

بررسی پیش‌بینی احتمالاتی بارش تجمعی با کاهش تعداد اعضای همادی

سیده عاطفه محمدی^۱ و مجید آزادی^{۲*}

^۱دکتری، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، mohamadi.atefeh@yahoo.com

^۲گانشیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، azadi68@hotmail.com

چکیده

ارزش اقتصادی و کارایی پیش‌بینی‌های احتمالاتی به مراتب بیشتر از پیش‌بینی‌های متناظر یقینی است. در مراکز پیشرفته پیش‌بینی وضع هوا، صدور این نوع پیش‌بینی‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. در این پژوهش، ابتدا یک سامانه همادی ۱۸ عضوی تشکیل شده است که هر یک از اعضای آن یک اجرای مستقل از مدل WRF با یک پیکربندی فیزیکی خاص است. به علت وجود محدودیت‌های سخت افزاری، دستیابی به یک سامانه همادی با تعداد اعضای کمتر و حفظ کارایی یک هدف اصلی است. در روش BMA با توجه به تاریخچه خطای مدل در یک دوره آموزش به هر عضو همادی یک وزن تخصیص داده می‌شود. در این مطالعه، با حذف اعضاء با وزن کمتر، اندازه سامانه همادی به ۷ عضو کاهش پیدا کرده است. مقایسه پیش‌بینی احتمالاتی به دست آمده از هر دو سامانه همادی نشان داد که سامانه همادی ۷ عضوی دارای عملکردی مشابه با سامانه همادی ۱۸ عضوی است.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی عددی وضع هوا، بارش تجمعی، پیش‌بینی احتمالاتی، سامانه همادی، مدل WRF، روش پس‌پردازش همادی BMA

Probabilistic forecasting of accumulated precipitation with a decrease of ensemble size

Atefeh Mohammadi¹ and Majid Azadi²

¹PhD, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC)

²Associate Professor, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC)

Abstract

In all advanced weather forecasting centers, the use of probabilistic forecasts is very important and their application is increasing day by day. In this research, an 18-member ensemble system is formed, each member of which is an independent implementation of the WRF model with different physical configurations. Due to hardware limitations, creating an ensemble system with fewer members and maintaining efficiency is the main goal. In the BMA method, a weight is assigned to each ensemble member according to the model error history in a training period. In this study, by removing members with less weight, the size of the ensemble system has been reduced to 7 members. The comparison of probabilistic forecasts by both ensemble systems showed that the 7-member ensemble system has the same performance as the 18-member ensemble system.

Keywords: Numerical weather prediction, accumulated precipitation, probabilistic forecast, ensemble system, WRF model, BMA ensemble post-processing method

۱ مقدمه

مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا، قادر به شبیه‌سازی حرکات جو با استفاده از قوانین فیزیکی و دینامیکی حاکم بر آن هستند. بدون هیچ تردیدی، این مدل‌ها از ابزار اصلی در پیش‌بینی‌های وضع هوا و تصمیم‌گیری‌های هواشناسی هستند. از طرف دیگر، مدل‌های NWP و در پی آن پیش‌بینی‌های وضع هوا کاملاً دقیق و بدون خطا نیستند و همواره دارای عدم قطعیت هستند. خطا در پیش‌بینی وضع هوا نشأت گرفته از محدودیت‌های موجود در درک نظری بشر از جو

* نگارنده رابط *

و توان عملیاتی در تولید پیش‌بینی‌ها است. این محدودیت‌ها همراه با ماهیت آشوبناک جو (حساسیت زیاد نسبت به شرایط اولیه) باعث شده‌اند که صدور یک پیش‌بینی کامل و بدون خطا از وضعیت آینده هوا در عمل غیر ممکن باشد. صدور پیش‌بینی، همراه با برآوردی از عدم قطعیت موجود در پیش‌بینی به صورت کمی از جنبه‌های کاربردی بسیار مهم و ضروری است. این امر با ایجاد سامانه‌ای همادی از پیش‌بینی‌های وضع هوا که در شرایط اولیه یا فرمول‌بندی فیزیکی مدل‌های عددی با یکدیگر متفاوت هستند، محقق می‌شود. اگرچه منابع خطای پیش‌بینی و نقش ماهیت آشوبناک جو مشخص است، اما طراحی یک سامانه که تمام منابع خطای پیش‌بینی را به ویژه برای متغیرهای نزدیک به سطح زمین به روش قابل اعتماد و دقیق لحاظ کند بسیار دشوار است. به دلیل ناشناخته بودن توزیع عدم قطعیت شرایط اولیه، نمونه‌گیری تصادفی از آن توزیع امکان‌پذیر نیست. علاوه بر این، ابعاد مسأله پیش‌بینی (میلیون‌ها) بسیار بزرگ‌تر از اندازه یک سامانه همادی قابل اجرا (ده‌ها) است. بنابراین حتی اگر توزیع‌ها شناخته شده هم باشند، در یک سامانه همادی نمی‌توان به اندازه کافی از توزیع‌های مربوطه نمونه‌گیری کرد. همچنین، وجود خطا و تقریب‌های مختلف در فرمول‌بندی مدل‌های دینامیکی باعث ایجاد ارببی در پیش‌بینی می‌شود. به همان دلایلی که پیش‌بینی‌های منفرد نیاز به پس‌پردازش دارند، پیش‌بینی‌های همادی نیز به پس‌پردازش نیاز دارند با این تفاوت که برای دستیابی به واسنجیدگی احتمالاتی، علاوه بر تصحیح ارببی، اصلاح پراکندگی نیز لازم است (ونیتسم و همکاران، ۲۰۱۹).

