سامانه درستی‌سنجی مدل‌های پیش‌بینی عددی هواشناسی نهاجا

محمد حسام محمدی*[۱] ، محمود صفر[۲]

*۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه علوم زمین، تهران، ایران
۲-پژوهشگر پسادکتری هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

هدف از این پژوهش معرفی سامانه درستی‌سنجی مدل‌های پیش‌بینی عددی هواشناسی نهاجا و مطالعه موردی عملکرد آن بر پارامتر دما در ماه خرداد سال ۱۳۹۹ در استان تهران می‌باشد. بدین منظور داده‌های همدیدی یک ماهه دمای تراز دو متری از سطح زمین ایستگاه‌های مهرآباد، امام‌خمینی و دوشان‌تپه، واقع در استان تهران با داده‌های خروجی سامانه هوشمند پیش‌بینی هواشناسی نهاجا مقایسه و عملکرد سامانه مورد ارزیابی قرار گرفت. این ارزیابی بر روی برون‌داد مدل در ساعات ۰۰ و ۱۲ گرینویچ به صورت روزانه انجام شد. نتایج حاصل از ارزیابی دمای تراز دو متری از سطح زمین در بازه مورد مطالعه برای ۳ ایستگاه همدیدی مذکور با استفاده از سنجه‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین سنجه ضریب همبستگی پیرسون (R)، میانگین سنجه درصد خطای مطلق (MAPE)، میانگین خطاها یا اریبی (BIAS) و میانگین سنجه خطای انحراف معیار (STDE) گواه بر عملکرد مناسب سامانه در این بخش است.

واژه‌های کلیدی: سامانه درستی‌سنجی، سامانه هوشمند پیش‌بینی هواشناسی نهاجا، درستی‌سنجی دما، مدل WRF، استان تهران

Verification system of numerical weather prediction models in NAHAJA

Mohammad Hesam Mohammadi [1*], Mahmood Safar[2]

*[*1] Ph.D. Candidate, Department of geoscience, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
2 Postdoctoral researcher of Meteorology, Institute of Geophysics, Tehran University, Tehran, Iran

Abstract

The purpose of this study is to introduce the validation system of numerical meteorological forecasting models of Nahaja and also a case study of the performance of this system on the temperature parameter in June 2020 in Tehran province. For this purpose, one-month synoptic temperature data at two meters above the ground of Mehrabad, Imam Khomeini and Doshan Tappeh stations (located in Tehran province) were compared with the output data of Nahaja intelligent weather prediction system, and the performance of the model Was evaluated. This evaluation was performed on the model output at 00 and 12 GMT. The results showed that in the study period, the mean of RMSE for the 3 stations studied, in the first to sixth days of the forecast, respectively was 1.725, 1.634, 1.653, 1.720, 1.871 and 2.131, R was equal to 0.959, 0.916, 0.912, 0.894, 0.873 and 0.859, MAPE was equal to 0.481, 0.453, 0.458, 0.470, 0.522 and 0.598, the mean of Bias was equal to 0.769, 0.516, 0.255, 0.072, -0.108 and -0.279 and the mean of STDE was equal to 1.285, 1.324, 1.345, 1.362, 1.400 and 1.520. The results of 2m temperature assessment in the study period for the three synoptic stations, is evidence of proper performance of the model in this section.

Keywords: Verification system, Nahaja Intelligent Weather Prediction System, Temperature Validation, WRF Model, Tehran Province.

۱ مقدمه

با توجه به توسعه مدل منطقه‌ای WRF در سال‌های اخیر و متداول‌تر شدن استفاده از آن در مراکز پیش‌بینی دنیا، اجرای مطالعاتی برای راستی‌آزمایی برون‌داد این مدل به عنوان پیش‌نیاز استفاده پژوهشی و عملیاتی از آن ضروری است. سامانه مدل‌سازی پیشرفته WRF یک مدل میان‌مقیاس و سامانه‌ای انعطاف‌پذیر با قابلیت‌های فراوان است که می‌توان وضعیت‌های مختلف جو را با استفاده از آن شبیه‌سازی کرد.

