

بهبود پیش‌بینی یقینی بارش با استفاده از میانگین وزنی سامانه همادی بر روی ایران

مأده فتحی^{۱*}، مجید آزادی^۲، غلامعلی کمالی^۳، امیرحسین مشکوتی^۴

۱-پیش‌بین هواشناسی، مرکز پیش‌بینی، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ایران

۲-دانشیار، پژوهشکده هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

۳-عضو هیئت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۴-دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

(دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۶، بازنگری: ۱۳۹۷/۰۶/۰۶، پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۶، انتشار آنلاین: ۱۳۹۸/۰۷/۰۱)

چکیده

نتایج حاصل از توسعه یک سامانه پیش‌بینی همادی برای مدل WRF برای پیش‌بینی بارش روی ایران در تحقیق حاضر ارائه می‌شود. سامانه همادی که در این تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد، از اجرای مدل WRF با نه پیکره بندی فیزیکی متفاوت تشکیل شده است. در این مقاله، روش میانگین وزنی (ENSWM) برای بهبود پیش‌بینی های بارش ۲۴ ساعته در پاییز و زمستان ۱۳۹۰ مورد مطالعه قرار گرفته است. در این روش، وزن برای هر عضو سامانه همادی در هر نقطه شبکه بر اساس ضریب همبستگی بین اعضای سامانه همادی و بارش دیدبانی در طول دوره آموزشی تعیین می‌شود. به غیر از روش (ENSWM)، پیش‌بینی بارش با استفاده از میانگین ساده سامانه همادی (ENSM) نیز تولید شده است. پیش‌بینی ۲۴ ساعته بارش با استفاده از میانگین خطای مطلق (MAE)، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و آنومالی ضریب همبستگی (ACC) و همچنین شاخص‌های TS و POD در آستانه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که روش ENSWM نتایج بهتری نسبت به هر یک از اعضای سامانه همادی و همچنین پیش‌بینی به روش ENSM در ایران ارائه می‌دهد، بطوریکه ضریب همبستگی بهبود قابل توجهی داشته است، بطوریکه در روش ENSWM نسبت به ENSM ۱۵ درصد بهبود یافته است و مقدار RMSE ۵ درصد کاهش یافته است. پس نتایج مزیت استفاده از سامانه همادی در مقایسه با پیش‌بینی منفرد برای پیش‌بینی بارش در کشور بخصوص برای کارهای عملیاتی را به وضوح نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: پیش‌بینی عددی وضع هوا، سامانه همادی، میانگین سامانه همادی، میانگین وزنی سامانه همادی، مدل WRF.

۱. مقدمه

سامانمند و تصادفی همراه است. بارش از جمله کمیت‌هایی است که پیش‌بینی آن از لحاظ تعیین منطقه و شدت آن شامل خطاهای ذکر شده می‌باشد. ابشتاین (۱۹۶۹) و لیت (۱۹۷۴) با هدف بهبود دادن پیش‌بینی‌ها، پیشنهاد دادند که به جای اینکه فقط یک پیش‌بینی قطعی داشته باشیم از مجموعه ای از پیش‌بینی‌ها استفاده شود که در واقع این روش پیش‌بینی، پیش‌بینی همادی نام دارد [۱، ۲]. روش‌های متعددی برای ساختن اعضای یک سامانه همادی وجود دارد از جمله ایجاد پربشیدگی در شرایط آغازین، ایجاد پربشیدگی در پیکربندی و ایجاد پربشیدگی در شرایط مرزی مدل عددی.

پیش‌بینی وضع هوا از دیرباز اهمیت فوق‌العاده‌ای داشته است. مسائل مربوط به خشکسالی، آب‌شناسی، کشاورزی و پیش‌بینی سیل‌ها از کلیدی‌ترین مسائل جوی به شمار می‌آیند، از این رو پیش‌بینی دقیق بارش اهمیت بسزایی دارد.

