پیش‌بینی بارش در مقیاس همرفتی، آیا داده‌گواری تاثیر مثبتی دارد؟

ابوالفضل نیستانی[1]

[1]استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران neyestani@razi.ac.ir

چکیده

پیش‌بینی دقیق بارش در مقیاس‌های همرفتی بسیار حائز اهمیت است. با توجه به اینکه شرایط اولیه پیش‌بینی‌ها با استفاده از داده‌گواری در مقیاس همرفتی می‌تواند بهبود پیدا کند، بنابراین داده‌گواری می‌تواند تاثیر مثبتی در پیش‌بینی بارش داشته باشد. در این تحقیق تاثیر داده‌گواری چرخه‌ای با اعمال روش 3DVAR و با استفاده از مدل میان مقیاس WRF بر پیش‌بینی‌های مقیاس همرفتی با تفکیک مکانی 2/5 کیلومتر مورد تحقیق قرار گرفته است. دوره زمانی یک ماهه (دسامبر 2013) برای شبیه‌سازی‌های عددی انتخاب شده است و اجراهای مدل در یک حوزه انتخابی در غرب و شمال غرب ایران انجام شده‌اند. داده‌های شرایط مرزی استفاده شده شامل داده‌های پیش‌بینی مدل ECMWF می‌باشند. همچنین انواع مختلف دیدبانی‌های متداول از مرکز ECMWF برای فرایند داده‌گواری دریافت شده و به‌همراه آماره خطای زمینه وابسته به حوزه که با استفاده از روش CV5 در سامانه داده‌گواری مدل WRF تولید شده و مورد استفاده قرار گرفت. به‌طور کلی پیش‌بینی‌های بارش داده‌گواری شده برای بسیاری از آستانه‌های بارشی کم، امتیازات صحت‌سنجی بالاتری را نشان داد، گرچه این بهبود در آستانه‌های بارشی بالاتر از 10 mm مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: داده‌گواری، 3DVAR، WRF، HARMONIE، مقیاس همرفتی، ایران

Precipitation forecast in convective scale; does data assimilation have any positive impact?

Abolfazl Neyestani[1]

[1]*Assisstant Professor, Physics Department, Razi University, Kermanshah, Iran*

Abstract

Precise forecast of precipitation in convective scales is very important. Since the initial conditions of the forecasts can be improved using convective scale data assimilation, therefore, data assimilation can have a positive impact on precipitation prediction. In this study, the effect of cyclic data assimilation using 3DVAR method and WRF model on convective scale precipitation forecasts with 2.5 km spatial resolution is investigated. The one month period (December 2013) has been selected for numerical simulations and model runs have been conducted in a select area in western and northwestern of Iran. The used boundary conditions data are extracted from ECMWF model predictions. Also, various types of conventional observations were obtained from ECMWF center for data assimilation process and with a domain specific background error statistics that it is produced by CV5 method in WRF-DA system. Overall, the predicted precipitation data for many low rainfall thresholds showed higher verification scores, although this improvement was not observed at rainfall thresholds greater than 10 mm.

Keywords: Data assimilation, 3DVAR, precipitation, WRF, convective scale, Iran

1 مقدمه

پیش‌بینی‌های عددی در مقیاس همرفتی به ویژه برای پیش‌بینی بارش کمّی بسیار با اهمیت هستند. دقت این پیش-بینی‌ها وابسته به عوامل مختلفی از جمله شرایط اولیه اجرای مدل عددی است (اینز و درلینگ، 2013). اهمیت مشاهدات هواشناسی برای تخمین شرایط اولیه دقیق‌تر در مدل‌های عددی منطقه محدود مخصوصاً در مقیاس‌های همرفتی بسیار مهم است (لوپو و همکاران، 2012). به منظور بهبود شرایط اولیه در مقیاس همرفتی استفاده از فرآیند داده‌گواری (DA) برای مدل‌های عددی وضع هوا در تفکیک‌های افقی بالا انجام می‌شود (ژاکوئیز و همکاران، 2017). روش داده‌گواری وردشی در سه‌بُعد (3DVAR) پتانسیل قابل توجهی را به واسطه امکان در نظر گرفتن قیدهای ترمودینامیکی و دینامیکی بر پایه مدل عددی در مقیاس همرفتی نشان داده است (سان و کروک، 1997). مدل‌های عددی میان‌مقیاس به‌کار رفته در این تحقیق شامل مدل WRF می‌باشند. عملکرد این مدل همراه با داده‌گواری و بدون داده‌گواری برای پیش‌بینی بارش تجمعی 24 ساعته بر اساس پیش‌بینی کوتاه‌مدت 24 ساعته در مقیاس همرفتی برای یک دوره زمانی یک‌ماهه در منطقه غرب و شمال غرب ایران بررسی شده است. همچنین امتیازهای صحت‌سنجی دودویی بر پایه جدول توافقی برای مقایسه نتایج مورد استفاده قرار گرفته است.

