نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی
سال سیزدهم | شماره پنجاهم | تابستان ۱۴۰۱
وصول: ۱۴۰۰/۰۲/۱۹ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۵
صص ۱۸۲-۱۶۷

نتایج درستی سنجی اجرای مدل پیش‌بینی عددی WRF در هواشناسی لرستان و پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو طی ماه‌های مارس و آوریل ۲۰۱۹

زینب اکبری*[۱]، مجید آزادی[۲]، بهروز مرادپور[۳]، حسین مسعودی[۴]، روح اله داودی[۵]، سعید رضایی پور[۶]
۱- کارشناس ارشد فیزیک، معاون توسعه و پیش بینی هواشناسی لرستان، خرم آباد، ایران
۲- دانشیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران
۳- کارشناس ارشد اقلیم شناسی، مدیر کل هواشناسی لرستان، خرم آباد، ایران
۴- کارشناس ارشد فیزیک، رییس مرکز تحقیقات هواشناسی لرستان، خرم آباد، ایران
۵- کارشناس ارشد فیزیک، سرپرست مرکز پیش بینی هواشناسی لرستان، خرم آباد، ایران
۶- کارشناس ارشد فیزیک، کارشناس همدیدی هواشناسی لرستان ، خرم آباد، ایران

چکیده

*در این پژوهش نتایج پیش‌بینی‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته مدل میان مقیاس WRF با دامنه‌های تو در تو و با تفکیک‌های ۱۸ و ۶ کیلومتر (اجرا شده در هواشناسی لرستان) و با تفکیک‌های ۲۷ و ۹ کیلومتر (اجرا شده در پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو)، بدون طرحواره، برای یک دوره ۲ ماهه از اول مارس ۲۰۱۹ تا پایان آپریل ۲۰۱۹ بررسی و با داده¬های دیدبانی بارش برای ۱۰ ایستگاه همدیدی هواشناسی لرستان مقایسه شده‌اند. به همین منظور جهت راستی آزمایی از جدول توافقی ۲*۲ استفاده گردید نتایج به‌دست آمده از امتیاز مهارتی PC نشان داد که در بازه زمانی ۲۴ ساعته، دامنه‌های ۲۷، ۱۸ و ۹ کیلومتر در بیش از ۸۰ درصد موارد توانسته‌اند وقوع یا عدم وقوع بارش در سطح استان را به درستی پیش‌بینی نمایند که این امتیاز برای دامنه ۶ کیلومتر کمینه و به میزان ۶۷ درصد بوده است. همچنین بررسی‌های به عمل آمده برای بازه زمانی ۴۸ ساعته نشان داد که همه دامنه‌ها در بیش از ۷۷ درصد موارد صحت وقوع یا عدم وقوع بارش را به درستی نشان داده اند. نتایج حاصل از درستی سنجی در این پژوهش برای روزهای همراه با بارش بوده است و آستانه خاصی برای مقادیر بارش در نظر گرفته نشده است، پیشنهاد می‌گردد برای اینکه ضعف نسبی مدل بهبود یابد کمیت های درستی سنجی برای آستانه های مشخص (بارش سبک، بارش متوسط و بارش سنگین) بدست آیند.*

کلید واژه‌ها: پیش بینی بارش ، مدل WRF، درستی سنجی آزمایی، جدول توافقی.

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۶۳۶۱۶۴۳۰ Email:z.akbari@ yahoo.com