اساس مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا حل معادلات ترمودینامیک و دینامیک ساده شده با استفاده از روش‌های عددی مختلف می‌باشد. به دلیل ساختار پیچیده و آشوبناک جوی، معادلات حاکم بر آن بسیار پیچیده است و حل دقیق آن ساده‌سازی می‌شود و بعضی از خطاها از این عامل موثر ناشی می‌شوند. در نتیجه برونداد مدل‌های عددی همواره با خطای

نتیجه باعث بهبود پیش‌بینی شد. میترا^۶ و همکاران [۶] در سال ۲۰۱۱ برای باران‌های مونسونی ۲۰۰۹ پیش‌بینی به روش MME انجام دادند. مهارت پیش‌بینی به دست آمده با استفاده از روش MME بهتر از مهارت میانگین ساده و پیش‌بینی مدل‌های قطعی است. ریچاردسون^۷ [۷] در سال ۲۰۰۱ برای تولید پیش‌بینی یقینی و پیش‌بینی احتمالاتی از روش MME استفاده کرد، و نتایج نشان داد که میانگین ساده پیش‌بینی‌های مفیدی را تولید می‌کند.

در این مطالعه، یک سامانه همادی با استفاده از پیکربندی مختلف مدل WRF تشکیل شده است، که از ۹ پیکربندی متفاوت مدل از جمله پارامترهای فیزیکی لایه مرزی سیاره-ای، لایه سطحی و سطح زمین استفاده شده است. برای هر یک از اعضای سامانه، پیش‌بینی بارش ۲۴ ساعته در یک شبکه با تفکیک ۰/۱ در ۰/۱ درجه را استخراج شده است. از آنجایی که ما داده‌های دیدبانی را در ایستگاه‌های هواشناسی داریم و برای درستی سنجی نتایج به داده دیدبانی در همان نقاط شبکه نیاز داریم در نتیجه داده‌های ایستگاه دیدبانی را با روش درونیابی GIDS به داده‌های شبکه‌ای منظم با همان تفکیک ۰/۱ در ۰/۱ درجه تبدیل کردیم [۸]، با استفاده از ضریب همبستگی وزن هر یک از اعضای همادی محاسبه شده و میانگین وزنی آنها در طول دوره آزمون با هریک از اعضای سامانه و میانگین گیری بدون وزن (ENSM^۸) مقایسه شده است، که بهبود قابل توجهی داشته-ایم. در ادامه با استفاده از ضریب همبستگی، میانگین وزنی (ENSWM^۹) گرفته شده که این روش منجر به کاهش RMSE در مقایسه با اعضای سامانه و میانگین گیری بدون وزن شد.

در این مطالعه برای ایجاد سامانه همادی از روش پریشیدگی در پیکربندی مدل استفاده شده است. اگرچه پیش‌بینی‌های همادی مفید هستند و اطلاعات زیادتری نسبت به پیش‌بینی منفرد ارائه می‌دهند، اما هدف اصلی پیش‌بینی همادی حذف گروهی خطاهای چند مدل است. ساده‌ترین روش پیش‌بینی همادی روش متوسط گیری بدون وزن می‌باشد، در این روش مولفه‌های غیر قطعی پیش‌بینی‌های منفرد با متوسط گیری از آن‌ها خارج می‌شود (کریشنامورتی^۱ و همکاران، ۲۰۰۰) [۳]. اشکال اصلی روش میانگین گیری ساده تعیین یک وزن برای هر مدل است و ممکن است که چندین مدل ضعیف وجود داشته باشد و میانگین این‌ها نتیجه نهایی را تضعیف کند. برای رفع این مشکل سامانه همادی، کریشنامورتی و همکاران (۱۹۹۹ و ۲۰۰۰) روش MME^۲ را معرفی کردند که این روش پیشرفت قابل ملاحظه‌ای در پیش‌بینی نشان داد. در این روش وزن هر مدل بر اساس عملکرد فضایی و زمانی آن مدل اختصاص داده می‌شود. استراتژی روش MME شامل دو مرحله است، دوره آموزش و دوره پیش‌بینی. در مرحله اول با استفاده از مدل‌های مختلف استفاده شده در روش MME و داده‌های دیدبانی وزن هریک از مدل‌ها مشخص می‌شود و در مرحله بعد با استفاده از پیش‌بینی‌های مدل‌های مختلف و آمارهای مرحله اول پیش‌بینی‌های MME صادر می‌شود. روی بومیک^۳ و دورای^۴ [۴] در سال ۲۰۱۰ از روش ضریب همبستگی (CC^۵) برای پیدا کردن وزن برای مدل عضو استفاده کرده و سپس یک پیش‌بینی MME ارائه دادند. در سال ۲۰۱۲ روی بومیک و همکاران [۵]، برای پیش‌بینی بارش به روش MME در منطقه هند از روش میانگین گیری وزنی با استفاده از ضریب همبستگی استفاده کردند، که در