2 روش تحقیق

در روش داده‌گواری 3DVAR، تخمین بهینه از حالت جو در هر زمان تحلیلی با کمینه‌سازی یک تابع هزینه (J) انجام می‌شود که این تابع هزینه فاصله بین تحلیل و دیدبانی‌های موجود و همچنین فاصله بین تحلیل و حالت زمینه مدل را اندازه می‌گیرد (بارکر و همکاران، 2004). تحلیل (x^a) با کمینه‌سازی تابع هزینه نسبت به تحلیل به‌دست می‌آید:

$$J = J_b + J_o = \frac{1}{2}(x-x^b)^T B^{-1}(x-x^b) + \frac{1}{2}(y^o - Hx)^T R^{-1}(y^o - Hx) \qquad (1)$$

ماتریس B هم‌وردایی خطای زمینه (BES) و ماتریس R هم‌وردایی خطای دیدبانی‌ها است. به واسطه ابعاد بزرگ ماتریس‌های B و R، محاسبه مستقیم وارون این ماتریس‌ها برای محاسبه تابع هزینه ناممکن است و بعضی ساده‌سازی‌های ضروری برای پیاده‌سازی عملی مورد نیاز است. برای مدل WRF، روش 3DVAR توسط بارکر و همکاران (2004) پیاده‌سازی شده است.

برای انجام آزمایش‌های عددی، داده‌های پیش‌بینی عملیاتی مدل ECMWF با تفکیک افقی 0/25 درجه و تفکیک زمانی 3 ساعته برای ایجاد شرایط اولیه و مرزی (ICs/LBCs) در یک سناریوی عملیاتی مورد استفاده قرار گرفت. مشاهدات گوارد شده از آرشیو دیدبانی‌های جهانی ECMWF با قالب BUFR استخراج شده است که شامل مشاهدات سطحی سینوپ، رادیوگمانه و گزارش‌های مبتنی بر پروازهای هوایی است. منطقه شبیه‌سازی‌های عددی و توزیع نمونه از مشاهدات مورد استفاده در شکل 1 نشان داده شده است.

بازه زمانی شبیه‌سازی‌های عددی ماه دسامبر 2013 می‌باشد. روش داده‌گواری 3DVAR به صورت چرخه‌ای 6 ساعته (شروع گرم)، در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. هم‌وردایی خطای زمینه با انتخاب CV5 در سامانه داده‌گواری مدل WRF به‌صورت وابسته به حوزه شبیه‌سازی و به روش تجربی NMC برای مقیاس همرفتی 2/5 کیلومتر محاسبه و سپس میزان‌سازی شده است. این محاسبه بر اساس پیش‌بینی‌های 12 و 36 ساعته مدل WRF در مقیاس همرفتی که در زمان یکسانی معتبر هستند انجام شده و دوره شبیه‌سازی‌ها برای محاسبه هم‌وردایی خطای زمینه، ماه دسامبر 2017 بوده است. طرحواره‌های فیزیکی به‌کار رفته برای همه پیش‌بینی‌های عددی در جدول 1 نشان داده شده‌اند.

