مجله علمی و فنی نیوار، شماره 78، 79- پاییز و زمستان 1391 (دو فصلنامه)

بررسی کارایی برونداد مدل WRF برای تعیین مناسب‌ترین زمان سم‌پاشی درخت سیب و گندم

محدثه امیرطاهری‌افشار[1]، مجید آزادی[2]، غلامعلی کمالی[3]، مائده فتحی[4]

1- کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران

2- استادیار، هیات علمی پژوهشکده هواشناسی

3- دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران

4- کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

چکیده

پیش‌بینی زمان مناسب سم‌پاشی یکی از مهم ترین عملیات زراعی است که منجر به کاهش تعداد دفعات سم پاشی، مقدار سم مصرفی، آلودگی زیست محیطی و افزایش اقتصاد کشاورزی می‌شود. از مهمترین عوامل جوی موثر در تعیین این زمان، مقدار پارامترهای دما، باد و بارش می‌باشند. در این مقاله برای پیش‌بینی مقدار این پارامترها از مدلWRF در یک دوره شش ماهه استفاده و زمان مناسب سم‌پاشی پیش‌بینی و نتایج راستی‌آزمایی شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقدارکمیت‌های نسبت صحیح، امتیاز مهارتی، اریبی و آهنگ هشدارهای نادرست برای محصول سیب به ترتیب 41/73،0/0، 54 /0، 0/16 و برای محصول گندم به ترتیب 0/66، 0/49، 0/66، 0/16 می‌باشند. برای تعیین اهمیت هر کدام از پارامترهای پیش‌بینی شده در نتیجه نهایی در سه آزمایش جداگانه، مقادیر دیدبانی متناظر جایگزین برونداد مدل شد. نتایج نشان می‌دهد که اگر مقادیر دیدبانی بارش جانشین مقادیر پیش‌بینی مدل شود، در این صورت مقادیر کمیت‌های یاد شده برای دو محصول سیب و گندم به ترتیب 0/87، 0/73، 91 /0، 0/11 و 0/86، 0/77، 78 /0، 0/005 بهبود می‌یابند. به بیان دیگر بارش و دقت پیش‌بینی‌های بارش بیشترین نقش را در تعیین دقت پیش‌بینی زمان مناسب عملیات سم‌پاشی دارد. پس از اعمال پس پردازش برروی برونداد خام مدل برای کمیت بارش راستی آزمایی و بهبود نتایج ارائه شده است.

کلمات کلیدی: راستی‌آزمایی، سم‌پاشی، نسبت صحیح، امتیاز مهارتی، اریبی، آهنگ هشدارهای نادرست.

مقدمه

برونداد‌های مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا در بسیاری زمینه‌ها نظیر مدیریت منابع آب، کشاورزی و مانند آن کاربرد دارند. امروزه با پیشرفت فناوری‌های مدل‌سازی عددی و در دسترس قرار گرفتن برونداد این مدل‌ها استفاده کاربردی از آن‌ها بیش از پیش ممکن شده است. از آن جمله می‌توان به کارهای چانگنون[1] که بررسی‌هایی در مورد استفاده از پیش‌بینی‌های جوی در مشاغل مرتبط با کشاورزی ایالات متحده آمریکا انجام داد و سلیمان[2] و کراگو[3] که یک روش برازش خطی برای تبخیر و تعرق از علف‌زارها را مطرح نمودند، اشاره نمود. همچنین دیتلفسن[4] با استفاده از برونداد مدل‌های پیش بینی عددی وضع هوا زمان مناسب انجام عملیاتی از قبیل سم‌پاشی محصولات که به پارامترهای هواشناسی نیازمند است را به صورت احتمالی پیش‌بینی کرد. در برخی کاربردها نظیر کاربرد مورد نظر در این پژوهش، یعنی پیش‌بینی زمان مناسب سم‌پاشی، ترکیبی از چند کمیت حاصل از برونداد مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مناسب بودن زمان سم‌پاشی محصولات باغی یا زراعی بایستی مقادیر کمیت های بارش، دما و باد در محدوده معینی قرار گیرند. این محدوده‌ها ممکن است برای محصولات مختلف متفاوت باشند. در این پژوهش محصول مورد نظر سیب وگندم می‌باشد که محدوده آستانه‌ها برای پارامتر بارش، دما و باد برای محصول سیب به ترتیب کمتر یا مساوی 2 میلی‌متر، بزرگتر یا مساوی 10 درجه سلسیوس و کمتر یا مساوی 2 متر بر ثانیه و برای محصول گندم به ترتیب کمتر یا مساوی 2 میلی‌متر، بزرگتر

