

بررسی اثر داده‌گذاری ماهواره، prepbufr و GPSro در پیش‌بینی باد و بار گرد و خاک در دو مورد گرد و خاک در مدل WRF-Chem

زینب ذاکری^۱، مجید آزادی^{۲*}، و سرمد قادر^۳

^۱ دانشجوی دکتری، پژوهشکده هواشناسی، تهران، ایران

^۲ دانشیار، پژوهشکده هواشناسی، تهران، ایران

^۳ دانشیار، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۰۱)

چکیده

در این مطالعه اثر گوارد داده‌های تابندگی ماهواره، داده‌های prepbufr که شامل مجموعه‌ای از داده‌های سطح زمین و جو بالاست و داده‌های GPSro با استفاده از سامانه داده‌گذاری WRFDA در بهبود پیش‌بینی باد و بار گرد و خاک در مدل WRF-Chem بررسی شده است. مطالعات انجام شده روی دو مورد گرد و خاک در غرب کشور در تاریخ‌های ۱۵ ژوئن ۲۰۱۶ و ۳۱ اوت ۲۰۱۵ با منشأ کشور عراق بوده است. برای هر مورد، دو آزمایش مختلف، یک آزمایش داده‌گذاری به روش وردشی سه‌بعدی و با استفاده از خطای زمینه محاسبه شده برای حوزه اجرای مدل و یک آزمایش کنترلی بدون داده‌گذاری انجام شده است. مقایسه نقشه‌های ماهواره با پیش‌بینی بار گرد و خاک مدل نشان می‌دهد که با انجام داده‌گذاری مدل محل گسیل و مسیر ترابرد گرد و خاک در ساعت‌های اولیه پیش‌بینی (۲۴ ساعت اول) را با دقت بیشتری پیش‌بینی می‌کند؛ اما در ادامه و با زیاد شدن سن پیش‌بینی برون‌داد دو آزمایش بدون داده‌گذاری و با داده‌گذاری بسیار شبیه هم می‌شوند. در ارزیابی کمی خطای سرعت باد ملاحظه می‌شود که میانگین قدر مطلق خطا به‌طور سازگار در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال و ۱۰ متری سطح زمین با انجام داده‌گذاری تا حدود ۱۱ درصد کاهش می‌یابد. به‌تدریج و با زیاد شدن سن پیش‌بینی تأثیر مثبت داده‌گذاری کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: داده‌گذاری، سامانه WRFDA، داده تابندگی ماهواره، پیش‌بینی گرد و خاک، مدل WRF-Chem

۱ مقدمه

پدیده گرد و خاک یکی از مخاطرات طبیعی است که نقش مخرب بی در حوزہ‌های مختلف از جمله محیط‌زیست و سلامت دارد. در نواحی بیابانی و نیمه‌بیابانی به‌خصوص در فصول گرم سال در اثر باد سطحی شدید و صعود هوا حجم زیادی از گرد و خاک به هوا بلند شده و از طریق جریانات باد در مسافت‌های صدها تا هزاران کیلومتر جابه‌جا می‌شود (جف و همکاران، ۲۰۰۳). بسیاری از این سامانه‌های گرد و خاک در کشورهای همسایه غربی ایران به‌خصوص نواحی بیابانی عراق و سوریه شکل می‌گیرند و جریانات شرق‌سو موجب انتقال گرد و خاک به مرزهای غربی کشور ایران می‌شود. ذوالجودی و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که خشک‌سالی‌های اخیر در چشمه‌های گرد و خاک خارجی در کشورهای عراق و سوریه تأثیر چشمگیری در وقوع گرد و خاک در غرب ایران دارد. اشرفی و همکاران (۲۰۱۴) نیز در مطالعه‌ای که برای شناسایی منبع و مسیر ترابرد گرد و خاک به‌وسیله مدل Hybrid Single Particle Lagrangian (HYSPLIT Integrated Trajectory) در دو مورد گرد و خاک در سال ۲۰۱۰ انجام دادند، نشان دادند که گرد و خاک از صحرای غربی سوریه به هوا برخاسته و با حرکت به سمت شرق و جنوب شرق به اهواز می‌رسد و میانگین غلظت PM10 در این شهر را که مقدار متوسط سالیانه آن در این شهر $372 \mu\text{g}/\text{m}^3$ می‌باشد تا میزان $625 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بالا می‌برد. این پدیده در سال‌های اخیر اثرات نامطلوبی بر محیط‌زیست، اقتصاد و سلامت ساکنین استان‌های غربی کشور به‌خصوص شهرهای مرزی اهواز و کرمانشاه داشته است. پیش‌بینی درست این پدیده برای کاهش اثرات مخرب ناشی از آن ضروری به نظر می‌رسد.

مدل‌های گسیل و انتقال گرد و خاک از اواخر دهه ۱۹۹۰ توسعه یافتند و از همان زمان نقش مهمی در پیش‌بینی و مطالعه خصوصیات پدیده گرد و خاک دارند

(به‌عنوان مثال مارتیکورنا و برگامتی، ۱۹۹۵؛ مارتیکورنا و همکاران، ۱۹۹۷؛ ونگ و همکاران، ۲۰۰۰). بهبود کیفیت شرایط اولیه کمیته‌های هواشناسی و گسیل گرد و خاک نقش مهمی در پیش‌بینی گرد و خاک دارد زیرا مدل‌های گرد و خاک از این دو به‌عنوان ورودی استفاده می‌کنند؛ بنابراین دو رهیافت مختلف برای بهبود شرایط اولیه در مدل‌های گرد و خاک وجود دارد. هدف این تحقیق بررسی رهیافت اول یعنی بهبود پیش‌بینی گرد و خاک مدل از طریق گوارد کمیته‌های هواشناسی است. کیم و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که عدم قطعیت در پیش‌بینی کمیته‌های هواشناسی می‌تواند خطای بزرگی در پیش‌بینی گرد و خاک به همراه داشته باشد. در بین کمیته‌های هواشناسی پیش‌بینی باد به علت نقش مؤثرش در ایجاد و انتقال گرد و خاک نقش مهمی در پیش‌بینی این پدیده دارد.

در مدل‌های منطقه‌ای پیش‌بینی وضع هوا نیز شرایط اولیه نقش مهمی در پیش‌بینی پدیده‌های هواشناسی دارد. چنگ و استینبرگ (۲۰۰۵) نشان دادند که بهبود در شرایط اولیه مدل به‌اندازه یا حتی بیش از بهبود در فیزیک و فرآیندهای سطح زمین در پیش‌بینی وضعیت جوئی تأثیر دارد.

داده‌گواری فرآیندی است که در آن انواع دیدبانی‌ها با پیش‌بینی یک مدل عددی ترکیب می‌شوند تا بهترین برآورد از حالت اولیه جو به دست آید. مطالعات زیادی در خصوص اثر مثبت گوارد انواع داده مانند داده‌های متداول (مانند سینوپ و جو بالا و متار، رادار، ماهواره، GPS (Global Positioning System) و غیره روی شرایط اولیه و پیش‌بینی حاصل از آن وجود دارد (به‌عنوان مثال ودل و هوانگ، ۲۰۰۴؛ فن و تیلی، ۲۰۰۵). در منطقه ایران نیز مطالعات اندکی در خصوص تأثیر داده‌گواری در مدل‌های منطقه‌ای صورت گرفته است. به‌عنوان مثال نیستانی و همکاران (۱۳۹۶) تأثیر داده‌گواری

کردند. آنها همچنین مقایسه‌ای بین خطای زمینه تمام‌کره-ای قابل استفاده در تمام حوزه‌ها و خطای زمینه محاسبه شده مخصوص حوزه مورد مطالعه صورت داده و نشان دادند که در منطقه مورد مطالعه، برای رسیدن به بهترین نتیجه باید از استفاده از خطای زمینه تمام کره‌ای اجتناب شود. با توجه به این مطلب در این تحقیق خطای زمینه برای حوزه مورد بررسی محاسبه و در فرآیند داده‌گواری مورد استفاده قرار گرفته است.

در خصوص تأثیر گوارد داده‌های هواشناسی در پیش-بینی بار گرد و خاک (dust load) در کشور تاکنون مطالعه‌ای صورت نگرفته است. در این مطالعه اثر گوارد داده‌های تابندگی ماهواره، prebuf و GPS (GPS radio occultation) با استفاده از سامانه داده‌گواری WRFDA در مدل پیش‌بینی WRF-Chem در دو مورد گرد و خاک با منشأ کشور عراق بررسی شده است. داده‌های prebuf شامل مجموعه‌ای از داده‌های سطح زمین و جو بالا هستند و GPS یک تکنیک نسبتاً جدید است که در آن کمیته‌های هواشناسی با اندازه‌گیری میزان شکست امواج GPS در اثر عبور از جو که توسط ماهواره‌ها دریافت می‌شوند، به دست می‌آیند. این داده‌ها به همراه داده‌های prebuf توسط NCEP (National Centers for Environmental Prediction) گردآوری می‌شوند. روش داده‌گواری استفاده شده در این تحقیق روش وردشی سه‌بعدی یا 3D-Var بوده است. این روش به دلیل اینکه از لحاظ محاسباتی مقرون‌به‌صرفه است و در ضمن امکان کنترل کیفی داده‌ها در فرآیند داده‌گواری و امکان گوارد مستقیم داده‌های تابندگی ماهواره را فراهم می‌کند از اهمیت و کاربرد زیادی برخوردار است.

۲ پیکربندی و حوزه اجرای مدل

در این تحقیق از نسخه ۳.۷.۱ مدل WRF-Chem (گرل و همکاران، ۲۰۰۵) که یک مدل منطقه‌ای جفت شده پیش-

به روش 3D-Var (3-Dimensional Variational) را در بهبود پیش‌بینی بارش در یک مورد بارش سنگین در منطقه غرب ایران مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که اریبی بارش در مقایسه با داده‌های مشاهداتی تا میزان ۷۳ درصد در پیش‌بینی بارش تجمعی ۲۴ ساعته کاهش می‌یابد. آنها همچنین نشان دادند که تأثیر داده‌گواری در پیش‌بینی بارش تجمعی ۴۸ ساعته کم می‌شود. شریفی و همکاران (۲۰۱۶) نیز با استفاده از داده‌های سطح زمین، جو بالا و داده‌های بخار آب قابل بارش GPS زمین‌منا در سامانه WRFDA (WRF Data Assimilation) در دو مورد بارندگی در شمال ایران کاهش به میزان ۵ تا ۱۳ درصد در میانگین قدر مطلق خطای پیش‌بینی بارش تجمعی ۲۴ ساعته مدل به دست آوردند. در خصوص استفاده از داده‌های ماهواره در داده‌گواری نیز مطالعاتی در منطقه ایران و کشورهای همسایه آن وجود دارد. به‌عنوان مثال زو و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر گوارد داده‌های تابندگی (Radiance) ماهواره را با استفاده از سامانه داده‌گواری GSI (Gridpoint Statistical Interpolation) در مدل WRF (Weather Research and Forecasting) در منطقه‌ای با ناهمواری پیچیده در جنوب غربی آسیا بررسی کردند و نشان دادند که گوارد این داده‌ها تأثیر مثبتی روی پیش‌بینی مدل دارد و خطای مدل تا حدی در بعضی مناطق کاهش می‌یابد. ذاکری و همکاران (۱۳۹۴) نیز تأثیر داده-گواری داده‌های تابندگی ماهواره و ایستگاه‌های زمین و جو بالا به روش 3D-Var را در یک دوره دو ماهه بررسی کردند و بهبود اندکی در پیش‌بینی ۴۸ ساعته باد و دما مشاهده کردند؛ اما هیچ‌گونه بررسی روی برون‌داد مدل در ساعات اولیه پیش‌بینی صورت ندادند. در مطالعه دیگری ذاکری و همکاران (۲۰۱۷) با گوارد همین داده‌ها برای سه مورد بارندگی در کشور بهبود نسبی در برون‌داد دما با حداکثر میزان ۱۳ درصد و بارندگی با حداکثر میزان ۹ درصد به‌خصوص در ساعات اولیه پیش‌بینی مشاهده

یک بار بدون داده‌گواری (CTRL) و یک بار با داده‌گواری (DA) اجرا شده و در نهایت پیش‌بینی مدل برای باد و بار گرد و خاک با هم مقایسه شده‌اند.

