مقایسه روش‌های وردشی سه‌بعدی و چهاربعدی در گوارد داده‌های رادار

مهناز کریم‌خانی[1]، مجید آزادی*[2]، امیرحسین مشکوتی[3]، عباس رنجبر سعادت‌آبادی[4]

[1] گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران: Email: mahnaz_karimkhany@yahoo.com

[*2] پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران، Email: azadi68@hotmail.com

[3] گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، Email: ameshkatee@yahoo.com

[4] پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران، Email: aranjbar@gmail.com

چکیده

خط‌تندوزه‌ای در 19 مارس 2017 در ایستگاه بندر دیر ثبت شده است. در این مطالعه ویژگی‌های همراه با خط‌تندوزه و همچنین بارش همراه با آن به سه حالت با داده‌گواری سه بعدی (3DVAR)، چهاربعدی (4DVAR) و بدون داده‌گواری (CTRL) برای ساعت 18UTC روز 18 مارس 2017 در دو دامنه با تفکیک افقی 27 و 9 کیلومتر شبیه‌سازی شده است. در این پژوهش، داده‌های رادار هواشناسی بوشهر (بازتاب و سرعت شعاعی) در مدل WRFDA استفاده شده است. به منظور درستی‌سنجی ویژگی‌های همراه با خط‌تندوزه سرعت باد، فشار سطح دریا، دما، رطوبت نسبی و بارش با داده‌های مشاهداتی متناظر مقایسه شدند. نتایج نشان داد که داده‌گواری با دو روش، شبیه‌سازی خط‌تندوزه را ممکن می‌سازد. همچنین در مقایسه دو روش وردشی سه‌بعدی و چهاربعدی مشاهده می‌شود روش 4DVAR نسبت به 3DVAR در خطای پیش‌بینی کمیت‌های سرعت باد، فشار سطح دریا و بارش تجمعی به مقدار 12/23، 8/98 و 35/16 درصد بهبود داشته است.

واژه‌های کلیدی: خط تندوزه، بندر دیر، داده‌های رادار هواشناسی، داده‌گواری، وردشی سه‌بعدی، وردشی چهاربعدی.

Comparison between 3DVAR and 4DVAR Techniques for Radar Data Assimilation

Mahnaz Karimkhani[1], Majid Azadi*[2], Amir Hussain Meshkatee[3], Abbas Ranjbar Saadatabadi[4]

1. Department of Earth Science, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Atmospheric Science and Meteorological Research Center, Tehran, Iran.
3. Department of Earth Science, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4. Atmospheric Science and Meteorological Research Center, Tehran, Iran.

Abstract

A squall line was recorded in Dayyer port on 19 Mar 2017. In this study, the properties associated with the squall line, as well as precipitation associated with this phenomenon, with 3DVAR and 4DVAR data assimilation and without (CTRL) data assimilation is simulated for 18UTC 18 March, 2017 in two domains with a horizontal resolution of 27 km and 9 km. In this study, Bushehr Doppler Weather Radar (DWR) observations (radial winds and reflectivity) are used. In order to verification of the properties associated with the squall line event, wind speed, sea-level pressure, temperature, relative humidity and precipitation accumulation were compared with the corresponding observation. The results showed that data assimilation in two ways enables simulation of the squall line. Also, comparing the 3DVAR and 4DVAR have showed that 4DVAR compared to 3DVAR in wind speed, sea level pressure and precipitation accumulation has improved by 12/23%, 8/98% and 35/16%, Respectively.

Keywords: Squall line, Dayyer port, Radar data, Data assimilation, 3DVAR, 4DVAR

مقدمه

یکی از انواع توفان‌تندری که منجر به تولید سیلاب می‌شود، خط تندوزه است. خط‌تندوزه سیستم همرفتی میان مقیاس خطی یا شبه خطی است که می‌تواند بارش‌های سنگین، بادهای مخرب، تگرگ و گهگاه پیچندهایی را تولید کند (منگ و همکاران، 2012).