^۶ Mitra^۷ Richardson^۸ Ensemble Mean^۹ Ensemble weighted Mean^۱ Krishnamurti^۲ Multimodel ensemble^۳ Roy Bhowmik^۴ Durai^۵ Correlation Coefficient

۲- روش تحقیق

برای تولید پیش بینی کالیبره شده از روش ENSWM استفاده شده است. در این روش وزن هریک از اعضای سامانه با استفاده از ضریب همبستگی بین پیش‌بینی‌های اعضای سامانه و دیدبانی متناظرشان در دوره آموزش بدست می‌آید [۹]. پیش‌بینی به روش ENSM از رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$ENSM = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{k=N} F_k \quad (1)$$

که F_k عضو K ام سامانه همادی و N تعداد کل اعضای سامانه می‌باشد.

تعداد نقاط در شبکه منظم ذکر شده 180×230 است. از اینرو پیش‌بینی ENSWM تولید شده برای هر عضو K سامانه بر روی همه نقاط شبکه (i, j) با استفاده از رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$ENSM = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{k=N} W_{ij,k} F_{ij,k} \quad i=1, 2, \dots, 230; \quad j=1, 2, \dots, 180 \quad (2)$$

که $W_{ij,k}$ وزن k امین عضو سامانه همادی برای هر نقطه شبکه (i, j) است. وزن هر عضو از رابطه (۳) بدست می‌آید.

$$W_{ij,k} = \frac{C_{ij,k}}{\sum_{k=1}^N C_{ij,k}} \quad (3)$$

که $C_{ij,k}$ ضریب همبستگی بین دیدبانی و پیش‌بینی بارش برای نقطه شبکه (i, j) عضو k ام سامانه همادی است. برای هر عضو سامانه همادی، پیش‌بینی ۲۴ ساعته بارش تجمعی برای نقاط شبکه‌ای منظم $0/1$ درجه بر روی ایران بدست آمده است. علاوه بر این داده‌های دیدبانی ایستگاه‌های سینوپتیکی بر روی نقاط شبکه ذکر شده به روش $GIDS^1$ درونیابی شده است.

برای مقایسه داده‌های بارش روزانه تحلیل بر روی شبکه منظم با روش ENSM، ENSWM و اعضای سامانه همادی میانگین مجذور مربعات خطا ($RMSE^2$) و بی‌هنجاری ضریب همبستگی (ACC^3) محاسبه شده است. همچنین برای

درستی سنجی پیش‌بینی بارش در آستانه‌های مختلف سنجه-های TS^4 و HR^5 محاسبه شده است.

۳- داده و منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه، داده‌های پیش‌بینی بارش تجمعی ۲۴ ساعته با استفاده از مدل WRF^6 بدست آمده است. زمان شروع اجرای مدل UTC ۱۲ در طول دوره از ۱ سپتامبر ۲۰۱۱ تا ۲۶ فوریه ۲۰۱۲ است. برای شرایط مرزی و اولیه مدل‌ها از داده‌های جهانی GFS^7 با تفکیک یک درجه استفاده شده است. مدل WRF با دو حوزه اجرا می‌شود. حوزه بزرگ دارای تفکیک افقی ۴۵ کیلومتر می‌باشد و محدوده $51-10$ درجه شمالی و $80-20$ درجه شرقی (منطقه خاورمیانه) را می‌پوشاند و حوزه کوچک دارای تفکیک افقی ۱۵ کیلومتر می‌باشد و محدوده $41-23$ درجه شمالی و $65-42$ درجه شرقی (کشور ایران) را می‌پوشاند. پیش‌بینی‌های مدل به یک شبکه منظم با تفکیک $0/1$ درجه درونیابی شده است.

