنوان مناطق چشمه غبار مشخص شده است. هرچه شرایط سطحی مناطق چشمه غبار با تفکیک بیشتری تعیین شود، میزان گسیل غبار و نحوه توزیع آن در منطقه مورد بررسی با دقت بیشتری امکان‌پذیر می‌شود. مشخصات مناطق چشمه غبار به‌مثابه یکی از داده‌های ورودی جدید در مدل WRF-Chem وارد شده است. در این پژوهش، نتایج حاصل از شبیه‌سازی میزان گسیل غبار با استفاده از داده‌های سطح موجود در مدل و همچنین با کاربرد داده‌های جدید وارد شده در مدل روی منطقه خاورمیانه بررسی شده است.

۴ داده‌های سطح و هواشناسی ورودی موجود در سامانه پیش‌پردازش مدل

داده‌های سطحی موجود در مدل منطقه‌ای WRF-Chem از داده‌های میانگین ماهانه برای سپیدایی (آلبیدوی) سطح، ضریب سبزی ماهانه زمین، شیب منطقه، ۲۴ دسته داده‌های USGS و ۲۰ دسته داده NOAA برای کاربری اراضی، میانگین سالانه دمای خاک، ۱۶ دسته داده برای لایه بالایی و پایینی خاک و ارتفاع توپوگرافی تشکیل شده است. این داده‌ها شامل داده‌های اطلاعات جغرافیایی حس‌گر مادیس، GWD، SSiB و VARSSO با تفکیک افقی ۳۰ ثانیه و ۲، ۵ و ۱۰ دقیقه و داده‌های ۶ ساعته NCEP با تفکیک ۱ درجه است.

۵ داده‌های ورودی جدید سطح

برای بهبود شبیه‌سازی گسیل غبار در مدل WRF-Chem و همچنین وارد کردن جزئیات شرایط سطح، در این پژوهش، داده‌های جدیدی برای تعیین چشمه‌های غبار منطقه در حکم شرایط مرزی در مدل وارد شده است که این داده‌ها عبارت‌اند از پوشش گیاهی منطقه، بافت خاک و چشمه‌های غبار. برای تعیین داده‌های چشمه‌های غبار از ترکیب داده‌های پوشش گیاهی، بافت خاک و توپوگرافی استفاده شده است، به نحوی که با شرایط بیابان‌های منطقه هماهنگی داشته باشد. در ادامه به توصیف جزئیات این داده‌ها و نحوه عملکرد آنها در مدل می‌پردازیم.

۶ داده‌های پوشش گیاهی

داده‌های پوشش گیاهی WRF-Chem در مدل با تفکیک افقی NOAA/NESDIS میانگین پنج‌ساله ۱۴۴/۱ دقیقه برای هر ماه به کار برده می‌شود. این داده‌ها شامل تغییرپذیری درون‌سالانه نیست. اما در این پژوهش از ۷ نوع پوشش گیاهی داده‌های

شیمی است. در حال حاضر هسته دینامیکی شامل دو شکل است، هسته دینامیکی تحقیقاتی پیشرفته ARW (که تحت عنوان هسته دینامیکی مختصات جرمی اوپلری شناخته می‌شود) و هسته دینامیکی مدل میان‌مقیاس غیرهیدروستاتیک NMM. بخش شیمی مدل، محاسبات مربوط به سازوکارهای شیمیایی، تجزیه نوری ذرات هواویز، فرایندهای گسیل ذرات هواویز از سطح به جو و فرایندهای مربوط به حذف ذرات، و طرحواره‌های پارامترسازی فرایندهای میکروفیزیکی، دینامیکی و ترمودینامیکی ذرات هواویز را در بر می‌گیرد. طرحواره‌ای که برای گسیل ذرات هواویز در مدل WRF-Chem وارد شده است (گینو و همکاران، ۲۰۰۱)، GOCART است که در این تحقیق از شبیه‌سازی گسیل ذرات غبار با بهره‌گیری از این طرحواره استفاده شده است.

۳ پیکربندی مدل

در این تحقیق از ویرایش سوم مدل WRF-Chem استفاده و مدل برای منطقه خاورمیانه به طول جغرافیایی ۱۵ تا ۷۵ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۱۰ تا ۵۵ درجه شمالی با نقاط شبکه ۱۶۰×۱۶۰، تفکیک افقی ۶۰ کیلومتر و برای ۲۸ تراز قائم تا فشار ۵۰ میلی‌باری پیکربندی شده است. شبیه‌سازی میدان‌های هواشناسی با شرایط آغازین و مرزهای جانبی گرفته شده از داده‌های gfs و fnl مراکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (قابل دسترسی در: http://rda.ucar.edu/find_data.html) صورت می‌گیرد. شرایط مرزهای جانبی شیمیایی از داده‌های زمینه مدل گرفته می‌شود که این شرایط مرزی براساس میانگین‌های به‌دست آمده روی عرض‌های جغرافیایی میانی از نیم‌رخ‌های هواپیما حاصل از چندین تحقیق روی اقیانوس آرام شرقی گرفته شده است.

بسیاری از مناطق خاورمیانه را ندارند، در حالی که در قسمت (ب) مناطقی مانند شمال غربی و شرقی ایران، عراق و جنوب عربستان سعودی، به وضوح دارای پوشش گیاهی متفاوتی هستند. همچنین، در مناطقی مانند افغانستان، پاکستان و سودان پوشش گیاهی با جزئیات بیشتری دیده می‌شود. در شکل ۱ (ب) مناطق تعریف شده با پوشش گیاهی جدید، نواحی بیابانی و غیربیابانی را با تفکیک بهتری در منطقه خاورمیانه از یکدیگر جدا می‌کند و امکان مشخص کردن مناطق چشمه غبار را با دقت بیشتری فراهم می‌سازد.

همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد، داده‌های حس گر مادیس، تفکیک افقی بسیار خوبی روی ایران دارد. این داده‌ها مناطقی مانند حاشیه دریای خزر، شرق کویر لوت، سیستان و بلوچستان و پوشش گیاهی امتداد کوه‌های زاگرس را به خوبی نمایان می‌کند. تفکیک زیاد داده‌های حس گر مادیس باعث می‌شود تا محدوده دشت کویر و دشت لوت به منزله مناطق مستعد گسیل غبار کاملاً مشخص شود. از آن جاکه شرایط سطحی در تعیین مناطق گسیل غبار بسیار موثر است، وارد کردن داده‌های پوشش گیاهی حس گر مادیس در مدل WRF-Chem به جای داده‌های میانگین پنج‌ساله موجود در مدل، در دقت شبیه‌سازی میزان گسیل غبار و نحوه توزیع آن در منطقه ایران بسیار موثر است.

جدول ۱. مقادیر ضریب DN_{LAI} در داده‌های حس گر مادیس.

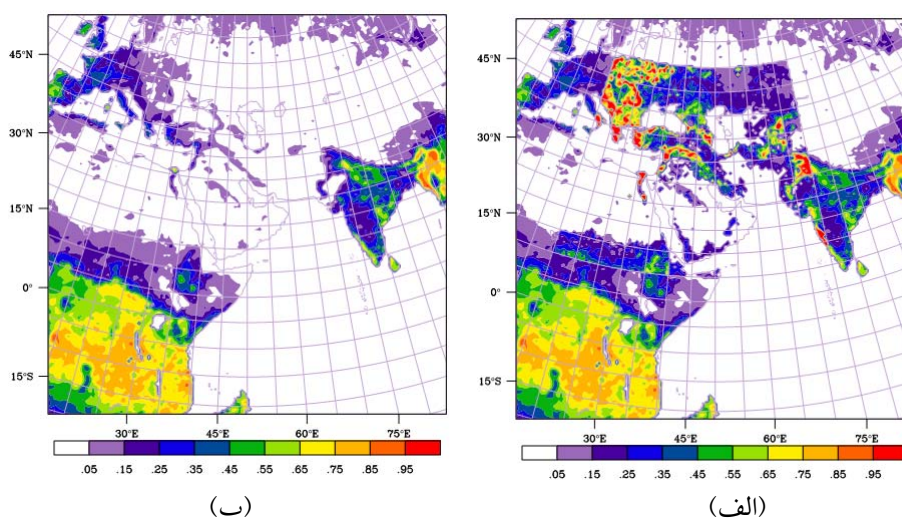
نوع پوشش سطح	ضریب DN_{LAI}
محدوده معتبر LAI برای انواع گیاهان	۰ - ۷۰
پوشش گیاهی خارج از محدوده مورد بررسی	۲۰۰
مناطق شهری	۲۵۰
باتلاق و آب‌های راکد	۲۵۱
پوشش برف، یخ دائمی و توندرا	۲۵۲
بیابان، پوشش گیاهی بسیار تنک و بی‌ثمر	۲۵۳
آب (اقیانوس یا روی خشکی)	۲۵۴
پیکسل‌های محاسبه نشده یا جاافتاده	۲۵۵

حس گر مادیس استفاده می‌شود که قابلیت مشخص کردن نوع پوشش گیاهی منطقه خاورمیانه را با جزئیات بیشتری در مدل دارد. این داده‌ها صورت ماهانه و با تفکیک افقی $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ موجود است (<http://cybele.bu.edu/modismisr/products/modis/prodctget.html>.)