پیش‌بینی کمّی بارش یک مشکل چالش‌برانگیز است (فریچ و کاربن، 2004). بیشتر مدل‌ها در پیش‌بینی زمان و مکان دقیق توفان‌های تندری ناتوان هستند (داس و همکاران، 2012). یک دلیل برای این نارسایی، ممکن است عدم مشاهدات

کافی و کیفی باشد که این مشکل را می‌توان با گوارد داده‌های رادار کاهش داد (موهان و همکاران، 2015). یکی از کاربردهای مدل WRF داده‌گواری (آزادی و همکاران، 1395؛ ذاکری و همکاران، 1397) است. داده‌گواری یک روش آماری برای ترکیب دیدبانی‌ها و حدس اولیه و همچنین خطای متناظر آن‌ها در یک بازه زمانی مفروض و قوانین حاکم بر فیزیک و دینامیک جو برای تولید تحلیل می‌باشد (بارکر و همکاران، 2004). یکی از روش‌های داده‌گواری، داده‌گواری وردشی است. روش‌های وردشی اگر در یک زمان خاص اعمال شوند 3DVAR و با درنظر گرفتن بعد زمان 4DVAR نامیده می‌شوند. مطالعات متعددی در زمینه گوارد داده‌های رادار هواشناسی با روش 3DVAR (داس و همکاران، 2015؛ کارلین و همکاران، 2016؛ لی و همکاران، 2017؛ بچمن و همکاران، 2019) و روش 4DVAR (سان و کروک، 1997؛ سان و ژانگ، 2007) انجام شده است و نتایج آن‌ها نشان داد که اگر بتوان به‌طور موفقیت‌آمیزی، داده‌های رادار داپلر را در مدل‌های عددی داده‌گواری کرد، پیش‌بینی زمان و مکان سیستم‌های همرفتی و مهارت پیش‌بینی کمّی بارش به‌طور قابل‌توجهی بهبود می‌یابد و همچنین در مقایسه دو روش، از آنجا که هزینه محاسباتی روش‌های وردشی چهاربعدی و زمان اجرای آن بسیار زیاد است، بنابراین این روش فقط برای مقاصد پژوهشی کاربرد دارد. هدف در این پژوهش بررسی اثر گوارد داده‌های رادار داپلر هواشناسی (سرعت شعاعی و بازتاب) با استفاده از بسته نرم افزاری WRFDA و مقایسه دو روش وردشی سه‌بعدی و چهاربعدی به منظور پیش‌بینی خط تندوزه رخ داده در مارس 2017 در بندر دیر در جنوب غربی ایران است.

روش تحقیق

داده‌های دیدبانی و کنترل کیفی شده بارش به صورت تجمعی 6 ساعته و داده‌های دیدبانی سرعت باد، دما، فشار متوسط سطح دریا و رطوبت نسبی به صورت یک ساعته در 8 ایستگاه همدید استان بوشهر و همچنین داده‌های حجمی بازتاب و سرعت شعاعی رادار بوشهر برای تاریخ 19 مارس 2017 از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. همچنین شرایط مرزی و اولیه مدل WRF از داده‌های پیش‌بینی اجرای ساعت 18UTC سامانه مدل‌سازی تمام کره‌ای موسوم به GFS از مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی با تفکیک افقی 0/5 درجه استخراج شده است. جهت انجام این مقاله مدل WRF به منظور بررسی روش کنترلی مرجع (CTRL) و مدل WRFDA به روش وردشی سه بعدی (3DVAR) و روش وردشی چهاربعدی (4DVAR) با استفاده از داده‌های رادار اجرا می‌شود. جهت بررسی عملکرد CTRL، 3DVAR و 4DVAR به ارزیابی زمانی داده‌های فشار متوسط سطح دریا، سرعت باد افقی، دما و رطوبت نسبی سطح زمین و همچنین بارش و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) آن‌ها پرداخته می‌شود.

