

شبیه‌سازی عددی طوفان ماسه و ریزگرد شدید شرق ایران با استفاده از مدل

WRF_Chem، مطالعه موردی: ۳۱ می و ۱ ژوئن ۲۰۱۱

الهام کارگر^{*}، جواد بداق جمالی^۲، عباس رنجبر سعادت آبادی^۳، مظاهر معین الدینی^۴، حمید گشتاسب^۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آلودگی های محیط زیست، دانشکده محیط زیست کرج

۲- عضو هیئت علمی دانشکده محیط زیست، کرج، ایران

۳- استادیار، پژوهشکده هواشناسی، تهران، ایران

۴- استادیار، پردیس دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۵- عضو هیئت علمی دانشکده محیط زیست، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۱۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۴/۱۵)

چکیده

قرار گرفتن کشور ایران در کمربند بیابانی سبب افزایش رخدادهای طوفان‌های ماسه و ریزگرد، به‌خصوص در نواحی جنوب شرقی آن شده و تأثیرات نامطلوبی بر محیط‌زیست دربرداشته است. مدیریت کارآمد این رویدادهای مخرب به شناخت ویژگی‌ها و گسترش آن‌ها نیاز مبرمی دارد. یکی از روش‌های شناخت پدیده ریزگرد شبیه‌سازی و پیش‌بینی آن است. در این تحقیق با استفاده از مدل جفت شده پیش‌بینی عددی وضع هوا به همراه شیمی (WRF_Chem) و طرحواره GOCART طوفان ماسه و ریزگرد شدید منطقه سیستان برای تاریخ ۳۱ می و ۱ ژوئن سال ۲۰۱۱ میلادی شبیه‌سازی، داده‌های مربوط به گردو غبار از سازمان محیط زیست و هواشناسی اخذ و تصاویر ماهواره‌ای مربوط به این رخداد از سنجنده MODIS دریافت و بصورت رنگ حقیقی توسط نرم افزار ERDAS IMAGIN نمایش داده شد تا با شناسایی منبع، الگوی ایجاد طوفان ماسه و ریزگرد، شناسایی مسیر حرکت ذرات و پیش‌بینی این رخداد اقدامات و هشدارهای لازم جهت کاهش اثرات آن انجام داد. نتایج مدل و تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که منطقه سیستان بخصوص بستر خشک تالاب هامون واقع در شرق ایران، چشمه اصلی طوفان ماسه و ریزگرد بوده است. هم‌چنین براساس خروجی مدل جریانات باد در جهت شمالی-جنوبی بر روی ایران وزش داشته که با همگرا شدن این جریانات در قسمت‌های شرق ایران سبب ایجاد بادهای شدید در ترازهای زیرین جو، برخواستن و افزایش غلظت ریزگرد، افزایش بار ریزگرد ستون جو و انتقال آن به نواحی جنوبی بخصوص دریای عمان شده است. نتایج مدل نشان داد که شکل‌گیری طوفان‌های منطقه سیستان با توجه به ایجاد بادهای محلی بشدت از ویژگی‌های جغرافیایی محلی متأثر می‌گردد.

کلید واژگان: شبیه‌سازی ریزگرد، طوفان سیستان، سنجنده MODIS، WRF_Chem، SDS

۱. مقدمه

ثانیه (حدود ۳۰ نات) تجاوز و دید افقی به کمتر از یک کیلومتر برسد، طوفان ریزگرد (دارای ذرات زیر ۲۰ میکرومتر) نامیده می شود (Gouide and Midelton, 2006). بزرگتر از ۲۰ میکرومتر بوده و طبیعتاً (Karami et al., 2013) فقط در مجاورت سطح زمین (پایین تر از ۳/۵ متر) حرکت و در مقیاس محلی دید را کاهش می دهند (Almazroui, 2013; Cuevas, 2013). اداره هواشناسی چین، طوفان های ماسه و گردوغبار (SDS) را بر اساس نوع ذرات، قابلیت دید و سرعت در ۴ دسته قرار می دهد: ۱- گردوغبار معلق (نسیم سبک و دید افقی کمتر از ۱۰۰۰۰ متر) ۲- وزش گردوغبار (ذرات گردوغبار یا ماسه از زمین بلند شده و دید افقی بین ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر) ۳- طوفان ماسه/گردوغبار (هوا توسط ذرات ماسه و گردوغبار کدر بوده و دید افقی بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر) ۴- طوفان شدید ماسه/گردوغبار (هوا بر اثر بلند شدن ذرات ماسه و گردوغبار آلوده و دید افقی کمتر از ۵۰۰ متر). بطور کلی انتشار ذرات خاک به ۳ شکل تعلیق، جهش و خزشی صورت می گیرد (Rezazadeh et al., 2013). چرخه گردوغبار شامل ۳ بخش، انتشار گردوغبار^۲، انتقال گردوغبار^۳ و فرونشست گردوغبار^۴ است که می توان آنرا از طریق مدل های مختلف شبیه سازی نمود (Baldasano, 2013). در این تحقیق با استفاده از ویرایش سوم مدل جفت شده شیمی WRF_Chem با طرحواره گسیل