مقدمه

پیش‌بینی وضع هوا از دیرباز اهمیت بسیار زیادی داشته است و محدوده وسیعی از زندگی روزمره را تحت تأثیر خود قرار داده است. بسیاری از فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی انسان‌ها به شرایط جوی و اقلیمی بستگی دارد. بنابراین همواره تلاش بر این بوده است که پیش‌بینی پارامترهایی همچون بارش و دما که به عنوان دو عامل مهم در بخش‌های کشاورزی و صنعت محسوب می‌شوند به کمک مدل‌های هواشناسی بهبود یابد. طی بیست سال گذشته، با توسعه نرم‌افزاری و سخت‌افزاری در زمینه علوم رایانه‌ای و روش‌های مدل‌های عددی پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در پیش‌بینی هواشناسی حاصل شده است. امروزه رایانه‌های بسیار پرقدرتی وجود دارند که قدرت پیش‌بینی ۵ روز قبل آنها در دهه حاضر برابر کیفیت پیش‌بینی ۲٤ ساعت قبل در دهه ۱۹۵۰ است. در واقع منافع اقتصادی و اجتماعی کاربری فناوری‌های هواشناسی در مدیریت بلایای طبیعی و اقلیمی از هزینه نسبتاً اندک به کارگیری این فن‌آوری‌ها و نیروهای متخصص به کاهش قابل توجه خسارات انسانی و مالی بلایای طبیعی و اقلیمی در کوتاه مدت و بلند مدت منتج می‌شود. به طور کلی در پیش‌بینی عددی وضع هوا، با حل عددی معادلات دیفرانسیلی حاکم بر حرکت‌های جوی سروکار داریم. نخستین بار ویلهلم برکنس در ۱۹۰٤ متوجه شد که می‌توان مسأله پیش‌بینی عددی وضع هوا را به‌صورت ریاضی و در قالب یک مسأله مقدار مرزی - اولیه تشریح کرد. اولین دانشمندی که تلاش کرد این معادلات را با استفاده از یک روش عددی حل کند، ریچاردسون بود که با صرف شش هفته وقت یک پیش‌بینی ٦ ساعته (مربوط به ۲۰ می ۱۹۱۰) را به دست آورد (۱۹۲۲) و سپس نتایج کار خود را در کتابی منتشر کرد. البته به دلایلی از جمله عدم آگاهی در مورد وجود محدودیت برای انتخاب گام زمانی در حل عددی که چند سال بعد توسط کورانت و همکاران (۱۹۲۸) منتشر شد و همچنین مسأله آغازگری معادلات، نتیجه کار ریچاردسون به هیچ‌وجه قابل قبول نبود و خطای بسیاری داشت. به هر صورت این تلاش‌ها ادامه پیدا کرد تا حدود سال ۱۹۵۰ میلادی که از یک سو علم هواشناسی دینامیکی در اثر تلاش دانشمندانی نظیر راسبی و چارنی پیشرفت زیادی کرده بود و از سوی دیگر با راه اندازی رایانه انیاک در دانشگاه پرینستون (۱۹٤٦) سامانه‌ای با سرعت کافی برای انجام آن محاسبات راه‌اندازی شد. به این ترتیب چارنی، فون‌نیومان و فیورتافت اولین پیش‌بینی عددی موفقیت‌آمیز را برای پیش‌بینی ارتفاع تراز hPa500 جو با استفاده از حل عددی معادله تاوایی فشارورد انجام دادند. ده سال بعد، اولین ماهواره هواشناسی شروع به ارسال تصاویری از جو زمین و ابرها به زمین کرد و از آن زمان پیشرفت‌های بسیار در تمامی زمینه‌های مرتبط اعم از هواشناسی دینامیکی، ابداع رایانه‌های پیشرفته و ابررایانه‌ها، گسترش شبکه دیدبانی هواشناسی از نظر کمّی و کیفی (افزایش تعداد و تنوع ابزارهای اندازه‌گیری جو مانند ایجاد سامانه‌های AMDAR) و به‌ویژه پیشرفت‌های نوین ماهواره‌های هواشناسی، علم پیش‌بینی عددی وضع هوا را به یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین شاخه‌های دانش هواشناسی تبدیل و در میان گرایش‌های مختلف علوم پایه ریاضی و فیزیکی از اهمیت زیادی برخوردار کرده است. درستی سنجی فرآیندی است که کیفیت، مهارت و ارزش یک پیش‌بینی را از طریق مقایسه نتایج پیش‌بینی با دیدبانی متناظر تعیین می‌کند. همان‌طور که برای پیش‌بینی روش‌های مختلفی وجود دارد، درستی سنجی نیز به روش‌های متفاوتی انجام می‌شود. یکی از روش‌های متداول درستی سنجی عملکرد مدل در پیش‌بینی بارش، در نظر گرفتن بارش بصورت یک کمیت دودویی است که برای هر کدام از آستانه‌های متفاوت بارش جدول توافقی ۲ در ۲ تشکیل می‌شود، سپس کمیت‌های عددی متناظر با هر جدول محاسبه می‌شود (ویلکس ۲۰۰٦) و در نهایت نتیجه‌گیری براساس تحلیل این کمیت‌ها به‌دست می‌آید. افندی و حسینی (۲۰۱۳)، به منظور ارزیابی عملکرد مدل WRF در پیش بینی سیلاب های ناگهانی به بازسازی مقدار بارش سنگین رخ داده در سال ۲۰۱۰ در مصر پرداختند. در این پژوهش از شرایط اولیه NCEP استفاده شد و نتایج نشان داد که بارش پیش بینی شده توسط مدل WRF به مقدار بارش مشاهداتی بسیار نزدیک است.رایزا و همکاران (۲۰۱۳) در لهستان، مدل WRF را با تفکیک مکانی ۲ کیلومتر و با فاصله زمانی ۱ ساعته برای پیش بینی بارش به کار برده و برونداد مدل را با مقادیر مشاهداتی ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی مقایسه کردند. نتایج نشان داد که مدل مذکور با دقت قابل قبولی

