



فصلنامه علوم محیطی، دوره پانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶

۱۱۵-۱۲۶

قابلیت‌های مدل عددی WRF-Chem در برآورد غلظت گرد و خاک (مطالعه موردی طوفان گرد و خاک تهران)

امیرحسین نیک‌فال*، سارا کرمی، عباس رنجبر سعادت‌آبادی و ساویز صحت کاشانی

گروه شیمی جو و آلودگی هوا، پژوهشکده هواشناسی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۱۸

نیک‌فال، ا.ح.، س. کرمی، ع. رنجبر سعادت‌آبادی و س. صحت کاشانی. ۱۳۹۶. قابلیت‌های مدل عددی WRF-Chem در برآورد غلظت گرد و خاک - مطالعه موردی طوفان گرد و خاک تهران. فصلنامه علوم محیطی. ۱۱۵(۱):۱۲۶-۱۱۵.

سابقه و هدف: اگرچه در سال‌های اخیر چندین مدل عددی گرد و خاک برای منطقه خاورمیانه ارزیابی شده‌اند، اما به دلیل وسعت منطقه، توسعه و پیدایش چشمه‌های جدید گرد و خاک، نیاز است تا تحقیقات جامع‌تری در ارزیابی مدل‌های عددی گرد و خاک برای منطقه خاورمیانه صورت گیرد. پژوهشگران گوناگونی مانند Marticorena and Bergametti (1995), Shao *et al.* (1996), Marticorena *et al.* (2004) و Shao *et al.* (1997) با توسعه روش‌های تخمین انتشار ذرات گرد و خاک با محاسبه فرآیندهایی همچون جهش و خزش ذرات گرد و خاک، و سرعت اصطکاکی آستانه، مدل‌های یکپارچه فیزیکی فرسایش باد را که قابلیت جفت‌شدن با مدل‌های جوی دارند، توسعه دادند.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش با استفاده از نسخه ۳،۶،۱ از مدل جفت‌شده WRF-Chem، شبیه‌سازی برای ۲ روز از تاریخ ۱۱ تا ۱۳ خرداد ماه سال ۱۳۹۳ با استفاده از داده‌های آنالیز GFS به منظور شرایط اولیه و مرزی صورت پذیرفت. در این اجرا از طرحواره پیشرفته MADE-SORGAM به عنوان طرحواره گسیل ذرات معلق جوی استفاده شد. این طرحواره بر پایه مدل دینامیکی مودال برای هواویزها^۱ در اروپا طراحی شده است که این رهیافت نیز به نوبه خود بر پایه مدل منطقه‌ای ذرات معلق طراحی شده است. در طرحواره MADE ذرات معلق جوی در سه مدایتکن با قطر کمتر از ۰،۱ میکرومتر، تجمعی با قطر بین ۰،۱ تا ۲ میکرومتر، و درشت با قطر بزرگتر از ۲ میکرومتر با توزیع لوگ-نرمال در فرآیند شبیه‌سازی کیفیت هوا وارد می‌شوند.

نتایج و بحث: جهت ارزیابی خروجی مدل WRF-Chem، با استفاده از برنامه پس‌پردازشی NCL، نقشه‌های توزیع PM10 به همراه غلظت این پارامتر ترسیم شد. خروجی مدل WRF-Chem برای غلظت PM10 و باد سطحی در ساعت ۱۲ روز ۱۲ خرداد ماه سال ۱۳۹۳ نشان داده شده است. در ساعت ۱۲ توده کوچکی در شمال‌غربی استان تهران مشاهده می‌شود، به تدریج با گذشت زمان میزان غلظت ذرات افزایش یافته و وزش بادهای غرب و شمال‌غربی سبب ورود گرد و خاک به داخل شهر تهران می‌گردد تا جایی که در ساعت ۱۵ کلاتشهر تهران را با غلظت زیادی در بر گرفته است، پس از آن، ذرات به سمت شرق منتقل شده، گستردگی مناطق تحت پوشش بیشتر می‌شود ولی غلظت ذرات PM10 کاهش می‌یابد. نکته قابل توجه این است که اگرچه مدل غلظت زیادی را در مناطق غربی کشور نشان می‌دهد، که منشاء آن نواحی شرق و شمال‌شرقی کشور عراق است، چشمه گسیل طوفان گردو خاک شهر تهران را کاملاً داخلی و مستقل از آن بدست

* Corresponding Author. E-mail Address: anik@ut.ac.ir

آورده است. به دلیل وجود برخی محدودیت‌ها در طرحواره MADE برای مناطق با وضعیت زمین شناختی پیچیده، خروجی این طرحواره ممکن است در برخی نقاط دارای بیش‌برآورد یا کم‌برآورد باشد. همین‌طور در صورت وجود خطا در الگوی کاربری اراضی و جنس خاک از نظر فرسایش‌پذیری که نقش تعیین‌کننده در برآورد غلظت گرد و خاک دارد، نتایج خروجی مدل می‌تواند با واقعیت اختلاف داشته باشد. مناطقی از حوضه شبیه‌سازی مانند شرق دریای خزر و ترکمنستان عموماً دارای غلظت‌های بالای گرد و خاک است که در مقایسه با مقادیر عمق نوری ذرات گرد و خاک حاصل از سنجنده MODIS مشخص می‌گردد که مقادیر قابل توجهی از گرد و خاک بر فراز بخش‌هایی از دریای خزر تجمع یافته است.