ذرات ماسه و ریزگرد از هواویزهای مهم جوی، عمدتاً حاصل عملکرد بادهای قوی در سطح خاک مناطق بیابانی و صحراها هستند (Rezazadeh et al., 2013). منابع تولید ذرات ریزگرد به دو دسته، منابع طبیعی (شامل مناطق خشک و نیمه خشک، مناطق ساحلی دریاچه ها، تالاب های خشک شده و بستر آبراهه ها) و منابع انسانی (تغییرات کاربری زمین از طریق کشاورزی، جنگل زدایی، چرای بیش از حد، مدیریت ضعیف اراضی خشک، ایجاد سدهای متعدد و استفاده بیش از حد از منابع آب تقسیم میشود (Kok et al., 2012; Alizadeh Choobari et al., 2014). ذرات ماسه و ریزگرد تأثیرات فراوانی بر محیط زیست، اقلیم (نقش مستقیم بر ترازمندی تابش جو، نقش نیمه مستقیم در ساختار دمایی جو و نقش غیر مستقیم در میکروفیزیک ابر و بارش)، اقیانوس (شکوفایی جلبکی)، بهداشت عمومی و سلامت انسان، بیابان ها، اقتصاد، کشاورزی و دامداری، اجتماعی-فرهنگی و امنیتی-نظامی دارند (Iranmanesh et al., 2005; Ebadinezhad and Asanloo, 2012; Karimi et al., 2013; Rashki et al., 2013; Tavakoli and Rezaieikha, 2014). منابع عمده ریزگرد در جنوب غرب آسیا شامل حوزه سیستان در مرز بین ایران و افغانستان، گستره دشت مکران در امتداد ساحل دریای عمان، دشت های پاکستان تا شمال غرب هند و حوزه هند هستند (Alizadeh Choobari et al., 2014). طبق تعریف^۱ (WMO) هرگاه سرعت باد از ۱۵ متر بر

² Dust Emission

³ Dust Transportation

⁴ Dust Deposition

¹ World Meteorological Organization

شبیه‌سازی رخداد ماسه و ریزگرد شرق ایران بوده و اهداف فرعی همچون، پیش بینی و هشدار رخداد ماسه و ریزگرد، برآورد غلظت ریزگرد در آن بررسی می شود.

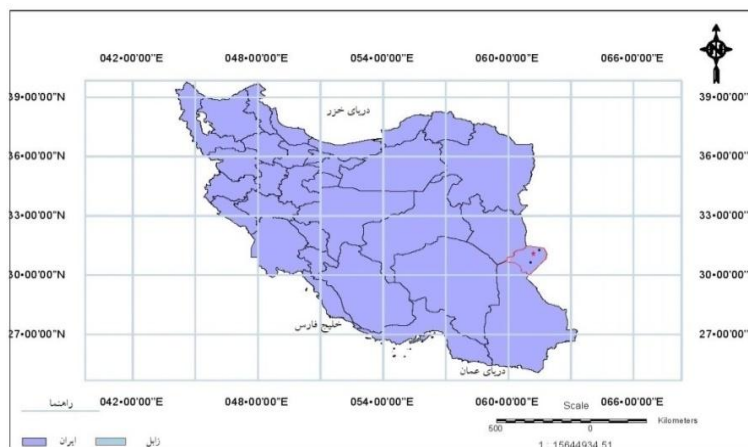
۲. مواد و روش ها

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه سیستان با مساحتی بالغ بر ۱۵۱۹۷ کیلومتر مربع در ناحیه شمال شرق استان سیستان و بلوچستان، حد فاصل ۳۰ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و ۶۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی، با ۲ شهر، ۵ بخش، ۱۷ دهستان، ۹۸ روستا و جمعیت حدوداً ۴۰۰۰۰۰ نفری در شرق ایران و هم مرز با کشورهای افغانستان و پاکستان قرار دارد (شکل ۱) (Rashki *et al.*, 2013). اقلیم سیستان، گرم و خشک با میانگین دمای سالانه ۲۱ درجه سانتی گراد، میانگین بارش سالانه ۶۱/۴ میلی لیتر، میانگین رطوبت نسبی ۳۸ درصد، تبخیر و تعرق بالقوه ۴۱۹۶ میلی متر تا ۵۷۰۰ میلی متر است (Mofidi *et al.*, 2013; Kaskaoutis *et al.*, 2014). رودخانه هیرمند و دریاچه هامون (تالاب های ۳ گانه هیرمند، صابری، پوزک) منبع اصلی آب دشت سیستان بوده اما با احداث سد بر روی رودخانه هیرمند و بروز خشکسالی های مکرر سبب خشک شدن تالاب و افزایش فرکانس طوفان های ماسه و ریزگرد در منطقه شده است (Rashki *et al.*, 2013).

GOCART⁵، میزان گسیل ریزگرد، پیش بینی غلظت ذرات ریزگرد، بار ریزگرد در ستون جو، سرعت و جهت باد در تاریخ ۳۱ می و ۱ ژوئن ۲۰۱۱ برای منطقه سیستان شبیه‌سازی شده تا توان این مدل در شبیه‌سازی طوفان های منطقه سیستان بررسی شود (Rezazadeh *et al.*, 2013). از آنجاکه طوفان‌های ریزگرد پدیده‌های جوی هستند با استفاده از مدل‌های مختلف جوی شبیه‌سازی و پیش‌بینی شده و در مقیاس‌های مختلف جهانی، منطقه‌ای و محلی ارائه می‌شوند. شبیه‌سازی گسیل غبار توسط WRF-Chem بر روی ایران نشان داده است که طوفان غبار در سودان ایجاد و با جریان های جنوب غربی به شمال شرق ایران و ترکمنستان کشیده می شود (Rezazadeh *et al.*, 2013). همچنین مقایسه طرحواره های انتشار ریزگرد در WRF-Chem نشان داده است که برآورد مقدار انتشار ریزگرد در هر طرح بویژه در مناطق دارای خاک لومی متفاوت است (Kang *et al.*, 2011). مدل WRF_Chem به صورت برخط پارامترهای جوی از قبیل باد در سطوح مختلف را محاسبه کرده و به عنوان خروجی مدل ارائه می‌دهد و نیازی به درون‌یابی فضایی افقی و قائم ندارد، بنابراین خطای ناشی از درون‌یابی وارد داده‌ها نمی‌شود. بررسی های صورت گرفته بر روی بادهای ۱۲۰ روزه توسط مدل WRF-Chem حاکی از آن بوده است که بادهای قوی نزدیک سطح زمین در انتشار ریزگرد در مسیر طولانی تأثیر بسزایی دارند (Alizadeh Choobari *et al.*, 2014). هدف اصلی این تحقیق کاربرد سامانه WRF-Chem در

⁵ Goddard Global Ozone Chemistry Aerosol Radiation and Transport



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه سیستان و پراکندگی ایستگاه‌های هواشناسی و ایستگاه آلودگی سنجی سازمان محیط‌زیست.