قادر به بازسازی رویدادهای بارش است اما با افزایش زمان پیش بینی از دقت مدل کاسته می‌شود. در پژوهشی که پیش بینی‌های سه مدل عددی (ECMWF-IFS،HARMONIE-AROME، WRF-ARW) را با داده‌های واقعی دکل هواشناسی آی‌جی‌مویدن واقع در دریای شمال بررسی کرده است (کالورلا و همکاران ۲۰۱۹)، افزایش دقت تفکیک مکانی افقی مدل WRF منجر به افزایش خطا در پیش بینی برخی از کمیت‌های هواشناسی (سرعت و جهت باد، دمای پتانسیل و نسبت اختلاط) شده است. در پژوهش جوکر و همکاران (۲۰۲۰) عملکرد و مزایای شبیه سازی مدل‌های WRF و UM در مقیاس‌های کیلومتری و زیرکیلومتری در مقایسه با داده‌های رادار و رادیوسوند برای بارش‌های همرفتی سواحل گرمسیری استرالیا بررسی شده‌است. نتایج نشان داد افزایش تفکیک مکانی افقی باعث فراتخمین در برآورد میزان بارش‌های سبک و کاهش همبستگی با داده‌های واقعی شده‌است. به همین دلیل ایشان نقش افزایش دقت مکانی افقی را در افزایش دقت پیش بینی کمتر از سایر عواملی همچون جریان‌های چگالی در لایه‌های مرزی (مهمترین عامل خطاهای مدل) دانسته‌اند.پارتریج و همکاران (۲۰۲۱) تاثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی را با استفاده از مدل‌های WRF با دامنه‌های تفکیک مکانی افقی (۲۵، ۵ و ۱ کیلومتر) و Noah-MP-Crop در مناطق مرکزی ایالات متحده در فصل رشد بررسی کردند. نتایج برتری پیش بینی‌های مدل WRF را در برآورد بازده محصولات ذرت و سویا نسبت به مدل دیگر نشان داد. همچنین معلوم گردید افزایش تفکیک مکانی افقی منجر به افزایش خطای مطلق در بروندادهای مدل و کاهش همبستگی آن‌ها با داده‌های دیدبانی شده‌است. استفاده مناسب و بهینه از مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا نظیر مدل منطقه‌ای WRF (Weather Reaserch and Forcasting) که یکی از جدیدترین مدل‌های هواشناسی توسعه داده شده طی سال‌های اخیر است، ضروری به نظر می‌رسد.

معرفی درستی سنجی و جدول توافقی

منظور از فرآیند درستی‌سنجی همان ارزیابی کیفیت پیش‌بینی‌های هواشناسی است که در آن نتایج فرآیند پیش‌بینی با دیدبانی متناظر مقایسه می‌شود. درستی سنجی پیش‌بینی می‌تواند فرآیندی باشد که در آن به بیان کیفیت هر پیش‌بینی اشاره دارد. در درستی سنجی هر پیش‌بینی یک ارزیابی عینی از کیفیت پیش‌بینی به شیوه‌های متفاوت صورت می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین اهداف درستی سنجی آن است که نتایج آن باید حاوی اطلاعات مفیدی باشد تا بتواند راه کارهای جدیدی برای پیش‌بینی بهتر به‌دست آورد. تحلیل آماری درستی سنجی و یا سایر اجزای آن می‌تواند در ارزیابی نقاط قوت وضعف پیش بین و یا روند پیش‌بینی کمک کند. همان‌طور که برای پیش‌بینی روش‌های متفاوتی وجود دارد، درستی سنجی نیز به روش‌های متفاوتی صورت می‌گیرد. جدول (۳-۳) انواعی از این روش‌ها را برای هر نوع پیش‌بینی نشان می‌دهد که در پژوهش حاضر از روش راست آزمایی دو حالتی استفاده شده است.(URL-3).