نتیجه‌گیری: به طور کلی عملکرد مدل عددی WRF-Chem در این پژوهش، قابلیت کاربردی این مدل را در مدل‌سازی و پیش‌بینی کیفیت هوا، به ویژه برای هواویزهایی که از چشمه‌های گسیل طبیعی مانند مناطق فرسایش‌پذیر و بیابان‌ها تولید می‌شوند، تایید می‌کند. شرایط کاربری اراضی و فرسایش خاک به دلیل تغییراتی که در سال‌های اخیر از نظر اقلیم، پوشش گیاهی، و سایر فراسنج‌های زمین‌شناختی در منطقه خاورمیانه رخ داده است، در برخی از مناطق دچار دگرگونی قابل توجهی شده است. ولی داده‌های زمین‌شناسی که در مدل WRF استفاده می‌شود همچنان مربوط به سال‌های گذشته است که در پژوهش‌های کیفیت هوا عامل ایجاد خطا در خروجی مدل است. بدین منظور می‌بایست حداقل در مقیاس منطقه‌ای، داده‌های زمین‌شناختی موثر در گسیل ذرات گرد و خاک تصحیح شده و در اختیار مدل قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: طوفان گرد و خاک، مدل WRF/Chem، طرحواره MADE.

مقدمه

(Moridnejad *et al.*, 2015)، نیاز است تا تحقیقات جامع‌تری در ارزیابی مدل‌های عددی گرد و خاک برای منطقه خاورمیانه صورت گیرد. پژوهشگران گوناگونی مانند Marticorena and Bergametti (1995), Shao *et al.* (1996), Marticorena *et al.* (1997), Shao *et al.* (2004) با توسعه روش‌های تخمین انتشار ذرات گرد و خاک با محاسبه فرآیندهایی همچون جهش و خزش و سرعت اصطکاکی آستانه، مدل‌های یکپارچه فیزیکی فرسایش باد را که قابلیت جفت‌شدن با مدل‌های جوی دارند، توسعه دادند.

مقدار انتشار گرد و خاک توسط فرسایش بادی (Shao, 2008) نقش مهمی در شبیه‌سازی غلظت ذرات گرد و خاک ایفا می‌کند. مطالعات گوناگونی در بررسی روش‌های محاسبه انتشار ذرات گرد و خاک در سال‌های اخیر صورت گرفته است که به برخی اشاره می‌گردد. Zhao *et al.*, 2010 حساسیت دو روش انتشار ذرات گرد و خاک (GOCART و DUSTRAN) را با تحلیل توزیع

طوفان‌های گرد و خاک ناشی از منابع فرسایش‌پذیر سطحی مانند بیابان‌ها در سال‌های اخیر از اصلی‌ترین بلایای طبیعی هستند که کشورهای منطقه خاورمیانه از جمله ایران با آن درگیر می‌باشند. در تاریخ ۱۲ خرداد ۱۳۹۳ طوفانی شدید به همراه گرد و خاک غلیظ و بادی با سرعت بیش از ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت، کلانشهر تهران را فرا گرفت. شدت این واقعه به حدی بود که آسمان تهران برای دقایقی تاریک شده و ۵ نفر نیز جان خود را از دست دادند. مدل‌سازی طوفان‌های گرد و خاک به منظور پیش‌بینی دقیق و به موقع این رویدادها می‌تواند در شناخت رفتار و چشمه ریزگردها و همچنین توسعه سامانه‌های هشدار به منظور کاهش خسارات وارده از طوفان گرد و خاک موثر باشد.

اگرچه در سال‌های اخیر چندین مدل عددی گرد و خاک برای منطقه خاورمیانه ارزیابی شده‌اند (Prakash *et al.*, 2015; Hamidi *et al.*, 2014)، اما به دلیل وسعت منطقه و توسعه و پیدایش چشمه‌های جدید گرد و خاک

پوشش گیاهی و شرایط هواشناسی و زمین‌شناسی، به ویژه باد و رطوبت خاک است. ویژگی‌های زمین‌شناسی حوضه شبیه‌سازی به ویژه پارامتر فرسایش‌پذیری، توسط مدل WRF در طی فرآیند پیش‌پردازش آماده شده و در فایل جداگانه ذخیره می‌گردد. این فایل در ادامه و در فرآیند شبیه‌سازی غلظت هواویزهای سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. قابلیت سامانه جفت‌شده WRF-Chem در مدل‌سازی‌های کیفیت هوا به صورت برخط با فرآیندهای هواشناسی، به ویژه در شبیه‌سازی‌های گرد و خاک از شایان توجه است. از آنجایی که گسیل ذرات گرد و خاک به جو در مقایسه با مقدار گسیل آلاینده‌های گازی انسان‌زاد که عموماً مستقل از شرایط هواشناسی است، کاملاً در ارتباط مستقیم با پارامترهای هواشناسی و زمین‌شناسی است، قابلیت شبیه‌سازی برخط فرآیندهای هواشناسی و کیفیت هوا از امتیازات مدل عددی جفت‌شده WRF-Chem می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از نسخه ۳٫۶٫۱ از مدل جفت‌شده WRF-Chem، شبیه‌سازی برای ۲ روز از تاریخ ۱۱ تا ۱۳ خرداد ماه سال ۱۳۹۳ با استفاده از داده‌های آنالیز GFS به منظور شرایط اولیه و مرزی صورت پذیرفت. در این اجرا از طرحواره پیشرفته MADE-SORGAM (Ackermann *et al.*, 1998) به عنوان طرحواره گسیل ذرات معلق جوی استفاده شد. این طرحواره بر پایه مدل دینامیکی مودال برای هواویزها (Modal Aerosol Dynamic Model) در اروپا طراحی شده است که این رهیافت نیز به نوبه خود بر پایه مدل منطقه‌ای ذرات معلق (Binkowski *et al.*, 1995) طراحی شده است. در طرحواره MADE ذرات معلق جوی در سه مدایتکن با قطر کمتر از ۰٫۱ میکرومتر، تجمعی با قطر بین ۰٫۱ تا ۲ میکرومتر، و درشت با قطر بزرگتر از ۲ میکرومتر با توزیع لوگ-نرمال در فرآیند شبیه‌سازی کیفیت هوا وارد