نتایج

سری زمانی داده‌های سرعت باد، فشار سطح دریا، دما و رطوبت نسبی دیدبانی و اجراهای مدل با روش 3DVAR و 4DVAR را از ساعت 00:00UTC تا ساعت 06:00UTC روز 19 مارس 2017 در ایستگاه همدید بندر دیر (شکل در متن مقاله آمورده نشده است) نشان می‌دهد که در کمیت سرعت باد، پیش‌بینی 3DVAR در ساعت 03:00UTC با مقدار 2/14 m/s تا ساعت 04:00 UTC به مقدار 7/40 m/s رسیده است و در حدود 5 m/s افزایش سرعت را نشان می‌دهد اما تا ساعت 05:00UTC نیز سرعت روند افزایشی داشته و به مقدار 8/23 m/s می‌رسد و پس از آن کاهش می‌یابد. پیش‌بینی سرعت باد در 4DVAR بیشینه سرعت را در ساعت 04:00UTC با مقدار 7/61 متر بر ثانیه نشان می‌دهد و پس از آن روند کاهشی دارد که این روند کاملا با دیدبانی متناظر همخوانی دارد. در پیش‌بینی کمیت دما، پیش‌بینی 3DVAR و 4DVAR به ترتیب کمترین مقدار را در ساعت‌های 04:00UTC و 03:00UTC نشان می‌دهد و پس از این ساعت‌ها دما افزایش یافته است. با مقایسه مقادیر پیش‌بینی و دیدبانی دما از لحاظ روند کاهش و افزایش دما، پیش‌بینی 3DVAR با دیدبانی مطابقت دارند. در پیش‌بینی فشار سطح دریا، هر دو پیش‌بینی با روش‌های 3DVAR و 4DVAR کمترین مقدار فشار را در ساعت 02:00UTC نشان می‌دهند و هر دو پیش‌بینی با روند نشان داده شده در داده‌های دیدبانی در تطابق نیست. پیش‌بینی کمیت رطوبت نسبی با استفاده از اجراهای 3dvra-rad و 4DVAR با داده‌های دیدبانی، بیشنه را در ساعت 4:00UTC نشان می‌دهد اما 3DVAR تا ساعت 05:00UTC همواره افزایش می‌یابد در حالیکه 4DVAR در ساعت 05:00UTC کاهش داشته است بنابراین از نظر روند رشد و کاهش دما

4DVAR با داده‌های دیدبانی همخوانی دارد. جهت مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده با دیدبانی شده کمیت‌های دما، فشار سطح دریا، رطوبت نسبی و سرعت باد مقدار RMSE آن‌ها محاسبه شده است. جدول 1 **Error! Reference source not found.** RMSE برای اجراهای 3DVAR و 4DVAR و همچنین درصد کاهش خطا نسبت به اجرای CTRL برای کمیت‌های سرعت باد، دما، فشار، رطوبت نسبی و بارش تجمعی 12 ساعته در هشت ایستگاه همدید استان بوشهر در زمان رخداد خط تندوزه در تاریخ 19 مارس 2017 را نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر فوق در جدول 1، در کمیت سرعت باد که یکی از کمیت‌های حائز اهمیت در پیش‌بینی خط تندوزه است، پیش‌بینی‌های 3DVAR و 4DVAR مقدار کاهش خطای به ترتیب 6/92 و 19/15 درصد نسبت به CTRL را نشان می‌دهند که بهبود روش 4DVAR نسبت به 3DVAR در کمیت سرعت باد قابل توجه است. در کمیت دما، در مقایسه مقادیر پیش‌بینی 3DVAR و 4DVAR نسبت به CTRL بهبود نداشته اند و میزان خطای روش 4DVAR بیشتر از 3DVAR است. در بررسی مقدار پیش‌بینی شده فشار سطح دریا، هر دو پیش‌بینی همراه با داده‌گواری نسبت به اجرای CTRL بهبود را نشان می‌دهند که میزان بهبود آن‌ها به ترتیب در اجراهای 3DVAR و 4DVAR برابر با 7/40 و 16/38 درصد است که با توجه به مقادیر فوق پیش‌بینی فشار سطح دریا در 4DVAR بهبود بهتری را نشان می‌دهد. در پیش‌بینی کمیت رطوبت نسبی می‌توان مشاهده نمود که هر دو پیش‌بینی نسبت به CTRL خطای قابل توجهی را نشان می‌دهند. همچنین قابل مشاهده است که پیش‌بینی بارش در اجرای 3DVAR بدتر از پیش‌بینی CTRL بوده است ولی پیش‌بینی 4DVAR بهبود داشته است که این بهبود با مقدار 8/33 قابل توجه است.