۲،۲. داده ها

۳،۲. توصیف و پیکربندی مدل

در این پژوهش از ویرایش سوم مدل جفت شده پیش بینی عددی وضع هوا-شیمی (WRF_Chem)، برای شبیه‌سازی طوفان ماسه و ریزگرد شدید منطقه سیستان استفاده شده (Peckham *et al.*, 2014). هسته دینامیکی تحقیقاتی پیشرفته ARW (هسته دینامیکی مختصات جرمی اویلری) و هسته دینامیکی مدل میان مقیاس غیرهیدرستاتیک NMM است. بخش شیمی مدل، محاسبات مربوط به سازو کارهای شیمیایی، تجزیه نوری ذرات هواویز، فرآیندهای گسیل ذرات هواویز از سطح به جو، فرآیندهای مربوط به حذف ذرات و طرحواره های پارامترسازی فرآیندهای میکروفیزیکی، دینامیکی، ترمودینامیکی ذرات هواویز را در بر می گیرد (Rezazadeh *et al.*, 2013). نسخه ۳،۶،۱ مدل WRF_Chem برای کشور ایران به طول جغرافیایی

شبیه‌سازی میدان های هواشناسی با شرایط آغازین و مرزهای جانبی گرفته شده از داده های باز تحلیل شده FNL که از بایگانی مرکز پیش بینی محیطی آمریکا^۶ (NCEP) و مرکز تحقیقات جوی آمریکا^۷ (NCAR) با گام زمانی ۶ ساعته و تفکیک مکانی یک درجه در یک درجه (GRIB-1) در مقیاس طول و عرض جغرافیایی تامین شده است (Arkian and Rahimian, 2014; Nikfal, 2014). پردازش مجدد و دقیق تر بودن، از این نوع داده ها استفاده شده است. خروجی مدل با گام زمانی ۳ ساعته پیش بینی و اجرا گردید.

^۶ National Centers for Environmental Prediction (NCEP)

^۷ National Center for Atmospheric Research (NCAR)

۴۲ تا ۶۶ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۳ تا ۴۱ درجه شمالی با تفکیک افقی ۳۰ کیلومتر (جهت نمایش نحوه شکل‌گیری بادهای منطقه ای) و برای ۲۴ تراز قائم تنظیم شده است. مطابق داده‌های مشاهداتی سازمان هواشناسی و محیط زیست و با توجه به وجود رخداد شدید ماسه و ریزگرد در تاریخ ۳۱ می و ۱ ژوئن ۲۰۱۱، این رخداد انتخاب و شبه‌سازی شده است. خروجی مدل بصورت ۳ ساعته اجرا شده است و نقشه‌های مربوط به پارامترهای مختلف جوی توسط نرم افزار Grads ترسیم شده‌اند. طرحواره بکار رفته در مدل WRF_Chem از نوع GOCART بوده که در آن ۵ اندازه مختلف برای ذرات خاک با شکل ایده آل کروی با اندازه ۰/۱ تا ۱۰ میکرومتر در نظر گرفته شده است (Alizadeh Choobari *et al.*, 2014). موثر ذرات عبارتند از: ۰/۵، ۱/۴، ۲/۴، ۴/۵ و ۸ میکرومتر و کلیه محاسبات برای هر یک از آنها انجام می‌شود. این طرحواره، چشمه‌های پتانسیلی گرد و خاک را بر پایه کسر قابل فرسایش که هر ۵ سال با تولید ورژن جدید مدل به روزرسانی می‌شود، پیش‌بینی می‌کند. شار گرد و خاک قائم از سطح با فرمول $F = c S s_p u_{10}^2 (u_{10} - u_{tp})$ $u_{10} > u_{tp}$ محاسبه می‌گردد. در این فرمول c یک ثابت تجربی و برابر ۱/۹ $ugs^2 m^{-5}$ ، u_{10} سرعت باد ۱۰ متری، u_{tp} سرعت آستانه فرسایش بادی اندازه ذره p که در سرعت‌های پایین‌تر از آن هیچ گسلیلی صورت نمی‌گیرد. s_p کسر هر دسته اندازه گرد و خاک و S کسر نشست جمعی در مناطقی با سطوح قابل فرسایش کم است (Rezazadeh *et al.*, 2013; Alizadeh Choobari *et al.*, 2014)

۵,۲. مشاهدات

۱,۵,۲. داده‌های سازمان محیط زیست

داده‌های مربوط به میزان غلظت ریزگرد و ذرات PM برای تاریخ و منطقه مورد نظر جهت مقایسه از سازمان محیط زیست دریافت گردید.

۲,۵,۲. داده‌های سازمان هواشناسی

به منظور انجام پژوهش حاضر داده‌های مربوط به حداقل دید، کدهای مربوط به طوفان ریزگرد، سمت و سرعت باد حداکثر، ایستگاه‌های زابل از اداره هواشناسی کاربردی استان سیستان و بلوچستان برای مقایسه با خروجی مدل اخذ گردید.