در آزمایش‌های داده‌گواری به روش 3D-Var مدل به روش متناوب (Intermittent) با سه چرخه متوالی در ساعت‌های ۰۰، ۰۶ و ۱۲ UTC اجرا شده است (وارنر، ۲۰۱۰). در ساعت ۰۰ UTC با یک شروع سرد با استفاده از داده‌های GFS به‌عنوان شرایط اولیه و مرزی و گوارد داده‌های ماهواره و غیره، مدل اجرا شده سپس دو چرخه متناوب داده‌گواری در ساعت‌های ۰۶ و ۱۲ UTC انجام شده است که در این چرخه‌ها برای شرایط اولیه به‌جای داده‌های GFS برونداد ۶ ساعته مدل در اجرای قبلی مورد استفاده قرار گرفته است. در هر زمان تحلیل دیدبانی‌ها در پنجره ± 1 ساعته به مدل داده شده‌اند. در آخرین چرخه یعنی در ساعت ۱۲ بعد از انجام داده‌گواری، مدل به مدت ۴۸ ساعت اجرا شده است. در شکل ۱ نمایی از چرخه‌های داده‌گواری به روش متناوب 3D-Var آمده است. برای آزمایش بدون داده‌گواری (CTRL) نیز مدل با چرخه‌های ذکر شده در بالا اجرا شده با این تفاوت که در چرخه‌ها داده‌گواری انجام نشده است.

در داده‌گواری به روش وردشی نیاز به دانستن خطای زمینه می‌باشد. یکی از روش‌های محاسبه خطای زمینه، روش NMC (National Meteorological Center)

بینی وضع هوا و شیمی جو است برای پیش‌بینی باد و بار گرد و خاک استفاده شده است. منطقه اجرای مدل حوزه-ای با تفکیک افقی ۲۱ کیلومتر از طول جغرافیایی ۳۷ تا ۶۷ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۱۹ تا ۴۲ درجه شمالی و ۴۱ تراز قائم دارای $142 \times 130 \times 41$ نقطه شبکه‌ای شامل ایران و کشورهای همسایه غربی است. شرایط اولیه و مرزی از مدل GFS (Global Forecast System) با تفکیک افقی نیم درجه گرفته شده است. طرحواره گسیل گرد و خاک استفاده شده در مدل WRF-Chem طرحواره (Goddard Chemistry Aerosol Radiation and Transport)؛ چین و همکاران، ۲۰۰۰؛ گینوکس و همکاران، ۲۰۰۱) بوده است. خلاصه‌ای از پیکربندی مدل و طرحواره‌های فیزیکی استفاده شده در مدل در جدول ۱ ارائه شده است.

مدل استفاده شده برای داده‌گواری مدل WRFDA بوده است که از هسته دینامیکی ARW (Advanced Research WRF) مدل WRF است (بارکر و همکاران، ۲۰۰۴؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۰۹).

۳ زمان و نحوه انجام داده‌گواری

مدل برای دو مورد گرد و خاک در غرب کشور با منشأ کشور عراق در تاریخ‌های ۳۱ اوت ۲۰۱۵ و ۱۵ ژوئن ۲۰۱۶ اجرا شده است. در هر دو مورد، مدل WRF-Chem

جدول ۱. تنظیمات مدل و طرحواره‌های فیزیکی.

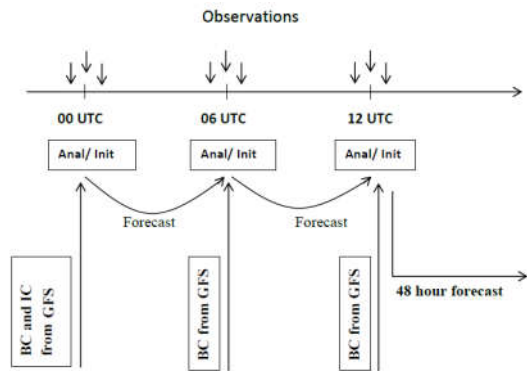
| | کمیت | پیکربندی |
|---------------|-----------------------|---|
| طرحواره فیزیک | Microphysics | WSM 3-class simple ice (Hong et al., 2004) |
| | Longwave radiation | RRTM (Iacono et al., 2008) |
| | Shortwave radiation | Dudhia (Dudhia, 1988) |
| | Surface layer | MM5 Monin-Obukhov (Monin and Obukhov 1954) |
| | Land surface model | Unified Noah land-surface model (Chen and Dudhia, 2001) |
| گسیل | Boundary layer | YSU (Hong et al., 2006) |
| | Cumulus | Kain-Fritsch (new Eta) (Kain, 2004) |
| شبکه | Emission (dust_opt) | GOCART |
| | Horizontal resolution | 21 km |
| | Vertical levels | 41 levels |
| | Model top | At 25 hPa |

همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که در منطقه ایران برای رسیدن به بهترین نتیجه باید از استفاده از خطای زمینه تمام کره‌ای اجتناب شود؛ بنابراین، در این تحقیق ماتریس هم‌وردای خطای زمینه برای حوزه اجرای مدل با استفاده از اختلاف پیش‌بینی ۱۲ و ۲۴ ساعته مدل در ماه ژانویه سال ۲۰۱۴ (اجرای مدل برای ساعات ۰۰ و ۱۲) و به روش CV5 محاسبه شده است. تفاوت عمده دو روش CV3 و CV5 در نحوه محاسبه کوواریانس‌های خطاست. CV3 از پالایه‌های بازگشتی (Recursive Filter) عمودی برای مدل‌سازی کوواریانس عمودی استفاده می‌کند، درحالی‌که CV5 از یک تابع متعامد تجربی (Empirical Orthogonal Function) استفاده می‌کند. به‌علاوه پالایه‌های بازگشتی که برای مدل‌سازی کوواریانس افقی استفاده می‌شود در این خطاهای زمینه متفاوت هستند. در ضمن در CV3 متغیرهای کنترلی در فضای فیزیکی هستند درحالی‌که در CV5 در فضای بردار ویژه تعریف می‌شوند. برای جزئیات بیشتر به روتاری و همکاران (۲۰۱۴) مراجعه شود.

۴ داده‌های مورد استفاده در فرآیند داده‌گزاری

۱-۴ داده‌های ماهواره

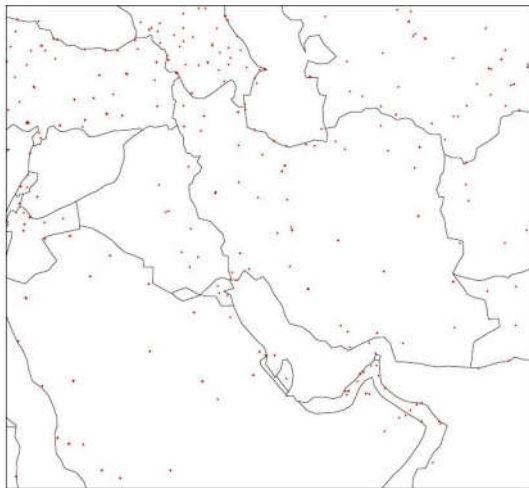
در این تحقیق از داده‌های تابندگی حسگرهای AMSU-SEVIRI روی ماهواره‌های NOAA15, 16, 18, 19، A، AMSU-B، HIRS4، AIRS، JASI، MHS و MSG و EOS2 استفاده شده است. این داده‌ها که تولید NCEP هستند، به فرمت BUFR در بازه‌های ۶ ساعته و در ساعات ۰۰، ۰۶، ۱۲ و ۱۸ UTC و به نشانی <http://nomads.ncdc.noaa.gov/data/gdas> در دسترس است. جزئیات حسگرهای استفاده شده از هر ماهواره در جدول ۲ آمده است. برای گوارد تابندگی ماهواره‌ها از مدل انتقال تابشی CRTM (Community Radiative



شکل ۱. نمایشی از چرخه داده‌گزاری در روش متناوب.

می‌باشد. در این روش خطای زمینه با استفاده از تفاوت پیش‌بینی‌های با زمان اعتبار یکسان و سن پیش‌بینی مختلف به دست می‌آید (پریش و دربر، ۱۹۹۲). در مدل‌های منطقه‌ای این تفاوت معمولاً اختلاف بین پیش‌بینی ۱۲ و ۲۴ ساعته در نظر گرفته می‌شود.

در سامانه WRFDA یک خطای زمینه تمام کره‌ای موسوم به CV3 ارائه شده است که به روش NMC محاسبه شده است و برای تمام حوزه‌ها قابل استفاده است. این خطای زمینه از اختلاف پیش‌بینی ۲۴ و ۴۸ ساعته مدل GFS با تفکیک T1۷۰ (حدود ۰/۷ درجه) برای ۳۵۷ نمونه در طول یک سال محاسبه شده است، اما این امکان وجود دارد که برای هر منطقه خطای زمینه را با توجه به حوزه و تفکیک افقی آن محاسبه نمود. مطالعات مختلفی در خصوص مقایسه تأثیر خطاهای زمینه تمام کره‌ای و مخصوص حوزه در داده‌گزاری وجود دارد که نشان می‌دهد خطای زمینه مخصوص حوزه، تأثیر بهتری در کاهش خطای پیش‌بینی دارد. ذاکری و همکاران (۱۳۹۵) با انجام آزمایش دیدبانی تک‌نقطه‌ای نشان دادند که نمو تحلیل (اختلاف بردار تحلیل و حدس اولیه) در داده‌گزاری باد و دما در صورت استفاده از خطای زمینه مخصوص حوزه از حالتی که از خطای زمینه تمام کره‌ای استفاده شود به واقعیت نزدیک‌تر است. در مطالعه دیگری، همان‌طور که در مقدمه اشاره شد، ذاکری و



شکل ۲. پراکندگی داده‌های prepbufr در ساعت ۰۰ UTC روز ۳۱ اوت ۲۰۱۵ در حوزه اجرای مدل.

۲-۴ داده‌های prepbufr و GPSro

داده‌های prepbufr شامل مجموعه‌ای از داده‌های سطح زمین و جو بالاست که توسط مرکز NCEP و به فرمت BUFR گردآوری می‌شوند. این داده‌ها شامل داده‌های سطح زمین خشکی و دریا، رادیوسوند و گزارش‌های هوانوردی از داده‌های GTS (Global Telecommunication System) و داده‌های پروفایلر و غیره هستند. این گزارش‌ها شامل کمیت‌های فشار، ارتفاع ژئوپتانسیل، دمای خشک، دمای نقطه شبنم و سرعت و جهت باد هستند که در بازه‌های ۱ تا ۱۲ ساعته اندازه‌گیری می‌شوند. این داده‌ها به همراه داده‌های GPSro که در مقدمه به آن اشاره شد در بازه‌های ۶ ساعته در نشانی <http://nomads.ncdc.noaa.gov/data/gdas> در دسترس است. در شکل ۲ پراکندگی داده‌های prepbufr از ایستگاه‌هایی که در ساعت ۰۰ UTC روز ۳۱ اوت ۲۰۱۵ در حوزه مورد مطالعه دارای داده بوده‌اند، رسم شده است و در جدول ۳ تعداد انواع داده استفاده شده در ساعات مختلف در چرخه داده‌گذاری در این تاریخ آمده است.

Transfer Model؛ لیو و ونگ، ۲۰۰۶) استفاده شده است که توسط مرکز JCSDA (Joint Center for Satellite Data Assimilation) در ایالات متحده ارائه شده است و در بسته نرم‌افزاری WRFDA موجود است. داده‌های ماهواره قبل از داده‌گذاری نیاز به پردازش‌هایی از قبیل کنترل کیفی، تنک‌سازی (thinning) و حذف اریبی دارند. دبر و وو (۱۹۹۸) نشان دادند که حتی وجود یک داده نقطه‌ای با خطای بالا موجب تغییرات اساسی در تحلیل و در پیش‌بینی به‌دست‌آمده از آن می‌شود؛ بنابراین نیاز است داده‌ها ابتدا کنترل کیفی شوند. کنترل کیفی در WRFDA شامل بررسی مکان و حذف دیدبانی‌های خارج از حوزه، کنترل سازگاری نمایه قائم داده‌های جو بالا و تنک‌سازی، شامل حذف نقاط تکراری و داده‌های ناقص است. روش حذف اریبی استفاده شده روش وردشی موسوم به VarBC (Variational Bias Correction؛ دی، ۲۰۰۵) است. تمام این مراحل شامل کنترل کیفی، تنک‌سازی و حذف اریبی قبل و حین انجام فرآیند داده‌گذاری انجام شده است. اگرچه در یک سیستم داده‌گذاری برای مدل منطقه‌ای استفاده از روش VarBC برای به دست آوردن ضرایب مناسبی برای تصحیح اریبی کار دشواری است زیرا پدیده‌های جوی در یک مدل منطقه‌ای برای به دست آوردن اریبی تابندگی در آن حوزه محدود کافی نیستند. به‌علاوه، پوشش ماهواره‌های مدار قطبی در منطقه محدود، غیر یکنواخت و بسیار متغیر است (کازوموری، ۲۰۱۳). در این تحقیق تلاش‌هایی برای تنظیم ضرایب تصحیح اریبی برای کانال‌های متفاوت حسگرهای مختلف صورت گرفت ولی در نهایت از شروع سرد در VarBC با ضرایب پیش‌فرض استفاده شد زیرا نتایج بهتری با استفاده از ضرایب پیش‌فرض حاصل شد.

