نیوار، دوره ۴۳، شماره ۱۰۷-۱۰۶، پاییز و زمستان ۱۳۹۸ (دو فصلنامه) DOI: 10.30467/nivar.2019.95833

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

مائده فتحی[۱]، مجید آزادی[۲*]، غلامعلی کمالی[۳]، امیرحسین مشکوتی[۴]

۱-دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۲- پژوهشکده هواشناسی ، تهران، ایران،
۳-دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۴-دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۱۶، تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۸/۲۶)

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 می گیرد، از اجرای مدل WRF با نه پیکره بندی فیزیکی متفاوت تشکیل شده است. در این مقاله، روش میانگین وزنی (ENSWM) برای بهبود پیش بینی 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 می شود. به غیر از روش (ENSWM) ، پیش بینی 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 هریک 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

مقدمه

پیش‌بینی وضع هوا از دیرباز اهمیت فوق‌العاده‌ای داشته است. مسائل مربوط به خشکسالی، آب شناسی، 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 جو، معادلات حاکم بر آن بسیار پیچیده است و حل دقیق آن میسر نیست. از طرفی در مدل‌ها، توپوگرافی پیچیده سطح زمین ساده‌سازی می‌شود و بعضی از خطاها از این عامل موثر ناشی می‌شوند. در نتیجه برونداد مدل‌های عددی همواره با خطای 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 پیش بینی قطعی داشته باشیم از مجموعه ای از پیش بینی ها استفاده شود که در واقع این روش پیش بینی، پیش بینی همادی نام دارد[۲،۱]. روش‌های متعددی برای ساختن اعضای یک سامانه همادی وجود دارد از جمله ایجاد

* نگارنده رابط: maede.fathi@yahoo.com

پریشیدگی در شرایط آغازین، ایجاد پریشیدگی در پیکربندی و ایجاد پریشیدگی در شرایط مرزی مدل عددی. 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 متوسط‌گیری بدون وزن می‌باشد، در این روش مولفه‌های غیر قطعی پیش‌بینی‌های منفرد با متوسط‌گیری از آن‌ها خارج می‌شود (کریشنا مورتی[۱] و همکاران،۲۰۰۰) [۳]. اشکال اصلی روش میانگین‌گیری 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 (۱۹۹۹و۲۰۰۰) 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 مختف 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 پیش-بینی‌های 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 پیش بینی بارش به روش MME در منطقه هند از روش میانگین‌گیری وزنی با استفاده از ضریب همبستگی استفاده کردند، که در 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 سیاره‌ای ، 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 ایستگاه-های هواشناسی داریم و برای درستی‌سنجی نتایج به داده دیدبانی در همان نقاط شبکه نیاز داریم در نتیجه داده‌های ایستگاه دیدبانی را با روش درونیابی GIDS به داده‌های شبکه ای 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 میانگین‌گیری بدون وزن (ENSM[۸]) مقایسه شده است، که بهبود قابل توجهی داشته‌ایم. 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 میانگین‌گیری بدون وزن شد.

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

[۱] Krishnamurti
[۲] Multimodel ensemble
[3] Roy Bhowmik
[4] Durai
[5] Correlation Coefficient
[6] Mitra
[7] Richardson
[۸] Ensemble Mean
[۹] Ensemble weighted Mean

متناظرشان در دوره آموزش بدست می‌آید [۹]. پیش‌بینی به روش ENSM از رابطه (۱) بدست می‌آید.

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

که F_k عضو Kام سامانه همادی و N تعداد کل اعضای سامانه می-باشد.

تعداد نقاط در شبکه منظم ذکر شده ۲۳۰×۱۸۰ است. از اینرو پیش-بینی ENSWM تولید شده برای هر عضو K سامانه بر روی همه نقاط شبکه (i, j) با استفاده از رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$\mathrm{ENSWM}=\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{k=N} W_{ij,k}F_{i,j,k} \quad i= 1, 2, \ldots, 230; \quad j= 1, 2,..., 180 \qquad (2)$$

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

$$W_{i,j,k}=\frac{C_{i,j,k}}{\sum_{k=1}^{N} C_{i,j,k}} \qquad (3)$$

که $C_{i,j,k}$ ضریب همبستگی بین دیدبانی و پیش‌بینی بارش برای نقطه شبکه (i, j) عضو kام سامانه همادی است. برای هر عضو سامانه همادی، پیش‌بینی ۲۴ ساعته بارش تجمعی برای نقاط شبکه‌ای منظم ۰/۱ درجه برروی ایران بدست آمده است. علاوه بر این داده‌های دیدبانی ایستگاه‌های سینوپتیکی بر روی نقاط شبکه ذکر شده به روش GIDS[۱] درونیابی شده است.

برای مقایسه داده‌های بارش روزانه تحلیل بر روی شبکه منظم با روش ENSWM، ENSM و اعضای سامانه همادی میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE[۲]) و بی‌هنجاری ضریب همبستگی (ACC[۳]) محاسبه شده است. همچنین برای درستی‌سنجی پیش‌بینی بارش در آستانه‌های مختلف سنجه‌های TS[۴] و HR[۵] محاسبه شده است.