استفاده از داده‌های ماهواره می‌تواند روش خوبی برای به دست آوردن پوشش گیاهی منطقه برای یک دوره زمانی خاص باشد. داده‌های حس گر مادیس با استفاده از روش‌های متفاوت شاخص سطح برگ (LAI) و ضریب تابش فعال فتوسنتز ($FPAR$) را به پوشش گیاهی سطح تبدیل می‌کند. LAI یکی از ویژگی‌های ساختاری مهم گیاه است که به صورت سطح کل برگ بر واحد سطح زمین تعریف می‌شود و ضریب $FPAR$ به شکل نسبت تابش جذب شده در گیاه در طول موج فعال فتوسنتزی، که بین ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر است، بیان می‌شود. در این تحقیق از LAI برای تعیین پوشش گیاهی منطقه خاورمیانه استفاده شده است. داده‌های حس گر مادیس ضریبی به نام DN_{LAI} را برای انواع پوشش سطح تعریف می‌کند. مطابق جدول ۱ این ضریب برای انواع پوشش سطح که می‌تواند شامل پوشش گیاهی، مناطق شهری، سطوح آب و باتلاق و سطوح پوشیده از برف باشد، تعریف می‌شود. سپس با استفاده از رابطه زیر شاخص سطح برگ را با استفاده از ضریب DN_{LAI} مربوط به پوشش گیاهی محاسبه می‌کند.

$$LAI = (1/10) \times DN_{LAI} \quad (1)$$

شکل ۱ نتایج به دست آمده از پوشش گیاهی منطقه خاورمیانه را با (الف) داده‌های ورودی پوشش گیاهی موجود در مدل WRF-Chem و (ب) داده‌های پوشش گیاهی جدید وارد شده در مدل نشان می‌دهد. مقایسه قسمت (الف) و (ب) شکل، نشان می‌دهد که داده‌های موجود در مدل توانایی نمایان کردن پوشش گیاهی



شکل ۱. نقشه کسر پوشش گیاهی (الف) با داده‌های میانگین پنج‌ساله NOAA/NESDIS موجود در مدل (ب) با استفاده از داده‌های جدید LAI حس‌گر مادیس وارد شده در مدل.

۷ داده‌های بافت خاک

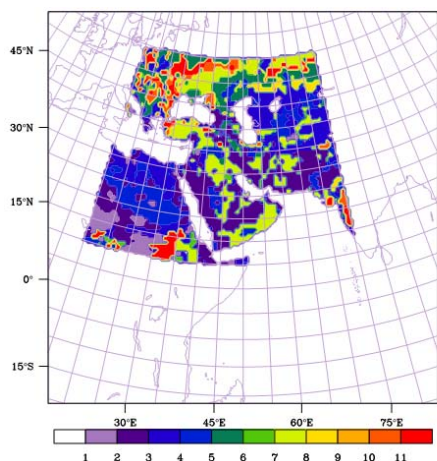
در مدل WRF-Chem، ۱۶ قسمت برای طبقه‌بندی بافت خاک وجود دارد، ولی در مدل جدید از طبقه‌بندی ۱۲ قسمتی برای بافت خاک استفاده می‌شود که از ترکیب داده‌های LREIS و FAO/UNESCO به دست می‌آید. این داده‌ها از سری داده‌های جهانی نیم‌رخ خاک وب-روستروینگ برای لایه یک متری خاک گرفته شده است. این داده‌ها با تفکیک مکانی ۰/۰۵ درجه در مرکز بایگانی فعال کتابخانه ملی اوک‌ریچ موجود است (<http://www.daac.ornl.gov>). ۱۲ دسته داده‌های بافت خاک عبارت‌اند از ماسه، ماسه لومی، لوم ماسه‌ای، لوم، لوم سیلتی، رُس ماسه‌ای، لوم رُس لومی، لوم رُس سیلتی و رُس ماسه‌ای، رُس سیلتی، رُس و رُس سنگین. داده‌ها براساس درصد میزان ماسه، سیلت و رُس موجود در خاک طبقه‌بندی شده است. با استفاده از این درصدها، داده‌های خاک وب-روستروینگ در طبقه‌بندی انواع خاک وزارت کشاورزی آمریکا (USDA) گروه‌بندی می‌شوند. محتوای این داده‌ها با فرمت متنی و شامل چهار ستون ۱۰۶ نوع خاک زوبلر، ۱۰ کد بیانگر قاره (گرفته شده از کدهای

FAO/UNESCO)، ۱۵ نوع نیم‌رخ خاک و درصد محتوای ماسه، سیلت و رُس خاک است. جدول ۲ نمونه‌ای از داده‌های خاک به کاررفته در این مقاله را نشان می‌دهد. طبق این جدول هر یک از انواع خاک موجود در داده‌های زوبلر، دارای یک کُد است و با درصدهای معینی از ماسه، سیلت و رُس تعریف می‌شود و به آن یک کُد در طبقه‌بندی خاک USDA داده می‌شود. با این روش درصدهای متفاوت ماسه، سیلت و رُس در طبقه‌بندی USDA وارد می‌شود.

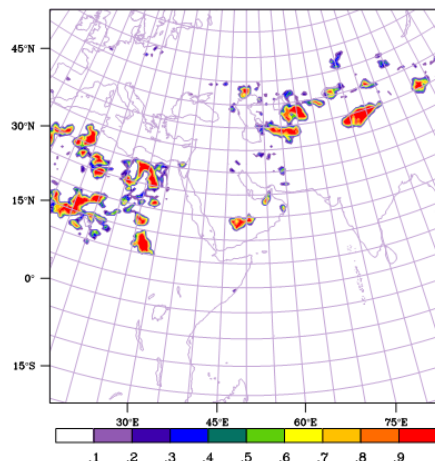
از آنجا که اطلاعات مربوط به توزیع اندازه ذرات فقط برای چهار نوع از ذرات در دسترس است (شائو، ۲۰۰۴)، این ۱۲ دسته به صورت مناسبی در چهار نوع ذرات گنجانده می‌شود (ماسه لومی در دسته ماسه؛ لوم ماسه‌ای، لوم سیلتی، لوم رُسی و لوم رُس سیلتی در دسته لوم؛ رُس ماسه‌ای و رُس سیلتی در دسته رُس). شکل ۲ نقشه ساختار بافت خاک را با طبقه‌بندی موجود در زمینه مدل WRF-Chem و داده‌های جدید وارد شده در مدل برای منطقه خاورمیانه نشان می‌دهد. مقایسه این دو شکل به وضوح تفاوت بافت خاک را با داده‌های موجود (الف) و جدید

۲-الف دیده می‌شود، کمبود اطلاعات بافت خاک در مدل، به‌ویژه در منطقه مورد بررسی، یعنی خاورمیانه، مشهود است و تفکیک زیاد داده‌های جدید، اطلاعات خوبی از جزئیات بافت خاک در این منطقه را فراهم می‌کند.

(ب) در مدل نشان می‌دهد. خروجی مدل WRF-Chem برای نقشه بافت خاک به شکل کسر بافت خاک با درصد میزان رُس، سیلت و ماسه داده شده است (شکل ۲-الف)، در حالی که داده‌های جدید براساس ۱۲ کُد ذکر شده دسته‌بندی می‌شود (شکل ۲-ب). همان‌طور که در شکل



(ب)



(الف)

شکل ۲. (الف) نقشه کسر بافت خاک با داده‌های موجود (ب) بافت خاک با داده‌های جدید وارد شده در مدل برای منطقه خاورمیانه. کدهای به‌کاررفته در قسمت (ب) به‌ترتیب معرف: ۱- ماسه، ۲- ماسه لومی، ۳- لوم ماسه‌ای، ۴- لوم، ۵- لوم سیلتی، ۶- رُس ماسه‌ای، ۷- لوم رُس لومی، ۸- لوم رُس سیلتی و ۹- رُس ماسه‌ای، ۱۰- رُس سیلتی، ۱۱- رُس و ۱۲- رُس سنگین است

جدول ۲. نمونه داده‌های بافت خاک به‌کار رفته در این مقاله.

نوع خاک زوبلر	کدقاره	درصد ماسه	درصد سیلت	درصد رُس	کد USDA
۱	۲	۰/۸۹	۰/۰۷	۰/۰۴	۲
۱	۳	۰/۸۹	۰/۰۷	۰/۰۴	۲
۱	۵	۰/۸۹	۰/۰۷	۰/۰۴	۲
۱	۱۰	۰/۵۸	۰/۲۶	۰/۱۶	۳
۱	۷	۰/۶۵	۰/۱	۰/۲۵	۶
۱	۸	۰/۶۵	۰/۱	۰/۲۵	۶
۱	۹	۰/۶۵	۰/۱	۰/۲۵	۶
۱	۴	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۵۹	۱۱
۱	۶	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۵۹	۱۱
۲	۱۰	۰/۹۲	۰/۰۶	۰/۰۲	۱
۲	۲	۰/۶۵	۰/۲۹	۰/۰۶	۳
۲	۳	۰/۶۵	۰/۲۹	۰/۰۶	۳
...

۸ تعیین چشمه‌های غبار منطقه

در مدل WRF-Chem داده ورودی چشمه غبار وجود ندارد، ولی با تعیین و وارد کردن مناطق مستعد گسیل غبار در مدل WRF-Chem می‌توان میزان گسیل غبار را در منطقه با دقت بیشتری برآورد کرد. برای تعیین چشمه‌های غبار در منطقه خاورمیانه از ترکیب داده‌های توپوگرافی، پوشش گیاهی و بافت خاک استفاده می‌شود. با ترکیب این داده‌ها می‌توان چشمه‌های احتمالی غبار موجود در منطقه را تعیین کرد، به طوری که بیابان‌های مهم منطقه را شامل شود.