۵ مطالعه موردی اول

۱-۵ تحلیل همدیدی

در بررسی نقشه‌های داده‌های ERA Interim ECMWF با تفکیک افقی ۰/۷۵ درجه برای میدان فشار متوسط سطح دریا و باد ده متری در ساعت UTC ۰۰ روز ۱۶ ژوئن سال ۲۰۱۶ برابر با ۲۶ خرداد ۱۳۹۵ (شکل ۳-الف)، سامانه کم-فشاری با مرکز hPa ۹۹۶ در شمال کشور عراق ملاحظه می‌شود و در تراز hPa ۸۵۰ در همین منطقه حرکت صعودی دیده می‌شود (شکل ۳-ب) که باعث گسیل گرد و خاک در این منطقه شده است. در شکل (۳-ج) در

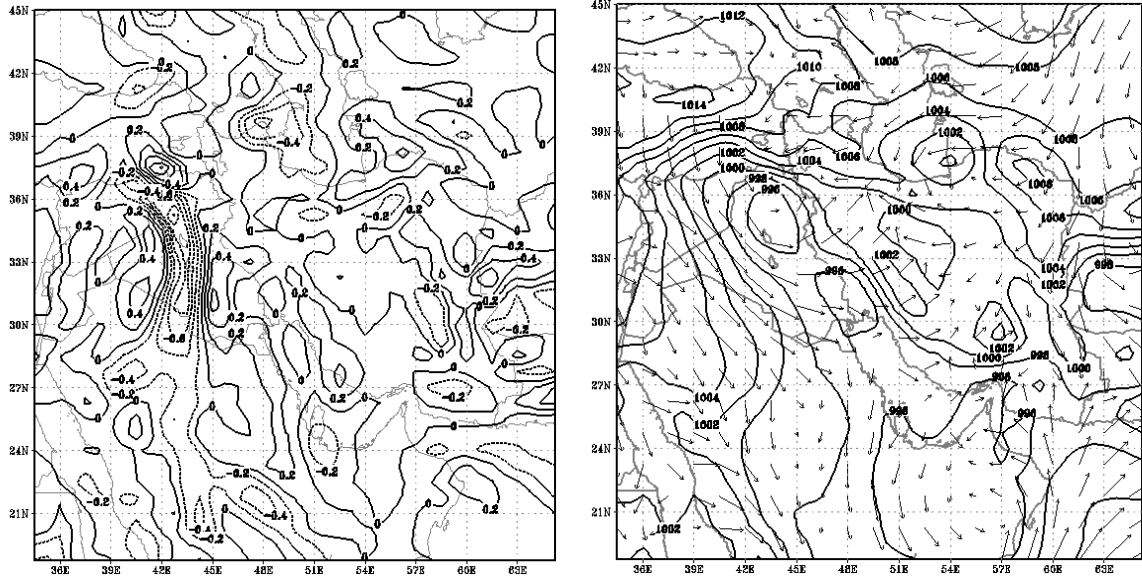
بالای این منطقه و در تراز hPa ۵۰۰ ناوهای روی کشور سوریه و عراق وجود دارد. در ساعت UTC ۱۲ روز شانزدهم همان‌طور که در شکل (۴-الف) ملاحظه می‌شود، کم‌فشار سطح زمین تضعیف شده به طوری که فشار در مرکز آن به hPa ۹۹۸ رسیده است. جهت باد در این شکل غربی و شمال غربی می‌باشد که سبب ترابرد گرد و خاک به عربستان و مرزهای ایران شده است. در تراز hPa ۸۵۰ در شکل (۴-ب) حرکت صعودی قابل ملاحظه‌ای دیده نمی‌شود و کم‌ارتفاع تراز hPa ۵۰۰ به سمت شرق حرکت کرده است.

جدول ۲. حسگرهای مختلف استفاده شده در فرآیند داده‌گواری از ماهواره‌های مختلف.

| ماهواره | حسگر |
|----------------------------------|--------|
| NOAA15, 16, 18, 19, EOS2, Metop2 | AMSU-A |
| NOAA18 | HIRS4 |
| NOAA18, 19 | MHS |
| EOS2 | AIRS |
| MSG3 | SEVIRI |
| Metop2 | IASI |

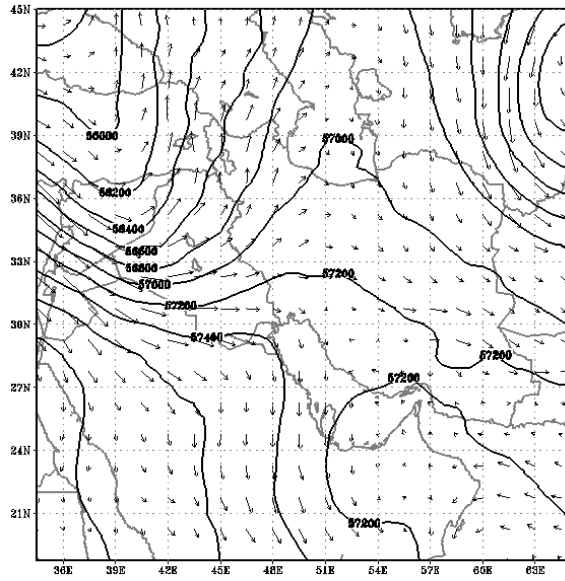
جدول ۳. تعداد و انواع داده استفاده شده در چرخه داده‌گواری در تاریخ ۲۰۱۵/۰۸/۳۱.

| منبع داده | نوع داده | توضیحات | تعداد | | |
|-----------|----------|---|--------|--------|--------|
| | | | 00 UTC | 06 UTC | 12 UTC |
| | synop | داده‌های مشاهداتی از ایستگاه‌های سطح زمین | ۲۶۵ | ۲۸۳ | ۳۲۶ |
| | temp | داده‌های مشاهداتی از ایستگاه‌های جو بالا | ۱۷ | ۰ | ۱۴ |
| | ship | داده‌های مشاهداتی از کشتی‌ها | ۶ | ۵ | ۵ |
| prepbufr | metar | داده‌های مشاهداتی برای مقاصد هوانوردی از ایستگاه‌های سطح زمین | ۳۵۵ | ۴۷۳ | ۴۸۲ |
| | buoy | داده‌های مشاهداتی از بویی‌های دریایی | ۲ | ۰ | ۰ |
| | geoamv | بردارهای حرکت جوی از ماهواره‌های زمین ثابت | ۸۵۵ | ۱۴۲۶ | ۱۶۲۵ |
| | pilot | گزارش باد جو بالا از ایستگاه‌های سطح زمین | ۰ | ۲ | ۱ |
| gpsro | gpsrf | داده‌های GPS | ۰ | ۱۴۸۶ | ۳۰۰ |
| ماهواره | radiance | داده‌های تابندگی ماهواره | ۲۶۶۷۲ | ۱۱۱۵۳ | ۲۴۱۳۶ |



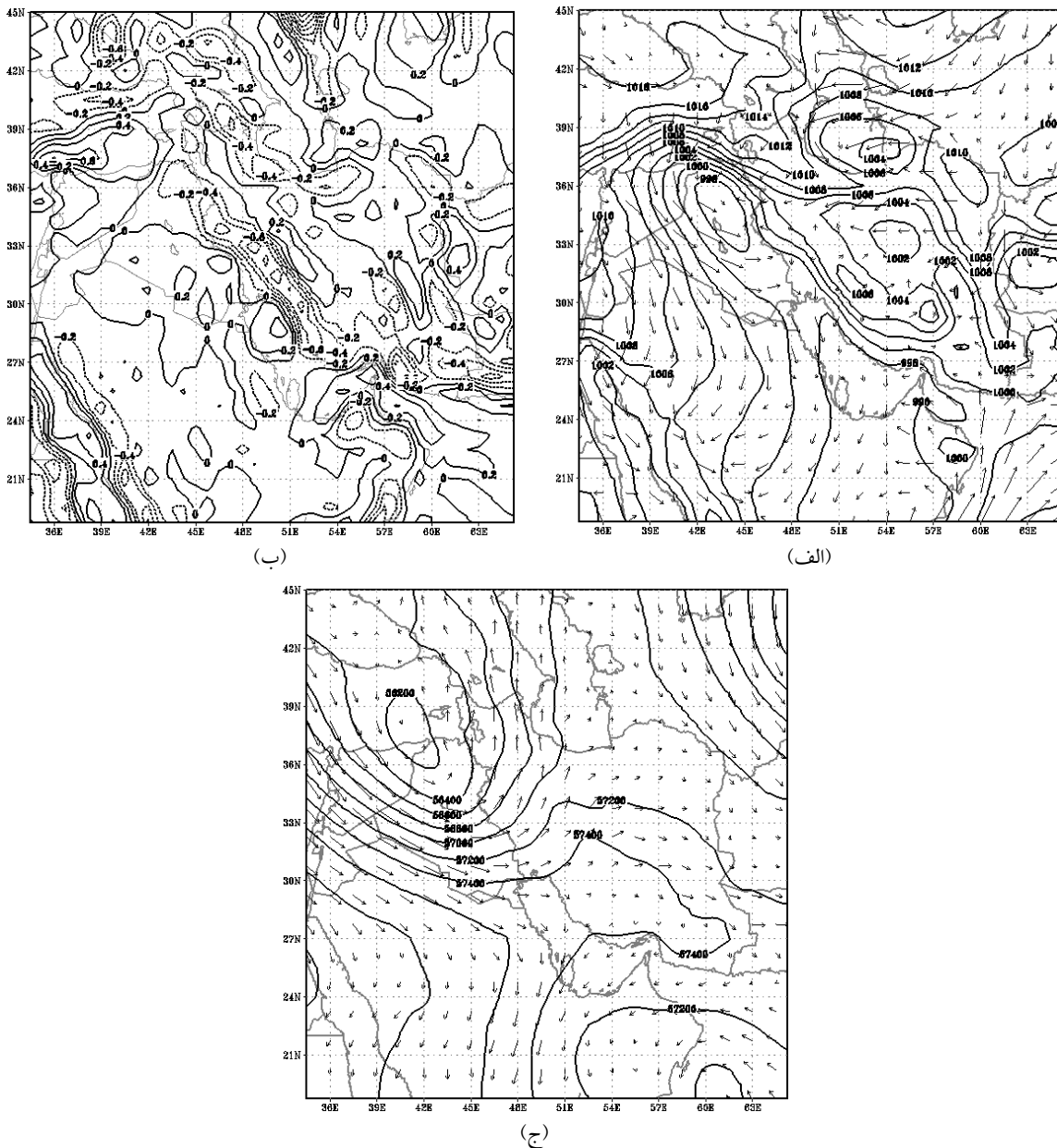
(ب)

(الف)



(ج)

شکل ۳. نقشه داده‌های بازتحلیل ECMWF در ساعت ۰۰ تاریخ ۲۰۱۶/۰۶/۱۶ (الف) باد ده متری و فشار متوسط سطح دریا (فاصله پربندی ۲ hPa)، (ب) مؤلفه قائم سرعت باد تراز ۸۵۰ hPa (فاصله پربندی ۰/۲ Pa/s)، (ج) میدان باد و ارتفاع تراز ۵۰۰ hPa (فاصله پربندی ۲۰۰ m).