جدول ۱- درستی سنجی نواع پیش‌بینی

ردیف	نوع پیش‌بینی	روش راست آزمایی
۱	یقینی	دیداری، دوحالتی، چند دسته‌ای، پیوسته
۲	احتمالی	دیداری، احتمالی، همادی
۳	کیفی	دیداری، دو حالتی، چند دسته‌ای
٤	سری زمانی	دیداری، دوحالتی، چند دسته‌ای، پیوسته
٥	توزیع فضایی	دیداری، دوحالتی، چند دسته‌ای، پیوسته، احتمالی، فضایی
٦	فضا وزمان	دوحالتی، چند دسته‌ای پیوسته، احتمالی، همادی
۷	دوحالتی (آری / نه)	دیداری، دوحالتی، احتمالی، فضایی، همادی
۸	چند دسته‌ای	دیداری، چند دسته‌ای، احتمالی، فضایی
۹	پیوسته	دیداری، پیوسته، احتمالی، فضایی، همادی

کمیت‌های درستی سنجی

با استفاده از ساختار جدول توافقی ۲ در ۲، a تعداد پیش‌بینی‌های صحیح یا برخوردها، b تعداد هشدارهای نادرست، c تعداد از دست رفته‌ها، d تعداد دفعاتی است که بارش رخ نداده و پیش‌بینی هم نشده است.

جدول (۲) ساختار جدول توافقی برای درستی سنجی

پیش‌بینی	دیدبانی	
	بدون بارش	**بارش**
بارش	a	b
بدون بارش	c	d

نسبت صحیح (PC)

این کمیت برابر است با کسری از n مورد پیش‌بینی که برای آن پیش‌بینی غیراحتمالی به درستی وقوع یا عدم وقوع را پیش‌بینی کرده است و با رابطه زیر داده می‌شود:

$$PC = \frac{a+d}{n} \quad (۱)$$

امتیاز تهدید (TS)

این کمیت برای مواقعی که فراوانی پدیده مورد نظر کوچک باشد بسیار مناسب است و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$TS = a/(a+b+c) \quad (۲)$$

نسبت اریبی (B)

اگر پیش‌بینی غیر اریب باشد B=۱. اریبی بزرگتر از یک دلالت بر این دارد که رویداد بیشتر از دیدبانی، پیش‌بینی شده است و فرا پیش‌بینی گفته می‌شود. بالعکس اریبی کمتر از یک دلالت بر این دارد که پیش‌بینی پدیده کمتر از دیدبانی یا فرو پیش‌بینی است.

$$B = \frac{a+b}{a+c} \quad (۳)$$

نسبت هشدارهای نادرست (FAR)

کسر پیش‌بینی‌های مثبت که نتیجه اشتباه داده اند و با رابطه زیر داده می‌شوند:

$$FAR = \frac{b}{a+b} \quad (٤)$$

آهنگ برخورد (H)

این کمیت نسبت پیش‌بینی‌های درست است به تعداد دفعاتی که این پدیده رخ داده است و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$H = \frac{a}{a+c} \quad (٥)$$

آهنگ هشدارهای نادرست (F)

این کمیت برابر است با نسبت هشدارهای نادرست به تعداد کل عدم رخداد پدیده و با رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$F = \frac{b}{b+d} \quad (٦)$$

مهارت پیش‌بینی (PSS)

یکی از پرکاربردترین امتیازهای مهارتی، امتیاز مهارتی پیرس (PSS) است که بصورت درصد بهبود نسبت به پیش‌بینی مرجع تفسیر می‌شود و به‌صورت زیر می‌باشد:

$$PSS = \frac{(ad-bc)}{(a+c)(b+d)} \quad (٧)$$

میانگین خطای مطلق (MAE)