برای داده‌های توپوگرافی از شبکه‌ای که شامل داده‌های جهانی با فاصله افقی کمان ۳۰ ثانیه‌ای است، استفاده شده است. این داده‌ها ویرایش جدیدی از داده‌های توپوگرافی جهانی است که جزئیات بیشتری نسبت به داده‌های قدیمی تر فراهم می‌کند. داده‌های قدیمی با تفکیک افقی ۱۰ کیلومتر در شبکه‌ای با فاصله کمانی ۵ دقیقه عرضه شده بود (رو و همکاران، ۱۹۹۵)، ولی داده‌های جدید با فاصله افقی کمان ۳۰ ثانیه‌ای تهیه و در پایگاه <http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30> قابل دسترسی است. این داده‌ها برای کاربردهای قاره‌ای و منطقه‌ای، مانند مدل‌سازی اقلیمی، نقشه‌برداری پوشش سطح زمین در مقیاس قاره‌ای، استخراج الگوهای زهکشی برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی (دنیلسون، ۱۹۹۶؛ وردین و گرینلی، ۱۹۹۶) و تصحیح‌های جوی و هندسی برای داده‌های تصاویر ماهواره (گش، ۱۹۹۶) به کار می‌رود. ارتفاع این داده‌ها از ۴۰۷- تا ۷۵۲ متر و فرمت داده‌ها DEM است که در نرم‌افزار ARC/INFO و یا ArcView با تبدیل کردن شناسه آن به BIL قابل بازکردن است. برای دسترسی به مقادیر ارتفاع، بایستی فایل را با دستور IMAGEGRID به شبکه تبدیل کرد.

برای ترکیب داده‌ها، شرایط بحرانی را برای هر دسته

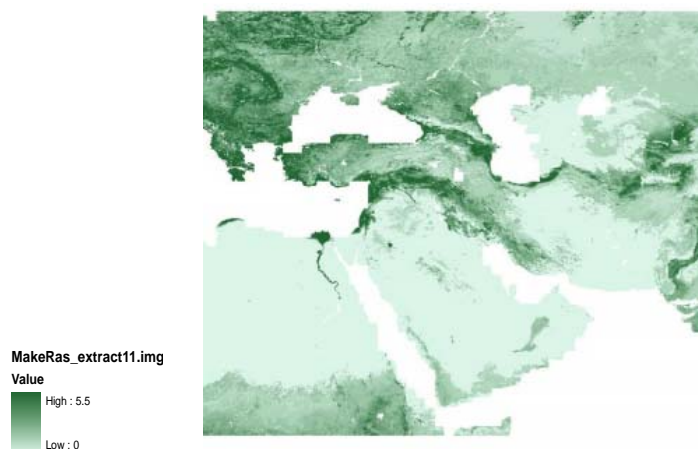
داده طوری تعیین می‌کنیم که دشت کویر و دشت لوت در ایران به منزله سطح پایه در چشمه‌ها مشاهده شود. با آزمایش‌های متعدد روی ترکیب سه دسته داده در نرم‌افزار ArcGis شرایط بحرانی برای تعیین چشمه‌های غبار در منطقه خاورمیانه با سه شرط زیر به دست آمد:

$$LAI < LAI_c, H < H_c, S = S_c \quad (2)$$

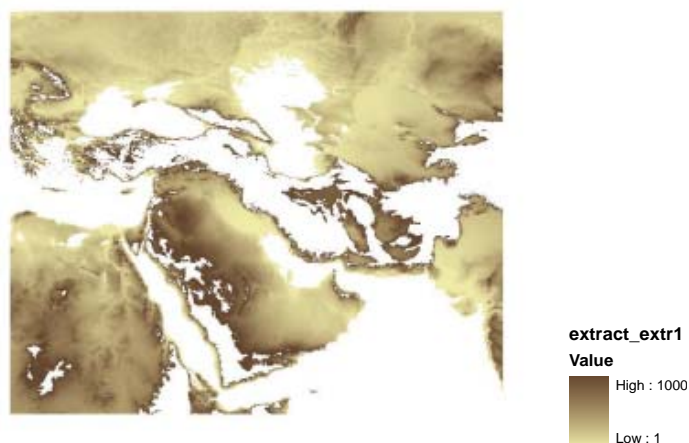
LAI_c مقدار بحرانی برای شاخص سطح برگ است. محدوده مقدار شاخص سطح برگ برای منطقه خاورمیانه با داده‌های حس‌گر مادیس به کار رفته در این مقاله بین صفر تا ۵/۵ بوده است (شکل ۳). با آزمایش‌های متعدد روی داده‌های پوشش گیاهی منطقه مقدار ۰/۲ برای LAI_c برآورد شده است. این مقدار طوری تعیین شده است که بیابان‌های موجود در مناطق سودان، عربستان سعودی، عراق، ایران و افغانستان را طبق کمربند جهانی غبار (پراسپرو و همکاران، ۲۰۰۲) دربرگیرد. مقدار بحرانی شاخص سطح برگ برای صحرای افریقا ۰/۳ برآورد شده است (شائو و همکاران، ۲۰۱۰).

H_c ارتفاع بحرانی توپوگرافی منطقه است که با توجه به ارتفاع دشت کویر و دشت لوت به منزله ارتفاع پایه در منطقه مورد بررسی، مقدار ۱۰۰۰ متر بالای سطح دریا برای تعیین چشمه‌های غبار به کار رفته است. شکل ۴ نقشه توپوگرافی منطقه خاورمیانه برای ارتفاع بحرانی به کار رفته در تعیین چشمه‌های غبار منطقه خاورمیانه را نشان می‌دهد. ارتفاع بحرانی توپوگرافی برای منطقه افریقا ۵۰۰ متر تعیین شده است (شائو و همکاران، ۲۰۱۰).

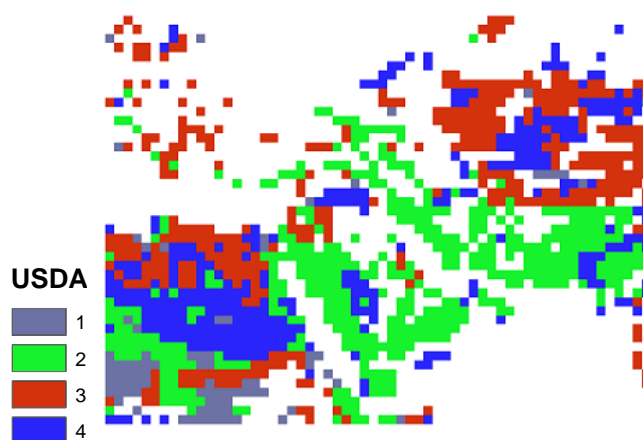
S_c نوع خاک قابل فرسایش در نظر گرفته می‌شود. برای منطقه خاورمیانه چهار نوع خاک ماسه، رُس، لوم رُس ماسه‌ای و لوم برای تعیین مناطق مستعد غبار فرض شده است که نقشه این چهار نوع خاک بر طبق داده‌های بافت خاک و کدهای USDA برای منطقه خاورمیانه در شکل ۵ نشان داده شده است.



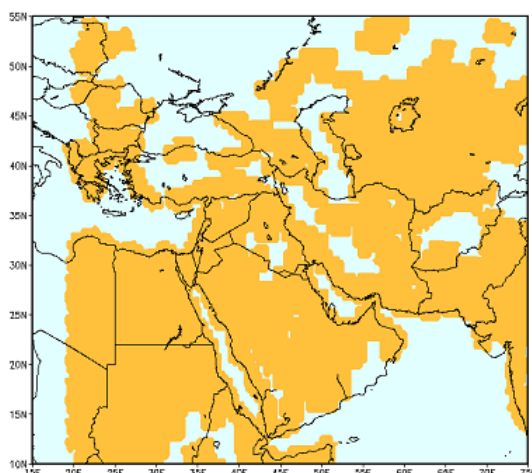
شکل ۳. نقشه شاخص سطح برگ برای منطقه خاورمیانه که مناطق با LAI_c به کاررفته در تعیین چشمه‌های غبار را مشخص می‌کند.



شکل ۴. نقشه توپوگرافی منطقه خاورمیانه برای ارتفاع بحرانی موثر در تعیین چشمه‌های غبار.



شکل ۵. نقشه خاک قابل فرسایش برای تعیین مناطق مستعد گسیل غبار در منطقه خاورمیانه (۱. ماسه، ۲. رس، ۳. لوم رس ماسه‌ای و ۴. لوم).



شکل ۶. نقشه چشمه‌های غبار تعریف شده در مدل WRF-Chem با ترکیب داده‌های توپوگرافی، پوشش گیاهی و بافت خاک در منطقه خاورمیانه.

می‌گیرند. توزیع اندازه ذرات در ۷ دسته و توزیع جرمی آنها نیز به شکل خطی بسته به شعاع هر دسته تغییر می‌کند (تگن و لیسبس، ۱۹۹۶). طبقه‌بندی شعاع هفت دسته به این شکل تعریف می‌شود: $0.1 - 0.18$ ، $0.18 - 0.3$ ، $0.3 - 0.6$ ، $0.6 - 1$ ، $1 - 1.8$ ، $1.8 - 3$ و $3 - 6 \mu\text{m}$ که شعاع‌های موثر به ترتیب برای هر دسته عبارت از 0.15 ، 0.25 ، 0.4 ، 0.8 ، 1.5 ، 2.5 و $4 \mu\text{m}$ است. بر طبق تعریف وزارت کشاورزی آمریکا، ذرات با شعاع ۱ تا ۲۵ میکرون سیلت و ذرات کوچک‌تر از ۱ میکرون رُس هستند (هیل، ۱۹۸۲). ذرات سیلت از لحاظ معدن‌شناسی عمدتاً شامل کوارتز هستند، ولی اغلب با ذرات رُس به هم چسبیده پوشانده شده‌اند، و به همین دلیل خواص شیمیایی-فیزیکی آنها بسیار شبیه رُس است. چگالی جرمی رُس (دسته‌های ۱ تا ۴) و سیلت (دسته‌های ۵ تا ۷) به ترتیب $2/5$ و $2/65$ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. از آن‌جا که اختلاف سرعت‌های نشست گرانشی برای ذرات کوچک با شعاع 0.1 تا 1 میکرون اندک است، این ذرات در زمان انتقال تغییر نمی‌کنند. بنابراین، ۴ دسته اول ذرات در هنگام انتقال همانند یک گروه از ذرات رُس با شعاع موثر 0.75 میکرون رفتار می‌کنند. به دلیل بستگی شدید خواص

با ترکیب سه شرط برای داده‌های پوشش گیاهی، توپوگرافی و بافت خاک که معرف مناطق مستعد گسیل غبار در منطقه خاورمیانه هستند و وارد کردن داده‌های این مناطق در مدل WRF-Chem، می‌توان چشمه‌های غبار منطقه خاورمیانه را در مدل تعریف کرد. شکل ۶ ترکیب سه شرط به دست آمده را در منطقه خاورمیانه نشان می‌دهد. طبق شکل مناطق بیابانی مهم در خاورمیانه از جمله صحرای عربستان، سودان، دشت کویر، دشت لوت و مناطق بیابانی پاکستان دیده می‌شود.