1. Changnon
2. Suleiman
3. Crago
4. Detlefsen

یا مساوی 7 درجه سلسیوس و کمتر یا مساوی3 متر بر ثانیه در نظرگرفته شده است. شایان گفتن است که بدلیل نزدیکی نسبی آستانه‌ها برای محصولات مختلف، نتایج این پژوهش برای بسیاری محصولات باغی و زراعی دیگر نیز تفاوت چندانی نخواهد داشت و می‌توان از آن‌ها استفاده نمود. همچنین از دیگر کمیت‌های مهم ترکیبی می‌توان به شاخص گرمایی (Heat index) و سوز باد (chill Wind) اشاره کرد. در این پژوهش نتایج پیش‌بینی و راست‌آزمایی زمان مناسب سم‌پاشی با در نظر گرفتن آستانه‌های یاد شده برای کمیت‌های بارش، دما و باد ارائه می‌شود، هر چند راست آزمایی برونداد مدل WRF[1] برای پارامترهای بارش، دما و باد به صورت جداگانه توسط دیگران (برای مثال شیرغلامی، 1388 و راستگو، 1389) روی کشور ایران انجام شده است ولی راستی‌آزمایی صورت گرفته در این پژوهش برونداد ترکیبی یا همزمان سه پارامتر باد، بارش و دما حاصل ازمدل WRF را ارزیابی می‌کند و از قبل مشخص نیست که آیا نتایج راست آزمایی سه کمیت با نتایج راست‌آزمایی هر کدام از پارامترها بصورت جداگانه مشابه می‌باشد یا خیر و نیز اهمیت و سهم هر کدام از سه کمیت دما، بارش و باد در دقت نهایی پیش‌بینی زمان مناسب عملیات سم‌پاشی بیان می‌شود. برای آگاهی از جزئیات بیشتر در مورد پیکربندی مدل WRF مورد استفاده در این پژوهش به تقی زاده (1389) مراجعه شود.

روش بررسی

مدل WRF برای بدست آوردن پیش بینی 24 ساعته پارامترهای بارش، باد و دما در یک دوره شش ماهه (1 ژانویه تا30 ژوئن 2011) اجرا شده است. داده‌های دیدبانی متناظر از داده‌های 11 ایستگاه هواشناسی همدیدی 7 ایستگاه کرج، رباط کریم (فرودگاه امام)، پیام کرج، چیتگر، شهریار، هشتگرد و تهران (مهرآباد) برای محصول گندم و 4 ایستگاه تجریش، آبعلی، فیروزکوه و آلودگی برای درخت سیب استخراج شده است. مشخصات ایستگاه‌ها در جدول (1) آورده شده است.

جدول شماره 1- مختصات طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های همدیدی مورد استفاده

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
تجریش	°۵۱ 62′	°۳۵ 78′
آبعلی	°۵۱ 88′	°۳۵ 75′
فیروزکوه	°۵۲ 83′	°۳۵ 92′
آلودگی	°۵۲ 4′	°۳۵ 72′
کرج	°۵۲ 83′	°۳۵ 92′
رباط کریم	°۵۱ 17′	°۳۵ 42′
پیام کرج	°۵۰ 83′	°۳۵ 78′
چیتگر	°۵۱ 13′	°۳۵ 70′
شهریار	°۵۱ 05′	°۳۵ 67′
هشتگرد	°۵۰ 75′	°۳۶ 00′
تهران- مهرآباد	°۵۱ 32′	°۳۵ 68′