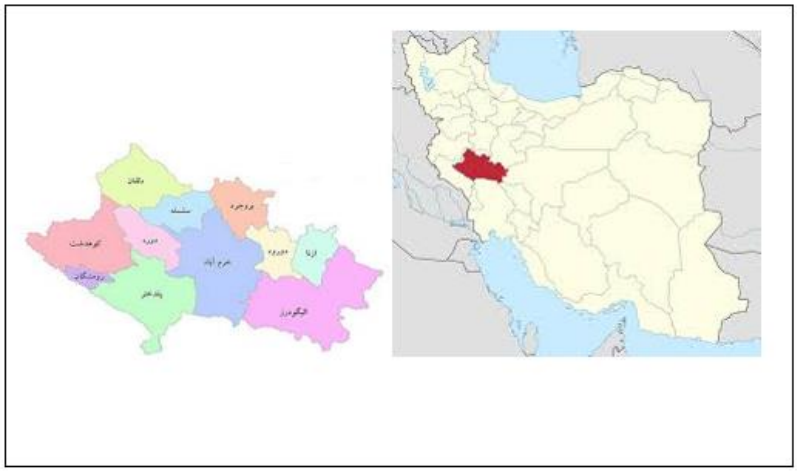
کمیت دیگر میانگین خطای مطلق است که برابر است با:

$$MAE = {}^{1}/_{n} \sum |y_k - o_k| \quad (٨)$$

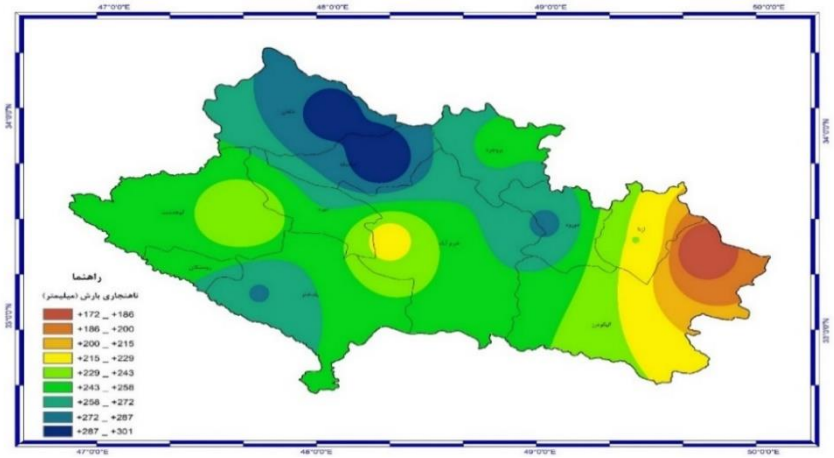
که y_k و o_k عبارت‌اند از k^{th} جفت از n جفت پیش‌بینی و دیدبانی. به بیان دیگر MAE میانگین حسابی قدر مطلق اختلاف بین اعضای هم جفت است.

محدوده مکانی و زمانی و ویژگی آن

محدوده مکانی و زمانی مورد مطالعه، ۱۰ ایستگاه همدیدی استان لرستان با دوره آماری دو ماهه (اول مارس تا پایان آپریل ۲۰۱۹) است که ویژگی آن وقوع بارش‌های حدی و بی‌سابقه (با دوره بازگشت بیش از ۲۰۰ سال) می‌باشد که منجر به وقوع سیلاب‌های خسارت‌زا گردید. در شکل (۲) نقشه پهنه‌بندی بی‌هنجاری بارش در استان لرستان طی دوره زمانی مذکور نسبت به میانگین دوره آماری بلندمدت نشان داده شده‌است. همان‌طور که از نقشه شماره ۲ پیداست، برای اغلب نقاط استان بی هنجاری بارش ماه های مارس و آپریل ۲۰۱۹ در مقایسه با متوسط بارش بلندت این دو ماه که ۱۵۰.٤ میلیمتر می باشد دارای بی هنجاری مثبت و قابل ملاحظه ای بوده است که در برخی از ایستگاه ها این بی هنجاری به بیش از ۲۰۰ میلیمتر رسیده است که به خوبی بیانگر بی‌سابقه بودن بارش طی این بازه زمانی است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی بی‌هنجاری بارش اول مارس تا پایان آپریل (۲۰۱۹) نسبت به میانگین بلندمدت