۳,۵,۲. تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS

جهت شناسایی منشأ ریزگرد از تصاویر ماهواره‌ای اخذ شده توسط سنجنده MODIS ماهواره Terra و ماهواره Aqua، ناسا با قدرت تفکیک زمینی ۵۰۰ متر در تاریخ مورد نظر استفاده شد. هم‌چنین تصاویر مربوط به شاخص AOD^a توسط این دو ماهواره برای مقایسه با بار ریزگرد ستون جو تهیه شد. تصاویر رنگ حقیقی سنجنده MODIS توسط دو نرم‌افزار ERDAS IMAGINE 2014 و ENVI5.2 پردازش و تهیه شدند.

با توجه به اینکه مدل جوی منطقه‌ای DREAM هم شاخص AOD را نشان می‌دهد اما بدلیل اینکه خروجی با فرمت .nc، این مدل که برای مرکز بارسلونا است، منطقه سیستان را در بر نمی‌گرفت قادر به استفاده از این مدل جهت مقایسه با خروجی

^a Aerosol Optical Depth

مدلمان نبودیم.

همچنین شکل ۳ نتایج شبیه‌سازی حداکثر میزان غلظت ریزگرد (پیک) برای ساعت ۱۵ روز ۳۱ می و ساعت ۰۳ روز ۱ ژوئن ۲۰۱۱ را نشان می‌دهد. میزان غلظت شبیه‌سازی ($400 \mu\text{g}/\text{m}^3$) مطابق جدول ۱ با میزان غلظت ذرات PM 10 ($1875 \mu\text{g}/\text{m}^3$) دریافتی از سازمان محیط‌زیست تفاوت دارد. این مقایسه با توجه به عدم تاثیر میزان تفکیک مکانی در پیش بینی مقادیر غلظت ریزگرد توسط مدل، صورت پذیرفته است. بر اساس نتایج شبیه‌سازی طوفان ماسه و ریزگرد بر فراز منطقه سیستان تشکیل و توسط بادهای قوی شمالی به جنوب شرق افغانستان و پاکستان و در نهایت دریای عمان کشیده شده. شکل ۴ تصاویر ماهواره‌ای MODIS مربوط به این رخداد را نمایش می‌دهد.

۳. نتایج

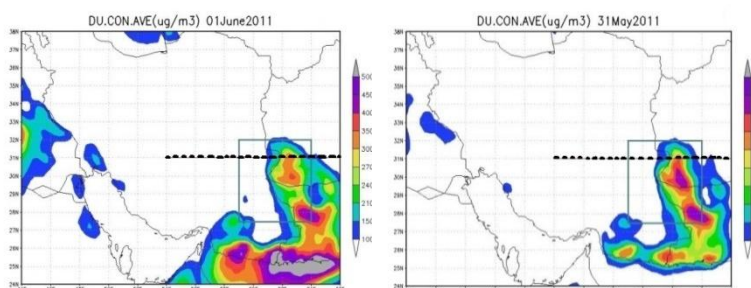
بر اساس خروجی مدل WRF_Chem، تصاویر ماهواره مودیس، داده های غلظت ریزگرد سازمان محیط زیست و داده های ایستگاه هواشناسی زابل و زهک در ۳۱ می و ۱ ژوئن ۲۰۱۱، دشت سیستان (بخصوص بستر خشک تالاب هامون) منبع انتشار و انتقال ریزگرد در شرق و مرز ایران و افغانستان و پاکستان تعیین گشت.

۱.۳. غلظت ریزگرد

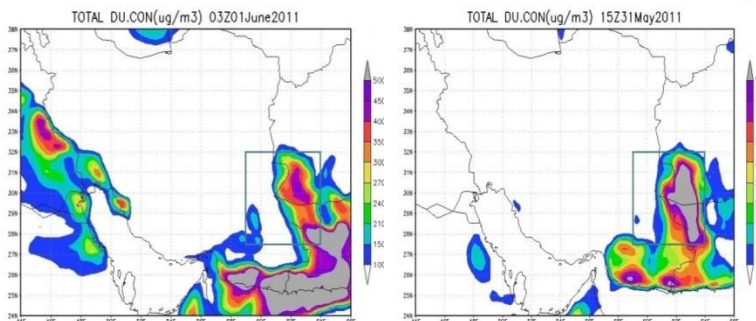
شکل ۲ مطابق طرحواره بکارگرفته شده، نتایج شبیه‌سازی میزان غلظت ریزگرد (متر/ثانیه) را برای طوفان ماسه و ریزگرد ۳۱ می و ۱ ژوئن نشان می‌دهد.

جدول ۱: میزان غلظت ذرات PM 10 در ایستگاه زابل

تاریخ	غلظت ذرات PM 10 (میکروگرم/مترمکعب)
05/31/2011	904.02
06/01/2011	1875

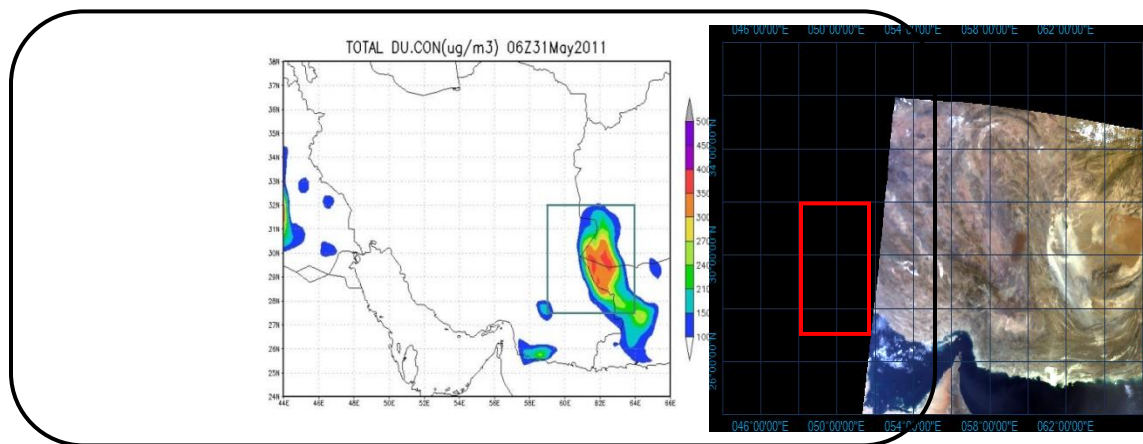


شکل ۲: متوسط غلظت ریزگرد و سرعت باد ۳۱ می (راست) و ۱ ژوئن (چپ) ۲۰۱۱.