به منظور صحت‌سنجی نتایج، از یک آماره توصیفی و دو امتیاز سنجش عملکرد استفاده شده است. روش صحت‌سنجی بر اساس جدول پیشامد دودویی است (فاینلی، 1884؛ جولیف و استفنسن، 2003). اُریبی بسامدی که نسبت تعداد پیش‌بینی‌های رخداد به تعداد رخدادهای واقعی بارش است (دونالسون و همکاران، 1975) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$B = \frac{a+b}{a+c} = \left(\frac{1-s}{s}\right) F + H \qquad (2)$$

که در اینجا a، b و c بر اساس مقادیر به‌دست آمده از جدول پیشامد برای آستانه‌های مختلف بارش جایگذاری می‌شود. کمیت s نشان‌دهنده احتمال رخداد بارش (آهنگ پایه) است که فقط به رخداد مشاهده‌شده بارش بستگی دارد و نه به پیش‌بینی‌ها. کمیت F، آهنگ هشدار نادرست و کمیت H آهنگ برخورد پیش‌بینی‌ها و مشاهدات هستند. دو امتیاز سنجش عملکرد پیش‌بینی‌ها که در اینجا استفاده شده‌اند، عبارتند از نسبت درست (PC) و امتیاز مهارتی پیِرس (PSS) که به صورت زیر تعریف می‌شوند:

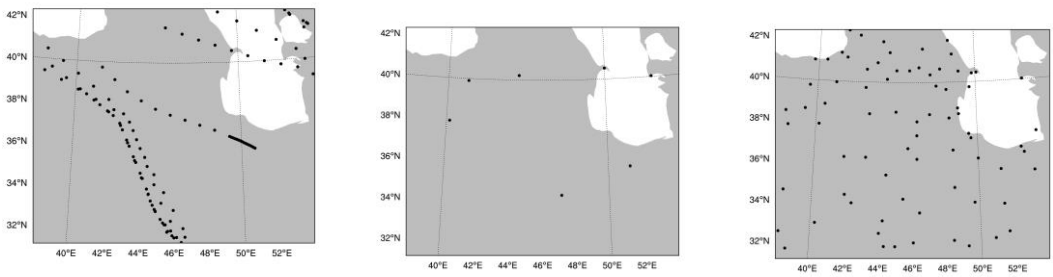
$$PC = \frac{a+d}{n} = (1-s)(1-F) + sH \qquad (3)$$

$$PSS = \frac{ad-bc}{(a+c)(b+d)} = H - F \qquad (4)$$

کمیت d در اینجا مشابه با a، b و c از جدول توافقی جایگذاری می‌شوند (جولیف و استفنسن، 2003). نسبت درست، احتمال رخداد پیش‌بینی است به شرط رخداد مشاهده و احتمال عدم رخداد پیش‌بینی به شرط عدم رخداد مشاهده است. مشاهدات به‌کار رفته برای صحت‌سنجی بارش، بارش های 24 ساعته رخداده در 221 ایستگاه همدیدی در غرب و شمال‌غرب کشور است که از سازمان هواشناسی کشور دریافت شده است.

جدول 1. طرحواره‌های پارامترسازی فیزیکی به‌کار رفته در این پژوهش.

Process	WRF
Microphysics	Thompson
Longwave radiation	RRTMG
Shortwave radiation	RRTMG
Surface layer	Monin-Obukhov /Janjic)
Land surface	Unified Noah
Planetary boundary layer	Mellor-Yamada TKE (Janjic)
Cumulus	explicit



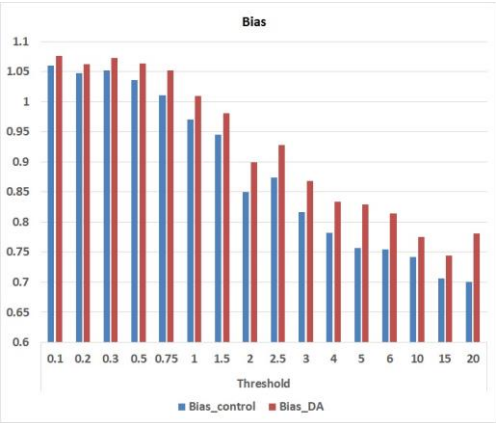
(الف) **(ب)** **(ج)**

شکل 1. حوزه جغرافیایی شبیه‌سازی‌ها و همچنین توزیع نمونه‌ای از دیدبانی‌های به‌کار رفته در فرآیند داده‌گواری و صحت‌سنجی، **الف)** داده های سطحی ایستگاه‌های سینوپ، **ب)** داده‌های رادیوگمانه و **ج)** داده‌های مبتنی بر پروازهای هوایی