ابعاد ذره و تغییرات مکانی ذرات گرد و خاک در شمال آفریقا بررسی کردند. در تحقیقی دیگر (Munkhtsetseg *et al.*, 2016) تابعی از ظرفیت رطوبتی خاک برای تعیین ارتباط بین تغییرات سرعت اصطکاکی آستانه و مقدار گسیل ذرات گرد و خاک در استپ مغولستان توسعه داده شد. به کمک شبیه‌سازی تونل باد (Swet *et al.*, 2015)، تعیین شد که چسبندگی ذرات خاک به دلیل فرآیندهای فرسایشی کاهش یافته که اثر مهمی بر مقدار انتشار ذرات گرد و خاک دارد. در پژوهشی دیگر (Park *et al.*, 2016) در شرق آسیا، به کمک پارامترسازی سرعت اصطکاکی و استفاده از عدد ریچاردسون، معادله‌ی رگرسیونی بهینه‌سازی‌شده برای محاسبه شار گسیل ذرات گرد و خاک توسعه داده شد.

شبیه‌سازی طوفان گرد و خاک تهران در ۱۲ خرداد ۱۳۹۳، با استفاده از مدل جفت‌شده WRF-Chem به عنوان یک سامانه پیشرفته عددی در مدل‌سازی کیفیت هوا، و با در نظر گرفتن غلظت ذرات PM10 به عنوان معیاری مناسب از گرد و خاک صورت پذیرفت. مدل WRF به عنوان یک مدل هواشناسی غیرهیدرواستاتیک، دارای چندین هسته دینامیکی به همراه انتخاب‌های گوناگون جهت پارامترسازی فرآیندهای فیزیکی می‌باشد که قابلیت شبیه‌سازی توسط مدل را ندارند. مدل جفت‌شده WRF-Chem با در نظر داشتن فرآیندهای هواشناسی و دینامیکی هواویزها به صورت همزمان، شبیه‌سازی کیفیت هوا را انجام می‌دهد (Grell *et al.*, 2005). طوفان گرد و خاک تهران به عنوان طوفانی با منشأ کاملاً داخلی، از طوفان‌های گرد و خاک در غرب کشور که عموماً با سامانه‌های همدیدی خارج از مرزها در عراق و سوریه در ارتباط می‌باشند، متمایز است. بررسی شرایط همدیدی و و خرد مقیاس منجر به طوفان گرد و غبار در تفسیر پدیده گرد و خاک یاری‌رسان است.

گسیل ذرات گرد و خاک از سطح زمین در ارتباط مستقیم با طبقه‌بندی جنس خاک، مقدار فرسایش‌پذیری،

جدول ۱- برخی طرحواره‌های مدل WRF-Chem
Table 1. Some schemes of the WRF/Chem model

طرحواره	رهیافت
میکروفیزیک	WRF Single-Moment 5-class scheme
تابش موج بلند	RRTM scheme
تابش موج کوتاه	Goddard shortwave
فیزیک سطح	Noah Land Surface Model
لایه مرزی	Yonsei University scheme
کومولوس	Grell 3D

نتایج و بحث

با توجه به اجرای مدل با دو حوضه به صورت تودرتو، نتایج حوضه شبیه‌سازی دوم که به صورت لانه‌گذاری شده تنظیم شده بود جهت بررسی پارامتر PM10 مورد ارزیابی قرار گرفت. ذرات PM10 به ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر گفته می‌شود و در زمان وقوع طوفان‌های گرد و خاک، غلظت ذرات PM10 را می‌توان به عنوان معیاری مناسب از غلظت ذرات گرد و خاک طبیعی که از سطح زمین و بیابان‌ها گسیل می‌گردد، در نظر گرفت، زیرا در این حالت اکثر جرم ذرات PM10 را ذرات گرد و خاک تشکیل می‌دهد. بمنظور ارزیابی خروجی مدل WRF-Chem، با استفاده از برنامه پس‌پردازشی NCL، نقشه‌های توزیع PM10 به همراه غلظت این پارامتر ترسیم شد. قبل از پرداختن به بررسی غلظت PM10 شبیه‌سازی شده توسط مدل، الگوهای جوی حاکم در زمان رخداد طوفان بطور خلاصه بررسی می‌شود. برای این منظور میدان‌های دما و ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در حوضه شبیه‌سازی، یک روز قبل از رخداد و در روز رخداد طوفان بررسی شده است. (شکل ۲).

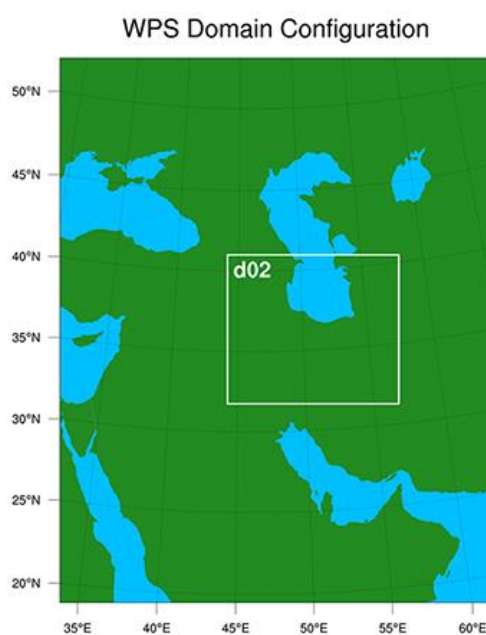
وجود ناوه بر روی نقشه ۵۰۰ hpa بر روی شرق مدیترانه و خاورمیانه در ساعت ۰۰:۰۰ UTC روز اول ژوئن ۲۰۱۴ و پیش‌بینی حرکت سریع آن و نفوذ از مرزهای غربی کشور طی ۲۴ ساعت آینده مطابق نقشه پیش‌یابی ۲۴ ساعته در شکل ۲- a و b مشاهده می‌شود. حضور خط پشته بصورت نصف‌النهاری بر روی تهران در نقشه 500hpa تا ساعت