۹ طرحواره گسیل غبار GOCART

ذرات معدنی موجود در جو دارای شعاعی در محدوده $0.1 \mu\text{m}$ تا $50 \mu\text{m}$ هستند (دوس، ۱۹۹۵). بلند شدن ذرات کوچک‌تر از $0.1 \mu\text{m}$ ، که گرایش به تشکیل ذرات بزرگ‌تر و یا انبوهش دارند، از سطح زمین به نیروهای چسبندگی و به هم پیوستگی وابسته است (شفر و شاتسچابل، ۱۹۹۲). ذرات بزرگ‌تر از $6 \mu\text{m}$ نیز، به دلیل نشست گرانشی، بیش از چند ساعت در جو باقی نمی‌مانند (تگن و فونگ، ۱۹۹۴) به همین دلیل، در مدل غبار GOCART ذرات با شعاع 0.1 تا $6 \mu\text{m}$ مورد بررسی قرار

GOCART، چشمه‌های احتمالی غبار فقط در سطوح خاک بدون گیاه در نظر گرفته و داده‌های پوشش گیاهی $1^\circ \times 1^\circ$ از پایگاه داده‌ای AVHRR اخذ می‌شود (دفریز و تاونشند، ۱۹۹۴). شکل ۷ توزیع جهانی تابع چشمه که روی شبکه GOCART با تفکیک $2^\circ \times 2^\circ$ شبکه‌بندی شده است، گسیل غبار محاسبه شده و ضریب هواویز TOMS را نشان می‌دهد. طبق این شکل اغلب مناطقی که بیشترین مقدار تابع چشمه را دارند با نقاط داغ ضریب هواویز TOMS همخوان هستند.

برای تعیین میزان گسیل غبار در طرحواره گسیل GOCART از رابطه تجربی گیلت و پسی (۱۹۸۸)، که بر پایه متغیرهای سرعت باد سطحی و سرعت آستانه فرسایش بادی بنا شده است، استفاده می‌شود. شار F_p برای ذرات بلند شده از سطح در دسته اندازه p به شکل زیر برآورد می‌شود:

$$F_p = \begin{cases} CS_s p u_{10m}^2 (u_{10m} - u_t) & , u_{10m} > u_t \\ 0 & , u_{10m} \leq u_t \end{cases} \quad (۴)$$

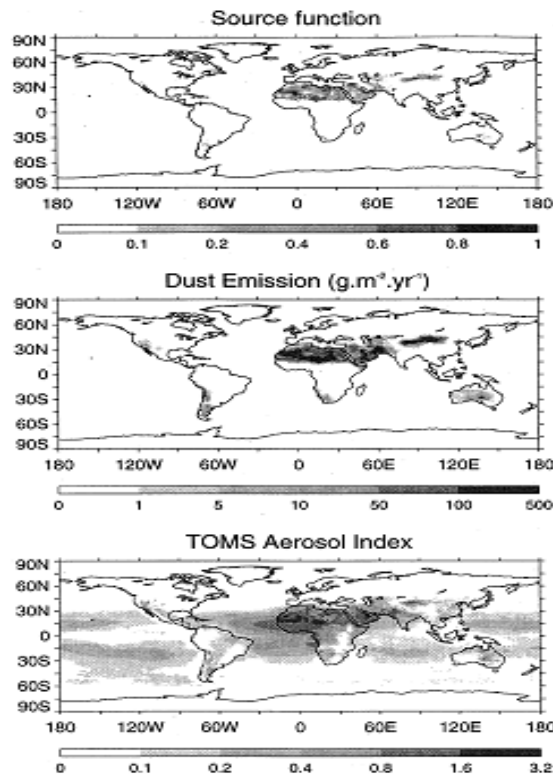
که در آن، C ضریب با مقدار $1/10 \text{ gs}^{-2}$ ، S تابع چشمه، که پتانسیل مناطق چشمه غبار را مشخص می‌کند، u_{10m} سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر و u_t سرعت آستانه است. s_p کسر اندازه ذرات غبار در هر یک دسته شعاع ذرات غبار نسبت به گسیل کل است. از آنجا که کسر اندازه‌های رُس و سیلت بسته به نوع خاک متفاوت است و با توجه به عدم قطعیت در داده‌های بافت خاک، توزیع ساده‌ای برای اندازه ذرات در ماجول گسیل غبار GOCART در نظر گرفته شده است (تگن و فونگ، ۱۹۹۴). بر طبق این توزیع، کسر رُس قابل فرسایش $1/10$ میزان جرم کل سیلت گسیل شده را نشان می‌دهد. بنابراین، مقدار s_p برای دسته اندازه اول از توزیع اندازه ذرات یعنی $1 \mu\text{m} - 1/1$ برابر با $0/1$ و برای سه دسته اندازه $1 \mu\text{m} - 1/8$ ، $1 \mu\text{m} - 3/8$ و $3 \mu\text{m} - 6$ برابر با $1/3$ است.

اپتیکی به توزیع اندازه ذرات، این گروه ذرات دوباره به چهار دسته اندازه با کسر جرمی برای هر دسته به ترتیب برابر $0/9$ ، $1/8$ ، $4/23$ و $6/67$ توزیع می‌شوند (تگن و لیسس، ۱۹۹۶).

برای تعیین چشمه‌های غبار در مدل GOCART، از تابع چشمه S ، که احتمال کل رسوب‌های جمع شده در یک سلول شبکه است، استفاده می‌شود. برای آشنایی بیشتر با مفهوم تابع چشمه، عوامل موثر در احتمال شکل گرفتن یک چشمه غبار را بررسی می‌کنیم. یکی از عوامل موثر در تشکیل چشمه‌های گرد و غبار، فرایند فرسایش صخره‌ها است که سبب نشست رسوبات رُسی و شکل‌گیری آبرفت‌ها روی سطح زمین می‌شود (ولد، ۱۹۹۲). از آنجا که اطلاعات دقیقی از توزیع آبرفت‌های جهان وجود ندارد، پتانسیل مناطق برای رسوب‌گذاری با مقایسه ارتفاع هر نقطه شبکه $1^\circ \times 1^\circ$ با آبرفت هیدرولوژیکی محیط سنجیده می‌شود. با توجه به این واقعیت که بیشتر آبرفت‌های هیدرولوژیکی در مناطق خشک دارای اندازه 10° هستند، برای ساده‌تر کردن پربند(کنتر)ها می‌توان شبکه را $10^\circ \times 10^\circ$ فرض کرد. البته برای تعیین دقیق توزیع چشمه‌ها لازم است که از یک مدل هیدرولوژی برای ترسیم پربند آبرفت استفاده شود. بعد از تعیین آبرفت‌ها، تابع چشمه را که طبق تعریف کسر آبرفت‌های در دسترس برای فرسایش بادی است، به شکل زیر تعریف می‌کنیم:

$$S = \left(\frac{z_{\max} - z_i}{z_{\max} - z_{\min}} \right)^5 \quad (۳)$$

طبق تعریف S احتمال رسوبات جمع شده در سلول i ام شبکه با ارتفاع z_i ، و z_{\max} و z_{\min} به ترتیب بیشترین و کمترین ارتفاع در توپوگرافی محدوده شبکه $10^\circ \times 10^\circ$ است. هدف از این بخش تعیین دقیق مقدار رسوبات نیست، بلکه توصیف شرایط مناطقی است که بیشترین احتمال رسوب را دارند. در ماجول گسیل