درستی و دقت پیش‌بینی کمیت‌های هواشناسی از مواردی است که همواره مورد توجه بوده است. اگرچه مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا (NWP) پیشرفت‌های بسیاری داشته و به شکل پیوسته بهبود می‌یابند، اما در برون‌داد پیش‌بینی مدل‌ها همواره خطاهای تصادفی و سیستماتیک وجود دارد. خطای تصادفی بیشتر مربوط به ذات بی‌نظم (Chaotic) حرکات جو است. خطاهای سیستماتیک که اغلب خطاهای اریبی (Bias) هم نامیده می‌شوند عمدتاً در اثر تفاوت بین توپوگرافی مدل و عوارض واقعی، کاربری زمین و همچنین نقص در طراحی مدل فرایندهای فیزیکی به وجود می‌آیند. علاوه بر این موارد، داده‌های ورودی نیز به شکل ذاتی می‌توانند به دلیل محدودیت ادوات، خطاهای هم سیستماتیک و هم تصادفی ایجاد کنند (هارت و همکاران، ۲۰۰۴).

در راستی‌آزمایی داده‌های خروجی مدل بـه شـیوه‌هـای مختلـف، ارزیـابی دقیقی از درستی نتایج پـیش‌بینـی انجـام مـی‌گیـرد. نتـایج راستی‌آزمایی باید حاوی اطلاعات مفیدی باشد تا بتوان بر اساس آن نتایج را ارزیابی و عملکرد مدل را در محدوده مورد مطالعه بررسی نمود.

بهمن‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به بررسی موردی عملکرد مدل WRF جهت پیش‌یابی میدان باد تراز ۱۰ متر و دمای تراز دومتر با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاه‌های همدیدی در منطقه دریای عمان و دریای عرب پرداختند. ارزیابی نتایج شبیه‌سازی آنها با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های همدیدی در دسترس و همچنین داده‌های دو سنجنده ماهواره‌ای ASCAT و OSCAT انجام گرفت. برای بررسی عملکرد مدل عددی از سنجه‌های آماری ضریب همبستگی پیرسون، ریشه میانگین مربعات خطاها و نمودار آماری تیلور استفاده شد. نتایج آنها نشان داد که در بخش ارزیابی با داده‌های ماهواره‌ای باد تراز ۱۰ متر و دمای تراز دو متر، عملکرد مدل قابل قبول بوده است.

به نظر می‌رسد مطالعات جامعی که تاکنون در خصوص ارزیابی عملکرد مدل WRF در پیش‌بینی پارامتر دما در کشور صورت گرفته، ناکافی بوده و این مطالعه می‌تواند آغازی برای تحقیقات تخصصی بیشتر در این زمینه باشد. آنچه در پژوهش حاضر مد نظر بوده، مطالعه موردی سه ایستگاه منتخب در یک دوره زمانی یک ماهه برای ارزیابی عملکرد شبیه‌سازی مدل WRF در ناحیه مورد مطالعه است و افزایش دوره زمانی مورد بررسی، منجر به نتایج با پوشش زمانی طولانی‌تر می‌شود.

۲ روش تحقیق

در این مطالعه، به منظور بررسی موردی عملکرد "سامانه هوشمند پیش‌بینی هواشناسی نهاجا" با استفاده از "سامانه درستی‌سنجی مدل‌های پیش‌بینی عددی هواشناسی نهاجا"، از داده‌های ۳ ایستگاه هواشناسی همدیدی در استان تهران استفاده گردید. این ایستگاه‌ها شامل ایستگاه هواشناسی مهرآباد (OIII) واقع در عرض جغرافیایی ۳۵/۶۹۳۳ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱/۳۰۹۴ درجه شرقی، ایستگاه هواشناسی فرودگاه امام‌خمینی (OIIE) واقع در عرض جغرافیایی ۳۵/۴۱۶۷ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱/۱۶۶۷ درجه شرقی و ایستگاه هواشناسی دوشان‌تپه (OIID) واقع در عرض جغرافیایی ۳۵/۷۰۲۲ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱/۴۷۵۸ درجه شرقی بودند. لازم به ذکر است استان تهران به دلیل وجود دو فرودگاه پر اهمیت کشور (مهرآباد و امام خمینی) و آمار بالای پروازهای داخلی و خارجی در آنها و نیاز پیش‌بینی دقیق پارامترهای جوی در این مناطق، انتخاب گردید.