دو روش پس‌پردازش آماری میانگین‌گیری بایزی (Bayesian Model Averaging (BMA)) (رافتری و همکاران، ۲۰۰۵؛ آزادی و محمدی، ۱۳۹۸؛ فتحی و همکاران، ۱۳۹۷) و آماره برون‌داد مدل همادی (Ensemble Model Output Statistics (EMOS)) (نیتینگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ لنگ و همکاران، ۲۰۲۰؛ ده‌ملایی و همکاران، ۱۴۰۰) به دلیل کارایی و دقت بالاتر محبوبیت بیشتری دارند (ویلکس، ۲۰۱۹). در هر دو روش، پارامترهای مجهول توزیع نهایی پیش‌بینی با مجموعه‌ای از پیش‌بینی‌های گذشته و مشاهدات متناظر با آنها در یک دوره آموزش لغزان (برای تطابق خودکار با تغییرات فصلی یا بروزرسانی‌های سامانه همادی)، تخمین زده می‌شوند. در مطالعه حاضر، از روش BMA برای پس‌پردازش سامانه همادی و تخمین تابع چگالی احتمال پیش‌بینی (PDF) بارش تجمعی روزانه استفاده شده است. در روش BMA، تابع چگالی احتمال پیش‌بینی یک میانگین وزنی از PDF منفرد متناظر با هر یک از اعضای سامانه همادی با ارببی تصحیح شده است که وزن هر عضو، منعکس کننده سهم آن عضو در مهارت پیش‌بینی در طول دوره آموزش است.

در مقاله حاضر، یک سامانه همادی ۱۸ عضوی با اجرای مدل WRF با طرحواره‌های فیزیکی مختلف برای پیش‌بینی بارش تجمعی و دمای کمینه و بیشینه روزانه ایجاد شده است. به دلیل محدودیت‌های موجود در اجرای عملیاتی و دستیابی به یک سامانه همادی با تعداد اعضای کمتر و کاراتر، اندازه سامانه همادی با مقایسه وزن‌های محاسبه شده از اعمال روش BMA به ۷ عضو کاهش یافته است. دقت پیش‌بینی‌های تولید شده با نمودار اطمینان‌پذیری بررسی شده است.

۲ معرفی روش BMA

رافتری و همکاران (۲۰۰۵)، روش BMA را برای سامانه‌های همادی ایجاد شده از مدل‌های دینامیکی بسط دادند. در مدل BMA، برای هر عضو همادی f_k یک تابع چگالی احتمال $g_k(x|f_k, \theta_k)$ برازش می‌شود که θ_k پارامتری است که باید تخمین زده شود. اسلاتر و همکاران (۲۰۰۷) برای تخمین تابع چگالی احتمال پیش‌بینی بارش تجمعی از توزیع گاما استفاده کردند. تابع چگالی احتمال پیش‌بینی BMA برای متغیر x در یک سامانه همادی M عضوی به صورت زیر است:

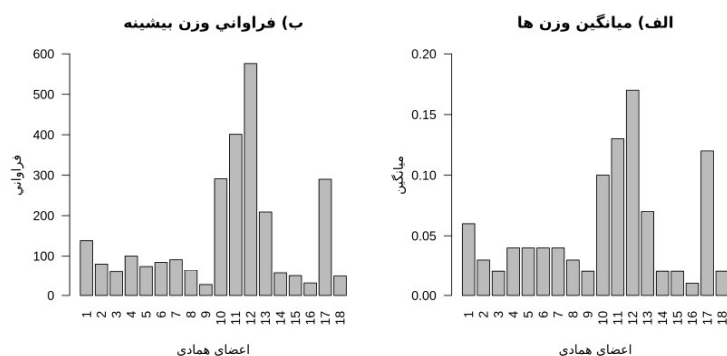
$$p(x|f_1, \dots, f_M) = \sum_{k=1}^M w_k g_k(x|f_k, \theta_k), \quad (1)$$