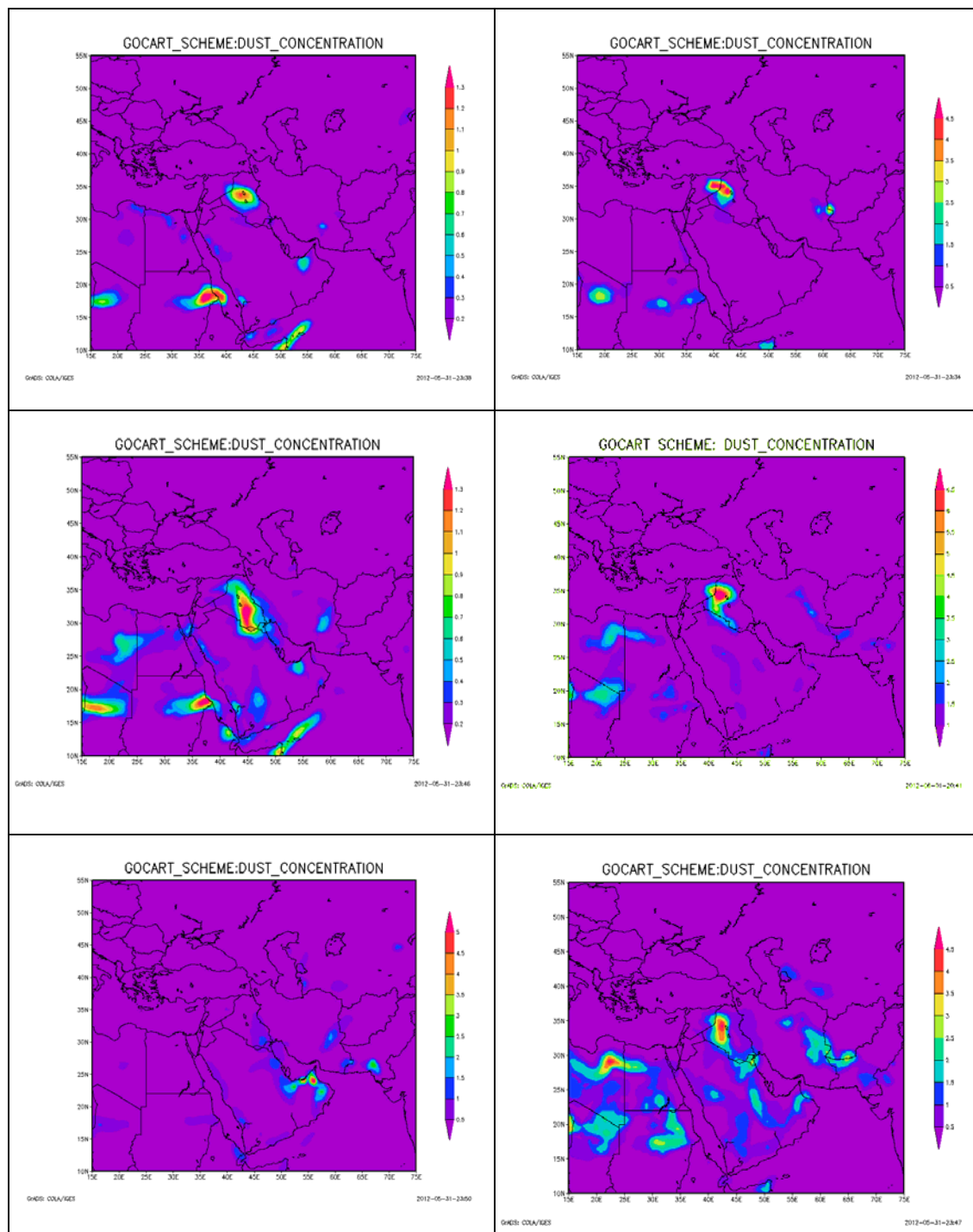
شکل ۷. مقایسه بین (الف) تابع چشمه غبار، (ب) گسیل غبار و (ج) توزیع ضریب هواویز TAMS. گسیل غبار و ضریب هواویز TAMS مقادیر میانگین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۰ است. (گینو و همکاران، ۲۰۰۱).

دسته اندازه ذرات به ترتیب برابر با $1/5 \text{ ms}^{-2}$ و ms^{-2} است. معادله (۵) که بر پایه تحقیق روی ذرات ماسه‌ای درشت (شعاع بزرگ‌تر از $30 \mu\text{m}$) به دست آمده است، افزایش سرعت آستانه را با افزایش اندازه ذره نشان می‌دهد. درحالی‌که، آزمایش‌های تونل باد نشان می‌دهند که سرعت آستانه ذرات کوچک‌تر از $35 \mu\text{m}$ با افزایش شعاع کاهش می‌یابد (ایورسن و وایت، ۱۹۸۲؛ مارتیکرنا و برگامتی، ۱۹۹۵؛ شائو و همکاران، ۱۹۹۶). بنابراین، انتظار می‌رود که سرعت‌های آستانه به دست آمده از معادله (۵) برای ذرات کوچک‌تر از $30 \mu\text{m}$ کوچک‌تر از سرعت‌های آستانه حاصل از آزمایش‌های تونل باد باشد. در نتیجه میزان گسیل غبار حاصل از معادله (۵) بیشتر از مقدار مشاهدات می‌شود.

مهم‌ترین عامل موثر در سرعت آستانه u_t نیروهای پیوستگی بین ذرات است که به اندازه ذرات و رطوبت خاک بستگی دارد (پای، ۱۹۸۹). در طرحواره گسیل غبار GOCART از رابطه اصلاح شده بلی (۱۹۶۴) برای تعیین سرعت آستانه باد با وارد کردن داده‌های رطوبت سطح از پایگاه داده‌ای GEOS DAS استفاده می‌شود:

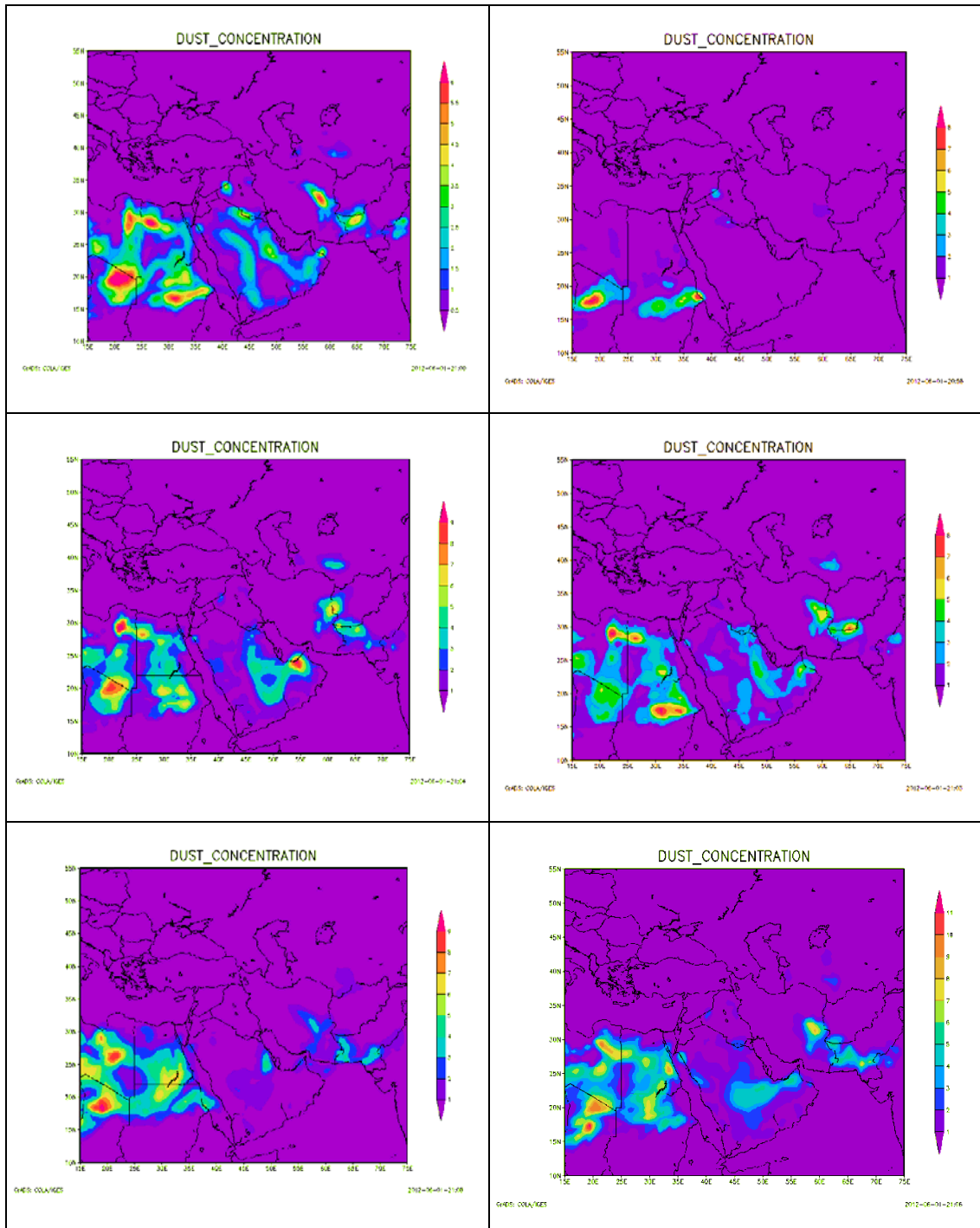
$$u_t = \begin{cases} A \sqrt{\frac{\rho_p - \rho_a}{\rho_a}} g \Phi_p (1.2 + 0.2 \log_{10} w) & , w < 0.5 \\ \infty & , w \geq 0.5 \end{cases} \quad (5)$$

که طبق تعریف $A = 6.5$ پارامتر بدون بُعد، w رطوبت سطح که بین 0.001 تا 1 تغییر می‌کند، Φ_p قطر ذره، g شتاب گرانش و ρ_p و ρ_a به ترتیب چگالی ذره و هوا است. با فرض اندازه $1/\mu\text{m}$ برای رطوبت سطحی، مقادیر نوعی سرعت آستانه برای کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین



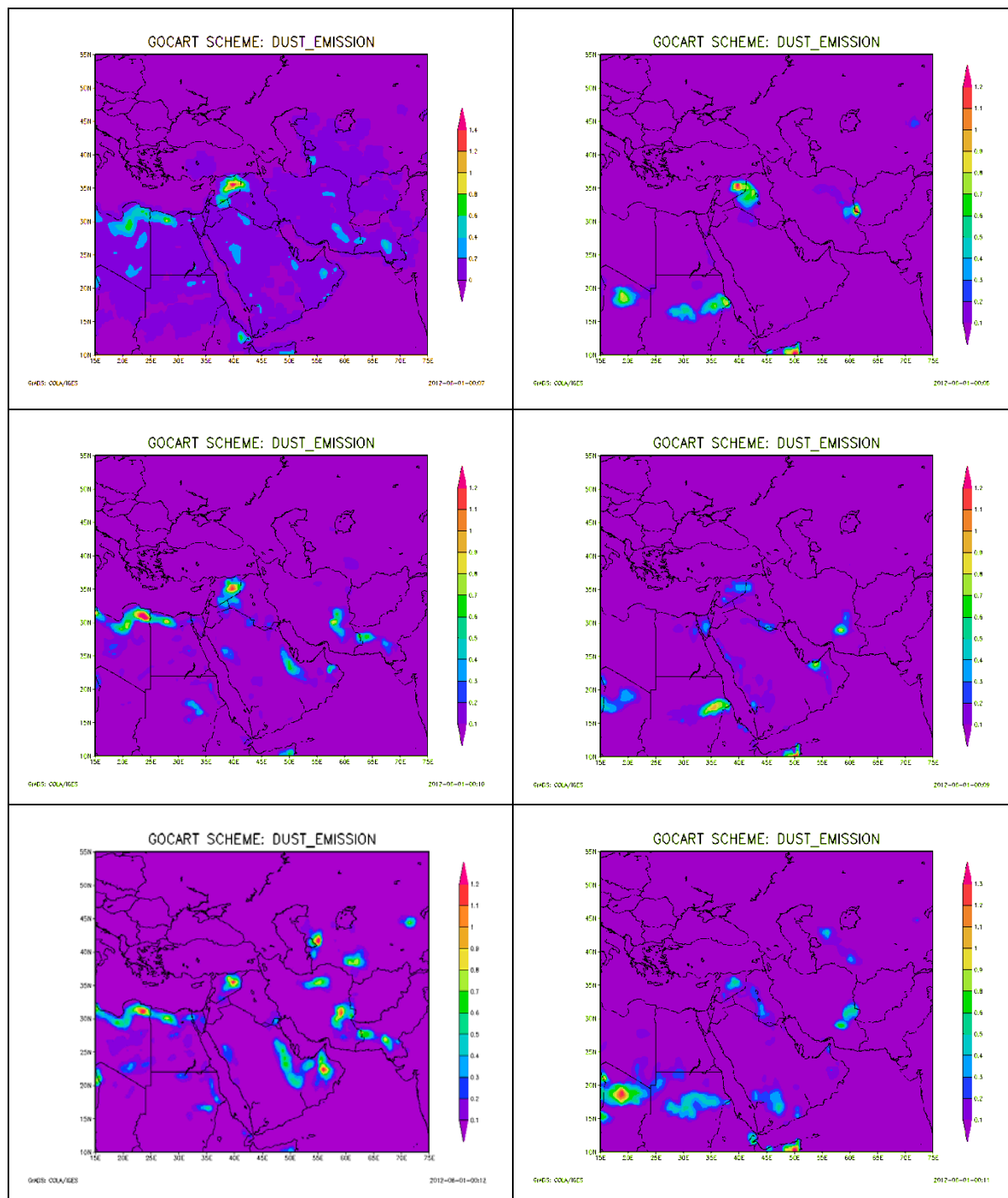
(الف)

شکل ۸. شبیه‌سازی غلظت غبار (mgm^{-3}) (الف) با داده‌های موجود در زمینه (ب) با داده‌های جدید وارد شده در مدل WRF-Chem برای روزهای ۱۳ تا ۱۸ تیر ماه ۱۳۸۸ در منطقه خاورمیانه.



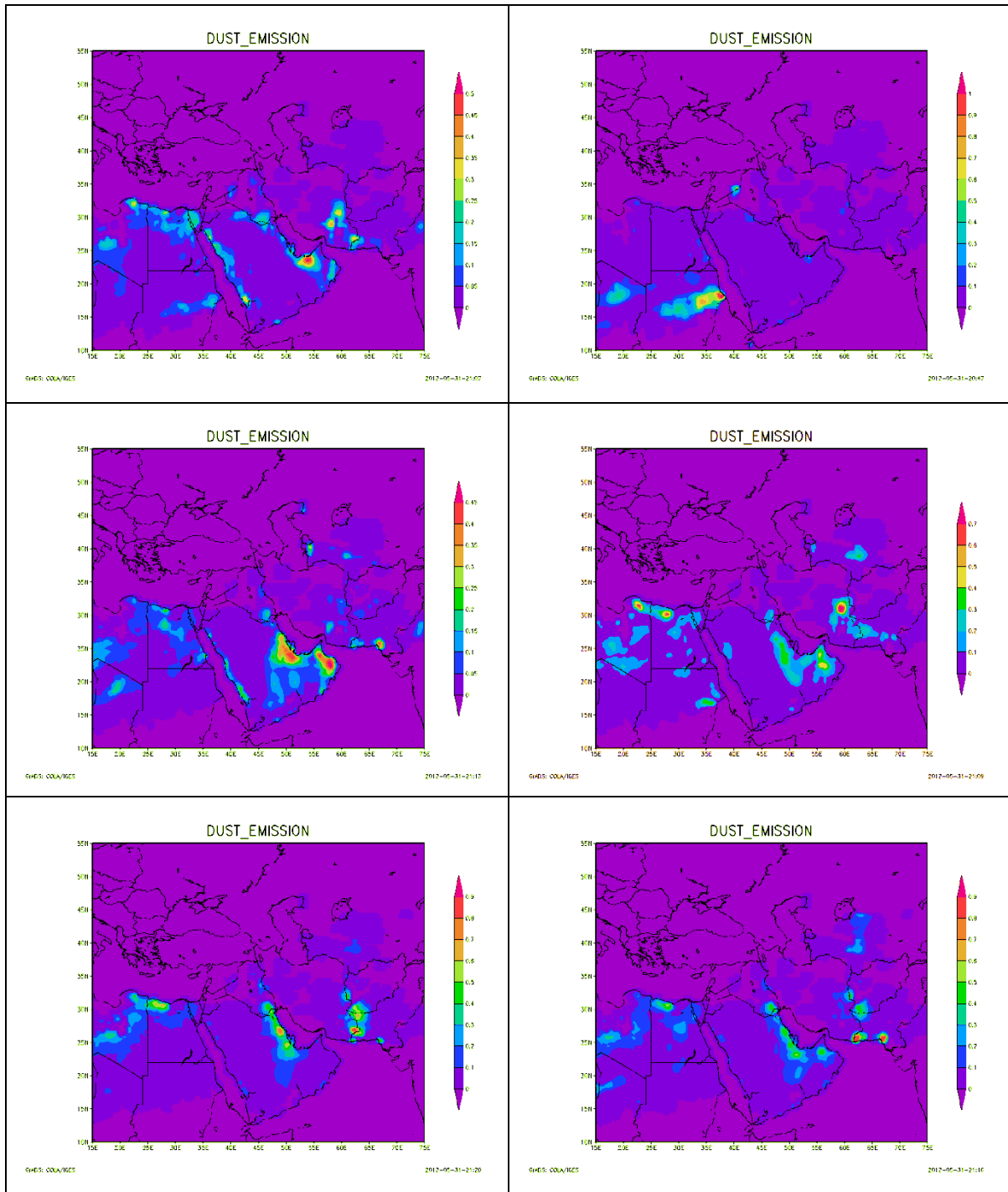
(ب)

ادامه شکل ۸ شبیه‌سازی غلظت غبار (mgm^{-3}) (الف) با داده‌های موجود در زمینه (ب) با داده‌های جدید وارد شده در مدل WRF-Chem برای روزهای ۱۳ تا ۱۸ تیر ماه ۱۳۸۸ در منطقه خاورمیانه.



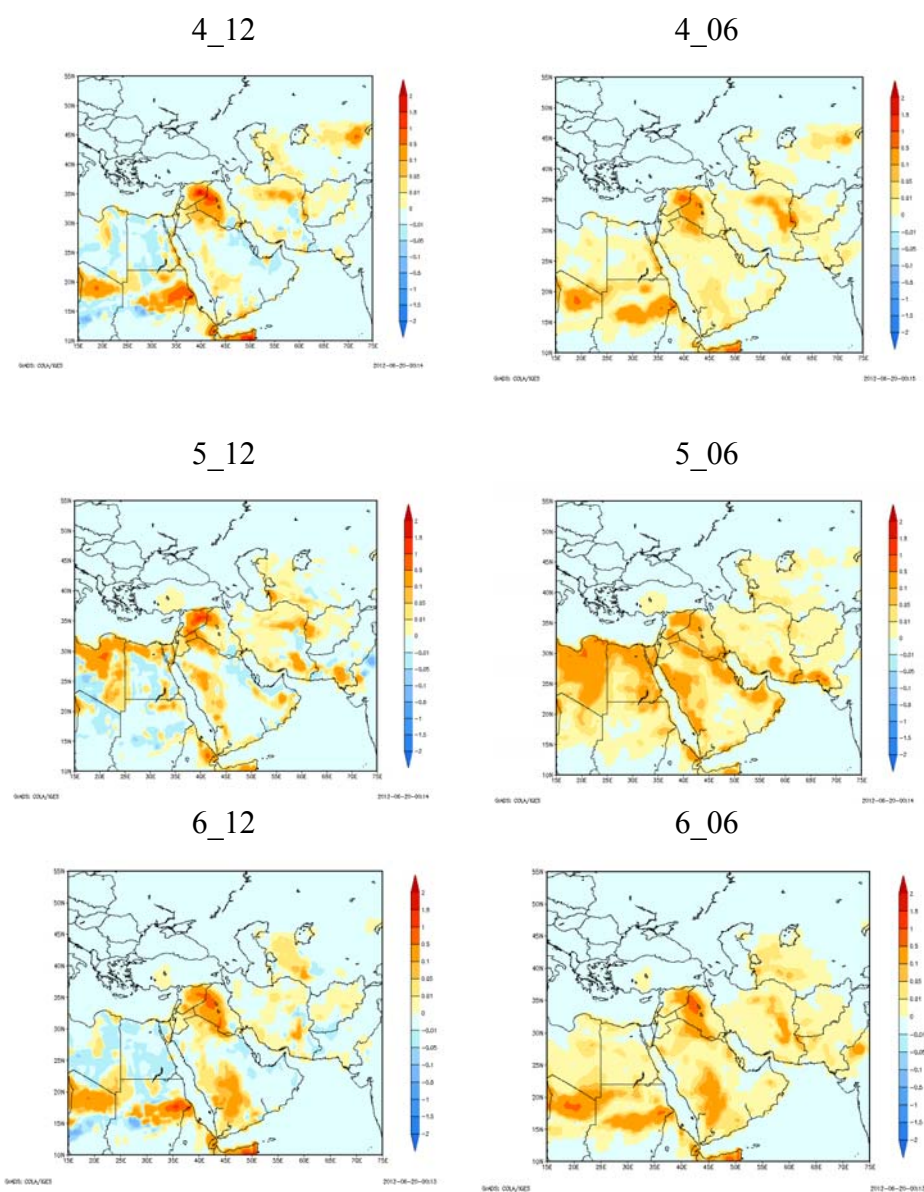
(الف)