داده‌های مشاهداتی که در این تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل داده‌های مشاهداتی بارش تجمعی است که در ساعت UTC ۰۶ اندازه‌گیری شده‌اند. به منظور مقایسه پیش‌بینی بارش با داده‌های دیدبانی مربوطه، بارش تجمعی ۲۴ ساعته بر روی یک شبکه منظم به روش $GIDS$ درونیابی شده است.

برای ارزیابی عملکرد ENSWM، داده‌ها به دو دوره آموزش و آزمون تقسیم می‌شوند. دوره آموزش از اول سپتامبر تا ۳۰ نوامبر ۲۰۱۱ در نظر گرفته شده است و دوره آزمون شامل روزهای بین ۱ دسامبر ۲۰۱۱ و ۲۶ فوریه ۲۰۱۲ است. سامانه همادی مورد استفاده در شامل ۹ عضو است که از طرحواره‌های فیزیکی مختلف مدل WRF بدست آمده است.

⁵ Hit Rate

⁶ Weather Research and Forecasting

⁷ Global Forecast System

¹ Gradient plus Inverse-Distance-Squared

² Root-Mean-Square Error

³ Anomaly Correlation Coefficient

⁴ Threat Score

۴- نتایج

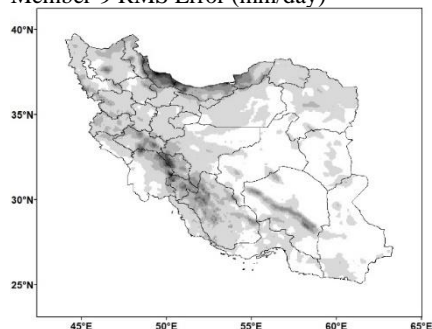
برای ارزیابی پیش‌بینی از روش‌های راستی آزمایی نظیر TS و PC و همچنین RMSE، MAE و ACC استفاده شده است. الگوی فضایی RMSE پیش‌بینی بارش ۲۴ ساعته در دوره مورد نظر (۱ دسامبر ۲۰۱۱ تا ۲۶ فوریه ۲۰۱۲) بدست آمده است.

۴-۱- میانگین مجذور مربعات خطا

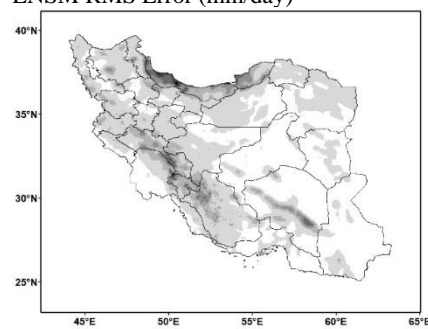
الگوی فضایی RMSE برای یک عضو سامانه همادی، ENSM و ENSWM در دوره مورد نظر (۱ دسامبر ۲۰۱۱ تا ۲۶ فوریه ۲۰۱۲) در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که RMSE الگویی مشابه با الگوی بارش در ایران دارد. در مناطقی که بیشترین مقدار باران داریم، بیشترین خطا را نیز شامل شده است. در همه اعضای سامانه همادی بیشترین