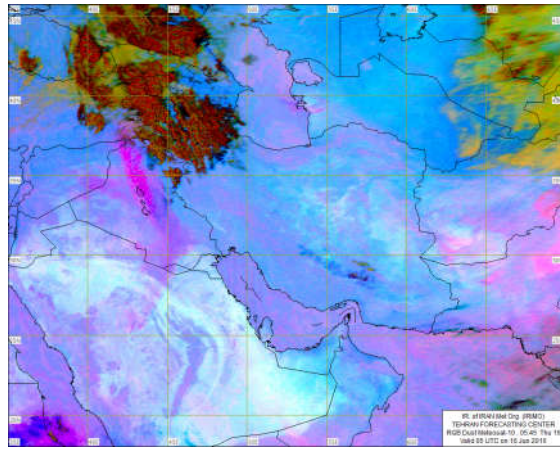


شکل ۴. نقشه داده‌های بازتحلیل ECMWF در ساعت ۱۲ UTC تاریخ ۲۰۱۶/۰۶/۱۶. (الف) باد ده متری و فشار متوسط سطح دریا (فاصله پرنبدی ۲ hPa). (ب) مؤلفه قائم سرعت باد تراز ۵۰۰ hPa (فاصله پرنبدی ۰/۲ Pa/s)، (ج) میدان باد و ارتفاع تراز ۵۰۰ hPa (فاصله پرنبدی ۲۰۰ m).

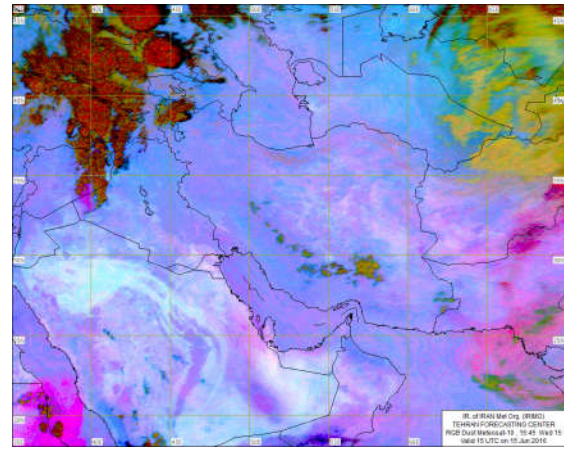
مرزهای ایران رسیده و از مرزهای عربستان عبور کرده است (شکل ۵-ج). در ساعت ۰۰ UTC روز هفدهم گرد و خاک ضمن حرکت شرق سو داخل مرز ایران از شدتش کاسته شده ولی موج دوم گرد و خاک در حال ورود به کشور است (شکل ۵-د). در ساعت ۱۲ و ۰۶ همان روز موج دوم گرد و خاک با شدت بیشتری، استان‌های

همان‌طور که در تصاویر RGB ماهواره Meteosat-10 در شکل ۵ دیده می‌شود، در ساعت ۱۶ UTC روز ۱۵ ژوئن ۲۰۱۶ گرد و خاک از مرز عراق و سوریه گسیل شده (شکل ۵-الف) و با حرکت به سوی شرق و جنوب شرقی بر غلظت آن افزوده شده است (شکل ۵-ب). این موج گرد و خاک در ساعت ۱۲ UTC روز شانزدهم به

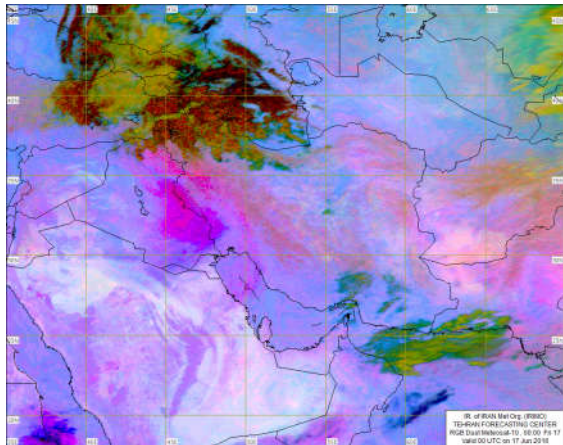
غربی مانند ایلام و کرمانشاه و کردستان را در بر گرفته است (شکل های ۵-۵ و ۵-۵).



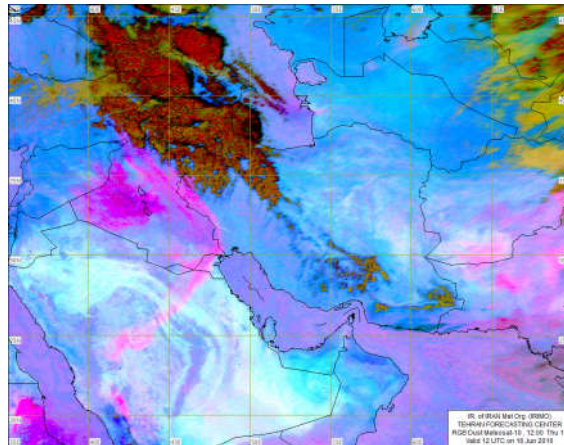
(ب)



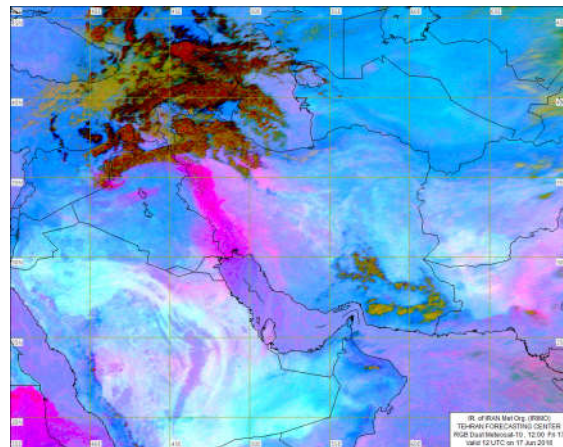
(الف)



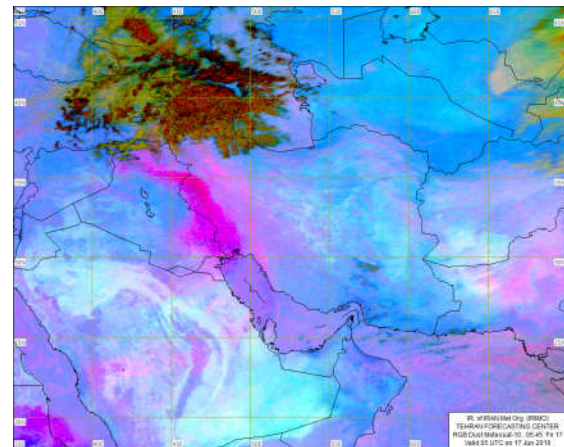
(د)



(ج)



(و)



(ه)

شکل ۵. تصاویر RGB از ماهواره Meteosat-10. (الف) ۲۰۱۶/۰۶/۱۵ ساعت ۱۶ UTC، (ب) ۲۰۱۶/۰۶/۱۶ ساعت ۰۶ UTC، (ج) ۲۰۱۶/۰۶/۱۶ ساعت ۱۲ UTC، (د) ۲۰۱۶/۰۶/۱۷ ساعت ۰۰ UTC، (ه) ۲۰۱۶/۰۶/۱۷ ساعت ۰۶ UTC، (و) ۲۰۱۶/۰۶/۱۷ ساعت ۱۲ UTC (عکس‌ها برگرفته از سازمان هواشناسی کشور است).

۵-۲ آزمایش عددی

برای شبیه‌سازی عددی این مورد، مدل در ساعت UTC ۱۲ روز ۱۵ ژوئن ۲۰۱۶ و به مدت ۴۸ ساعت بدون داده-گوازی و با داده‌گوازی به روش متناوب 3D-Var اجرا شده است (آزمایش‌های CTRL و DA). در شکل ۶ پیش‌بینی بار گرد و خاک و باد ده متری سطح زمین برای این دو آزمایش در ساعت‌های مختلف ترسیم شده است. از بررسی شکل (۶-الف) برای ساعت UTC ۱۸ روز ۱۵ ام و مقایسه آن با تصویر ماهواره در شکل (۵-الف) ملاحظه می‌شود که مدل زمان و محل گسیل گرد و خاک در مرز عراق و سوریه را با تقریب نسبتاً خوبی پیش‌بینی کرده است. در ادامه و در ساعت‌های آتی، به‌عنوان مثال با مقایسه شکل‌های (۵-ج) ماهواره و (۶-ج) مدل برای ساعت UTC ۱۲ روز ۱۶ ام ملاحظه می‌شود که مدل افزایش شدت گرد و خاک و مسیر ترابرد آن به سوی عربستان و مرزهای ایران را به‌خوبی نشان داده است، ولی غلظت گرد و خاک ورودی به مرزهای ایران را کمتر از مقدار واقعی و گرد و خاک وارد شده به مرزهای عربستان را بیش از مقدار واقعی تخمین زده است. بنابراین اگرچه مدل محل و زمان گسیل گرد و خاک را به‌خوبی پیش‌بینی کرده است ولی در پیش‌بینی مسیر ترابرد و بار گرد و خاک وارد شده به مرزهای ایران و عربستان با خطا همراه بوده است.

مقایسه دو آزمایش CTRL و DA در شکل‌های (۶-الف و ب) برای ساعت UTC ۱۸ روز ۱۵ ام (پیش‌بینی ۶ ساعته مدل) تفاوتی را در محل گسیل گرد و خاک در مرز عراق و سوریه در دو حالت با داده‌گوازی و بدون آن نشان می‌دهد و با مقایسه آن با تصویر ماهواره در شکل (۵-الف) به نظر می‌رسد که آزمایش با داده‌گوازی به واقعیت نزدیک‌تر است. در شکل‌های (۶-ج و د) برای ساعت ۱۲ روز ۱۶ ام مشاهده می‌شود که آزمایش همراه با داده‌گوازی (شکل ۶-د) شدت گرد و خاک وارد شده

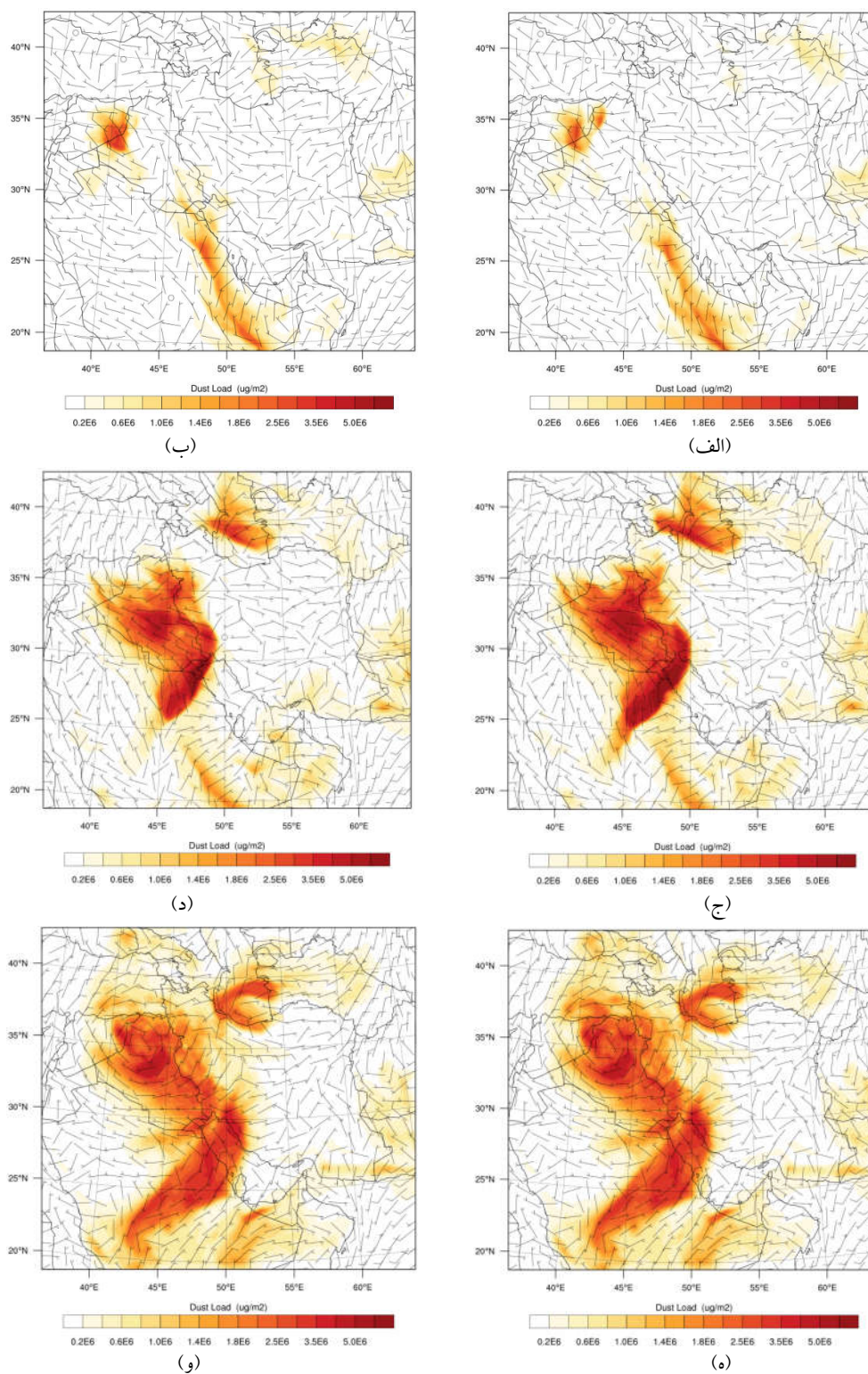
به کشور عربستان را کمتر از حالت بدون داده‌گوازی (شکل ۶-ج) تخمین زده است. از مقایسه این شکل‌ها با تصویر ماهواره در همین ساعت در شکل (۵-ج) ملاحظه می‌شود که آزمایش همراه با داده‌گوازی به واقعیت نزدیک‌تر است. در ساعت UTC ۱۲ روز ۱۷ ام در شکل-های (۶-ه و و) برای پیش‌بینی ۴۸ ساعته مدل ملاحظه می‌شود که برون‌داد مدل در دو آزمایش کنترلی و داده‌گوازی بسیار شبیه هم شده‌اند.