۳-داده و منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه، داده های پیش بینی بارش تجمعی ۲۴ ساعته با استفاده از مدل WRF[۶] بدست آمده است. زمان شروع اجرای مدل ۱۲ UTC در طول دوره از ۱ سپتامبر ۲۰۱۱ تا ۲۶ فوریه ۲۰۱۲ است. برای شرایط مرزی و اولیه مدل‌ها از داده‌های جهانی GFS[۷] با تفکیک یک درجه استفاده شده است. مدل WRF با دو حوزه اجرا می شود. حوزه بزرگ دارای تفکیک افقی ۴۵ کیلومتر می-باشد و محدوده ۵۱-۱۰ درجه شمالی و۸۰-۲۰ درجه شرقی (منطقه خاورمیانه) را می‌پوشاند و حوزه کوچک دارای تفکیک افقی ۱۵ کیلومتر می باشد و محدوده ۴۱-۲۳ درجه شمالی و ۶۵-۴۲ درجه شرقی (کشور ایران) را می‌پوشاند. پیش‌بینی‌های مدل به یک شبکه منظم با تفکیک ۰/۱ درجه درونیابی شده است.

داده های مشاهداتی که در این تحقیق مورد استفاده قرار می گیرند، شامل داده‌های مشاهداتی بارش تجمعی است که در ساعت ۰۶ UTC اندازه‌گیری شده اند. به منظور مقایسه پیش بینی بارش با داده‌های دیدبانی مربوطه، بارش تجمعی ۲۴ ساعته بر روی یک شبکه منظم به روش GIDS درونیابی شده است.

برای ارزیابی عملکرد ENSWM، داده ها به دو دوره آموزش و آزمون تقسیم می شوند. 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.

٤-نتایج

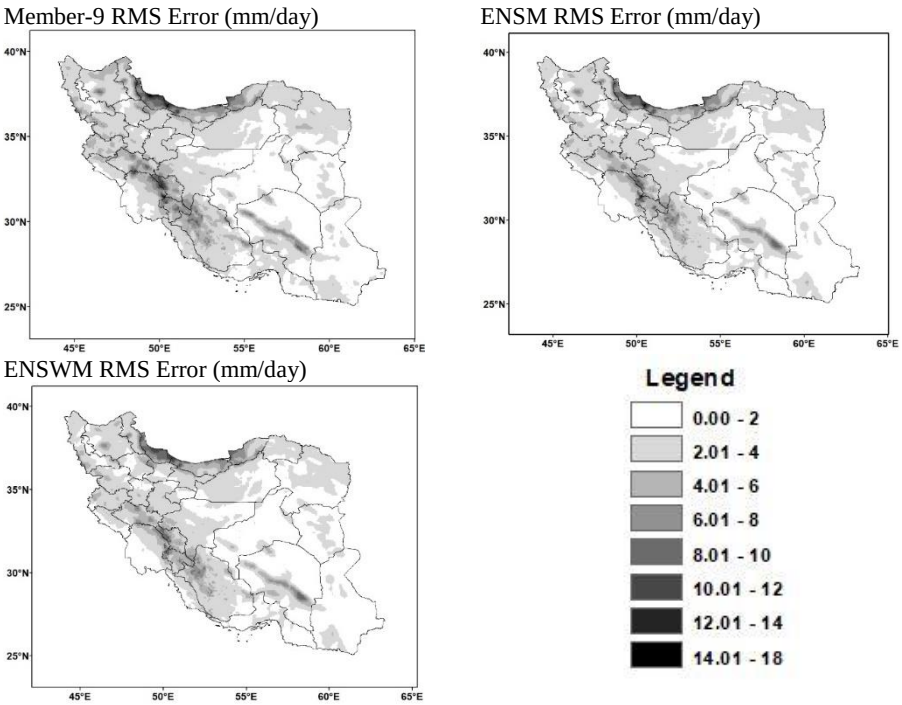
برای ارزیابی پیش‌بینی از روش‌های راستی آزمایی نظیر TS و PC و همچنین RMSE، MAE و ACC استفاده شده است. الگوی

[۱] Gradient plus Inverse-Distance-Squared
[۲] Root-Mean-Square Error
[۳] Anomaly Correlation Coefficient
[۴] Threat Score
[۵] Hit Rate
[۶] Weather Research and Forecasting
[۷] Global Forecast System

فضایی RMSE پیش‌بینی بارش ۲۴ ساعته در دوره مورد نظر (۱ دسامبر ۲۰۱۱ تا ۲۶ فوریه ۲۰۱۲) بدست آمده است.