شکل ۳: حداکثر غلظت ریزگرد و سرعت باد ۳۱ می (راست) و ۱ ژوئن (چپ) ۲۰۱۱.

شکل ۴ تصویر ماهواره‌ای MODIS مربوط به رخداد شدید ماسه و ریزگرد ۳۱ می ۲۰۱۱ در ساعت ۰۶:۳۰ و پیش‌بینی توزیع غلظت ریزگرد توسط مدل WRF-Chem را نمایش می‌دهد. در شکل ۴ این نکته قابل تشخیص است که در روز ۳۱ می ۲۰۱۱، غلظت بالایی از ریزگرد وجود دارد که می‌تواند به دلیل باد شمالی و شمال غربی و برش باد سطحی باشد. توزیع مکانی گردوغبار تفسیر شده توسط تصویر رنگ حقیقی سنجنده MODIS (تفسیر چشمی) با توزیع مکانی غلظت گردوغبار شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF-Chem انطباق نسبتاً خوبی دارد. مرز جنوبی طوفان بخش وسیعی از جنوب غرب افغانستان و غرب پاکستان را پوشانده است. جهت مقایسه دقیق تصویر ماهواره ای در طول و عرض جغرافیایی دامنه مدل برش داده شده است.



شکل ۴. تصویر طوفان شدید ماسه و گردوغبار منطقه سیستان توسط ماهواره Terra در تاریخ ۳۱ می ۲۰۱۱ ساعت ۰۶:۳۰ (سمت راست) و پیش‌بینی توزیع غلظت گردوغبار توسط مدل WRF-Chem (سمت چپ).

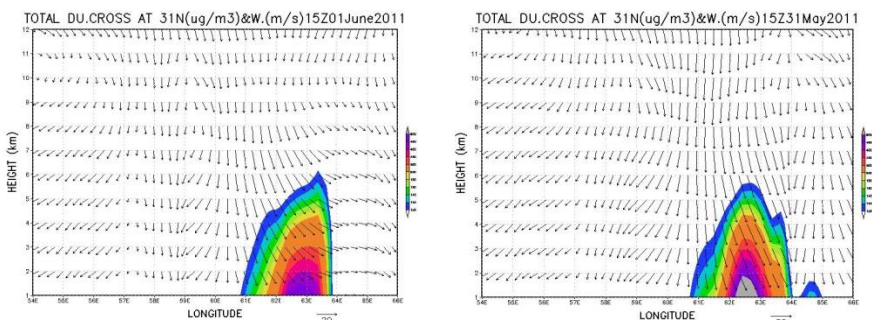
برشی از سطح مقطع^۹ حداکثر ریزگرد عبوری از عرض ۳۱ درجه شمالی، طول‌های ۵۴ تا ۶۶ درجه شرقی و

۲،۳. ریزگرد عبوری از عرض ۳۱ درجه شمالی مطابق نقطه چین موجود در شکل شماره ۱،

^۹ Cross Section

۶۲/۵ غلظت ریزگرد به بالاترین حد ($400 \mu\text{g}/\text{m}^3$) رسیده. سرعت بادهای ۲۰ متر بر ثانیه‌ای در ارتفاعات بالا تقریباً یکنواخت اما در سطوح پایین و نزدیک زمین غیریکنواخت و در منطقه مورد مطالعه سرعت این بادهای افزایش یافته است.

سرعت بادهای در ارتفاعات مختلف در شکل ۵ آمده. سطوح ارتفاعی شکل از سطح دریا بوده و ما باید ارتفاع ایستگاه‌های هواشناسی منطقه (ارتفاع ۴۹۵ متری) را مبنا قرار دهیم و در این صورت ارتفاع ۲ کیلومتری شکل در واقع ارتفاع ۱۵۰۵ متری است. مطابق شکل در عرض ۳۱ درجه شمالی و محدوده طول‌های ۶۰/۵ تا



شکل ۵: سطح مقطع حداکثر ریزگرد عبوری از عرض ۳۱ درجه شمالی و سرعت باد.

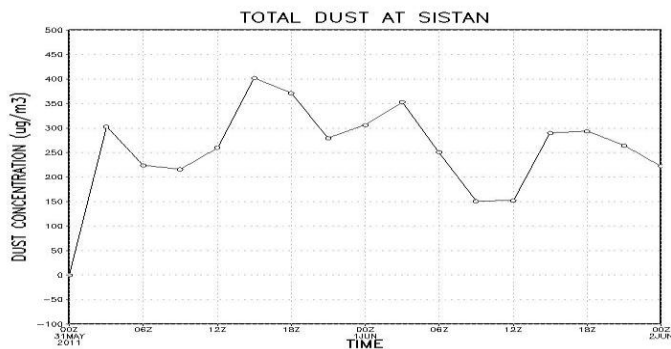
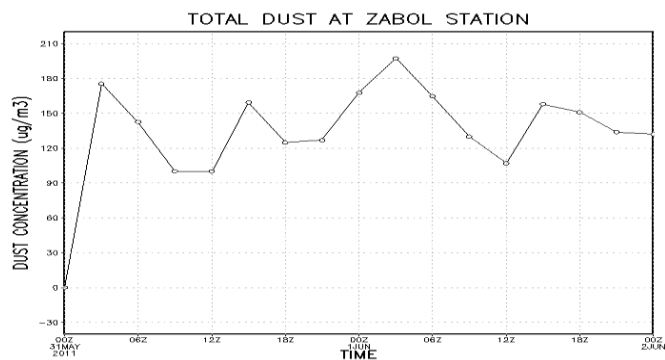
۳,۳. سری زمانی ریزگرد^{۱۰}