در این پژوهش از آستانه‌های کمتر یا مساوی 0/2 میلی‌متر، بزرگتر یا مساوی 10 سلسیوس و کمتر یا مساوی 2 متر بر ثانیه به ترتیب برای پارامترهای بارش، دما و باد برای محصول سیب استفاده شده است. به گونه‌ای که اگر مقادیر پارامترهای بارش، دما و باد در این آستانه ها قرار گیرند شرایط جوی برای سم‌پاشی محصول سیب مناسب در نظر گرفته می‌شود. شایان گفتن است که برای مثال اگر کمیت دما بیشتر از 10 سلسیوس باشد زمان برای انجام عملیات سم‌پاشی (از نظر دمایی) مناسب است و این که کمیت دما چه مقدار از 10 سلسیوس بیشتر است مهم نیست. و آستانه-های بارش، دما و باد برای محصول گندم به ترتیب کمتریا مساوی 0/2 میلی‌متر، بزرگتر یا مساوی7 سلسیوس و کمتر مساوی3 متر بر ثانیه در نظرگرفته شده است. با توجه به آستانه‌های یاد شده مقادیر پیش‌بینی شده و دیدبانی این پارامترها به کمیت‌های دودویی (صفر و یک) تبدیل شده

1. Weather Research and Forecasting Model

است. بدیهی است که زمان مناسب برای انجام عملیات سم‌پاشی فقط دارای دو حالت یعنی مناسب (یک) یا نامناسب (صفر) است. روش متداول برای راست‌آزمایی پیش‌بینی‌های دوحالتی استفاده از جدول توافقی (2×2) و محاسبه کمیت های عددی متناظر با آن است. در این پژوهش از کمیت‌های متداول آماری شامل نسبت‌صحیح (PC)، امتیاز تهدید (TS)، اریبی یا گرایست (B)، نسبت هشدارهای نادرست (FAR) برای راست‌آزمایی نتایج استفاده شده است. جزئیات بیشتر در مورد معانی و موارد کاربرد این کمیت‌ها در مراجع متداول نظیر ویلکس (2006) ارائه شده است.

شایان گفتن است که پارامتر باد پیش‌بینی شده در مدل و نیز دیدبانی شده در ارتفاع ده متری می‌باشد. از آنجا که باد در ارتفاع دو و یک متری به ترتیب برای سیب و گندم کمیت بهتر و مناسب‌تری برای پیش‌بینی زمان مناسب سم‌پاشی می‌باشد، مقادیر پیش‌بینی‌ها و دیدبانی‌های باد ده متری با استفاده از رابطه زیر (علیزاده، 1383) به باد دو و یک متری تبدیل شده است.

$$u = u_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^{1.15} \qquad (1)$$

در این رابطه u باد در ارتفاع خواسته شده، u_0 باد در ارتفاع اولیه، h ارتفاع خواسته شده و h_0 ارتفاع اولیه می‌باشد. برای محاسبه سرعت باد از رابطه $V = \left(u^2 + v^2\right)^{\frac{1}{2}}$ استفاده شده است.

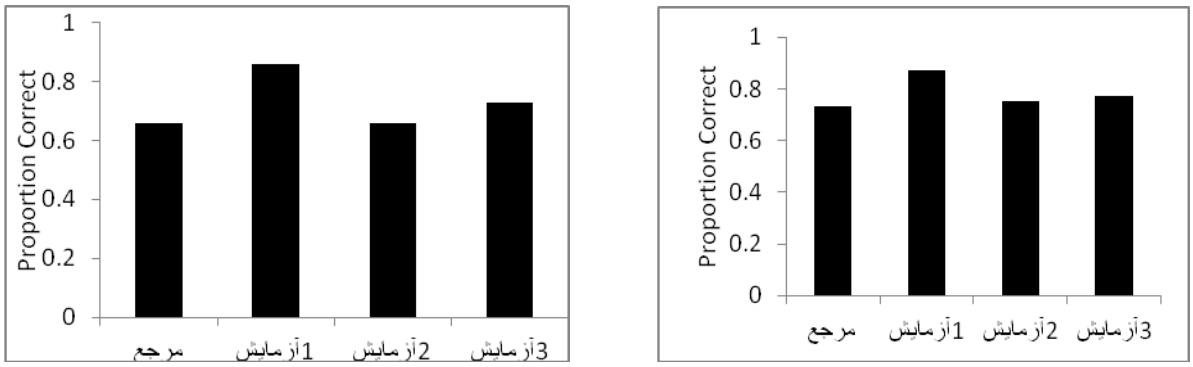
پس از محاسبه این کمیت‌ها چهار آزمایش انجام شده در ادامه شرح داده می‌شود. در آزمایش مرجع با استفاده از داده‌های دیدبانی و پیش‌بینی‌های خام مدل در آستانه‌های یاد شده یک جدول توافقی برای راست‌آزمایی پیش‌بینی زمان مساعد برای سم‌پاشی تشکیل شده است. درآزمایش‌های یک و دو و سه به ترتیب به جای بارش، باد و دمای پیش بینی شده توسط مدل از مقادیر دیدبانی استفاده ونتایج حاصل از آنها راست‌آزمایی شده است. با مقایسه نتایج بدست آمده از راست‌آزمایی در مراحل بالا تاثیرگذارترین پارامتر در دقت پیش‌بینی زمان مناسب انجام عملیات سم‌پاشی بدست می‌آید.