می‌شوند. الگوی ریاضی توزیع هواویزها با معادله (۱) نمایش داده می‌شود. در معادله (۱)، N تعداد ذرات بر متر مکعب، dp قطر ذرات، dpg قطر میانه، و σg انحراف معیار می‌باشد.
(۱)

$$n(\ln d_p) = \frac{N}{\sqrt{2\pi} \ln \sigma_g} \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{(\ln d_p - \ln d_{pg})^2}{\ln \sigma_g^2} \right]$$

حوضه شبیه‌سازی اصلی به عنوان حوضه اول و حوضه شبیه‌سازی دوم به صورت لانه‌گذاری شده در نظر گرفته شدند. موقعیت این دو حوضه نسبت به یکدیگر در شکل ۱ قابل مشاهده است. فاصله بین نقاط شبکه در حوضه شبیه‌سازی اصلی ۳۰ کیلومتر و در حوضه دوم ۱۰ کیلومتر می‌باشد.

جزئیات بیشتری از سایر تنظیمات مدل WRF-Chem به منظور شبیه‌سازی هواویزهای گرد و خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. اهمیت طرحواره‌های تابشی (Forkel et al., 2013) در برآورد اثرات مستقیم هواویزها است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه‌های شبیه‌سازی
Fig. 1- Location of the simulation domains

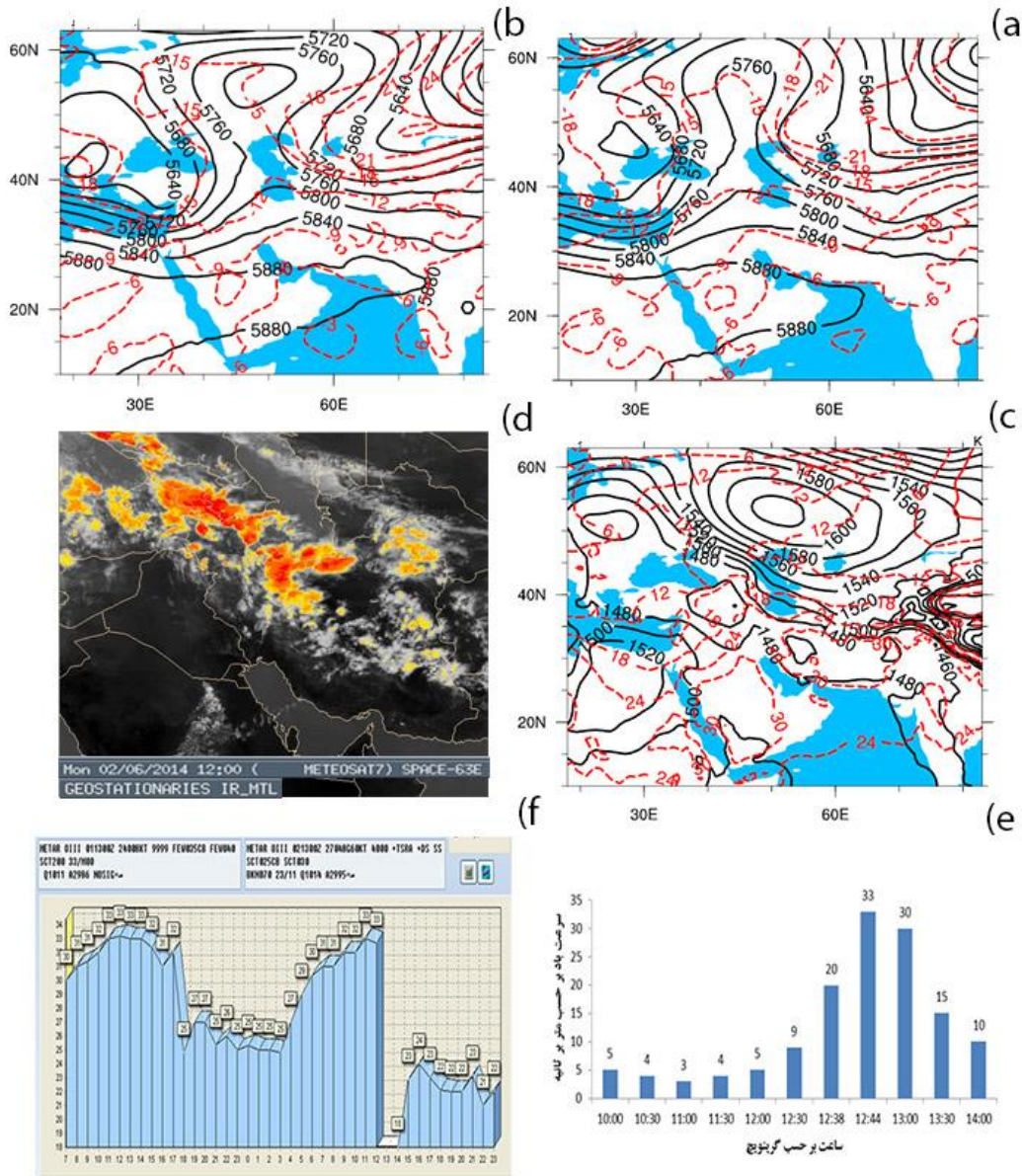
البته از آنجایی که داده قابل اعتمادی برای غلظت ذرات گردو خاک در زمان وقوع پدیده طوفان گردو خاک در دسترس نیست نمی‌توان به طور کمی به مقایسه غلظت بدست آمده توسط مدل با مشاهدات پرداخت و با توجه به شدت پدیده، تنها می‌توان وجود جهش شدید در غلظت PM10 شبیه‌سازی شده توسط مدل را تایید کرد.