جدول 1: RMSE و درصد کاهش خطای سرعت باد، دما، فشار و رطوبت نسبی در تاریخ 19 مارس 2017 در 8 ایستگاه همدیدی استان بوشهر

پارامتر	سرعت باد	دما	فشار	رطوبت نسبی	بارش تجمعی 12 ساعته
CTRL	8/09	**9/19**	7/02	**5/99**	6
3DVAR	7/53	9/64	6/50	9/43	7/61
٪ کاهش	6/92	-4/89	7/40	-57/42	-26/83
4DVAR	6/54	9/72	5/87	10/30	5/5
٪ کاهش	**19/15**	-5/76	**16/38**	-71/95	**8/33**

مقدار بارش تجمعی 12 ساعته از ساعت 00:00UTC تا 12:00UTC روز 19 مارس 2017 مشاهده شده و پیش‌بینی شده برای سه حالت مختلف اجرای مدل WRF با روش‌های 3DVAR، 4DVAR و CTRL را در هشت ایستگاه همدید استان بوشهر تعیین شدندو با استفاده از مقادیر فوق میانگین و مجموع بارش دیدبانی شده و پیش‌بینی شده برای هشت ایستگاه همدید استان بوشهر با اجراهای مختلف مدل WRF محاسبه شدند. مجموع بارش تجمعی دیدبانی شده و پیش‌بینی شده 3DVAR و 4DVAR برای هشت ایستگاه همدیدی در استان بوشهر به ترتیب برابر با 28، 24/91 و 22/71 میلی‌متر است. با در نظر گرفتن مقادیر فوق خطای هر کدام از پیش‌بینی‌ها نسبت به مقادیر دیدبانی شده محاسبه که به ترتیب برای 3DVAR و 4DVAR برابر با 11 و 19 درصد است و با توجه به خطاهای مشاهده شده می‌توان گفت که پیش‌بینی 3DVAR نتیجه بهتری را نشان داده است. نتیجه فوق در بررسی میانگین بارش نیز صادق است

نتیجه‌گیری

در این مطالعه سعی شده است که شبیه سازی خط تندوزه رخ داده شده در مارس 2017 در جنوب غربی ایران و بندر دیر، با استفاده از مدل میان‌مقیاس WRF و با روش کنترلی مرجع و داده‌گواری وردشی سه بعدی و چهاربعدی انجام شود. نتایج نشان داد که داده‌گواری تاثیر قابل توجهی در شبیه‌سازی خط تندوزه دارد. این مطالعه آشکار ساخت که تغییرات ساعتی سرعت باد افقی و فشار سطح دریا در اجرای 3DVAR اصلاح قابل توجهی را نسبت به اجرای CTRL در پیش‌بینی خط تندوزه نشان می‌دهد به‌گونه‌ای مقدار خطا در این روش نسبت به CTRL به میزان6/92، 7/40 درصد کاهش را نشان می‌دهد و همچنین در روش 4DVAR نسبت به CTRL بهبود قابل توجهی در کمیت‌های سرعت باد، فشار سطح دریا و بارش با کاهش خطای به ترتیب 19/15، 16/38 و 8/33 درصد دیده می‌شود اما در کمیت‌های دما و

رطوبت نسبی پیش‌بینی با هر دو روش وردشی بهبود چندانی را نشان نمی‌دهد. در مقایسه دو روش وردشی سه‌بعدی و چهاربعدی قابل مشاهده است که در کمیت‌های سرعت باد، فشار سطح دریا و بارش، روش 4DVAR به ترتیب به میزان 12/23، 8/98 و 35/16 درصد نسبت به روش 3DVAR بهبود داشته است. همچنین در پیش‌بینی مجموع و میانگین بارش تجمعی 12 ساعته کل استان بوشهر، 3DVAR نسبت به 4DVAR نتیجه بهتری را نشان داده است.