نتایج و بحث

در این بخش نتایج راستی‌آزمایی پیش‌بینی‌های زمان مناسب سم‌پاشی برای دو محصول سیب وگندم در چهار آزمایشی که در بخش روش بررسی توصیف شد برای دو منطقه (سیب و گندم) و با استفاده از جدول توافقی، مقایسه می‌شوند. در شکل‌های (1) تا (4) محور افقی نشان دهنده شماره آزمایش است و محور قائم نیز مقدار کمیت راست آزمایی مورد نظر را نشان می‌دهد. شکل‌های (الف) و (ب) به ترتیب برای محصول سیب و گندم می‌باشند.

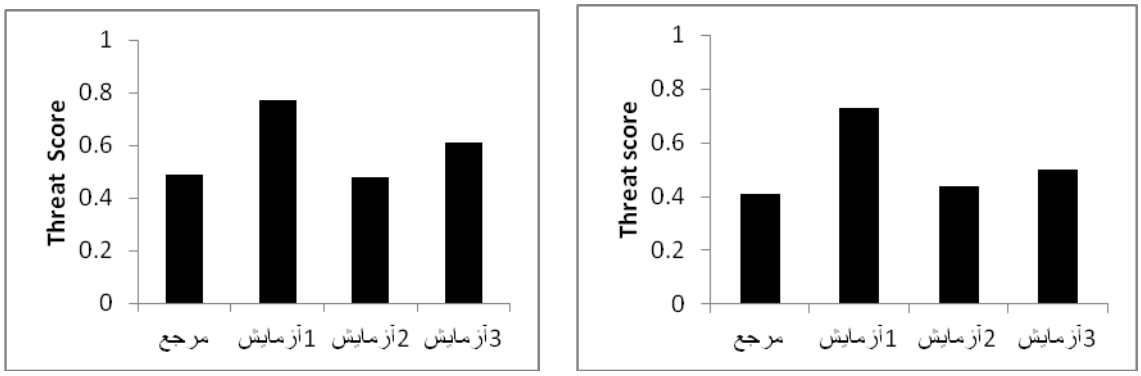
شکل (1) مقادیر کمیت نسبت صحیح یعنی نسبت پیش‌بینی‌های صحیح وقوع یا عدم وقوع پدیده به تعداد کل نمونه را برای حالت مرجع و سه آزمایش دیگر نشان می‌دهد. در این شکل‌ها محور قائم مقدار کمیت نسبت صحیح را نشان می‌دهد که برای محصول سیب وگندم به ترتیب زیر شکل‌های (الف) و (ب)، آورده شده است. مقادیر بالاتر این کمیت نشان دهنده دقت بیشتر در آزمایش است. این کمیت به پیش‌بینی‌ها و عدم پیش‌بینی‌های درست در پدیده‌هایی که وقوع آن‌ها نادر است وزن یکسانی می‌دهد. همان طور که در این شکل‌ها مشخص است در هر چهار آزمایش این کمیت با اختلاف اندکی برای آزمایش 1 بالاترین مقدار و برای حالت مرجع کمترین مقدار را دارد. در آزمایش مرجع مقدارکمیت نسبت صحیح برای محصول سیب وگندم به ترتیب 0/73 و 0/66 می‌باشد یعنی به ترتیب 73 و 66 درصد از موارد پیش‌بینی شده توسط مدل درست بوده است. همان‌گونه که از نمودارها دیده می‌شود هنگامی که مقادیر دیدبانی بارش جانشین مقادیر پیش‌بینی می‌شود (آزمایش یک)، کمیت نسبت صحیح برای محصول سیب و گندم به‌ترتیب از 0/73 و 0/66 به 0/87 و 0/86 نسبت به آزمایش مرجع بهبود می‌یابد. به بیان دیگر در آزمایش یک، درصد مواردی که

زمان انجام عملیات سم‌پاشی به درستی پیش‌بینی شده است به ترتیب برای سیب و گندم 14 و 20 درصد افزایش می‌یابد.