شبیه‌سازی کمیته PM2.5 به عنوان ذرات معلق با قطر کمتر از ۲٫۵ میکرومتر نیز توسط مدل برآورد شده است که سری زمانی آن در شکل ۴ قابل ملاحظه است. با مقایسه شکل ۳ و ۴ می‌توان به روشنی دریافت که الگوی تغییرات دو پارامتر PM10 و PM2.5 کاملاً یکسان است. از آنجایی که چشمه ذرات گرد و خاک برای هر دو کمیته یکسان است، بنابراین الگوی تغییرات آنها نیز مشابه یکدیگر خواهد بود. برای کمیته PM2.5، مقدار بیشینه در حدود ۱۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد که به مراتب از غلظت PM10 کمتر است و نشان می‌دهد در زمان وقوع طوفان بیشترین ذرات موجود در جو را ذرات با قطر بیشتر تشکیل می‌دهند.

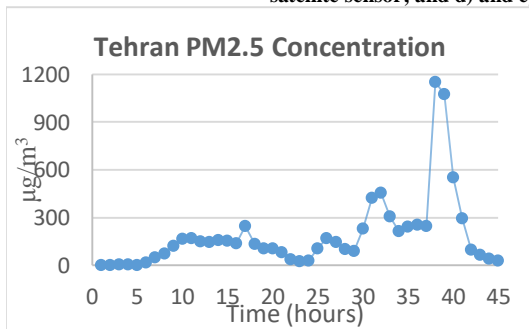
در شکل ۵-a خروجی مدل WRF-Chem برای غلظت PM10 و باد سطحی در ساعت ۱۲ روز ۱۲ خرداد ماه سال ۱۳۹۳ نشان داده شده است. در ساعت ۱۲ توده کوچکی در شمال غربی استان تهران مشاهده می‌شود، به تدریج با گذشت زمان میزان غلظت ذرات افزایش یافته و وزش بادهای غرب و شمال غربی سبب ورود گرد و خاک به داخل شهر تهران می‌گردد تا جایی که در ساعت ۱۵ کل شهر تهران را با غلظت زیادی در بر گرفته است، پس از آن، ذرات به سمت شرق منتقل شده، گستردگی مناطق تحت پوشش بیشتر می‌شود ولی غلظت ذرات PM10 کاهش می‌یابد. نکته قابل توجه این است که اگرچه مدل غلظت زیادی را در مناطق غربی کشور نشان می‌دهد، که از شرق و شمال شرقی کشور عراق به داخل ایران وارد شده، چشمه گسیل طوفان گردو خاک شهر تهران را کاملاً داخلی و مستقل از آن بدست آورده است.

0000UTC روز دوم ژوئن که مانع از همرفت شده و سبب انباشت حداکثری انرژی در لایه‌های زیرین جو در منطقه می‌گردد، در شکل ۲-b نمایان است. با توجه به شکل ۲-c و وضعیت دمایی و ارتفاعی تراز ۸۵۰ hpa و کثافتی، نفوذ جبهه سرد، از ساعت 00:00UTC ژوئن ۲۰۱۴ به استان‌های نوار غربی کشور و رسیدن این جبهه به مناطق مرکزی نفوذ آن به استان تهران مشاهده می‌شود. جبهه سرد شکل گرفته منجر به پوشش ابری قابل توجهی بویژه در نواحی شمال غربی و غرب کشور می‌گردد که در تصویر سنجنده زمین آهنگ METEOSAT7 در محدوده طیفی فرورسرخ (شکل ۲-d) نمایان است. حرکت جبهه سرد بر روی مناطق بیابانی و داغ شرق استان‌های مرکزی، قم و جنوب استان تهران همراه با تولید طوفان گردو خاک در جنوب فرودگاه امام خمینی که سبب پیشگیری از بارش محتمل شده، منجر به تشدید سرعت باد می‌گردد با توجه به شکل ۲-c، فعالیت جبهه سرد به علت رسیدن آن به استان تهران در زمان بیشینه دما در سطح و لایه های مجاور سطح زمین تقویت شده و سبب تشدید سرعت باد در منطقه می‌گردد در (شکل ۲-e). فعالیت انفجاری سامانه در نتیجه بازه زمانی محدود عملکرد آن در حدود یک ساعت می‌باشد. بعلاوه تاثیر بالای اثر جزیره حرارتی کلان شهر تهران بر تشدید ناپایداری محلی، به همراه اختلاف شدید دمایی ناشی از عبور جبهه سرد در زمان بیشینه دما در سطح در شکل ۲-f نمایان است.