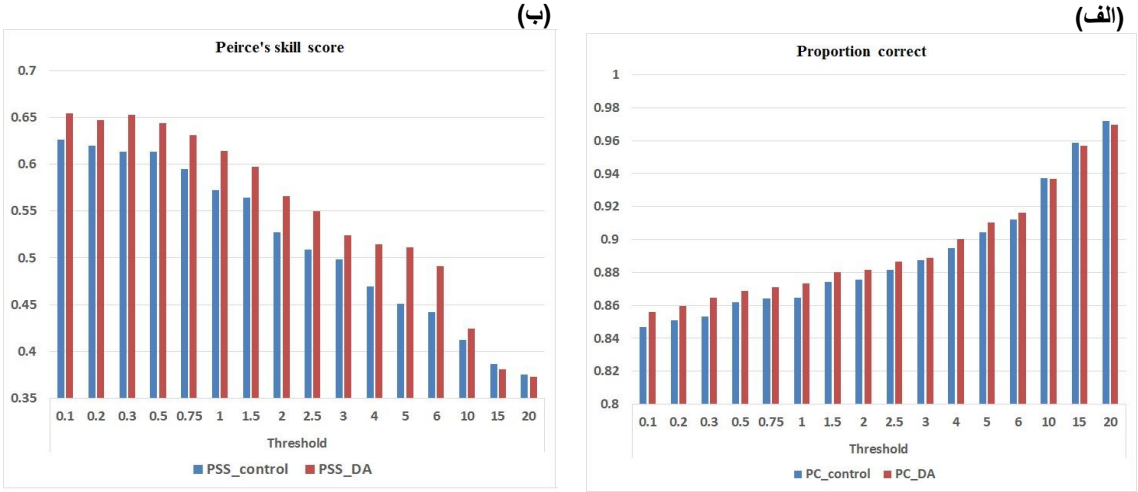
3 نتیجه‌گیری

پیش‌بینی‌های کامل در حالتی که آهنگ برخورد برابر یک و آهنگ هشدار نادرست برابر صفر باشد، غیر اُریب خواهد بود (یعنی اُریبی بسامدی در این حالت برابر با یک خواهد بود). البته اریبی هیچ اطلاعاتی درباره مهارت پیش‌بینی با خود ندارد، زیرا با تغییر دادن آستانه تصمیم‌گیری هر مقداری می‌تواند داشته باشد. شکل 2، اریبی بسامدی را برای آستانه‌های مختلف بارش برای همه آزمایش‌های عددی انجام شده در دوره یک‌ماهه و در کل ایستگاه‌های بررسی شده در منطقه نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، آزمایشات عددی همراه با داده‌گواری در همه آستانه‌های بارش (محور افقی بر حسب میلی‌متر)، مقدار اریبی بسامدی را افزایش داده است که بیانگر این است که تعداد پیش‌بینی‌های رخداد نسبت به رخدادهای مشاهدات بارش بعد از داده‌گواری افزایش یافته است. به عبارت دیگر این افزایش نشان دهنده این است که آهنگ برخورد بعد از داده‌گواری افزایش یافته یا آهنگ هشدار نادرست کاهش یافته و یا هر دو حالت با همدیگر اتفاق افتاده‌اند. در آستانه‌های تصمیم‌گیری بالاتر، این حالت به طور بارزتری مشاهده می‌شود (به طور نمونه آستانه 20 میلی-متر). این بدین معناست که داده‌گواری کمک کرده که تعداد پیش‌بینی‌های بارش به تعداد رخدادهای بارش نزدیک‌تر شود.