خطا در ناحیه زاگرس با مقداری در بازه ۸ تا ۱۸ است، اما پس از انجام پس پردازش این خطا به ۴ تا ۱۰ در روش ENSWM کاهش یافته است. در ناحیه مرکزی در استان کرمان مقدار خطا بین ۴ تا ۸ است که این مقدار خطا به علت وجود رشته کوه هراز در آن منطقه است. همچنین خطای قابل توجهی در نزدیکی دریاچه ارومیه با مقدار ۲ تا ۶ وجود دارد که این خطا وابسته به رشته کوه سهند می‌باشد. در ناحیه شمالی کشور نیز مقدار خطا زیاد می‌باشد که در روش ENSWM مقدار خطا ۸ تا ۱۲ میلی‌متر کاهش یافته است. همانگونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، مقدار خطا در روش ENSWM در مقایسه با اعضای سامانه همادی و همچنین ENSM کمتر است و این نشان دهنده بهبود پیش‌بینی پس از پس پردازش می‌باشد.

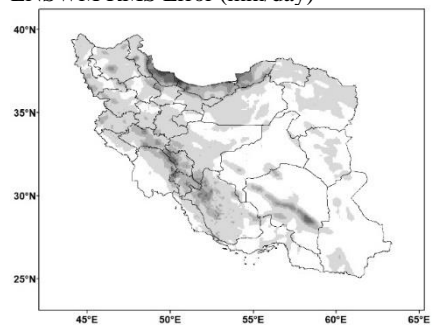
Member-9 RMS Error (mm/day)



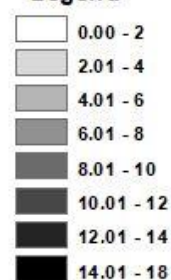
ENSM RMS Error (mm/day)



ENSWM RMS Error (mm/day)

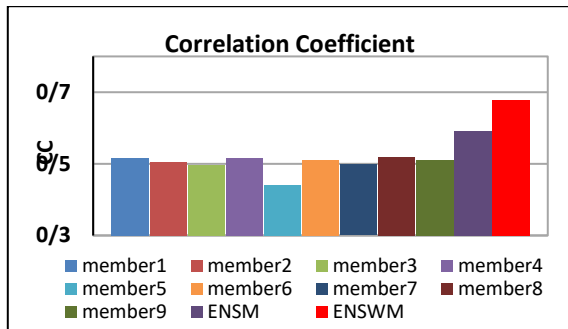


Legend



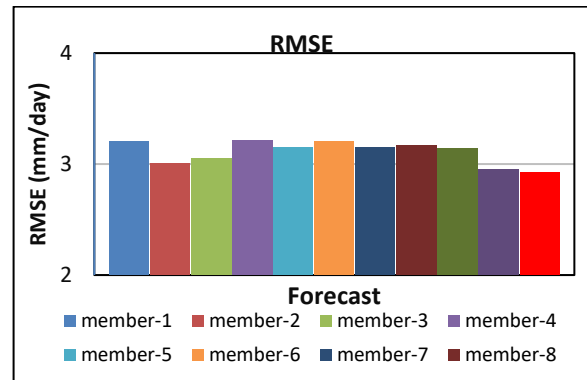
شکل ۱: توزیع RMSE (میلی‌تر/روز) در یک عضو سامانه همادی، ENSM و ENSWM

نشان می‌دهد که مقدار ACC پس از انجام عملیات آماری افزایش یافته است. در روش ENSWM در مرکز کشور، جنوب شرق و شمال غرب مقدار ACC بین ۰/۳ تا ۰/۵ و در دیگر مناطق کشور ۰/۷ تا ۱ می‌باشد.