۴,۳. میزان بار ریزگرد ستون جو و سرعت باد

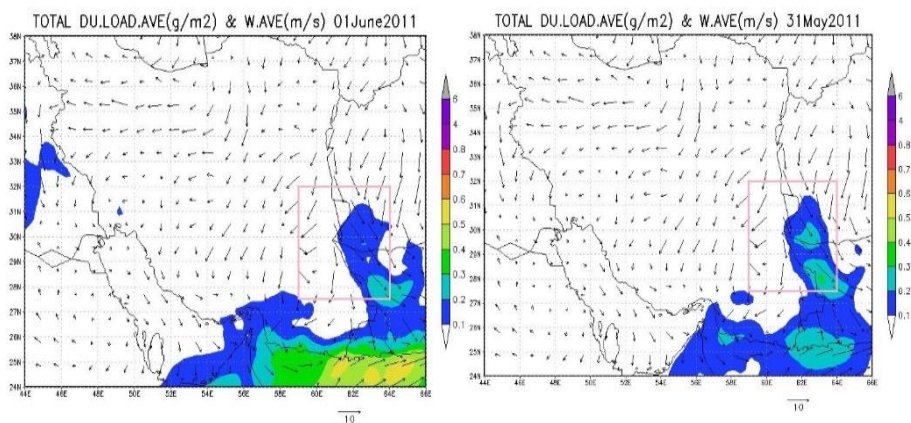
در شکل ۷ افزایش میزان بار ریزگرد ستون جو در سیستان بر اثر باد های ۲۰ متر بر ثانیه ای به قسمت های جنوبی کشیده شده و مناطق وسیعی را در بر گرفته است. طبق شکل سرعت باد های سیستان به حداکثر خود یعنی مقدار ۲۰ متر بر ثانیه رسیده و مطابق جدول ۲ با داده های سازمان هواشناسی که این سرعت را ۲۶ متر بر ثانیه برای ۱ ژوئن ۲۰۱۱ محاسبه کرده اند تقریباً مطابقت دارد. جهت مقایسه میزان بار ریزگرد ستون جو از تصاویر سنجنده MODIS هر دو ماهواره Terra و Aqua برای شاخص AOD در شکل ۸ استفاده شده است.

سری زمانی در شکل ۶ تغییرات میزان غلظت ریزگرد در طول دوره شبیه‌سازی برای منطقه سیستان و ایستگاه آلودگی سنجی زابل را نشان می‌دهد. مطابق نمودار اوج میزان غلظت ریزگرد منطقه سیستان در ساعت ۱۵ روز ۳۱ می (۴۰۰ میکروگرم بر مترمکعب) و ساعت ۰۳ روز ۱ ژوئن (۳۵۰ میکروگرم بر مترمکعب) ۲۰۱۱ ایجاد شده است. میزان غلظت ریزگرد شبیه‌سازی شده در ایستگاه آلودگی سنجی کمتر از کل منطقه سیستان است.

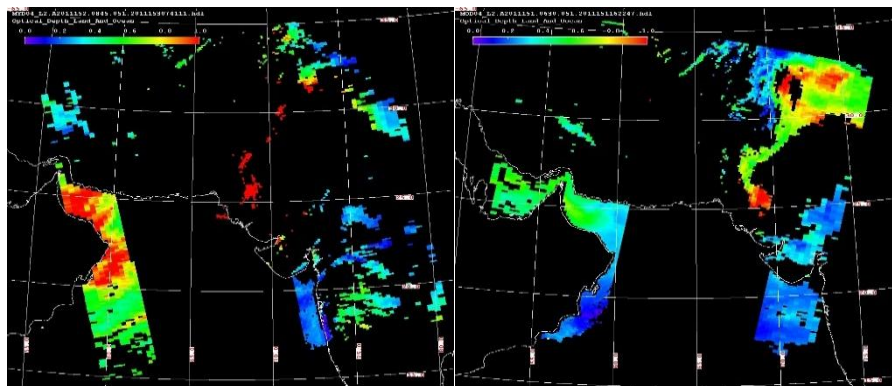
¹⁰ Time seri



شکل ۶: سری زمانی تغییر غلظت ریزگرد در طول ۳۱ می و ۱ ژوئن ۲۰۱۱.



شکل ۷: بار ریزگرد ستون جو و سرعت بادهای ۳۱ می و ۱ ژوئن ۲۰۱۱. WRF-Chem



شکل ۸: تصویر با فرمت .jpeg شاخص AOD ماهواره Terra(راست) ۳۱ می و ماهواره Aqua(چپ) ۱ ژوئن ۲۰۱۱

منبع: http://ladsweb.nascom.nasa.gov/browse_images/granule.html

جدول ۲: داده ایستگاه هواشناسی زابل

سال	ماه	روز	سمت باد حداکثر (متر/ثانیه)	سرعت باد حداکثر (متر/ثانیه)	حداقل دید (متر)
۱۳۹۰	۳	۱۰	۳۳۰	۱۶	۱۵۰۰
۱۳۹۰	۳	۱۱	۳۲۰	۲۶	۷۰۰