امتیازهای صحت‌سنجی نسبت درست و امتیاز مهارتی پیرس در شکل 3 نشان داده شده‌اند. همانطور که شکل 3.الف نشان می‌دهد، به طور کلی این امتیاز در آستانه‌های بارشی بزرگ‌تر افزایش می‌یابد، زیرا در این آستانه‌ها احتمال رخداد بارش رخداده (آهنگ پایه) به شدت کاهش می‌یابد. میزان افزایش بین کمترین آستانه بارشی و بیشترین آستانه برای نسبت درست حداکثر 15٪ است. افزایش جزئی در مهارت پیش‌بینی از دیدگاه نسبت درست در آزمایش‌های عددی داده‌گواری شده برای آستانه‌های بارشی کمتر از 10 میلی‌متر مشاهده می‌شود که به‌طور سازگاری در همه آستانه‌های کوچک وجود دارد. این تاثیر در همه آستانه‌ها کمتر از 1٪ است. اما برای آستانه‌های بیش از 10 میلی‌متر، ثاثیر منفی جزئی در آزمایش‌های عددی همراه با داده‌گواری مشاهده می‌شود. اگر به‌طور همزمان به امتیاز مهارتی پیرس در شکل 3.ب نگاهی بیاندازیم، واضح است که امتیاز مهارتی پیرس برای آستانه بارش کمتر از 10 میلی‌متر، افزایشی تا حدود 6٪ را در آزمایش‌های همراه با داده‌گواری نشان می‌دهد (بیشینه برای آستانه 5 میلی‌متری). اما برای آستانه‌های 15 و 20 میلی‌متر، کاهش جزئی در این امتیاز برای آزمایش‌های داده‌گواری‌شده مشاهده می‌شود. بیشینه امتیاز مهارتی در آستانه-های خیلی کوچک رخ می‌دهد که می‌تواند نشانگر این باشد که شبیه‌سازی‌های عددی بارش را در ایستگاه مورد نظر به درستی پیش‌بینی کرده است، ولی شدت بارش را خیر. البته با توجه به اینکه داده‌گواری مقدار این امتیاز مهارتی را در آستانه‌های مختلف تا 10 میلی‌متر افزایش داده است، این بدین معناست که داده‌گواری در پیش‌بینی رخداد بارش تاثیر مثبت داشته است. این بهبود در آستانه‌های بارشی خیلی بالا مشاهده نشد.



شکل 2. اریبی بسامدی برای آستانه‌های مختلف بارش



شکل 3. امتیازهای صحت‌سنجی بارش پیش‌بینی شده برای آستانه‌های مختلف بارش، **(الف)** نسبت درست، **(ب)** امتیاز مهارتی پیِرس (آمار مهارت‌های درست)

منابع

Barker D, Huang W, Guo YR, Xiao QN. 2004. A three-dimensional (3DVAR) data assimilation system for MM5: Implementation and initial results. Mon. Weather Rev. **132**: 897–914.

Donaldson, R. J., Dyer, R. M. and M. J. Kraus 1975. An objective evaluator of techniques for predicting severe weather events. In: Preprints, Ninth Conference on Severe Local Storms, Norman, Oklahama. American Meteorological Society, 321-326.

Finley, J. P. 1884. Tornado predictions. Amer. Met. J., **1**, 85-88.

Inness P, Dorling S. 2013. *Operational Weather Forecasting*. Wiley-Blackwell, 231pp.

Jacques D, Chang W, Baek S, Milewski T, Fillion L. 2017. Developing a convective-scale EnKF data assimilation system for the Canadian MEOPAR project. Mon. Weather Rev. **145**.

Jolliffe I. T. and D. B. Stephenson 2003. *Forecast verification, a practitioner's guide in atmospheric science*. John Wiley & Sons Ltd, 240 pp, ISBN 0-471-49759-2.

Lupu C, Gauthier P, Laroche S. 2012. Assessment of the impact of observations on analyses retrieved from Observing System Experiments. Mon. Weather Rev. **140**: 245–257.

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