شکل 1- کمیت نسبت صحیح زمان مناسب سم‌پاشی برای سیب (الف) و گندم (ب)

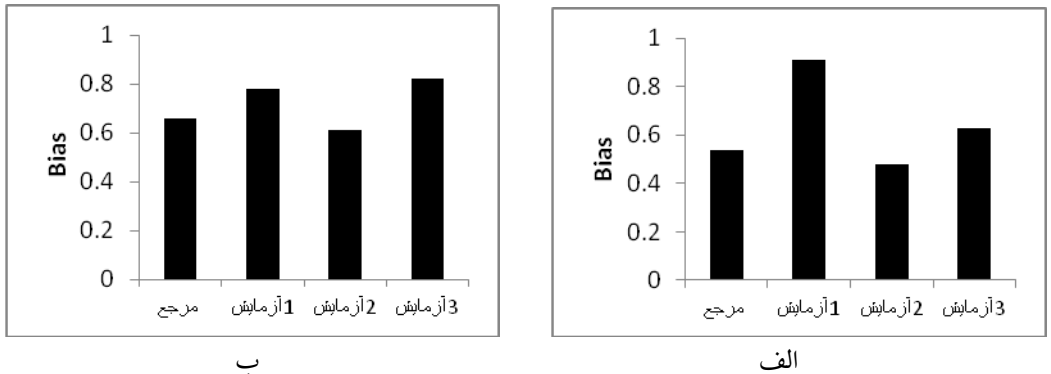
شکل(2) مقادیر کمیت امتیاز تهدید یعنی نسبت پیش‌بینی‌های صحیح وقوع پدیده به تعداد کل مواردی که در آنها پدیده پیش‌بینی و یا دیدبانی شده است را برای حالت مرجع و سه آزمایش دیگر نشان می‌دهد. در این شکل محور قائم مقدار این کمیت را نشان می‌دهد که برای محصول سیب وگندم به ترتیب زیر شکل‌های (الف) و (ب)، آورده شده است. مقادیر بالاتر این کمیت مهارت بیشتر در آزمایش را نشان می‌دهند. امتیاز تهدید برای محصول سیب وگندم به ترتیب برابر با 0/41 و 0/49یعنی 41 و 49 درصد از کل روزهایی که زمان سم‌پاشی توسط مدل مناسب پیش‌بینی شده (f=1) یا بر اساس دیدبانی مناسب بوده است (o=1) درست پیش‌بینی شده است. در محاسبه این کمیت مواردی که توسط مدل پیش‌بینی نشده است (f=0) یا براساس دیدبانی زمان سم‌پاشی مناسب نبوده است (o=0) در نظر گرفته نمی‌شود. شایان گفتن است که استفاده از این کمیت در مواردی که کمیت مورد نظر نادر باشد، بر خلاف کمیت نسبت صحیح، نتایج درستی را از دقت مدل بدست می‌دهد. زیرا اگر تعداد عدم رخدادهای کمیت مورد نظر در دیدبانی خیلی زیاد باشد در این صورت نسبت صحیح بصورت مصنوعی دقت بالایی را در نتایج مدل نشان می‌دهد. همان گونه که از نمودارها دیده می‌شود هنگامی که مقادیر دیدبانی بارش جانشین مقادیر پیش‌بینی شده این پارامتر توسط مدل می‌شود (آزمایش یک)، کمیت امتیاز تهدید برای محصول سیب وگندم به ترتیب از 0/41 و 0/49 به 0/73 و 0/77 نسبت به آزمایش مرجع بهبود می‌یابد. در این آزمایش امتیاز تهدید برای محصول سیب و گندم به ترتیب 32 و 28 درصد نسبت به آزمایش مرجع افزایش یافته است. هنگامی که مقادیر دیدبانی باد جانشین مقادیر پیش‌بینی شده این پارامتر توسط مدل می‌شود (آزمایش دو)، کمیت امتیاز مهارتی برای محصول سیب وگندم به ترتیب 0/03 افزایش و 0/01 نسبت به حالت مرجع کاهش یافته است. در آزمایش سه، مقادیر دیدبانی دما جانشین مقادیر پیش‌بینی شده این پارامتر توسط مدل می‌شود. در این آزمایش امتیاز تهدید برای محصول سیب وگندم به ترتیب 0/09 و 0/12 درصد نسبت به آزمایش مرجع افزایش یافته است.