شکل ۹. شبیه‌سازی گسیل غبار ($\text{mg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) با (الف) داده‌های موجود در زمینه و (ب) داده‌های جدید وارد شده در مدل WRF-Chem برای روزهای ۱۳ تا ۱۸ تیر ماه ۱۳۸۸ در منطقه خاورمیانه.

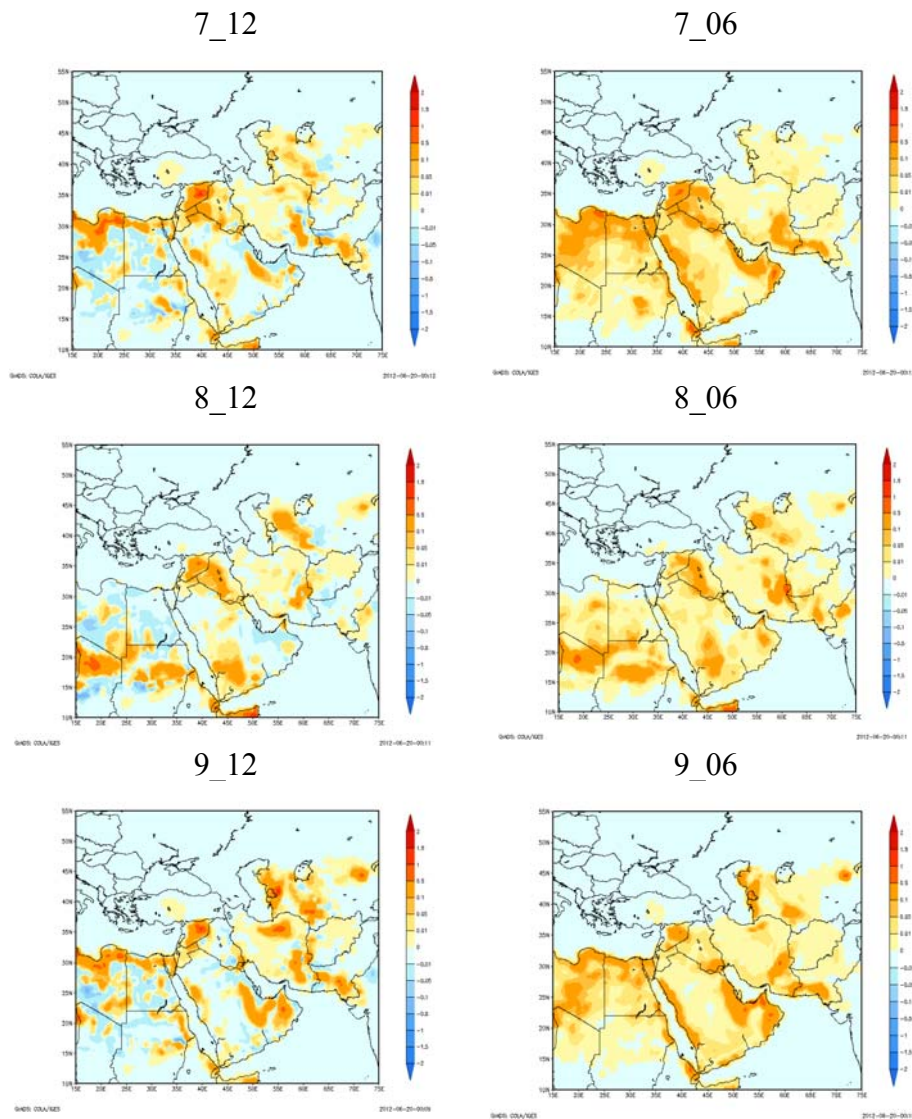


(ب)

ادامه شکل ۹. شبیه‌سازی گسیل غبار ($\text{mgm}^{-2}\text{s}^{-1}$) با (الف) داده‌های موجود در زمینه و (ب) داده‌های جدید وارد شده در مدل WRF-Chem برای روزهای ۱۳ تا ۱۸ تیر ماه ۱۳۸۸ در منطقه خاورمیانه.



شکل ۱۰. تفاوت میزان گسیل غبار برآوردشده با مدل WRF-Chem با (الف) داده‌های موجود در زمینه و (ب) داده‌های جدید وارد شده در مدل WRF-Chem برای روزهای ۱۳ تا ۱۸ تیر ماه ۱۳۸۸ در منطقه خاورمیانه.



ادامه شکل ۱۰. تفاوت میزان گسیل غبار برآوردشده با مدل WRF-Chem با (الف) داده‌های موجود در زمینه و (ب) داده‌های جدید وارد شده در مدل WRF-Chem برای روزهای ۱۳ تا ۱۸ تیر ماه ۱۳۸۸ در منطقه خاورمیانه.

۱۰ نتیجه‌گیری

آبرفت مجاور آن به دست می‌آید. این در حالی است که داده‌های جدید امکان تعیین مناطق چشمه غبار را با ترکیب داده‌های پوشش گیاهی، بافت خاک و توپوگرافی فراهم می‌سازد. بنابراین میزان خطا در شناسایی چشمه‌های غبار و به دنبال آن تعیین میزان گسیل و نحوه توزیع غبار براساس داده‌های جدید کاهش می‌یابد.

شکل‌های ۸ و ۹ نتایج شبیه‌سازی میزان غلظت و

در این قسمت به بررسی شبیه‌سازی میزان گسیل و غلظت غبار با داده‌های موجود در مدل و همچنین با داده‌های جدید وارد شده در مدل در منطقه خاورمیانه می‌پردازیم. در مدل WRF-Chem از تابع چشمه برای وارد کردن شرایط سطحی مناطق مستعد گسیل غبار استفاده می‌شود که این تابع چشمه نیز براساس تفاوت ارتفاع هر نقطه با

می‌شوند تا مقادیر برآورد شده گسیل در ساعت‌های ۰۰ و ۱۲ در بعضی مناطق بیشتر شود. این مناطق شامل ناحیه کوچکی از شرق ایران (دشت لوت)، حاشیه شرقی صحرای عربستان سعودی، مرز افغانستان و پاکستان، حاشیه شرقی عراق و به‌صورت پراکنده در صحرای افریقا می‌شود. این مناطق بخشی از حاشیه چشمه‌های غبار موجود در منطقه خاورمیانه هستند که با وارد کردن داده‌های سطح جدید در برآورد میزان گسیل غبار با مدل WRF-Chem تاثیرگذار خواهند بود. این تفاوت، گستردگی الگوی گسیل غبار با داده‌های جدید را در اطراف چشمه اصلی به‌وجود می‌آورد که در قسمت ب شکل ۹ نیز دیده می‌شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از موسسه ژئوفیزیک و هواشناسی دانشگاه کلن در آلمان به‌خاطر دراختیار گذاشتن اطلاعات و گداهای موردنیاز این تحقیق تشکر می‌کنند. نظرات و پیشنهادهای سازنده داوران محترم نیز موجب بهبود این مقاله شده است.

منابع

مشایخی، ر.، ایران‌نژاد، پ. و علی‌اکبری بیدختی، ع.ع، ۱۳۸۹، شبیه‌سازی هواویزها و واداشت تابشی ناشی از آنها با استفاده از مدل جفت شده هواویز HAM و مدل میان‌مقیاس پیش‌بینی وضع هوا، م. فیزیک زمین و فضا، ۳۶(۲)، ۹۱-۱۰۷.

Alfaro, S. C., A. Gaudichet, L. Gomes, and Maillé, M., 1997, Modeling the size distribution of a soil aerosol produced by sandblasting, *J. Geophys. Res.*, **102**, 11239-11249.

Alfaro, S. C., and Gomes, L., 2001, Modeling mineral aerosol production by wind erosion: Emission intensities and aerosol size distribution in source areas, *J. Geophys. Res.*, **106**(D16), 18075-18084.

Belly, P. Y., 1964, Sand movement by wind, U.S.

گسیل غبار را با داده‌های موجود (الف) و با داده‌های جدید (ب) برای نمونه توفان غبار دوره ۱۳ تا ۱۸ تیرماه ۱۳۸۸ نشان می‌دهند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های گسیل و غلظت غبار، چهار چشمه عمده غبار که شامل سودان، عربستان سعودی و بخشی از عراق، ایران و افغانستان، و پاکستان می‌شود را نشان می‌دهد که هریک از این چشمه‌ها در طی رویداد غبار نقش‌های متفاوتی دارند؛ بدین معنی که در شروع توفان غبار چشمه‌های واقع در غرب منطقه خاورمیانه نقش عمده را دارند و با گسترش توفان چشمه‌های شرق خاورمیانه از جمله پاکستان و افغانستان به‌منزله چشمه‌های فرعی در این توفان نقش دارند. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که این توفان غبار بر فراز چشمه سودان شکل گرفته و با جریان‌های جنوب‌غربی به سمت شمال‌شرق تا ایران و ترکمنستان کشیده شده است. در پایان دوره، چشمه ضعیف‌تری در جنوب شرق ایران در بار غبار موجود در منطقه مشارکت کرده است.