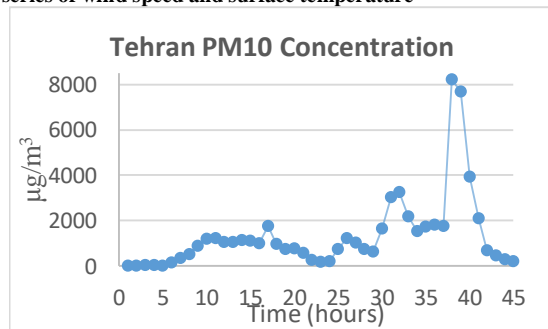
تغییرات زمانی PM10 به عنوان کمیته که نمایش دهنده مقدار ذرات گرد و خاک موجود در جو است، در شکل ۳ نشان داده شده است. پس از گذشت ۳۷ ساعت از شروع شبیه‌سازی، در ساعت ۱۳ روز ۱۲ خرداد ماه، یک جهش شدید در غلظت ذرات PM10 مشاهده می‌شود که بیشینه آن به بیش از ۸۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب می‌رسد. از آنجایی که این زمان مطابق با زمان وقوع طوفان در تهران است، می‌توان نتیجه گرفت که مدل WRF-Chem به خوبی وقوع طوفان گرد و خاک برای منطقه تهران را پیش‌بینی نموده است.



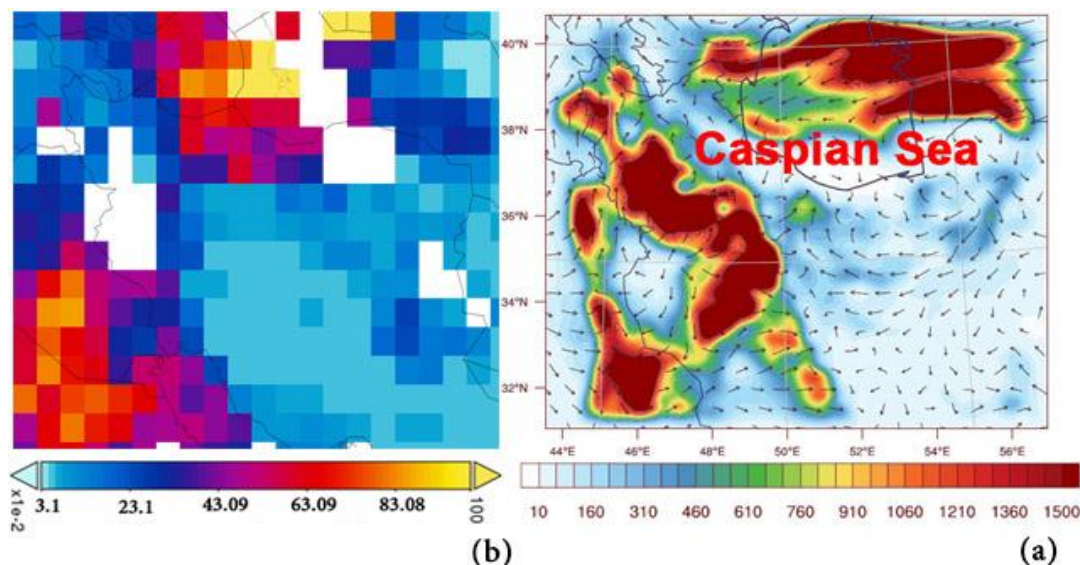
شکل ۲- (a) و (b) پربندهای هم‌ارتفاع در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی به ترتیب در اول و دوم ژوئن ۲۰۱۴ (c) پربندهای هم‌ارتفاع در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی (d) تصویر سنجنده زمین آهنگ METEOSAT7 (e) تغییرات زمانی سرعت باد (f) تغییرات زمانی دمای سطح
 Fig. 2- a) and b) Geo-potential heights on 500 hpa on 1st and 2nd of Jun 2014; c) Image of METEOSAT7 satellite sensor; and d) and e) Time series of wind speed and surface temperature



شکل ۴- تغییرات زمانی غلظت PM2.5 در طول دوره شبیه‌سازی
 Fig. 4- Time series of PM2.5 concentrations over the simulation period



شکل ۳- تغییرات زمانی غلظت PM10 در طول دوره شبیه‌سازی
 Fig. 3- Time series of PM10 concentrations over the simulation period



شکل ۵ - (a) نقشه شبیه‌سازی غلظت ذرات PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) و باد سطحی در ساعت 12UTC روز ۱۲ خرداد ماه سال ۱۳۹۳، و (b) مقادیر عمق نوری هواویزها در طول موج ۵۵۰ نانومتر سنجنده MODIS که از ترکیب دو الگوریتم برای بارزسازی گرد و خاک بر روی اراضی بیابان و سطح دریا با تفکیک 1×1 درجه استفاده می‌نماید، نصب‌شده بر ماهواره Terra

Fig. 5- a) map of PM10 concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) simulation and surface wind on 12UTC, 2 June 2014 and b) Aerosol optical depth on 550 nano-meters from MODIS sensor with a resolution of 1×1 degree

صحت راستی آزمایشی مقادیر غلظت PM10 شبیه سازی شده توسط مدل می‌باشد (Levy *et al.*, 2010; Hsu *et al.*, 2010; Shi *et al.*, 2013).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش طوفان گرد و خاک تهران در خرداد ماه سال ۱۳۹۳ با استفاده از مدل WRF-Chem شبیه‌سازی شد و مقدار هواویزهای موجود در تهران در زمان وقوع آن بررسی شد. مدل‌سازی کیفیت هوا به صورت برخط و با واردسازی همزمان پارامترهای هواشناسی و شیمی جو در فرآیند اجرای مدل، به ویژه هنگامی که غلظت ذرات گرد و خاک مورد نظر باشد، از اهمیت بالایی برخوردار است.

در خروجی مدل، سری زمانی غلظت PM10 و PM2.5 در شهر تهران جهشی ناگهانی را درست در زمان وقوع طوفان نشان می‌دهد که بیان می‌کند مدل زمان وقوع و شدت طوفان را به درستی شبیه‌سازی کرده است.