الف ب

شکل شماره 2- کمیت امتیاز تهدید زمان مناسب سم‌پاشی

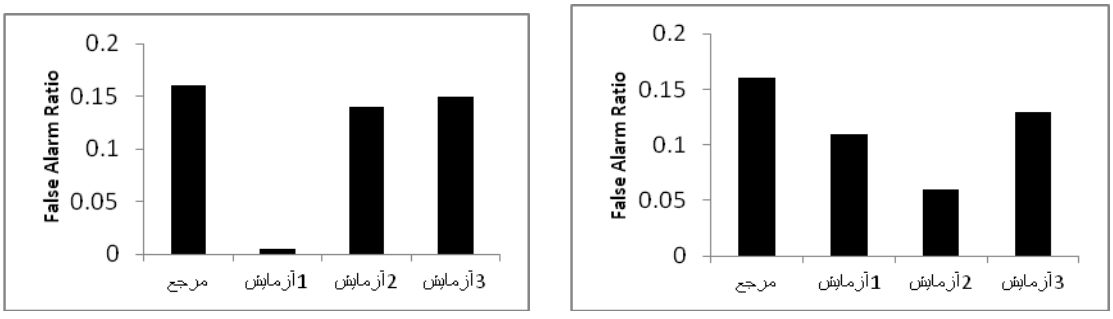
شکل (3) مقادیر کمیت اریبی یعنی تعداد پیش‌بینی پدیده به تعداد دیدبانی پدیده را برای چهار آزمایش نشان می‌دهد. در این شکل محور قائم مقدار این کمیت را نشان می‌دهد که برای محصول سیب و گندم به ترتیب زیر شکل‌های (الف) و (ب)، آورده شده است. مقادیر بیشتر (کمتر) از 1 برای این کمیت نشان دهنده فرا پیش‌بینی (فرو پیش‌بینی) آزمایش است. بنابراین چنان که از شکل (3) مشخص است هر چهار آزمایش با داشتن مقادیر اریبی کمتر از یک برای پیش‌بینی زمان سم‌پاشی فرو پیش‌بینی دارند. مقدار این کمیت در آزمایش مرجع برای محصول سیب و گندم به ترتیب برابر 0/54 و 0/66 می باشد. همان‌گونه که از نمودار دیده می‌شود هنگامی که مقادیر دیدبانی بارش جانشین مقادیر پیش‌بینی شده این پارامتر توسط مدل می‌شود (آزمایش یک)، کمیت اریبی محصول سیب و گندم به ترتیب از 0/54 و 0/66 به 0/91 و 0/78 نسبت به آزمایش مرجع بهبود می‌یابد در این آزمایش کمیت اریبی برای محصول سیب و گندم به ترتیب 37 و 12 درصد نسبت به آزمایش مرجع بهبود یافته است. هنگامی که مقادیر دیدبانی باد جانشین مقادیر پیش‌بینی شده این پارامتر توسط مدل می‌شود (آزمایش دو)، کمیت اریبی محصول سیب و گندم به‌ترتیب 0/06 و 0/12 درصد نسبت به حالت مرجع کاهش یافته است. در آزمایش سه، مقادیر دیدبانی دما جانشین مقادیر پیش‌بینی شده این پارامتر توسط مدل می‌شود. در این آزمایش کمیت اریبی برای محصول سیب و گندم به‌ترتیب 0/09 و 0/16 درصد نسبت به آزمایش مرجع بهبود یافته است.