۶ مطالعه موردی دوم

۶-۱ تحلیل همدیدی

در نقشه داده‌های بازتحلیل ERA-Interim ECMWF در ساعت UTC ۱۲ روز ۳۱ اوت ۲۰۱۵ برابر با ۹ شهریور ۱۳۹۴ مانند مورد اول سامانه کم‌فشاری با مرکز hPa ۱۰۰۰ در شمال کشور عراق دیده می‌شود (شکل ۷-الف). در تراز hPa ۸۵۰ در شکل (۷-ب) در همین منطقه حرکت صعودی مشاهده می‌شود که باعث گسیل گرد و خاک در این ناحیه شده است. در شکل (۷-ج) در تراز hPa ۵۰۰ کم‌ارتفاعی با مرکز m ۵۷۰۰۰ در مرز دو کشور سوریه و عراق وجود دارد.

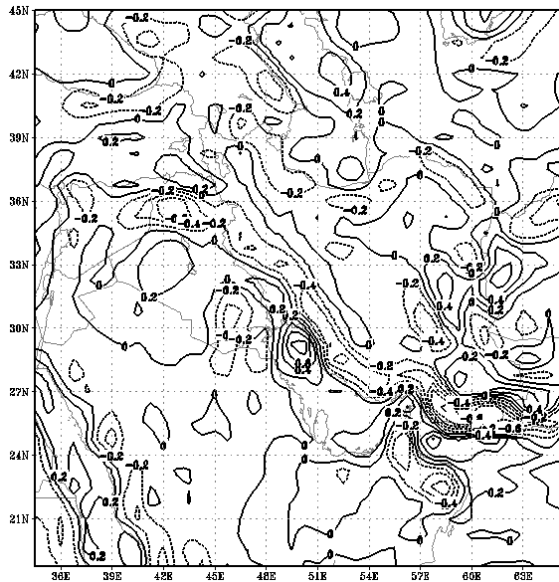
همان‌طور که در تصاویر RGB ماهواره Meteosat-10 در شکل ۸ دیده می‌شود، در ساعت UTC ۱۲ روز ۳۱ اوت ۲۰۱۵ گرد و خاک شدیدی از مرز عراق و سوریه گسیل شده (شکل ۸-الف) و با حرکت چرخشی و شرق‌سو بر غلظت آن افزوده شده است (شکل ۸-ب). در ساعت UTC ۰۰ روز اول سپتامبر این حرکت چرخشی شدیدتر شده و گرد و خاک به مرزهای ایران رسیده است (شکل ۸-ج). در ساعت UTC ۰۶ همان روز گرد و خاک استان‌های کرمانشاه و ایلام را در بر گرفته است (شکل ۸-د). در ساعت UTC ۰۰ روز بعد گرد و خاک ضمن حرکت به سمت شرق از شدتش کاسته شده و تا مناطق مرکزی ایران نفوذ کرده است ولی هسته مرکزی آن هنوز



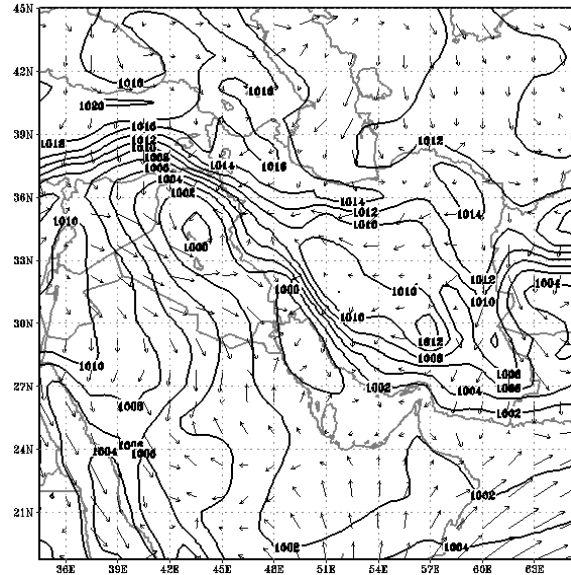
شکل ۶. پیش‌بینی بار گرد و خاک و باد ده متری مدل WRF-Chem برای مورد اول. (الف) و (ب) زمان اعتبار ۲۰۱۶/۰۶/۱۵ ساعت ۱۸ UTC به ترتیب برای CTRL و DA (ج) و (د) زمان اعتبار ۲۰۱۶/۰۶/۱۶ ساعت ۱۲ UTC به ترتیب برای CTRL و DA (ه) و (و) زمان اعتبار ۲۰۱۶/۰۶/۱۷ ساعت ۱۲ UTC به ترتیب برای CTRL و DA (فاصله پرندهی $10^5 \mu\text{g}/\text{m}^2$).

حرکت کرده و به خلیج فارس رسیده است (شکل ۸-و).

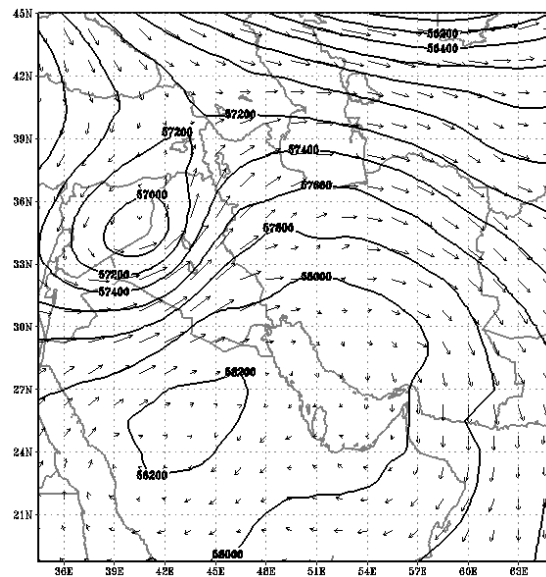
در کشور عراق قرار دارد (شکل ۸-ه). در ساعت ۱۲ UTC همان روز این هسته مرکزی به سمت جنوب شرقی



(ب)



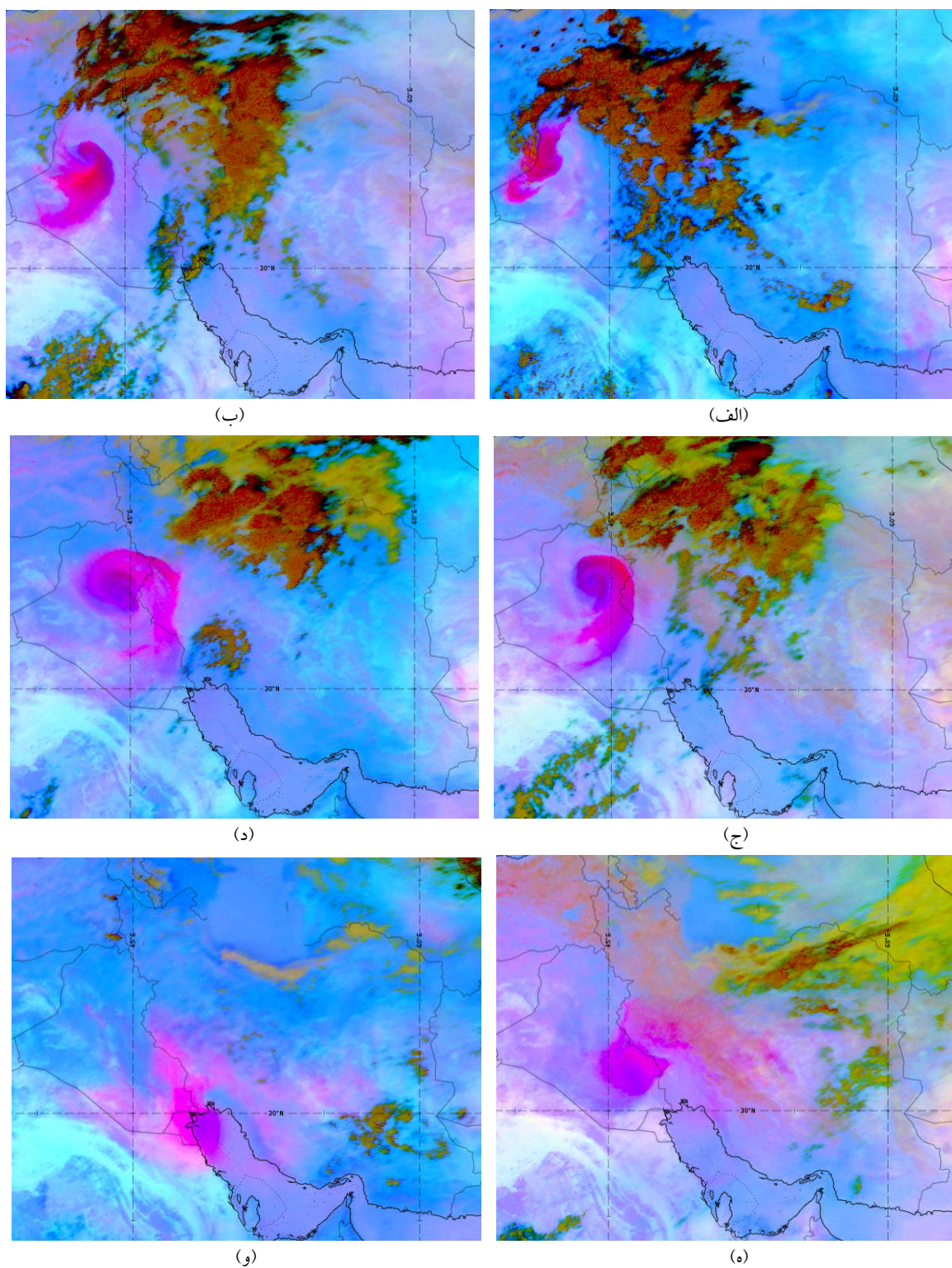
(الف)



(ج)

شکل ۷. نقشه داده‌های بازتحلیل ECMWF در ساعت ۱۲ UTC تاریخ ۲۰۱۵/۰۸/۳۱. (الف) باد ده متری و فشار متوسط سطح دریا (فاصله پربندی ۲ hPa).

(ب) مؤلفه قائم سرعت باد تراز ۸۵۰ hPa (فاصله پربندی ۰/۲ Pa/s)، (ج) میدان باد و ارتفاع تراز ۵۰۰ hPa (فاصله پربندی ۲۰۰ m).