هر مقدار هم که مدل‌های عددی در شبیه‌سازی معادلات حاکم بر جو خوب عمل کنند، بدون بهره‌مندی از داده‌های صحیح جهت تأمین شرایط اولیه و مرزی نمی‌توانند به نتایج مطلوبی دست پیدا کنند (اسکاماروک و همکاران، ۲۰۰۸). در اجرای مدل‌های عددی منطقه‌ای، معمولا شرایط مرزی و شرایط اولیه از خروجی یک مدل جهانی که در مراکز

پیش‌بینی عددی وضع هوا تهیه می‌شود، استفاده می‌گردد. در این مطالعه از داده‌های GFS برای شرایط اولیه و مرزی سامانه هوشمند پیش‌بینی هواشناسی نهاجا استفاده گردید. جهت ارزیابی مدل نیز از داده‌های همدیدی ایستگاه‌های هواشناسی استان تهران شامل ایستگاه‌های مهرآباد، امام خمینی و دوشان‌تپه استفاده شد. در هر ایستگاه داده‌های دمای ارتفاع ۲ متری سطح زمین استخراج گردید. اطلاعات مربوط به این ایستگاه‌ها از سازمان هواشناسی ایران تهیه شده است.

تاریخ‌های شبیه‌سازی شامل یک ماه مطالعه موردی (ماه خرداد سال ۱۳۹۹) بود که هر اجرای مدل، ۶ روز یا ۱۴۴ ساعت را مورد سنجش قرار داد. شبیه‌سازی‌ها روزانه ۲ بار و در ساعات ۰۰ و ۱۲ گرینویچ انجام گرفت. از آنجا که سامانه هوشمند پیش‌بینی هواشناسی نهاجا از سال ۱۳۹۸ راه‌اندازی شده و از سال ۱۳۹۹ مورد بهره‌برداری عملیاتی قرار گرفته است، معیار انتخاب این مطالعه موردی مربوط به زمانی است که نگارندگان این مقاله از پایداری عملیاتی سامانه اطمینان کامل حاصل نموده‌اند.

برای راستی آزمایی کمیت‌های عددی پیوسته مانند دما، فشار و غیره، سنجه‌های عملکردی مختلفی شامل جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطاها یا اریبی (Bias)، خطای انحراف معیار (STDE) (عبدالعلی، ۲۰۱۷)، ضریب همبستگی پیرسون (R) و میانگین درصد خطای مطلق (MAPE)، وجود دارد. پس از انجام شبیه‌سازی‌ها و استخراج نتایج مورد نظر به کمک سنجه‌های آماری مذکور، مقایسه نتایج با مشاهدات انجام گرفت.

۳ بحث و نتیجه‌گیری

مقادیر به دست آمده میانگین سنجه‌های مورد استفاده در ارزیابی حاضر، به تفکیک هر ایستگاه برای روزهای اول تا ششم پیش‌بینی (۶۲ بار اجرای مدل با برون‌داد ۶ روزه)، در جدول ۱ آورده شده است. مقایسه مقادیر نشان می‌دهد که اختلاف قابل توجهی بین سنجه‌های آماری هر ایستگاه با دیگر ایستگاه‌های مورد مطالعه وجود ندارد.

از تعداد ۱۱۱۶ مقدار به دست آمده برای هر سنجه آماری (۳ ایستگاه هواشناسی، ۶۲ بار اجرای مدل و برون‌داد ۶ روزه برای هر اجرا)، بیش از ۶۲ درصد مقادیر به دست آمده برای سنجه MAPE دارای مقداری کمتر از ۰/۵ درصد و بیش از ۹۶ درصد این مقادیر، دارای مقداری کمتر از ۱ درصد بودند. بیش از ۷ درصد مقادیر به دست آمده برای سنجه RMSE دارای مقداری کمتر از ۱ و بیش از ۷۴ درصد این مقادیر، دارای مقداری کمتر از ۲ بودند. بیش از ۳۵ درصد مقادیر به دست آمده برای سنجه BIAS دارای مقداری بین ۰/۵- و ۰/۵ و بیش از ۶۳ درصد این مقادیر، دارای مقداری بین ۱- و ۱ بودند. بیش از ۷۸ درصد مقادیر به دست آمده برای سنجه R دارای مقداری بیش از ۰/۹ و بیش از ۵۵ درصد این مقادیر، دارای مقداری بیش از ۰/۹۵ بودند. بیش از ۲۲ درصد مقادیر به دست آمده برای سنجه STDE دارای مقداری کمتر از ۱ و بیش از ۸۹ درصد این مقادیر، دارای مقداری کمتر از ۲ بودند.

جدول ۱. مقادیر میانگین سنجه‌های آماری در خرداد ماه سال ۱۳۹۹ به تفکیک هر ایستگاه برای روزهای اول تا ششم پیش‌بینی (۶۲ بار اجرای مدل، هر ۱۲ ساعت یک اجرا).