شکل ۳: ضریب همبستگی برای اعضای سامانه همادی، ENSM و ENSWM

۴-۳- TS و POD در پیش‌بینی بارش در آستانه‌های مختلف برای درستی سنجی پیش‌بینی بارش در آستانه‌های مختلف از دو روش HR و TS استفاده شده است. برای ارزیابی عملکرد مدل در چهار آستانه مختلف ۰/۱، ۵، ۱۵ و ۲۵ این کمیت‌ها اندازه‌گیری شده است. نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است. هرچه مقدار TS بیشتر باشد، پیش‌بینی کاملتر است، به طوری که اگر TS برابر یک باشد، به این معنی است که پیش‌بینی کامل است. شکل ۴ (الف) نشان می‌دهد که با افزایش مقدار آستانه‌ها، TS کاهش یافته است. علاوه بر این، مقدار TS در روش ENSM و ENSWM در همه آستانه‌ها در مقایسه با اعضای سامانه همادی مقدار بیشتری دارد. سنجی دیگر درستی سنجی HR است که نسبت پیش‌بینی‌های صحیح به کل دیدبانی‌ها را نشان می‌دهد. HR برای آستانه‌های بارش ۰/۱، ۵، ۱۵ و ۲۵ پیش‌بینی ۲۴ ساعته در شکل ۴ (ب) نشان داده شده است. مقدار HR در ENSWM و ENSM در مقایسه با اعضای سامانه همادی در همه آستانه‌ها بیشتر است.

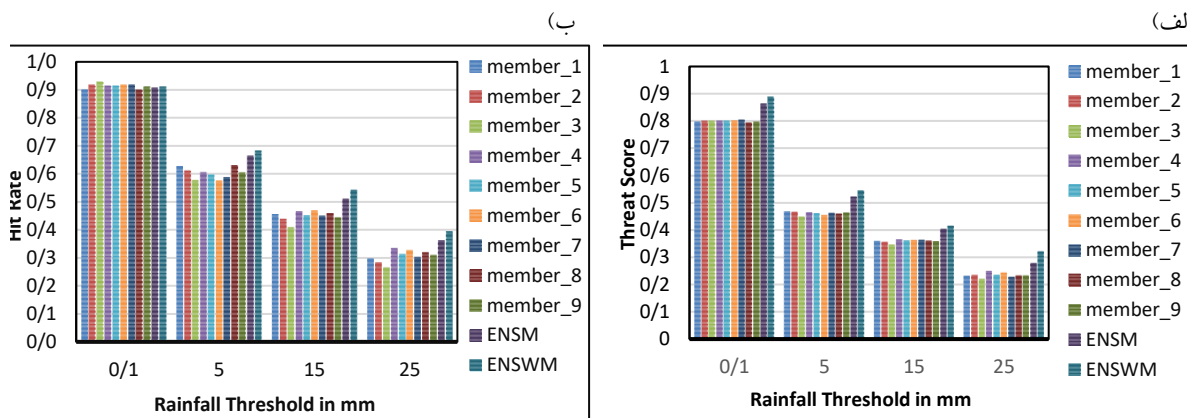


شکل ۲: مقدار RMSE برای اعضای سامانه همادی، ENSM و ENSWM

۴-۲- ضریب همبستگی

ضریب همبستگی بین پیش‌بینی بارش ۲۴ ساعته و داده‌های دیدبانی در زمستان ۲۰۱۱-۲۰۱۲ محاسبه شده و در شکل ۳ نشان داده شده است. مقدار ضریب همبستگی در روش ENSM و ENSWM نسبت به اعضای سامانه همادی بیشتر بوده و مقدار ضریب همبستگی در روش ENSWM نسبت به روش ENSM ۱۵ درصد افزایش یافته است.

بی‌هنجاری ضریب همبستگی که همبستگی بین دیدبانی و پیش‌بینی را نشان می‌دهد، یک روش موثر برای درستی-سنجی پیش‌بینی می‌باشد. اگر الگوی بارش مشاهداتی و پیش‌بینی کاملاً یکسان باشد که بهترین حالت را دارد، مقدار ACC برابر یک است. برای محاسبه بی‌هنجاری همبستگی از داده‌های مشاهداتی اقلیمی ۱۵ ساله بازتحلیل ERA-Interim استفاده شده است. بی‌هنجاری بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی ۲۴ ساعته بارش محاسبه شده است. مقدار ACC پس از انجام پس پردازش در روش ENSM و ENSWM افزایش یافته است. در اکثر مناطق کشور مقدار ACC اعضای سامانه همادی بین ۰/۴ و ۰/۸ است، بجز مناطقی در مرکز، جنوب شرق و منطقه کوچکی در شمال غرب کشور که مقدار ACC بین ۰/۱ تا ۰/۳ است. مقایسه بین روش ENSM با سایر اعضای سامانه همادی و روش ENSM