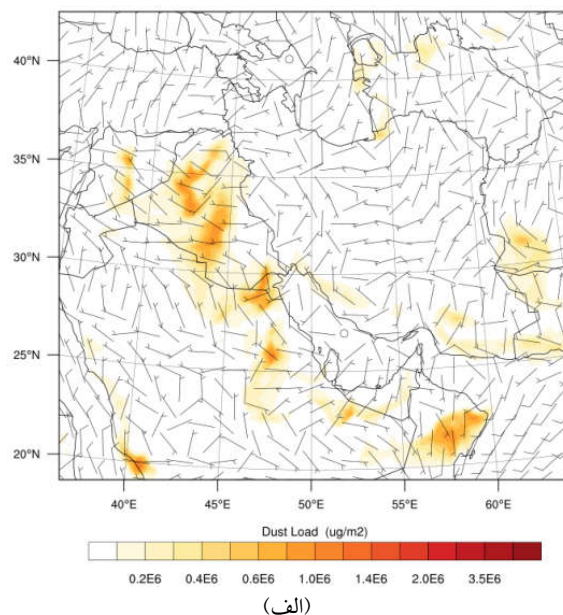
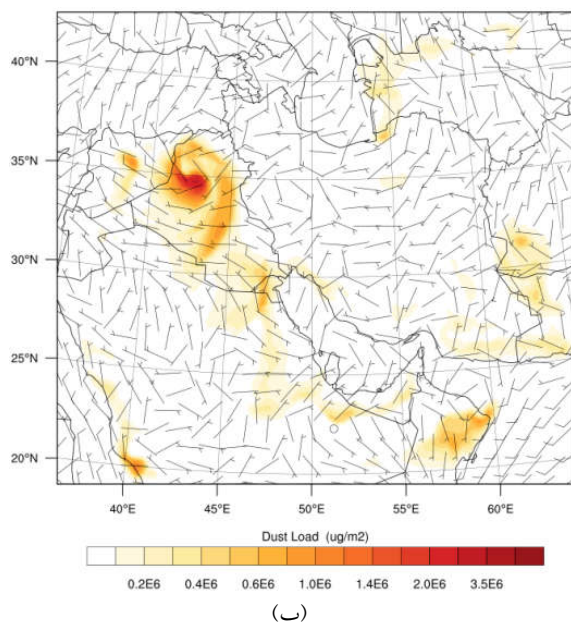


شکل ۸. تصاویر RGB از ماهواره Meteosat-10. (الف) ۲۰۱۵/۰۸/۳۱ ساعت ۱۲ UTC، (ب) ۲۰۱۵/۰۸/۳۱ ساعت ۱۸ UTC، (ج) ۲۰۱۵/۰۹/۰۱ ساعت ۰۰ UTC، (د) ۲۰۱۵/۰۹/۰۱ ساعت ۰۶ UTC، (ه) ۲۰۱۵/۰۹/۰۲ ساعت ۰۰ UTC، (و) ۲۰۱۵/۰۹/۰۲ ساعت ۱۲ UTC (عکس‌ها برگرفته از سایت NOAA).

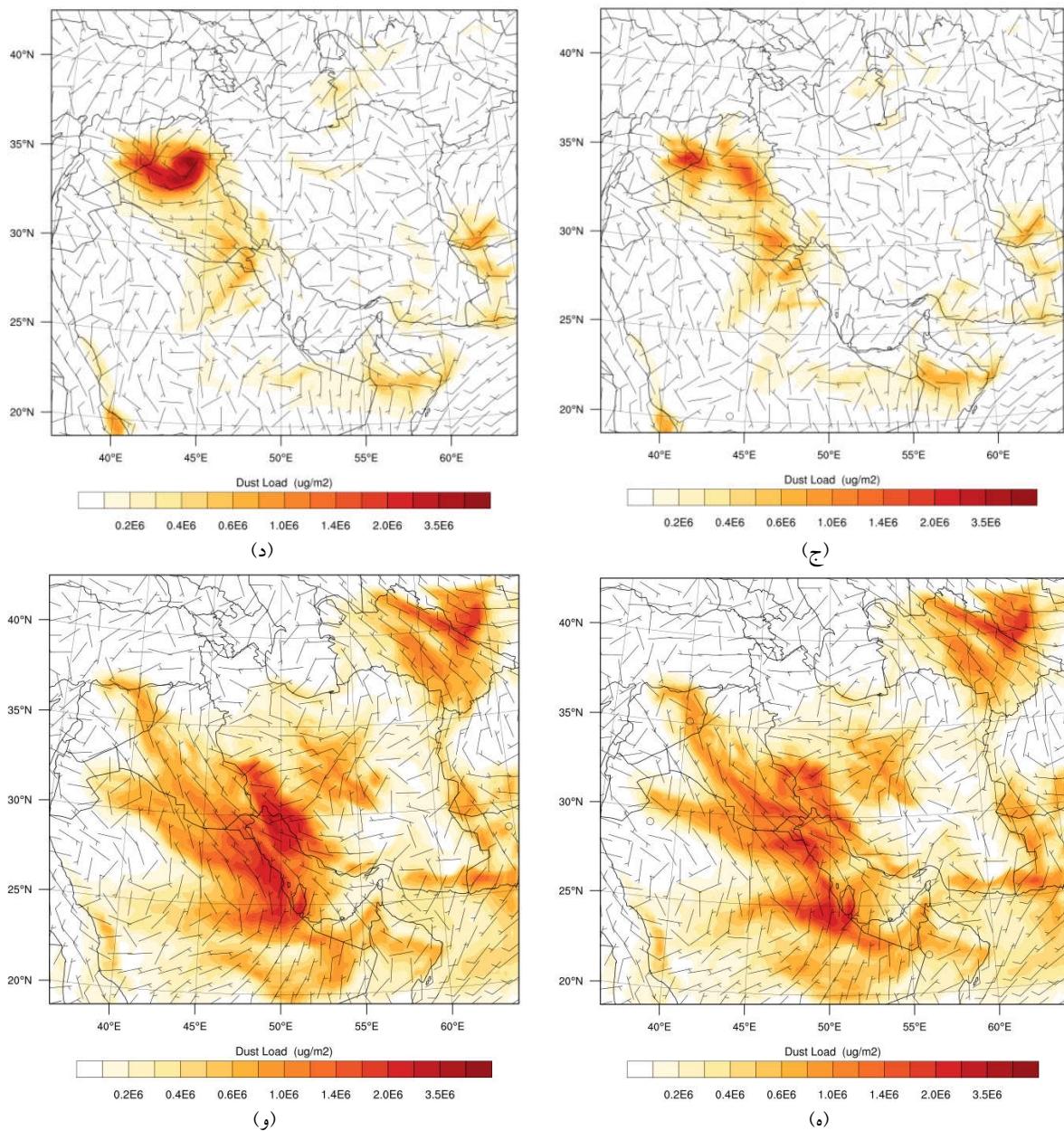
۲-۶ آزمایش عددی

برای شبیه‌سازی عددی این مورد، مدل در ساعت UTC ۱۲ روز ۳۱ اوت ۲۰۱۵ و به مدت ۴۸ ساعت بدون داده-گواری و با داده‌گواری اجرا شده است (آزمایش-های CTRL و DA). در شکل ۹ پیش‌بینی بار گرد و خاک و باد ده متری برای این دو آزمایش در ساعت‌های مختلف ترسیم شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، پیش‌بینی بار گرد و خاک در دو آزمایش CTRL و DA در شکل‌های (۹-الف و ب) در ساعت UTC ۱۸ روز ۳۱ اوت و شکل‌های (۹-ج و د) در ساعت UTC ۰۰ روز بعد از لحاظ الگوی فضایی تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارند.

از مقایسه این شکل‌ها با تصاویر ماهواره در شکل‌های (۸-ج و د) مشاهده می‌شود که آزمایش داده‌گواری در شکل‌های (۹-ب و د) در شبیه‌سازی حرکت چرخندی گرد و خاک بسیار موفق‌تر بوده است. در پیش‌بینی ۴۸ ساعته مدل در ساعت UTC ۱۲ روز دوم سپتامبر (شکل‌های ۹-ه و ۹-و) همان‌طور که ملاحظه می‌شود مدل حرکت هسته مرکزی گرد و خاک به سمت جنوب شرقی و ورود آن به خلیج فارس را به‌خوبی نشان داده است و در ضمن پیش‌بینی دو حالت با کنترلی و داده-گواری تا حدودی شبیه هم شده‌اند.



شکل ۹. پیش‌بینی بار گرد و خاک و باد ده متری مدل WRF-Chem برای مورد دوم. (الف) و (ب) زمان اعتبار ۲۰۱۵/۰۸/۳۱ ساعت UTC ۱۸ به ترتیب برای CTRL و DA (ج) و (د) زمان اعتبار ۲۰۱۵/۰۹/۰۱ ساعت UTC ۰۰ به ترتیب برای CTRL و DA (ه) و (و) زمان اعتبار ۲۰۱۵/۰۹/۰۲ ساعت UTC ۱۲ به ترتیب برای CTRL و DA (فاصله پرندهی $10^5 \mu\text{g}/\text{m}^2$).



ادامه شکل ۹.

۷ درستی‌سنجی

برای ارزیابی کمی آزمایش‌های عددی انجام شده، برون‌داد باد مدل WRF-Chem در ارتفاع ده متری سطح زمین و ترازهای فشاری ۸۵۰ و ۷۰۰ میلی‌بار در دو آزمایش داده‌گواری و آزمایش کنترلی (بدون داده-گواری) درستی‌سنجی شده است. داده‌های مورد استفاده

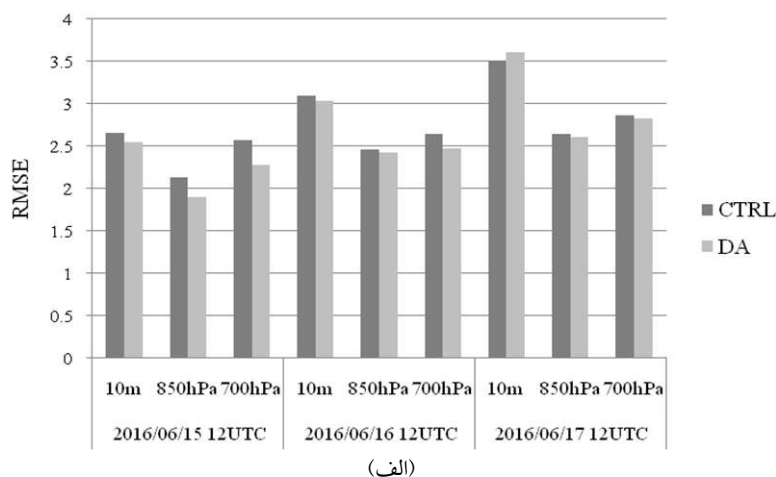
برای این کار داده‌های شبکه‌ای بازتحلیل ERA-Interim با تفکیک ۰/۷۵ درجه برای سطوح ۸۵۰ و ۷۰۰ میلی‌باری و داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های همدیدی برای باد ده متری بوده است. در شکل ۱۰ نمودار جذر میانگین مربع خطا (RMSE) در پیش‌بینی‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته برای هر دو مورد آمده است. همان‌طور که ملاحظه

باد ده متری در مورد اول خطا اندکی افزایش پیدا کرده است.