که وزن w_k با عملکرد نسبی عضو همادی f_k در دوره آموزش رابطه دارد و $w_k \geq 0, k = 1, \dots, M$ و $\sum_{k=1}^M w_k = 1$

۳ نتایج

سامانه همادی ۱۸ عضوی مورد مطالعه، از پیکربندی‌های فیزیکی مختلف مدل WRF تشکیل شده است؛ به گونه‌ای

که هر عضو سامانه، پارامتری سازی های فیزیکی مختلف (خرد فیزیک، همرفت، لایه مرزی، سطح زمین و طرحواره های مربوط به تابش موج کوتاه و بلند) مربوط به خود را دارد. برای اجرای هر عضو سامانه همدادی از دو حوزه تودرتو با تفکیک های افقی ۲۷ و ۹ کیلومتر روی ایران و ۲۷ تراز قائم و برای شرایط مرزی و اولیه از داده های جهانی GFS با تفکیک افقی ۵/۰ درجه استفاده شد. برون داد اعضای سامانه با روش دو خطی به نقاط دیدبانی درون یابی شد. برای دستیابی به یک سامانه همدادی با تعداد اعضای کمتر بدون کاهش دقت برون داد سامانه، از وزن تخصیص یافته به هر عضو همدادی طبق کار نیتینگ و همکاران (۲۰۰۵)، به عنوان اهمیت و نقش آن عضو در سامانه همدادی استفاده و اعضاء با اهمیت کمتر از سامانه حذف شده است. منطق انجام این کار آن است که در صورت وجود همبستگی بین برون داد برخی از اعضای سامانه (برای مثال دو عضو)، عمل وایازش در روش BMA برای تخصیص وزن به اعضای سامانه، وزن زیاد را فقط به یکی از دو عضو مورد نظر تخصیص خواهد داد. به بیان دیگر می توان اعضای با وزن کمتر را بدون از دست دادن اطلاعات حذف کرد. برای این منظور، با استفاده از روش BMA میانگین وزن هر یک از ۱۸ عضو همدادی در دوره آزمون (از ۱۵ ژانویه ۲۰۲۰ تا ۱۵ مه ۲۰۲۰) محاسبه و در شکل ۱ الف و فراوانی وزن بیشینه هر یک از اعضای همدادی در شکل ۱ ب نشان داده شده است. همان طور که در این شکل دیده می شود، اعضای شماره ۱، ۴، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۷ دارای بیشترین فراوانی وزن بیشینه و بیشترین میانگین وزن هستند. این اعضاء که دارای عملکرد بهتری هستند برای تشکیل سامانه همدادی ۷ عضوی انتخاب می شوند و سایر اعضاء از سامانه همدادی حذف می شوند.

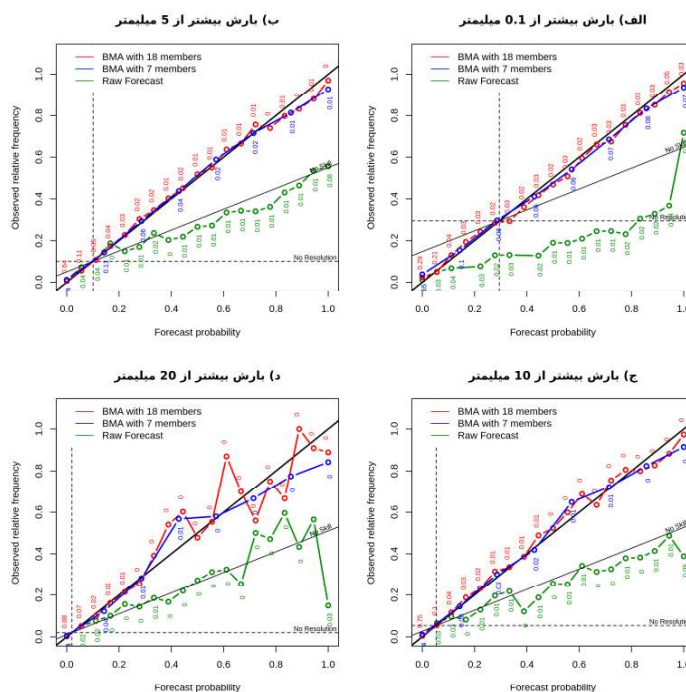


شکل ۱. الف) میانگین وزن و ب) فراوانی وزن بیشینه برای هر یک از اعضای سامانه همدادی در دوره آزمون