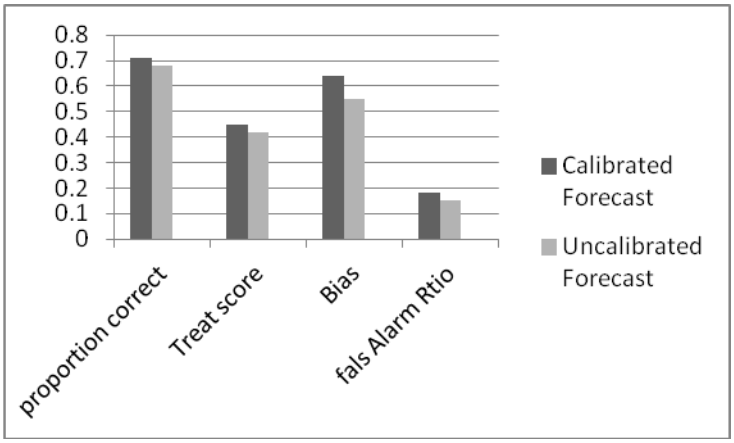
الف ب

شکل شماره 3- الف و ب کمیت اریبی برای زمان مناسب سم‌پاشی سیب و گندم

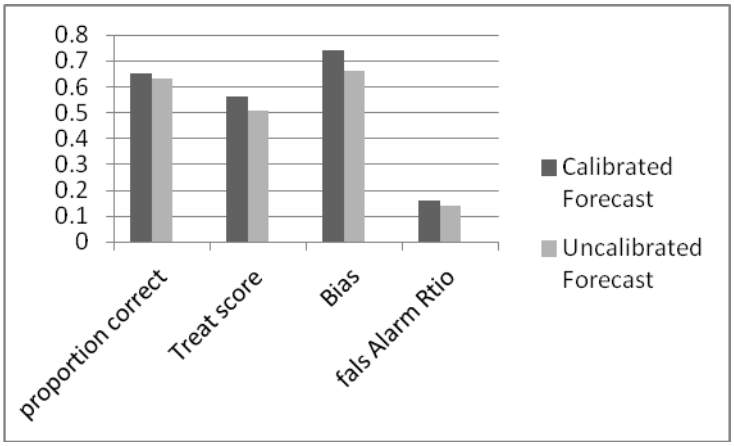
شکل (4) نسبت هشدارهای نادرست یعنی تعداد هشدارهای نادرست به تعداد پیش‌بینی‌های انجام شده را برای چهار آزمایش نشان می‌دهد این کمیت گرایش منفی دارد، به عبارتی مقادیر کمتر آن نشان دهنده مهارت بیشتر پیش‌بینی است. مقدار این کمیت در آزمایش مرجع محصول سیب وگندم به ترتیب برابر 0/16 و 0/16 می باشد. همان‌گونه که از نمودار دیده می‌شود هنگامی که مقادیر دیدبانی بارش جانشین مقادیر پیش‌بینی شده این پارامتر توسط مدل می‌شود (آزمایش یک)، کمیت هشدارهای نادرست محصول سیب وگندم به ترتیب از 0/16 و 0/16 به 0/11 و 0/005 نسبت به آزمایش مرجع بهبود می‌یابد در این آزمایش نسبت هشدارهای نادرست محصول سیب وگندم به ترتیب 0/05 و 0/155 درصد نسبت به آزمایش مرجع بهبود یافته است. هنگامی که مقادیر دیدبانی باد جانشین مقادیر پیش‌بینی شده این پارامتر توسط مدل می‌شود (آزمایش دو)، کمیت نسبت هشدارهای نادرست محصول سیب وگندم به‌ترتیب 0/1 و 0/02 درصد نسبت به حالت مرجع کاهش یافته است. در آزمایش سه، مقادیر دیدبانی دما جانشین مقادیر پیش‌بینی شده این پارامتر توسط مدل می‌شود. در این آزمایش کمیت نسبت هشدارهای نادرست محصول سیب وگندم به‌ترتیب 0/03 و 0/01 درصد نسبت به آزمایش مرجع کاهش یافته است. به طور کلی می‌توان گفت که برونداد خام مدل از دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی زمان مناسب سم‌پاشی برخورداراست. همچنین با توجه به اینکه در آزمایش 1 کمیت‌های نسبت صحیح، امتیاز مهارتی، اریبی و آهنگ هشدارهای نادرست بهترین مقادیر را نشان می‌دهند می‌توان گفت که بارش و دقت پیش‌بینی‌های بارش بیشترین نقش را در تعیین دقت پیش‌بینی زمان مناسب عملیات سم‌پاشی دارد. از این رو انتظار می‌رود با افزایش دقت مدل در پیش‌بینی بارش نتایج زمان مناسب سم‌پاشی نیز بهبود قابل توجهی داشته باشد. به این منظور می‌توان از روش‌های متداول و ساده پس‌پردازش برونداد مدل برای کمیت بارش (برای مثال، شیرغلامی، 1389) استفاده نمود. برای بررسی میزان تاثیر پس‌پردازش بر برونداد مستقیم بارش مدل، نمودارهای کمیت‌های راستی آزمایی برای داده‌های خام باد و دما و داده‌های پس‌پردازش شده بارش مدل برای برخی ایستگاه‌های همدیدی در تهران که محصول عمده آنها سیب و گندم است ترسیم شده است. در این نمودارها (5-الف و ب) نتایج حاصل از محاسبه کمیت‌های راستی‌آزمایی برای پیش‌بینی‌های واسنجی و غیر واسنجی در آستانه‌های مخصوص به هر محصول دیده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از پس پردازش برای برونداد خام مدل نتایج نهایی را بهبود می‌بخشد به گونه‌ای که کمیت‌های نسبت صحیح، امتیاز تهدید، اریبی و نسبت هشدارهای نادرست برای محصول سیب به ترتیب 0/03، 0/03، 0/09 و 0/03 و برای گندم به ترتیب 0/02، 0/05، 0/08 و 0/02 به نسبت کمی بهبود می‌یابد. پس می‌توان استفاده از نتایج نهایی برای پیش بینی زمان مناسب سم پاشی را در استفاده عملیاتی توصیه کرد.