هستند به‌عنوان چشمه‌های اصلی گسیل ذرات شناسایی شدند. نتایج شبیه‌سازی ذرات ریزگرد و تصاویر ماهواره‌های MODIS منطقه سیستان را بعنوان چشمه اصلی نمایش می‌دهد. پیرو تحقیقات صورت گرفته در منطقه سیستان، Rashki و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که با خشک شدن بستر تالاب هامون و وجود بادهای شدید، دشت سیستان یکی از منابع فعال گردوغبار در جنوب غرب آسیا به حساب می‌آید. این نتایج در خروجی‌های مدل WRF-Chem که در تمامی رویدادها چشمه گسیل گردوغبار منطقه را در بستر خشک تالاب هامون نمایش می‌دهند، مطابقت دارد. جریان‌ات باد با جهت شمالی-جنوبی بر روی ایران وزش داشته که با همگرا شدن این جریان‌ات در شرق ایران، ناپایداری‌ها را در ترازهای زیرین جو افزایش داده

۴. بحث و نتیجه گیری

طرحواره مورد استفاده در مدل GOCART است که در آن حداکثر اندازه ذرات ۱۰ میکرومتر است و قابلیت شبیه‌سازی ذرات بزرگتر از ۱۰ میکرومتر را ندارد بنابراین برای شبیه‌سازی طوفان‌های ماسه‌ای بهتر است از طرحواره‌های دیگری استفاده شود. با توجه به نتایج بدست آمده مدل WRF-Chem از نظر مقیاس و تغییرات زمانی برآوردی منطقی از هواویزها در محدوده مطالعاتی به دست می‌دهد. این نتیجه در تحقیق Nikfal و همکاران در سال ۲۰۱۴ طی شبیه‌سازی ذرات PM_{10} توسط مدل WRF-Chem در منطقه ایران نیز به دست آمده است. با تولید نقشه‌های توزیع غلظت ذرات گردوغبار، مناطقی از حوضه شبیه‌سازی که دارای حداکثر غلظت ذرات

گردوغبار شرق ایران در مرزهای شرقی ایران بلاخص نواحی واقع در مرزهای بین ایران و افغانستان و پاکستان قرار دارد. افزایش غلظت ریزگرد شبیه‌سازی شده مطابق داده‌های سازمان محیط زیست (ایستگاه زابل) در عرض ۳۱ درجه شمالی و طول ۳۳ تا ۶۶ درجه شرقی در منطقه مشخص گردید. با استفاده از سنجنده MODIS تصاویر مربوط به شاخص عمق اپتیکی آئروسول (AOD) (از پارامترهای مهم در توزیع آئروسول‌های حاصل از ریزگرد و وابسته به طول موج بصورت کاهش نور در واحد طول بر روی یک مسیر مشخص) در منطقه سیستان نشان داده شد. بالا بودن مقادیر AOD منطقه سیستان نشان دهنده ریزگرد بالا در امتداد ستون عمودی هوا است. با استفاده از خروجی مدل WRF_Chem و تصاویر ماهواره‌ای امکان نمایش و پیش‌بینی طوفان ریزگرد و مسیر حرکت ذرات فراهم شده و می‌توان هشدار به موقع در مورد اتخاذ تصمیم‌های لازم برای کاهش خسارت‌های این پدیده اندیشه کرد.

(مطابق حداکثر سرعت باد سازمان هواشناسی) و بدلیل نبود رطوبت موجب برخواستن ریزگرد و افزایش غلظت آن در منطقه شده بطوریکه حداکثر میزان غلظت ریزگرد مربوط به ساعت ۱۵، ۳۱ می و ساعت ۰۳، ۱ ژوئن ۲۰۱۱ است. حداکثر غلظت گردوغبار در طول روز مشاهده می‌شود که کاهش کیفیت هوا را در پی دارد. این نتیجه در تحقیق Rezazadeh و همکاران در سال ۲۰۱۳ نیز به اثبات رسیده است. هم‌چنین Kaskaoutis و همکاران (۲۰۱۴) رخدادها گردوغبار منطقه سیستان را توسط مدل SPRINTARS شبیه‌سازی کرده و دریافتند که گردوغبار دشت سیستان از بستر خشک تالاب هامون توسط بادهای ۱۲۰ روزه انتشار یافته و حمل می‌گردند. بطوریکه گردوغبار حاصله را تا بخش‌های شمالی و مرکزی دریای عمان منتقل می‌کنند. از طرف دیگر Alizadeh Choobari و همکاران (۲۰۱۴) با شبیه‌سازی طوفان‌های گردوغبار حاصل از بادهای ۱۲۰ روزه توسط مدل WRF-Chem نشان دادند که منبع اصلی

References

Alizadeh Choobari, O., Zavar-Reza, P., & Sturman, A., 2014. The global distribution of mineral dust and its impacts on the climate system: A review. *Journal of Atmospheric Research* 138, 152-165.

Alizadeh Choobari, O., Zavar-Reza, P., & Sturman, A., 2014. The "wind of 120 days" and dust storm activity over the Sistan Basin. *Journal of Atmospheric Research* 143, 328-341.

Almazroui, M., 2013. Climatology and Monitoring of Dust and Sand Storm in the Arabian Peninsula. In: Center of Excellence for Climate Change Research (CECCR), King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia, 1-12.

Arkian, F., & Rahimian, N., 2014. Condition of Generation and Propagation of Dust in Southwestern. Sixteenth Conference of Iran Geophysics, Iran, 13-15 May 2014, 47-51.

Baldasano, J.M., 2013. Mineral dust modeling from meso to global scale. In: Barcelona Supercomputing Center (BSC), Portugal, Evora, 1-16.

Cuevas, E., 2013. Establishing WMO Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System Regional Node: Current Capabilities and Needs. In: World Meteorological Organization, 1-18.

Ebadinezhad, A., & Asanloo, A., 2012. Wind Effects on Transportation Safety. *Traffic Management*

Studies, No. 18, 85-100.

Fayyaz, M., 2005. Check the source of Sistan sand storms which using remote sensing data. Journal of Iran Grassland and Desert 12, 41-62.