		MAPE (%)	RMSE (K)	BIAS (K)	R	STDE (K)
روز اول	دوشان تپه	0.529718	1.879027	1.30141	0.959921	1.189642
	فرودگاه امام	0.429642	1.569411	0.087344	0.969431	1.4109
	مهرآباد	0.483913	1.72629	0.91869	0.949103	1.254292
	میانگین کلی	0.481091	1.72491	0.76915	0.959485	1.284945
روز دوم	دوشان تپه	0.485313	1.753344	0.927661	0.936166	1.279092
	فرودگاه امام	0.413147	1.510498	0.068203	0.904332	1.381721
	مهرآباد	0.460313	1.63945	0.552716	0.908521	1.312
	میانگین کلی	0.452924	1.634431	0.516193	0.91634	1.324271
روز سوم	دوشان تپه	0.472469	1.709616	0.618945	0.928348	1.300566
	فرودگاه امام	0.428298	1.571092	-0.05765	0.906266	1.397445
	مهرآباد	0.472519	1.678321	0.202281	0.900366	1.335598

	میانگین کلی	0.457762	1.65301	0.254527	0.91166	1.344537
روز چهارم	دوشان تپه	0.47331	1.719729	0.37865	0.904342	1.308335
	فرودگاه امام	0.456895	1.716824	-0.13704	0.903947	1.452334
	مهرآباد	0.47875	1.723208	-0.02623	0.872695	1.326353
	میانگین کلی	0.469652	1.71992	0.071795	0.893661	1.362341
روز پنجم	دوشان تپه	0.521005	1.857073	0.153008	0.872316	1.337644
	فرودگاه امام	0.521558	1.911856	-0.25859	0.901702	1.501671
	مهرآباد	0.52376	1.842748	-0.21784	0.84531	1.359871
	میانگین کلی	0.522108	1.870559	-0.107806	0.873109	1.399728
روز ششم	دوشان تپه	0.608011	2.171731	-0.05893	0.844326	1.488492
	فرودگاه امام	0.553381	2.011718	-0.35579	0.897531	1.552974
	مهرآباد	0.63214	2.209282	-0.4217	0.835703	1.519411
	میانگین کلی	0.597844	2.13091	-0.278807	0.859187	1.520292

۴ نتایج

بر اساس نتایج به دست آمده به صورت میانگین برای هر سه ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه در ماه خرداد سال ۱۳۹۹، بهترین برون‌داد مدل به ترتیب مربوط به روزهای دوم، سوم، اول، چهارم، پنجم و ششم پیش بینی بوده است. همچنین با توجه به مقادیر سنجه‌های پیش‌گفته، می‌توان عملکرد سامانه هوشمند پیش‌بینی هواشناسی نهاجا در پیش-بینی دمای تراز دو متری از سطح زمین را مناسب ارزیابی کرد.

میزان تفکیک افقی سامانه می‌تواند در به دست آوردن نتایج حاصل، مؤثر باشد. نتایج به دست آمده محدود به منطقه و تاریخ‌های مورد بررسی می‌باشد و گسترش آن‌ها به حالت کلی‌تر نیاز به تحقیق و مطالعه بیشتری دارد.

منابع

۱- بهمن‌زاده، ف.، قادر، س.، حق‌شناس، س. ع. و یازجی، د.، ۱۳۹۸، بررسی موردی عملکرد مدل WRF جهت پیشیابی میدان باد تراز ۱۰ متر و دمای تراز دومتر با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاه‌های همدیدی در منطقه دریای عمان و دریای عرب، فیزیک زمین و فضا، ۴۵ (۲)، ۴۴۱-۴۵۸.

1. Hart, K. A., W. J. Steenburgh, D. J. Onton, and A. J. Siffert, 2004, An evaluation of mesoscale-model-based output statistics (MOS) during the 2002 Olympic and Paralympic games. Wea. Forecasting, 19, 200–218.
2. Mariani, S., Casaioli, M., Lanciani, A., Tartaglione, N., & Accadia, C., 2008, Verification and Intercomparison of Precipitation Fields Modelled by LAMS in the Alpine Area: Two FORALPS Case Studies.
3. Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Duda, M., Huang, X.-Y., Wang, W., and Powers,J., 2008, A Description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR.
4. Wilks, D. S. 1995, Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: Academic, San Diego, Calif.