مقایسه قسمت‌های الف و ب شکل ۹ بیان می‌کند که هر دو الگو چشمه‌های اصلی غبار منطقه خاورمیانه را نشان می‌دهند ولی الگوی گسیل حاصل از داده‌های جدید سطح وارد شده در مدل، جزئیات بیشتری را برای مناطق گسیل غبار نشان می‌دهد، به‌طوری‌که علاوه بر چشمه اصلی غبار، مناطق اطراف چشمه نیز در گسیل غبار سهم داشته است و الگوی گسیل غبار پراکنده‌گی بیشتری نسبت به خروجی داده‌های موجود در مدل دارد.

شکل ۱۰ تفاوت میزان گسیل غبار برآورد شده با مدل WRF-Chem را با داده‌های موجود در مدل و داده‌های جدید سطح وارد شده در مدل برای ساعت ۰۶ و ۱۲ نشان می‌دهد. نتایج حاصل از خروجی مدل برای تفاوت میزان گسیل غبار با داده‌های موجود در زمینه مدل، نشان می‌دهد که مدل برای ساعت‌های ۰۶ و ۱۸ مقادیر بیشتری را برآورد می‌کند در حالی که داده‌های جدید سطح باعث

- Academic, San Diego, Calif.
- Huebert, B. J., Bates, T., Russell, P. B., Shi, G., Kim, Y. J., Kawamura, K., Carmichael, G. and Nakajima, T., 2003, An overview of ACE-Asia: Strategies for quantifying the relationships between Asian aerosols and their climatic impacts, *J. Geophys. Res.*, 108 (D23), 8633, doi: 10.1029/2002JD003178.
- In, H. J., and Park, S. U., 2003, A simulation of long-range transport of yellow sand observed in April 1998 in Korea, *Atmos. Environ.*, **36**, 4625-4636.
- Iversen, J. D., and White, B. R., 1982, Saltation threshold on Earth, Mars and Venus, *Sedimentology*, **29**, 111-119.
- Kim, S. W., Yoon, S. C., and Kim, J., 2008, Columnar Asian dust particle properties observed by sun/sky radiometers from 2000 to 2006 in Korea, *Atmos. Environ.*, **42**, 492-504.
- Liu, C. M., Young, C. Y., and Lee, Y. C., 2006, Influence of Asian dust storms on air quality in Taiwan, *Sci. Total Environ.*, 368, 884-897.
- Martcorena, B., and Bergametti, G., 1995, Modeling the atmospheric dust cycle, I, Design of a soil-derived dust emission scheme, *J. Geophys. Res.*, **100**(16), 16415-16430.
- Nickling, W., and Gillies, J., 1993, Dust emission and transport in Mali, West Africa, *Sedimentology*, **40**, 859-868.
- Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E., and 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, *Rev. Geophys.*, **40**(1), 2-31.
- Pye, K., 1989, *Aeolian Dust and Dust Deposits*, 2nd ed., Academic San Diego, Calif.
- Row, L. W., Hastings, D. A., and Dunbar, P. K., 1995, *Terrain Base Worldwide Digital Terrain Data -Documentation Manual*, CD-ROM Release 1.0, National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado.
- Scheffer, F., and Schachtschabel, P., 1992, *Lehrbuch der Boden-kunde*, 13th ed., F. Enke, Frankfurt, Germany.
- Shao, Y., 2004, Simplification of a dust emission scheme and comparison with data, *J. Geophys. Res.*, 109, D10202, doi: 10.1029/2003JD004372.
- Shao, Y., Fink, A. H. and Klose, M., 2010, Numerical simulation of a continental scale Saharan dust event, *J. Geophys. Res.*, 115, D13205, doi: 10.1029/2009JD012678.
- Shao, Y., Jung, E., and Leslie, L. M., 2002, Army Coasta Eng. Res. Tech. Memo. 1, 38 pp.
- 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, *Environ. Res.*, **95**, 151-155.
- Claiborn, C. S., Finn, D., Larson, T. V., and Koenig, J. Q., 2000, Windblown dust contribution to high PM2.5 concentrations, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, **50**, 1440-1455.
- Coakley Jr., J. A., Cess, R. C. and Yurevich, F. B., 1983, The effect of tropospheric aerosols on the earth's radiation budget: a parameterization for climate models, *J. Atmos. Sci.*, **40**, 116-138.
- Danielson, J. J., 1996, Delineation of drainage basins from 1 km African digital elevation data. In: Pecora Thirteen, *Human Interactions with the Environment - Perspectives from Space*, Sioux Falls: South Dakota, August, 20-22.
- DeFries, R. S., and Townshend, J. R. G., 1994, NDVI derived land cover classification at a global scale, *Int. J. Remote Sens.*, 15, 3567-3586.
- Duce, R. A., 1995, Sources, distributions, and fluxes of mineral aerosols and their relationship to climate, In: *Dalhem Workshop on Aerosol Forcing of Climate*, R. J. Charlson and J. Heintzenberg (eds), pp. 43-72, John Wiley, New York.
- Gesch, D. B. and Larson, K. S., 1996, Techniques for development of global 1-kilometer digital elevation models, In: *Pecora Thirteen, Human Interactions with the Environment - Perspectives from Space: Sioux Falls, South Dakota*, August, 20-22.
- Gillette, D., 1977, Fine particulate emission due to wind erosion, *Trans. of the ASAE*, **20**(5), 890-897.
- Gillette, D. A., and Passi, R., 1988, Modeling dust emission caused by wind erosion, *J. Geophys. Res.*, **93**(14), 233-242.
- Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, J., Holben, B., Dubovik, O. and Lin, S. J., 2001, Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model, *J. Geophys. Res.*, **106**, 20255-20273.
- Gong, S. L., Zhang, X. Y., Zhao, T. L., McKendry, I. G., Jaffe, D. A., and Lu, N. M., 2003, Characterization of soil dust aerosol in China and its transport and distribution during 2001 ACE-Asia: 2. Model simulation and validation, *J. Geophys. Res.*, **108**(D9), 4262, doi: 10.1029/2002JD002633.
- Hillel, D., 1982, *Introduction to Soil Physics*,

- Uno, I., Carmichael, G. R., Streets, D. G., Tang, Y., Yienger, J. J., Satake, S., Wang, Z., Woo, J. H., Guttikunda, S., and Uematsu, M., 2003, Regional chemical weather forecasting system CFORS: Model descriptions and analysis of surface observations at Japanese island stations during the ACE-Asia experiment, *J. Geophys., Res.*, **108**, 8668.
- Uno, I., Wang, Z., Chiba, M., Chun, Y. S., Gong, S. L., Hara, Y., Jung, E., Lee, S. S., Liu, M., Mikami, M., Music, S., Nickovic, S., Satake, S., Shao, Y., Song, Z., Sugimoto, N., Tanaka, T., and Westphal, D. L., 2006, Dust model intercomparison (DMIP) study over Asia: Overview, *J. Geophys., Res.*, **111**, (D12), D12213, doi: 10.1029/2005JD006575.
- Velde, B., 1992, *Introduction to Clay Minerals*, Chapman and Hall, New York.
- Verdin, K. L., and Greenlee, S. K., 1996, Development of continental scale digital elevation models and extraction of hydrographic features, In: *Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling*, Santa Fe, New Mexico, January, 21-26.
- Wang, Z., Ueda, H., and Huang, M., 2000, A deflation module for use in modeling long-range transport of yellow sand over East Asia, *J. Geophys., Res.*, **105**, 26947-26960.
- Won, J. G., Yoon, S. C., and Kim, S. W., 2004, Estimation of direct radiative forcing of Asian dust aerosols with sun/sky radiometer and lidar measurements at Gosan: Korea, *J. Meteor., Soc. Japan*, **82**, 115-130.
- Numerical prediction of north-east Asian dust storms using an integrated wind erosion modeling system, *J. Geophys., Res.*, **107**, (D24), 4814, doi: 10.1029/2001JD001493.
- Shao, Y., Raupach, M. R., and Leys, J. F., 1996, A model for predicting aeolian sand drift and dust entrainment on scales from paddock to region, *Aust. J. Soil Res.*, **34**, 309-342, doi: 10.1071/SR9960309.
- Shao, Y., Yang, Y., Wang, J., Song, Z., Leslie, L. M., Dong, C., Zhang, Z., Lin, Z., Kanai, Y., Yabuki, S. and Chun, Y., 2003, Northeast Asian dust storms: Real-time numerical prediction and validation, *J. Geophys., Res.*, **108**, (D22), 4691, doi: 10.1029/2003JD003667.
- Sokolik, I., and Toon, O. B., 1996, Direct radiative forcing by anthropogenic airborne mineral aerosols, *Nature*, **381**, 681-683.
- Tegen, I., Lacis, A. A., and Fung, I. 1996, The influence of mineral aerosols from disturbed soils on the global radiation budget, *Nature*, **380**, 419-422, doi: 10.1038/380419a0.
- Tegen, I., and Fung, I., 1994, Modeling of mineral dust in the atmosphere: Sources, transport, and optical thickness, *J. Geophys., Res.*, **99**, 22 897-22 914.
- Tegen, I., and Lacis, A. A., 1996, Modeling of particle size distribution and its influence on the radiative properties of mineral dust aerosol, *J. Geophys., Res.*, **101**(19), 237-19, 244.