به دلیل وجود برخی محدودیت‌ها در طرحواره MADE برای مناطق با وضعیت زمین‌شناختی پیچیده، خروجی این طرحواره ممکن است در برخی نقاط دارای بیش‌برآورد یا کم‌برآورد باشد. همین‌طور در صورت وجود خطا در الگوی کاربری اراضی و جنس خاک از نظر فرسایش‌پذیری که نقش تعیین‌کننده در برآورد غلظت گرد و خاک دارد، مناطقی از حوضه شبیه‌سازی مانند شرق دریای خزر و ترکمنستان عموماً دارای غلظت‌های بالای گرد و خاک است که در شکل ۵-b مربوط به مقادیر عمق نوری هواویزها در طول موج ۵۵۰ نانومتر سنجنده MODIS که از ترکیب دو الگوریتم برای بارزسازی گرد و خاک بر روی اراضی بیابان و سطح دریا با تفکیک 1×1 درجه استفاده می‌نماید، برای تاریخ ۱۲ خرداد ۱۳۹۳ مشخص می‌گردد که مقادیری از گرد و خاک بر فراز دریای خزر تجمع یافته است. بعلاوه مقادیر بالای این پارامتر با آستانه بیشتر از ۰.۵ بر روی استان تهران حاکی از شدت طوفان گرد و خاک تهران می‌باشد که موبد

منطقه خاورمیانه رخ داده است، در برخی از مناطق دچار دگرگونی قابل توجهی شده است. ولی داده‌های زمین‌شناسی که در مدل WRF استفاده می‌شود همچنان مربوط به سال‌های گذشته است که در پژوهش‌های کیفیت هوا عامل ایجاد خطا در خروجی مدل است. بدین منظور می‌بایست حداقل در مقیاس منطقه‌ای، داده‌های زمین‌شناختی موثر در گسیل ذرات گرد و غبار تصحیح شده و در اختیار مدل قرار بگیرد.

مدل WRF-Chem علاوه بر توانایی شبیه‌سازی ذرات معلق طبیعی، قابلیت مدل‌سازی ذرات و آلاینده‌های گازی و انسان‌زاد را نیز دارد. در صورت آماده‌سازی دقیق فهرست انتشار برای مناطق شهری، می‌توان از خروجی‌های مدل WRF-Chem برای سنجش و پیش‌بینی کیفیت هوا در حوضه‌های شهری نیز بهره گرفت. البته استفاده از داده‌های جهانی گسیل ذرات معلق جوی گزینه مناسبی برای شبیه‌سازی آلاینده‌های معیار مانند NO_2 ، SO_2 ، و CO است. ولی به منظور برآورد دقیق‌تر از غلظت آلاینده‌های معیار، دستیابی به اطلاعات دقیق با تفکیک بالا از شرایط گسیل ذرات معلق جوی در محیط شهری مورد نیاز است که نیازمند صرف هزینه و زمان طولانی جهت اندازه‌گیری این داده‌ها می‌باشد.

همچنین غلظت ذرات PM_{10} به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر برآورد شده که نشان می‌دهد بیشتر ذرات موجود در جو در زمان وقوع طوفان ابعاد بزرگی دارند. بررسی الگوی غلظت PM_{10} در حوضه شبیه‌سازی نتیجه می‌دهد که مدل چشمه گسیل گرد و خاک را به درستی در داخل کشور بدست آورده است. بنابراین می‌توان گفت عملکرد طرحواره پیشرفته MADE-SORGAM در برآورد مقادیر کمیت PM_{10} به عنوان غلظت گرد و خاک، به ویژه از نظر الگوی تغییرات و آشکارسازی طوفان، از کیفیت قابل قبول و رضایت‌بخشی برخوردار است.

به طور کلی عملکرد مدل عددی WRF-Chem در این پژوهش، قابلیت کاربردی این مدل را در مدل‌سازی و پیش‌بینی کیفیت هوا، به ویژه برای هواویزهایی که از چشمه‌های گسیل طبیعی مانند مناطق فرسایش‌پذیر و بیابان‌ها تولید می‌شوند، تایید می‌کند. به منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر در برآورد ذرات گرد و خاک، تصحیح برخی از ویژگی‌های زمین‌شناختی موثر در گسیل گرد و خاک مانند فرسایش خاک و کاربری اراضی از اهمیت بسزایی برخوردار است. شرایط کاربری اراضی و فرسایش خاک به دلیل تغییراتی که در سال‌های اخیر از نظر اقلیم، پوشش گیاهی، و سایر فراسنج‌های زمین‌شناختی در

منابع

Ackermann, I.J., Hass, H., Memmesheimer, M., Ebel, A., Binkowski, F.S., and Shankar, U., 1998. Modal Aerosol Dynamics model for Europe: Development and first applications. *Atmospheric Environment*. 32(17), 2981–2999.

Binkowski, F.S., and Shankar, U., 1995. The Regional Particulate Matter Model. 1. Model description and preliminary results. *Journal of Geophysical Research*. 100(D12), 26191–26209.

Forkel, R., Werhahn, J., McKeen, S.A., Peckham, S.E., Grell, G.A., and Suppan, P., 2013. A Case

Study on the Impact of Aerosol-Radiation Feedback on Meteorology and Regional Pollutant Distributions. *NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*. 137, 357–361.

Grell, G.A., Peckham, S.E., Schmitz, R., McKeen, S.A., Frost, G., Skamarock, W.C., and Eder, B., 2005. Fully coupled “online” chemistry within the WRF model. *Atmospheric Environment*. 39(37), 6957–6975.

Hamidi, M., Kavianpour, M.R., and Shao, Y., 2014.

Numerical simulation of dust events in the Middle East. *Aeolian Research*. 13, 59–70.