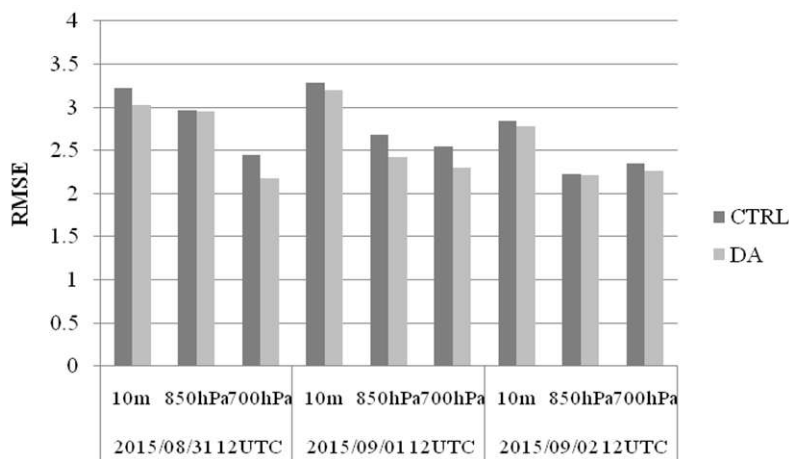
۸ نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر گوارد مستقیم تابندگی ماهواره و داده‌های prepbufr و GPSro به روش 3D-Var در دو مورد گرد و خاک در غرب کشور که منشأ آنها کشور عراق بوده است در حوزه‌ای با تفکیک افقی ۲۱ کیلومتر شامل ایران و کشورهای همسایه غربی بررسی شده است. مقایسه نقشه‌های ماهواره با پیش‌بینی بار گرد و خاک مدل

می‌شود با انجام داده‌گواری خطا در اکثر موارد به‌طور سازگار برای ارتفاع ده متری و سطوح ۸۵۰ و ۷۰۰ میلی-باری کاهش پیدا کرده است. بیشترین کاهش خطا به میزان ۱۱/۳ درصد مربوط به باد تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در ساعت صفر پیش‌بینی در مورد اول می‌باشد که در آن RMSE از ۲/۵۷ در حالت بدون داده‌گواری به ۲/۲۸ در آزمایش داده‌گواری رسیده است. همان‌طور که از بررسی نقشه‌های مربوط به بار گرد و خاک در بخش قبل انتظار داشتیم با افزایش سن پیش‌بینی، تأثیر داده‌گواری در کاهش خطا کم شده است و حتی در پیش‌بینی ۴۸ ساعته



(الف)



(ب)

شکل ۱۰. نمودار RMSE سرعت باد ده متری سطح زمین و ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال برای آزمایش‌های کنترلی و داده‌گواری در ساعات مختلف پیش‌بینی. (الف) مورد اول (ب) مورد دوم.

یک توافق نسبی بین برون داد مدل و نقشه های ماهواره ای را نشان می دهد که با انجام داده گواری در ساعت های اولیه پیش بینی تشابه الگوی فضایی برون داد بار گرد و خاک مدل با تصاویر ماهواره بیشتر می شود اما در ادامه و با زیاد شدن سن پیش بینی برون داد دو آزمایش بدون داده گواری و با داده گواری شبیه هم می شوند.

در ارزیابی کمی پیش بینی باد ده متری سطح زمین و ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال با استفاده از داده های ایستگاه های همدیدی و داده های ERA-Interim و ECMWF، نتایج نشان می دهد که با انجام داده گواری خطا در اکثر موارد به طور سازگار برای ارتفاع ده متری و سطوح ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال کاهش پیدا کرده است. حداکثر کاهش خطا به میزان ۱۱/۳ درصد و برای باد تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در ساعت صفر پیش بینی و در مورد اول است. در ضمن همان طور که از بررسی نقشه های مربوط به برون داد مدل برای بار گرد و خاک انتظار داشتیم تأثیر داده گواری در کاهش خطا با افزایش سن پیش بینی کم شده است. کاهش تأثیر مثبت داده گواری با بالا رفتن سن پیش بینی را به این صورت می توان توضیح داد که اگرچه با انجام داده گواری شرایط اولیه تا حدودی تصحیح می شوند و در ابتدای پیش بینی خطای مدل کاهش پیدا می کند، اما از آنجا که شرایط مرزی در طول مدت پیش بینی هر سه ساعت یک بار در هر دو آزمایش داده گواری و کنترلی با استفاده از داده های GFS به روزرسانی می شوند، با زیاد شدن سن پیش بینی اثر داده گواری در شرط اولیه کمرنگ تر شده و نتایج مربوط به آزمایش های داده گواری و کنترلی شبیه هم می شوند.

این تحقیق نتایج واقعی انجام داده گواری داده های تابندگی ماهواره، GPSro و prepbuf را گزارش می کند و این مطلب که استفاده از این حجم از داده ها به بهبود اندکی منجر می شود یک نتیجه مهم است. بسیاری از مطالعات معتبر مشابه نیز که داده های دیدبانی را در

مدل های منطقه ای در مکان های دیگر داده گواری کرده اند، به بهبود بهتری دست نیافته اند. به عنوان مثال لیو و همکاران (۲۰۱۳) داده های سطح زمین را در منطقه دریای چاکچی - بیوفورت به وسیله سامانه WRFDA در مدل WRF داده گواری کردند و بیشترین بهبودی که برای دمای دو متری و باد ده متری به دست آوردند نسبت به حالت بدون داده گواری به ترتیب ۹ و ۵ درصد در مناطق ساحلی بوده است و در مناطق داخلی میزان کاهش خطا از این میزان هم کمتر بوده است.

این بهبود اندک دلایل مختلفی دارد که در زیر به بخشی از آنها اشاره می شود.

۱- این داده ها در داده گواری مدل تمام کره ای (شرایط مرزی و اولیه مدل WRF) استفاده شده اند بنابراین اثر این داده ها در پیش بینی مدل GFS لحاظ شده است و احتمال دارد که استفاده دوباره آنها بهبود چندانی به همراه نداشته باشد. البته این مهم بدین معنی نیست که استفاده مجدد از این داده ها معنی دار نبوده و قابل بررسی نیست زیرا با بالا رفتن تفکیک مدل در مدل های منطقه ای و استفاده از مدل و سامانه داده گواری متفاوت همیشه نتایج متفاوتی حاصل می شود. به علاوه داده های تابندگی ماهواره قبل از اجرا با توجه به تفکیک مدل و پارامترهای دیگر تنک سازی می شوند که این امر باعث می شود که تفکیک های بالاتر از داده های بیشتری در فرآیند داده گواری استفاده شود. در ضمن هم اکنون این داده ها منبع اصلی داده های استفاده شده در داده گواری در مدل های منطقه ای در مراکز هواشناسی معتبر دنیا می باشند.

۲- کیفیت داده ها تأثیر مهمی در داده گواری دارد به گونه ای که اگر گردش های میان مقیاس در شروع اجرای مدل به درستی ایجاد شوند استفاده از داده های با کیفیت پایین می تواند تأثیر منفی بر این گردش ها داشته باشد؛ بنابراین کیفیت داده ها شرط اصلی برای توفیق در فرآیند داده گواری است. در این تحقیق قبل از اجرای داده گواری

امتیاز TS (Threat Score) در پیش‌بینی توفان گرد و خاک (sand dust storm) در بهار ۲۰۰۶ به دست آوردند. همچنین یومیموتو و همکاران (۲۰۰۷) با گوارد داده‌های LIDAR (Light Detection and Ranging) در یک مورد گرد و خاک در شرق آسیا در سال ۲۰۰۷ جذر میانگین مربع خطای پیش‌بینی AOT (Aerosol Optical Thickness) را تا حدود ۳۲ درصد کاهش دادند. مدل‌های جفت شده هواشناسی و شیمی جو مانند مدل WRF-Chem، فرآیندهای هواشناسی و تبدیلات شیمیایی را با هم شبیه‌سازی می‌کنند. این مدل‌ها امکان داده گواری هم‌زمان داده‌های هواشناسی و شیمی جو و گسیل گرد و خاک را فراهم می‌کنند. از مطالعات مختلف در این زمینه می‌توان به لیو و همکاران (۲۰۱۱) اشاره کرد که از داده‌های AOD (Aerosol Optical Depth) سنجنده MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer) برای داده گواری در سامانه GSI و مدل WRF-Chem برای شبیه‌سازی یک مورد گرد و خاک در سال ۲۰۱۰ در آسیا استفاده کردند. نتایج شبیه‌سازی بهبود پیش‌بینی AOD را در مقایسه با داده‌های MODIS و COLIOP (Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization) و همچنین داده‌های PM10 را در مقایسه با داده‌های AERONET (Aerosol Robotic Network) نشان داد. همچنین شوارتز و همکاران (۲۰۱۲) از روش 3D-Var در GSI برای گوارد داده‌های AOD سنجنده MODIS و غلظت PM2.5 سطح زمین در مدل WRF-Chem در آمریکای شمالی استفاده کردند. نتایج، بهبود پیش‌بینی غلظت PM2.5 را در مقایسه با حالت بدون داده گواری نشان داد. متأسفانه در منطقه ما این داده‌ها با دقت و تفکیک زمانی و مکانی مناسبی در دسترس نیستند ولی در صورت وجود از آنها در مطالعات بعدی برای داده گواری در مدل‌های گرد و خاک می‌توان استفاده نمود؛ اگرچه با استفاده از این داده‌ها نیز شرایط

چند مرحله کنترل کیفی روی داده‌ها انجام شده است و تلاش شده است که داده‌های غلط حتی‌الامکان از فرآیند داده گواری حذف شوند. البته کنترل کیفی تا حدودی قابل انجام است و امکان تضمین صد درصد درستی داده‌ها وجود ندارد.

۳- این احتمال وجود دارد که الگوریتم‌ها و روش‌های مورد استفاده در WRFDA به گونه‌ای باشد که استفاده کاملی از داده‌های مشاهداتی نشود و ممکن است با تغییر در روش یا استفاده از سامانه‌های داده گواری دیگر نتایج داده گواری را بهبود بخشید. این مورد نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد.

۴- خطای مدل‌های عددی به دو نوع سامانمند و تصادفی قابل دسته‌بندی می‌باشد. داده گواری تلاشی برای به حداقل رساندن خطاهای تصادفی با اصلاح شرایط اولیه اجرای مدل می‌باشد ولی در مناطقی که سهم بزرگی از خطای مدل مربوط به خطاهای سامانمند می‌باشد، داده گواری تأثیر چندانی نخواهد داشت. کشور ایران منطقه‌ای مرتفع با ناهمواری پیچیده و دارای رشته کوه‌های البرز و زاگرس می‌باشد که باعث می‌شود خطاهای سامانمند در مدل‌ها سهم بزرگی داشته باشند بنابراین، این بهبود اندک دور از انتظار نیست.

۹ پیشنهادها

در این مطالعه اثر گوارد کمیتهای هواشناسی روی پیش‌بینی باد و بار گرد و خاک بررسی شد. همان‌طور که در مقدمه اشاره شد، یکی از منابع خطا در پیش‌بینی گرد و خاک عدم قطعیت موجود در شرایط اولیه گسیل گرد و خاک است. مطالعات مختلف اثر مثبت گوارد این داده‌ها را در پیش‌بینی مدل‌های گرد و خاک نشان داده‌اند. به‌عنوان مثال نیو و همکاران (۲۰۰۸) با گوارد داده‌های بازبایی شده بار گرد و خاک (dust load retrieval) ماهواره در شرق آسیا ۴۱ درصد بهبود در میانگین فصلی