منابع

آزادی، م.، صوفیانی، م.، وکیلی، غ.، قائمی، ه.، 1395، مطالعه موردی اثر گوارد داده‌های ایستگاه‌های دیدبانی و جوّ بالا بر برون‌داد بارش مدل WRF روی منطقه ایران: مجله ژئوفیزیک ایران، 10، 110-119.

ذاکری، ز.، آزادی، م.، قادر، سرمد.، 1397، بررسی اثر داده‌گواری داده‌های ماهواره، prepbufr و GPSro در پیش‌بینی باد و بار گرد و خاک در دو مورد گرد و خاک در مدل WRF-Chem: مجله ژئوفیزیک ایران، 12، 1-22.

Barker, D., M., Huang, W., Guo, Y.-R., Bourgeois, A., and Xiao, Q., 2004, A Three Dimensional Variational (3DVAR) Data Assimilation System for Use with MM5: Implementation and Initial Results: Monthly Weather Review, 132, 897–914.

Bachmann, K., Keli, C., Craig, G. C., Weissman, M., Welzbacher, C. A., 2019, Predictability of Deep Convection in Idealized and Operational Forecasts: Effects of Radar Data Assimilation, Orography and Synoptic Weather Regime: Monthly Weather Review.

Carlin, J. T., Ryzhkov, A. V., Snyder, J. C., Khain, A., 2016, Hydrometeor Mixing Ratio Retrievals for Storm-Scale Radar Data Assimilation: Utility of Current Relations and Potential Benefits of Polarimetry: Monthly Weather Review 144, 2981-3001.

Das, S., Dutta, S. K., Debsarma, S. K., Ferdousi, N., Nessa, F. F., 2012, Assimilation of STORM 2009 field observation in WRF model and their impact on the simulation of thunderstorm: SAARC Meteorological Research Centre, 43, 42-53.

Das, M. K., Chowdhury, M. D., Das, S., Debsarma, S. K., Karmakar, S., 2015, Assimilation of Doppler weather radar data and their impacts on the simulation of squall events during pre-monsoon season: Nat Hazards 77, 901-931.

Fritsch, J. M., carbone, R. E., 2004, Research and development of improved quantitative precipitation forecasts in the warm season: Bull. Amer. Meteor. Soc., 85, 955–965.

Li, X., Mecikalski, J. R., Posselt, D., 2017, An Ice-Phase Microphysics Forward Model and Preliminary Results of Polarimetric Radar Data Assimilation: Monthly Weather Review, 145, 683-708.

Meng, Z., YAN, D., ZHANG, Y., 2012, General Features of Squall Lines in East China: Monthly Weather Review, 141, 1629-1647.

Mohan, K., Das, M. D., Chowdhury, A. M., Sujit, D., Debsarma, K., Karmakar, S., 2015, Assimilation of Doppler Weather Radar Data and Their Impacts on the Simulation of Squall Line Events during Pre-Monsoon Season: Nat Hazards, 77, 901-931.

Sun, J., and Crook, N. A., 1997: Dynamical and microphysical retrieval from Doppler radar observations using a cloud model and its adjoint. Part I: Model development and simulated data experiments. J. Atmos. Sci., 54, 1642–1661.

Sun, J., and Zhang, Y., 2007: Analysis and Prediction of a Squall Line Observed during IHOP Using Multiple WSR-88D Observation. Monthly Weather Review, 136, 2364–2387.