Hsu, N.C., Gautam, R., Sayer, A.M., ettenhausen, C., Li, C., Jeong, M.J., Tsay, S.C. and Holben, B.N., 2012. Global and regional trends of aerosol optical depth over land and ocean using SeaWiFS measurements from 1997 to 2010. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 12, 8037– 8053.

Levy, R.C. Remer L.A., Kleidman R.G., attoo, S. C. Ichoku, R. Kahn, and Eck, T. F., 2010. Global evaluation of the Collection 5 MODIS dark-target aerosol products over land, *Atmospheric Chemistry and Physics*. 10, 10399-10420.

Li, G., Bei, N., Tie, X., and Molina, L.T., 2011. Aerosol effects on the photochemistry in Mexico City during MCMA-2006/MILAGRO campaign. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(11), 5169–5182.

Marticorena, B., and Bergametti, G., 1995. Modeling the Atmospheric Dust Cycle .1. Design of a Soil-Derived Dust Emission Scheme. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*. <http://doi.org/10.1029/95jd00690>

Moridnejad, A., Karimi, N., and Ariya, P.A., 2015. Newly desertified regions in Iraq and its surrounding areas: Significant novel sources of global dust particles. *Journal of Arid Environments*. 116, 1–10.

Park, S.U., Ju, J.W., Lee, I.H., and Joo, S.J., 2016. A parameterization of dust emission (PM10) fluxes of dust events observed at Naiman in Inner Mongolia using the monitored tower data. *Atmospheric Environment*. 140, 420-431.

Prakash, J., Stenchikov, G., Kalenderski, S., Osipov, S., and Bangalath, H., 2015. The impact of dust storms on the Arabian Peninsula and the Red Sea. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 15(1), 199–222.

Schell, B., Ackermann, I.J., Hass, H., Binkowski, F. S., and Ebel, A., 2001. Modeling the formation of secondary organic aerosol within a comprehensive air quality model system. DOI: 10.1029/2001JD000384

Shao, Y. (2004). Simplification of a dust emission scheme and comparison with data. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*. 109(10).

Shi, Y., Zhang, J., Reid, J.S., Hyer, E.J., Hsu, N.C., 2013. Critical evaluation of the MODIS deep Blue aerosol optical depth product for data assimilation over North Africa. *Atmospheric Measurement Techniques*. 6, 949-969.





Environmental Sciences Vol.15 / No.1 / Spring 2017

115-126

Capabilities of the WRF-Chem model in estimating the concentration of dust – A case study of a dust storm in Tehran

Amirhossein Nikfal*, Sara Karami, Abbas Ranjbar Saadatabadi and Saviz Sehatkashani

Atmospheric Chemistry and Air Pollution Research Group, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC)

Received: April 6, 2016

Accepted: February 8, 2017

Nikfal, A., Karami, S., Ranjbar Saadatabadi, A. and Sehatkashani, S., 2017. Capabilities of the WRF-Chem model in estimating the concentration of dust-A case study of a dust storm in Tehran. *Environmental Sciences*. 15(1):115-126.

Introduction Although in recent years several dust models have been investigated for the Middle East, we need to undertake more studies on verification of dust numerical models for the Middle East given the vast expansion of the region and the creation of new dust sources. Several researchers such as Marticorena and Bergametti (1995), Shao *et al.* (1996), Marticorena *et al.* (1997), and Shao *et al.* (2004) have contributed to the development of integrated physical wind erosion models which can be coupled with meteorological models. The parameterizations used in these models include processes such as salination and creep of sand particles.

Materials and methods In this study, numerical simulation and observational techniques were used in order to analyze the dust storm that occurred in Tehran on June 2nd, 2014. The WRF/Chem V3.6.1 model was carried out for two days from 1 to 3 June 2014 by GFS analysis data for the initial and boundary conditions. For this study, an advanced MADE-SORGAM scheme such as the aerosol scheme was used. This scheme is based on the dynamic modal model for particulate matters in Europe. Particulate matters in the MADE aerosol scheme are modelled in the three modes of Aitken (less than 0.1 micro-meter), accumulation (between 0.1 to 2 micro-meters) and coarse (greater than 2 micro-meters).

Results and discussion For the verification of the model WRF/Chem using post-processing programmes, PM10 distribution maps are provided alongside its concentration. The coupling of the small-scale deformation field with a lower tropospheric cool pool as a result of mid-tropospheric cloud precipitation resulted in the genesis of Tehran's dust storm. The results of the model WRF/Chem for PM10 and the surface winds on 2 June 2014 is shown. In terms of dust distribution, the model could determine the main internal dust source and differentiate it from the dust mass originating from eastern Iraq. Because of some limitations in the MADE

* Corresponding Author. *E-mail Address*: anik@ut.ac.ir

aerosol scheme for the regions with high topographical features, its results might show over- and/or under-estimations. Also if there are errors in the land use data and the erosion properties of soil, the model results may show a discrepancy from the real measurements. Some regions of the simulation domain such as the eastern Caspian Sea and Turkmenistan often show a high concentration of dust which, by comparing them to optical thickness data of MODIS satellite, is determined to be consistent with reality.

Conclusion In general, the results of the WRF/Chem model in this study proves its practical aspects and capability in modelling and predicting of air quality, especially for dust particles from natural emission sources such as aeolian and erodible soils. There have been considerable changes in land use and the likelihood of erosion of soils in recent years due to factors such as climate change and vegetation loss in the Middle East region. However, the geographical data used in the pre-processing unit of the WRF model belongs to previous years and this can result in errors in the results; therefore, consideration of the fact that, on the regional scale, the geographical data with high impact in dust emission modelling must be enhanced and corrected is of great importance

Keywords: Dust storm, WRF/Chem model, Numerical simulation.