برای بررسی حفظ کارایی پیش بینی احتمالاتی با تعداد اعضای کمتر، نمودار اطمینان پذیری پیش بینی خام و پس پردازش شده بارش تجمعی روزانه به روش BMA با استفاده از هر دو سامانه همدادی ۱۸ و ۷ عضوی در آستانه های بارش بیشتر از ۰.۱، ۰.۵، ۱.۰ و ۲.۰ میلی متر در شکل ۲ آورده شده است. در شکل ۲ دیده می شود که پیش بینی احتمالاتی پس پردازش شده در هر دو سامانه همدادی نسبت به پیش بینی خام یک پیش بینی قابل اطمینان، تفکیک پذیر و با مهارت است. با کاهش تعداد اعضای سامانه همدادی به ۷ عضو، از کیفیت پیش بینی کاسته نشد و علاوه بر این، در آستانه بارش بیش از ۲۰ میلی متر (شکل ۵ د) دارای عملکرد بهتری است.

۴ نتیجه گیری

یک سامانه همدادی از اجرای مدل WRF با ۱۸ طرحواره فیزیکی مختلف برای پیش بینی احتمالاتی بارش تجمعی در کشور ایجاد شد. روش میانگین گیری به روش بیزی (BMA) برای پس پردازش سامانه همدادی و صدور پیش بینی احتمالاتی استفاده شد. با بدست آوردن وزن هر یک از اعضای سامانه همدادی با استفاده از روش BMA و انتخاب اعضای که دارای وزن بیشتری هستند، اعضای سامانه همدادی به ۷ عضو کاهش پیدا کرد. نتایج درستی سنجی نشان داد که نتایج پیش بینی پس پردازش شده به روش BMA با هر دو سامانه ۷ و ۱۸ عضوی نسبت به پیش بینی خام بهبود قابل توجهی داشته است. با حذف اعضای دارای وزن کمتر و کاهش هزینه های اجرا و صرفه جویی در زمان، نه تنها از کیفیت پیش بینی کاسته نشد بلکه در آستانه های بالا دارای عملکرد بهتری نیز بود.



شکل ۲. نمودار اطمینان‌پذیری برای بارش‌های بیشتر از ۰.۱، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر

منابع

- آزادی، م.، محمدی، س. ع.، ۱۳۹۸، پیش‌بینی احتمالاتی دمای کمینه و بیشینه روزانه روی ایران با استفاده از سامانه همدی دو عضو: نیوار، ۴۳، ۵۴-۶۲.
- دهملائی، م.، رضازاده، م.، آزادی، م.، ۱۴۰۰، بررسی پیش‌بینی احتمالاتی سرعت باد ده متری با استفاده از دو روش پس‌پردازش همدی: پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۴۸، ۶۹-۸۴.
- فتحی، م.، آزادی، م.، کمالی، غ.، مشکوتی، ا. ج.، ۱۳۹۷، واسنجی پیش‌بینی احتمالاتی بارش برونداد سامانه همدی به روش میانگین‌گیری بایزی روی ایران: هواشناسی و علوم جو، (۲)، ۱۱۴-۱۲۹.
- Gneiting, T., Raftery, A. E., Westveld, A. H. and Goldman, T., 2005, Calibrated probabilistic forecasting using ensemble model output statistics and minimum CRPS estimation: Monthly Weather Review, **133**, 1098-1118.
- Lang, M.N., Lerch, S., Mayr, G.J., Simon, T., Stauffer, R., Zeileis, A., 2020, Remember the past: a comparison of time-adaptive training schemes for non-homogeneous regression: Nonlinear Process. Geophys., **27**, 23-34.
- Raftery, A. E., Gneiting, T., Balabdaoui, F. and Polakowski, M., 2005, Using Bayesian model averaging to calibrate forecast ensembles: Monthly Weather Review, **133**, 1155-1174.
- Sloughter, J. M., Raftery, A. E., Gneiting, T. and Fraley, C., 2007, Probabilistic quantitative precipitation forecasting using Bayesian model averaging. Monthly Weather Review, **135**, 3209-3220.
- Vannitsem, S., Wilks, D.S. and Messner, J., 2019, Statistical Postprocessing of Ensemble Forecasts: Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Wilks, D. S., 2019, Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: New York: Elsevier.