Heidari Mokarrar, H., Saeghbeigi, N., & Poodinepir, H., 2013. Crisis evaluation and analysis resulting of dust storms on the Hamoun lake. In: Protection of Wetlands and Aquatic Ecosystems Conference, Iran, 9 May 2013, 1-10.

<http://earthexplorer.usgs.gov>

http://ladsweb.nascom.nasa.gov/browse_images/granule_browser.html

<http://lance-modis.eosdis.nasa.gov/cgi-bin/imagery/realtime.cgi>

Iranmanesh, F., Arabkhedri, M., 2005. Investigation of dust origins and characteristics of their spreading in Sistan storms, Iran region. Using Image Processing, Pajouhesh & Sazandegi 67, 25-33.

Kang, J.Y., Yoon, S.C., Shoo, Y., and Kim, S.W., 2011. Comparison of vertical dust flux by implementing three dust emission schemes in WRF/Chem. Geophysical Research 116, 1-18.

Karimi, M., Yazdani, M.H., & Naderi, A., 2012. The effect of 120-day winds on the safety of Sistan region. Geography and Environmental Planning 50, 111-128.

Kaskaoutis, D.G., Rashki, A., Houssos, E.E., Goto, D. and Nastos, P.T., 2014. Extremely high aerosol loading over Arabian Sea during June 2008: the specific role of the atmospheric dynamics and Sistan dust storms. Journal of Atmospheric Environment 10.1016/j, 1-27.

Kok, J.F., Parteli, E.J.R., Michaels, T.I., Bou Karam, D., 2012. The physics of wind-blown sand and dust, Journal of Rep. Prog. Phys 75-106901, 1-119.

Liu, Z., Liu, Q., and Lin, H.C., 2011. Assimilating MODIS aerosol optical depth using WRF/Chem and GIS: Application to a Chinese dust storm. WRF User

Workshop, USA, Boulder, 1-11.

Mofidi, A., Hamidianpoor, M., Salighe, M., Alijani, B., 2013. Determining the start, end and duration Sistan wind with using the method of estimating the change. Journal of Geography and Natural Hazards 8, 87-112.

Nikfal, A.H., 2014. Simulation of the density of PM10 particulates by the coupled WRF_Chem modeling system over the region of Iran. In: Sixteenth Conference of Iran Geophysics, Iran, 77-81.

Peckham, S.E., Grell, G.A., Mckeen, S.A., Ahmadov, R et al., 2014. WRF_Chem Version 3.6 Users Guide, In: NCAR/UCAR, 1-75.

Rashki, A., Kaskaoutis, D., Rautenbach, C.J.D., Eriksson, P., 2012. "Changes of Permanent Lake Surface, and Their Consequences for Dust Aerosol and Air Quality: The Hamoun Lakes of the Sistan Area, Iran", Journal of Atmospheric Aerosol-Regional Characteristics-Chemistry and Physics 6, 163-202.

Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Goud, A.S., Khan, R.A., 2013. Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: The case of the Hamoun drainage basin, Southeastern Iran, Journal of Science of the Total Environment 4, 552-564.

Rezazadeh, M., Irannejad, P., Shao, Y., 2012. Dust emission simulation with the WRF_Chem model using new surface data in the Middle East region, Journal of the Earth and Space Physics 39, pp. 191-212.

Rezazadeh, M., Irannejad, P., Shao, Y., 2013. Evaluation of three Wind Erosion Model within WRF_Chem Model in the Middle East, In: International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling, Kerman, Iran, 1-11.

Tavakoli, M., Rezaeiikhah, M., 2014. Effects 120 days winds on environment of Sistan, New Horizons in Empowerment and Sustainable Development Architecture, In: Civil, Tourism, Energy and Urban and Rural Environment Conference, Iran, 1-9.

Numerical Simulation of Extreme Sand and Dust Storm in East of Iran, by the WRF_Chem Model

Case study; 31 May & 1 June 2011

Elham Karegar^{1*}, Javad Bodagh Jamali², Abbas Ranjbar³, Mazaher Moeinaddini⁴, Hamid Goshtasb⁵

1 MS.c Student Environment Pollutions, College of Environment,

2 Faculty Member of College of Environment, Karaj, Iran

3 The Head of Atmospheric Science & Meteorological Research Center, Tehran, Iran

4 Assistant Professor, College Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

5 Faculty Member of College of Environment, Karaj, Iran

Received: 9-Jun.-2015

Accepted: 5-Jul.-2016

Abstract

Iran location in the desert belt is accompanied with frequency increasing the sand and dust storms, especially in the eastern and southern areas and created adverse environmental effects. One of ways to study this event is dust simulation and forecasting. Aim of this study, Weather Research & Forecasting-Chemistry coupled model (WRF-Chem.3.6.1) is used to simulate, forecast and design alerting system for sand and dust storm events (East of Iran). In addition, dust concentration data that were collected by environmental protection organization (EPO), wind speed and direction data from the Meteorological Organization and MODIS images are used to investigate transport path of storms and have better forecast and right time alerting. True color images by software ERDAS IMAGIN queries to identify dust source. Results showed that the main dust and sand emission source in Sistan is dry bed of Hamoun wetland. Also during the storms that are investigated in this study, transport of dust clouds are observed to southern part of Iran up to Oman sea because of converging currents north-south winds on Eastern part of Iran (especially in spring and summer) that create strong winds in lower levels of atmosphere. This wind are responsible of increasing dust emission. WRF-Chem model had reasonable estimation related to spetal and temporal scale in the study area. Due to use of global forecasted data as model input data, it was expected to observe bias in concentration estimation from real situation. The model was run for 30 km spatial resolution and results revealed storm formation in Sisitan affected by local geographical properties especially topography features.

Keywords: Simulation of Dust, Sistan Storm, MODIS Sensor, WRF_Chem, Sand and Dust Storm

* Corresponding author. Tel: +98-9372824010

Email: elham.karegar92@gmail.com