شکل ۴: الف) TS (ب) HR برای پیش‌بینی بارش ۲۴ ساعته اعضای سامانه همادی، ENSM و ENSWM در زمستان ۲۰۱۱-۲۰۱۲ در کشور

6- Mitra, AK., Iyengar, GR., Durai, VR., Sanjay, J., Krishnamurti, TN., Mishra, A., Sikka DR., 2011: Experimental Real-Time Multi-Model Ensemble (MME) prediction of rainfall during monsoon 2008: large-scale medium-range aspects. *Journal of Earth System Science* 120(1): 1–22.

7- Richardson, DS., 2001: Ensembles using multiple models and analyses. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 127: 1847–1864.

8- Nalder, I.A., and R.W. Wein, 1998: Spatial interpolation of climatic Normals: test of a new method in the Canadian boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 92: 211-225.

9- Durai, V. R. and Bhardwaj, R., 2013: Improving precipitation forecasts skill over India using a multi-model ensemble technique, *Geofizika*. 30: 2, 119-141.

مراجع

1- Epstein, E. S., 1969: Stochastic dynamic prediction. *Tellus*, 6: 739–759.

2- Leith, C. E., 1974: Theoretical skill of Monte Carlo forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, 102: 409–418.

3- Krishnamurti, T. N., C. M. Kishtawal, Z. Zhang et al., 2000: Multi-model Ensemble forecasts for weather and seasonal climate, *Journal of Climate*, 13 (23): 4196–4216.

4- Roy Bhowmik, SK., Durai, VR., 2010: Application of multi-model ensemble techniques for real time district level rainfall forecasts in short range time scale over Indian region. *Meteorology and Atmospheric Physics* 106(1–2): 19–35.

5- Kumar, A., Mitra, A. K., Bohra, A. K., Iyengar, G. R. and Durai, V. R. (2012): Multi-model ensemble (MME) prediction of rainfall using neural networks during monsoon season in India. *Meteorol. Appl.*, 19: 161–169.

Improving precipitation forecasts over Iran using a weighted average ensemble technique

Maede Fathi^{*1}, Majid Azadi², Gholamali Kamali³, Amir Hussain Meshkatee⁴

1- weather forecaster, Forecasting Center, I.R. of Iran Meteorological Organization, Tehran, Iran.

2- Associate Professor, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran.

3- Faculty member, Islamic Azad University, Science and Research Unit, Tehran, Iran.

4- Associate Professor, Islamic Azad University Science and Research Unit, Tehran, Iran.

(Received: 07 Aug 2018, Revised: 28 Aug 2018, Accepted: 17 Nov 2018, Published online: 23 Sep 2019)

Abstract

In this study, the forecast data are the accumulated 24 hours precipitation forecasts generated by the WRF model. Initialization time is 12 UTC during the period from 1st September of 2011 through 26th February of 2012. The initial conditions for forecasts are provided by the Global Forecast System (GFS) forecasts with 1- degree horizontal resolution.

WRF is run with two nested domains. The large domain has a 45 km and the small domain has a 15 km. The small domain has a horizontal resolution of 15 km horizontal resolution.

Observational data used in this study consist of the cumulative precipitation observations measured at 0600 UTC in 306 irregularly spaced synoptic meteorological stations spread across Iran.

To assess the performance of the ENSWM method, the data are divided into two sets of training and test period. The training period starts from September 1st through November 30th of 2011, and the test period include all the days between December 1st of 2011 and February 26th of 2012. The ensemble forecasts are generated using different configurations of the WRF model. Nine different configurations for the WRF model are used to build members of the system of consciousness.

Keywords: Numerical Weather Forecast, Hamad System, Average Hamad System, Weight Average of Hamad System, WRF Model.

* Corresponding author:

Email Address: maede.fathi@yahoo.com