٤-١- میانگین مجذور مربعات خطا

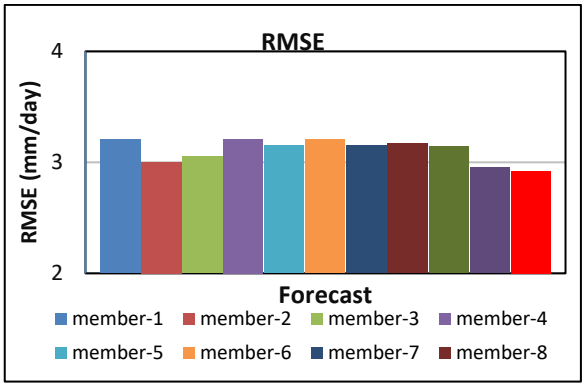
الگوی فضایی RMSE برای یک عضو سامانه همادی، ENSM و ENSWM در دوره مورد نظر (۱ دسامبر ۲۰۱۱ تا ۲۶ فوریه ۲۰۱۲) درشکل 1نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که RMSE الگویی مشابه با الگوی بارش در ایران دارد. در مناطقی که بیشترین مقدار باران داریم، بیشترین خطا را نیز شامل شده است. در همه اعضای سامانه همادی بیشترین 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 پس‌پردازش می‌باشد.



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

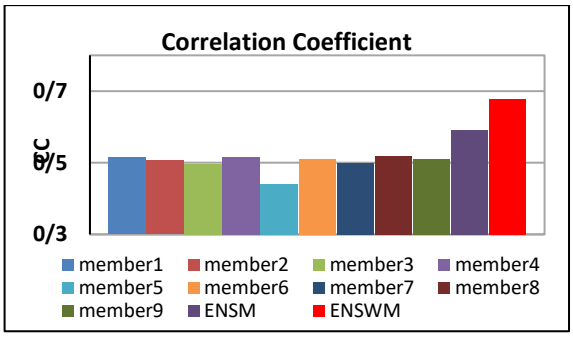
٤-٢- ضریب همبستگی

ضریب همبستگی بین پیش‌بینی بارش ۲۴ ساعته و داده‌های دیدبانی در زمستان ۲۰۱۱-۲۰۱۲ محاسبه شده و در شکل 3 نشان داده شده است. مقدار ضریب همبستگی در روش ENSWM و ENSM نسبت به اعضای سامانه همادی بیشتر بوده و مقدار ضریب همبستگی در روش ENSWM نسبت به روش ENSM ۱۵ درصد افزایش یافته است.



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

بی‌هنجاری ضریب همبستگی که همبستگی بین دیدبانی و پیش بینی را نشان می‌دهد، یک روش موثر برای درستی‌سنجی پیش-بینی می‌باشد. اگر الگوی بارش مشاهداتی و پیش‌بینی کاملا 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 پیش بینی 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 ENSWM با سایر اعضای سامانه همادی و روش ENSM 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.

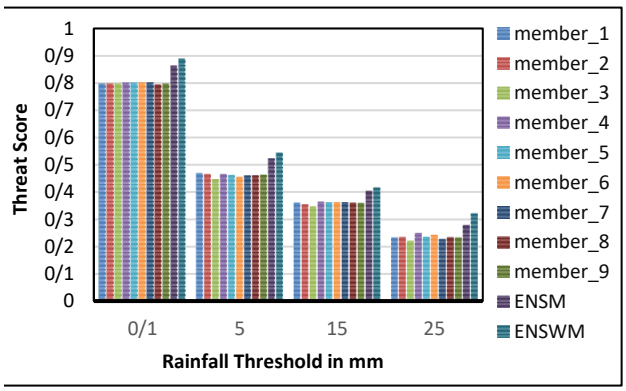


شکل ۳: ضریب همبستگی برای اعضای سامانه همادی، ENSM و ENSWM

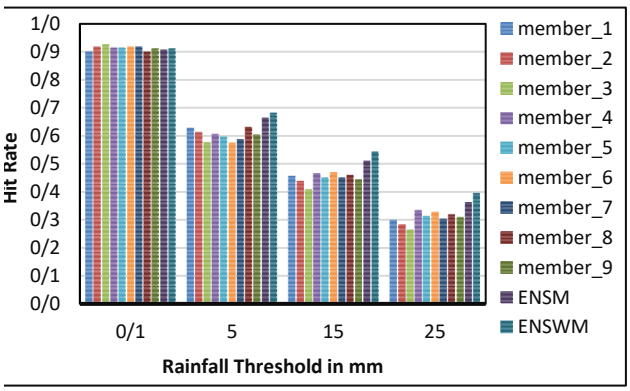
۴-۳-TS و POD در پیش‌بینی بارش در آستانه‌های مختلف

برای درستی‌سنجی 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 اندازه گیری 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 TSدر روش ENSWM و ENSM در همه آستانه‌ها در مقایسه با اعضای سامانه همادی مقدار بیشتری دارد.سنجه 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.

الف)



ب)



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

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 (MM E) prediction of rainfall using neural networks during monsoon season in India. Meteorol. Appl., 19: 161−169.

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.