- Ashrafi, K., Shafiepour-Motlagh, M., Aslemand, A., and Ghader, S., 2014, Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT: Journal of Environmental Health Science and Engineering, **12**(9), doi:10.1186/2052-336X-12-9.
- Barker, D. M., Huang, W., Guo, Y. R., Bourgeois, A. J., and Xiao, Q. N., 2004, A Three-Dimensional Variational Data Assimilation System for MM5: Implementation and Initial Results: Monthly Weather Review, **132**, 897–914.
- Chen, F., and Dudhia, J., 2001, Coupling an Advanced Land Surface–Hydrology Model with the Penn State–NCAR MM5 Modeling System, Part I: Model Implementation and Sensitivity: Monthly Weather Review, **129**, 569–585.
- Cheng, W. Y. Y., and Steenburgh, W. J., 2005, Evaluation of Surface Sensible Weather Forecasts by the WRF and the Eta Models over the Western United States: Weather Forecast, **20**, 812–821, doi: 10.1175/WAF885.1.
- Chin, M., Rood, R. B., Lin, S. J., Müller, J. F., and Thompson, A. M., 2000, Atmospheric sulfur cycle simulated in the global model GOCART: Model description and global properties: Journal of Geophysical Research, **105**, 24671–24687, doi: 10.1029/2000JD900384.
- Dee, D. P., 2005, Bias and data assimilation: Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, **131**, 3323–3343, doi:10.1256/qj.05.137.
- Dudhia, J., 1988, Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model: Journal of Atmospheric Science, **46**, 3077–3107.
- Fan, X., and Tilley, J. S., 2005, Dynamic Assimilation of MODIS-Retrieved Humidity Profiles within a Regional Model for High-Latitude Forecast Applications: Monthly Weather Review, **133**, 3450–3480, doi:10.1175/MWR3044.1.
- Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, J. M., Holben, B., Dubovik, O., and Lin, S. J., 2001, Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model: Journal of Geophysical Research, **106**, 20255–20273, doi: 10.1029/2000JD000053.
- Grell, G. A., Peckham, S. E., Schmitz, R., McKeen, S. A., Frost, G., Skamarock, W. اولیه را تا دقت مشخصی می توان تخمین زد. در طول زمان پیش‌بینی خطاهای موجود در کاربری سطح زمین (رضازاده و همکاران، ۱۳۹۲)، مدل گسیل گرد و خاک، کمیته‌های هواشناسی و شرایط اولیه می‌توانند با یکدیگر جمع شده و خطای بزرگی را ایجاد نمایند. پیش‌بینی همادی یک روش مناسب برای کم کردن محدودیت‌های به وجود آمده توسط این عدم قطعیت‌هاست. امروزه داده‌گذاری مبتنی بر پیش‌بینی همادی مانند EnKF به‌عنوان یک رهیافت جدید برای گوارد داده‌های گرد و خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (لین و همکاران ۲۰۰۸، a, b). این رهیافت نیز می‌تواند محور مطالعات بعدی قرار گیرد.
- منابع**
- رضازاده، م.، ایران‌نژاد، پ.، و شائو، ی.، ۱۳۹۲، شبیه‌سازی گسیل غبار با مدل پیش‌بینی عددی وضع هوا WRF-Chem و با استفاده از داده‌های جدید سطح در منطقه خاورمیانه: مجله فیزیک زمین و فضا، **۳۹**(۱)، ۱۹۱–۲۱۲.
- ذاکری، ز.، آزادی، م.، و قادر، س.، ۱۳۹۴، بررسی اثر داده‌گذاری داده‌های ماهواره و ایستگاه‌های دیدبانی بر روی پیش‌بینی مدل WRF: نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، **۲۱**(۲)، ۳۱–۴۲.
- ذاکری، ز.، آزادی، م.، و قادر، س.، ۱۳۹۵، استفاده از آزمایش دیدبانی تک‌نقطه‌ای برای مقایسه دو ماتریس هم‌وردای خطای زمینه مختلف در سامانه داده‌گذاری WRFDA: هفدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران، اردیبهشت ۱۳۹۵، ۲۱.
- نیستانی، ا.، قادر، س.، و محب‌الحجه، ع.، ۱۳۹۶، کاربست داده‌گذاری در مدل WRF برای شبیه‌سازی بارش ناشی از یک سامانه همدیدی در غرب ایران: مجله ژئوفیزیک ایران، **۱۱**(۱)، ۱۰۱–۱۲۳.

- using ensemble Kalman Filter: *Journal of Geophysical Research*, **113**(D14306), doi: 10.1029/2007JD009498.
- Liu, F., Krieger, J. R., and Zhang, J., 2013, Toward Producing the Chukchi–Beaufort High-Resolution Atmospheric Reanalysis (CBHAR) via the WRFDA Data Assimilation System: *Monthly Weather Review*, **142**(2), 788–805
- Liu, Q., and Weng, F., 2006, Advanced doubling-adding method for radiative transfer in planetary atmospheres: *Journal of the Atmospheric Sciences*, **63**, 3459–3465
- Liu, Z., Liu, Q., Lin, H. C., Schwartz, C. S., Lee, Y. H., and Wang, T., 2011, Three-dimensional variational assimilation of MODIS aerosol optical depth: Implementation and application to a dust storm over East Asia: *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, **116**, D23206, doi:10.1029/2011JD016159
- Martcorena, B., and Bergametti, G., 1995, Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme: *Journal of Geophysical Research*, **100**, 16415–16430, doi:10.1029/95JD00690.
- Martcorena, B., Bergametti, G., Aumont, B., Callot, Y., N'Doumé, C., and Legrand, M., 1997, Modeling the atmospheric dust cycle: 2. Simulation of Saharan dust sources: *Journal of Geophysical Research*, **102**, 4387–4404, doi:10.1029/96JD02964
- Monin, A. S. and Obukhov, A. M., 1954, Basic laws of turbulent mixing in the surface layer of the atmosphere: *Contributions of the Geophysical Institute of the Slovak Academy of Sciences*, **151**(24), 163–187.
- Niu, T., Gong, S. L., Zhu, G. F., Liu, H. L., Hu, X. Q., Zhou, C. H., Wang, Y. Q., and Zhang, X. Y., 2008, Data assimilation of dust aerosol observations for CUACE/Dust forecasting system: *Atmospheric Chemistry and Physics*, **8**, 3473–3482.
- Parrish, D. F. and Derber, J. C., 1992, The National Meteorological Center's Spectral Statistical-Interpolation Analysis System: *Monthly Weather Review*, **120**, 1747–1763.
- Routray, A., Kar, S. C., Mali, P., and Sowjanya, K., 2014, Simulation of monsoon depressions using WRF-VAR: impact of different background error statistics and lateral boundary conditions: *Monthly Weather Review*, **142**, 3586–3613, doi:10.1175/MWR-D-13-00285.1.
- C., and Eder, B., 2005, Fully coupled “online” chemistry within the WRF model: *Atmospheric Environment*, **39**, 6957–6975, doi:10.1016/j.atmosenv.2005.04.027.
- Hong, S. Y., Dudhia, J., and Chen, S. H., 2004, A Revised Approach to Ice Microphysical Processes for the Bulk Parameterization of Clouds and Precipitation: *Monthly Weather Review*, **132**, 103–120.
- Hong, S. Y., Noh, Y., and Dudhia, J., 2006, A New Vertical Diffusion Package with an Explicit Treatment of Entrainment Processes: *Monthly Weather Review*, **134**, 2318–2341, doi:10.1175/MWR3199.1.
- Huang, X. Y., Xiao, Q., Barker, D. M., Zhang, X., Michalakes, J., Huang, W., Henderson, T., Bray, J., Chen, Y., Ma, Z., Dudhia, J., Guo, Y., Zhang, X., Won, D. J., Lin, H. C., and Kuo, Y. H., 2009, Four-Dimensional Variational Data Assimilation for WRF: Formulation and Preliminary Results: *Monthly Weather Review*, **137**, 299–314, doi:10.1175/2008MWR2577.1.
- Iacono, M. J., Delamere, J. S., Mlawer, E. J., Shephard, M. W., Clough, S. A., and Collins, W. D., 2008, Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models: *Journal of Geophysical Research*, **113**, D13103, doi:10.1029/2008JD009944
- Jaffe, D., Snow, J., and Cooper, O., 2003, The 2001 Asian dust events: Transport and impact on surface aerosol concentrations in the U.S.: *Air and Space News*, **84**, 501–507, doi:10.1029/2003EO460001.
- Kain, J. S., 2004, The Kain–Fritsch Convective Parameterization: An Update: *Journal of Applied Meteorology*, **43**, 170–181.
- Kazumori, M., 2013, Satellite Radiance Assimilation in the JMA Operational Mesoscale 4DVAR System: *Monthly Weather Review*, **142**, 1361–1381, doi:10.1175/MWR-D-13-00135.1.
- Kim, H. M., Kay, J. K., Yang, E.-G., Kim, S., and Lee, M., 2013, Statistical adjoint sensitivity distributions of meteorological forecast errors of Asian dust transport events in Korea: *Tellus B*, **65**(1).
- Lin, C. Y., Wang, Z. F., and Zhu, J., 2008a, An Ensemble Kalman Filter for severe dust storm data assimilation over China: *Atmospheric Chemistry and Physics*, **8**, 2975–2983.
- Lin, C. Y., Zhu, J., and Wang, Z. F., 2008b, Model bias correction for dust storm forecast

- Xu, J., Rugg, S., Byerle, L., and Liu, Z., 2009, Weather forecasts by the WRF-ARW model with the GSI data assimilation system in the complex terrain areas of southwest Asia: *Weather and Forecasting*, **24**, 987–1008. doi:10.1175/2009WAF2222229.1
- Yumimoto, K., Uno, I., Sugimoto, N., Shimizu, A., Liu, Z., and Winker, D. M., 2007, Numerical modeling of Asian dust emission and transport with adjoint inversion using LIDAR network observations: *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, **7**, 15955-15987.
- Zakeri, Z., Azadi, M., and Ghader, S., 2018, The impact of different background errors in the assimilation of satellite radiances and in-situ observational data using WRFDA for three rainfall events over Iran: *Advances in Space Research*, **61**(1), 433-447.
- Zoljoodi, M., Didevarasl, A., and Saadatabadi, A. R., 2013, Dust Events in the Western Parts of Iran and the Relationship with Drought Expansion over the Dust-Source Areas in Iraq and Syria: *Atmospheric and Climate Sciences*, **3**, 321-336, doi: 10.4236/acs.2013.33034.
- Sharifi, M. A., Azadi, M., and Khaniani, A. S., 2016, Numerical simulation of rainfall with assimilation of conventional and GPS observations over north of Iran: *Annals of Geophysics*, **59**, P0322, doi:10.4401/ag-6919.
- Schwartz, C. S., Liu, Z., Lin, H. C., and McKeen, S. A., 2012, Simultaneous three-dimensional variational assimilation of surface fine particulate matter and MODIS aerosol optical depth: *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, **117**, D13202. doi:10.1029/2011JD017383
- Vedel, H., and Huang, X. Y., 2004, Impact of Ground Based GPS Data on Numerical Weather Prediction: *Journal of Meteorological Society of Japan, Ser II*, **82**, 459–472, doi:10.2151/jmsj.2004.459.
- Wang, Z., Ueda, H., and Huang, M., 2000, A deflation module for use in modeling long-range transport of yellow sand over East Asia: *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, **105**, 26947–26959, doi:10.1029/2000JD900370.
- Warner, T. T., 2010, *Numerical Weather and Climate Prediction*: Cambridge University Press.

Impact of assimilation of satellite, prepbufr and GPSro data on wind speed and dust concentration forecasts in WRF-Chem model

Zeinab Zakeri¹, Majid Azadi^{2*}, and Sarmad Ghader³

¹Ph. D. Student, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran

²Associate professor, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran

³Associate professor, space physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: 12 April 2017, Accepted: 23 September 2017)

Summary

Dust storms are significant phenomenon in south west Asian countries like Iraq, Syria and Iran. Mineral dust is generated by wind erosion over arid and semiarid land surfaces and is transported locally and over vast distances, causing adverse environmental and weather problems. Recent draughts over dust sources in Iraq and Syria have remarkably increased dust events in the area particularly over west of Iran. Real time prediction of dust storms especially quantitative forecasting of dust concentration has become highly desirable to alleviate its damaging consequences. In this study the impact of the assimilation of satellite radiance, prepbufr and GPSro data in the wind speed and dust load forecasts of WRF-Chem model using WRFDA system are investigated. Prepbufr data are a collection of surface and upper air observations and GPSro data are GPS radio occultation data. These data are operationally collected by the National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Data assimilation is applied to two dust events starting from Iraq and Syria borders on August 31st 2015 and June 15th 2016. For each case, two experiments are conducted. An experiment assimilating above mentioned data with three dimensional variational (3D-Var) intermittent assimilation method and a control simulation with no assimilation. The assimilation cycles in the intermittent method consist of three subsequent analyses at 00, 06 and 12 UTC. After the last assimilation cycle, the model is integrated for 48 hours in the future. In variational data assimilation a key element to get a qualified analysis is the accurate specification of error statistics for the background forecast. For the calculation of background error, the model with the same specification for the experiments is run for the whole January 2014 at 0000 and 1200 UTC and the 12- and 24-h forecasts are used to calculate the background error using the National Meteorological Center (NMC) method with CV5 option. The horizontal resolution of the domain is 21 km with 142×130 grid points covering Iran and western neighboring countries. The model has 41 vertical levels with the model top at 25 hPa. Initial and boundary conditions are taken from NCEP Global Forecast System (GFS) model with the horizontal resolution of 0.5°×0.5°.

Results show that the agreement between spatial distribution of dust load prediction of the model and Meteosat-10 satellite RGB images is improved using data assimilation especially in first forecast hours. Quantitative comparison of 10 m, 850 hPa and 700 hPa model wind speed with surface observation data and ERA-Interim ECMWF reanalysis data show up to 11% improvement in RMSE especially in first forecast hour times. The positive impact of data assimilation is decreased as the forecast length increases.

Keywords: data assimilation, WRFDA, satellite radiance data, dust forecast, WRF-Chem

*Corresponding author:

azadi68@hotmail.com