شکل شماره 4- کمیت نسبت هشدارهای نادرست زمان مناسب سم‌پاشی برای سیب (الف) و گندم (ب)



الف



ب

شکل شماره 5- مقایسه کمیت‌های راست‌آزمایی برای سیب (الف) و گندم (ب)

پیش بینی کمی بارش، باد و دما، وابسته به دقت پیش‌بینی‌هایی است که توسط مدل‌های هواشناسی انجام می‌شود، اما مدل‌های هواشناسی برای پیش‌بینی کمیت‌ها (بارش، دما،...) همواره دچار خطای سامانمند و عدم قطعیت در نتایج حاصله می‌باشند.

با توجه به مطالب گفته شده در تحقیق حاضر و به منظور دستیابی به پیش‌بینی دقیق‌تر زمان سم‌پاشی‌های 24 ساعته، برونداد مدل WRF برای کمیت بارش در 12 ایستگاه همدیدی کشور با استفاده از روش میانگین لغزان (MA) مورد پس پردازش قرار گرفته است.

به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که روش پس‌پردازش مورد استفاده توانسته است خطای سامانمند موجود در برونداد مدل را کاهش دهد. بنابراین استفاده از پس‌پردازش برای پیش‌بینی بارش مدل‌ها مفید و ضروری می‌باشد.

منابع

1- تقی‌زاده، ا.، 1389، بررسی عملکرد مدل‌های منطقه‌ای HRM، MM5 و WRF برای پیش‌بینی بارش روی ایران: پایان نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه یزد: 44-42.

2- راستگو، ز.، 1389، پس‌پردازش برونداد مدل WRF برای سرعت باد بر روی خلیج بوشهر با استفاده از روش پالایه کالمن غیر خطی: پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران: 35-39.

3- شیرغلامی، م.، 1389، پس پردازش برونداد مدل WRF برای بارندگی در ایران: پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران: 14-10.

4- علیزاده، ا.، غ. کمالی.، ف، موسوی.، موسوی بایگی، م.، 1388: هوا و اقلیم‌شناسی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

5- Wilks, D. S, 2006, Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: Academic Press: 105 pp.

6- Changnon, S. A., 2004, changing uses of climate predictions in agriculture: Implications for prediction research, providers, and users: Wea. Forecast. 19, (3): 606-613.

7- Suleiman, A., and Crago, R., 2004, hourly and daytime evapotranspiration from grassland using radiometric surface temperatures: Agron. J., 96: 384-390.

8- Detlefsen, N., 2006, Probability forecasts for weather-dependent agricultural operations using generalized estimating equations: Tellus, 58:558-564.