جدول ۳- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در پژوهش

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع	سال تاسیس ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی		عرض جغرافیایی	
					دقیقه	درجه	دقیقه	درجه
۱	خرم‌آباد	۱۱٤۸	۱۳۳۱	سینوپتیک	۲۸	٤۸	٤۳	۳۳
۲	بروجرد	۱٦۲۹	۱۳٦۷	سینوپتیک	۷۵	٤۸	۹۲	۳۳
۳	الیگودرز	۲۰۲۲	۱۳۷٦	سینوپتیک	۷۰	٤۹	٤۰	۳۳
٤	ازنا	۱۸۷۲	۱۳۷۹	سینوپتیک	٤۱	٤۹	٤۵	۳۳
۵	الشتر	۱۵٦۷	۱۳۷٦	سینوپتیک	۲۵	٤۸	۸۱	۳۳
٦	کوهدشت	۱۱۹۸	۱۳۷٦	سینوپتیک	٦۵	٤۷	۵۱	۳۳
۷	پلدختر	۷۱۳	۱۳۷٦	سینوپتیک	۷۱	٤۷	۱۵	۳۳
۸	نورآباد	۱۱۸٦	۱۳۷۹	سینوپتیک	۰۰	٤۸	۰۵	۳٤
۹	رومشکان	۱۰۸۹	۱۳۹۰	سینوپتیک	۵۰	٤۷	۱۵	۳۳
۱۰	دورود	۱۵۲۲	۱۳۷٦	سینوپتیک	۰۰	٤۹	۵۱	۳۳

روش کار

در این پژوهش جهت ارزیابی نتایج اجرای مدل پیش‌بینی عددی WRF در هواشناسی لرستان و پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو طی بازه زمانی مورد پژوهش از برونداد مدل WRFبه‌عنوان یک مدل غیرهیدرواستاتیک با شبکه‌بندی- C آراکاوا و داده‌ها و شرایط مرزی GFS (۰/۵ درجه) استفاده شده است. شرایط مرزی و اولیه مدل WRF از داده اجرای ساعت UTC ۱۲ سامانه مدل‌سازی تمام کره‌ای موسوم به GFS (Global Forcast System) از مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP) گرفته شده است که بدون طرحواره و به صورت دامنه‌های تو در تو و دو طرفه با تفکیک ۲۷ کیلومتر و ۹ کیلومتر در پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو و با دامنه‌های ۱۸ کیلومتر و ۹ کیلومتر در اداره کل هواشناسی استان لرستان اجرا شده است. تعداد نقاط شبکه- ای، ۱۲٤ در ۱۱۸ برای حوزه اول و ۲۸۹ در ۲۷۷ برای حوزه دوم و تعداد ترازهای قائم ۳۰ تراز بود. زمان انتگرال- گیری مدل منطقه‌ای WRF یک دوره ۲ ماهه از یکم مارس تا ۳۰ آوریل (۲۰۱۹) انتخاب شد. اجرای مدل به‌صورت روزانه و برای ساعت ۱۲ گرینویچ بوده و در هر اجرا پیش‌بینی‌های ۲٤ و ٤۸ ساعت آینده تولید شده است. سپس مقادیر بارش دیدبانی شده در ۱۰ ایستگاه مورد پژوهش با مقادیر بارش متناظر شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF در بازه‌های ۲٤ و ٤۸ ساعته مقایسه شده‌اند. برای راستی آزمایی و درستی سنجی پیش‌بینی از داده‌های بارندگی روزانه ایستگاههای همدیدی در سطح استان و داده‌های حاصل از اجرای مدل در هر ٤ دامنه مذکور استفاده گردید.

نتایج کمیت‌های درستی سنجی

در این پژوهش آستانه ای برای رخداد بارش تعریف نشده است و روزهای با بارش بیش از ۰.۱ میلیمتر و بالاتر را به عنوان روز همراه با بارش در انجام محاسبات در نظر گرفته شده است. در جداول (٤) و (۵) نتایج و مقادیر کمیت‌های جدول توافقی و همچنین کمیت‌های درستی سنجی برای پیش‌بینی ۲٤ و ٤۸ ساعته مدل WRF با دامنه‌های ۲۷، ۱۸، ۹ و ٦ کیلومتر محاسبه و آورده شده‌اند.

درستی سنجی پیش‌بینی وقوع بارش برای استان لرستان در بازه زمانی ۲٤ ساعته

در جدول (٤) مقادیر به‌دست آمده کمیت‌های درستی سنجی پیش‌بینی ۲٤ ساعته برای بروندادهای مختلف مدل آمده‌اند که در بخش‌های آتی تشریح می‌شوند. لازم به توضیح است که ارتباط معنی‌داری بین موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها با این کمیت‌ها وجود ندارد.

کمیت PC

براساس نتایج حاصل از جدول (٤) و نیز کمیت‌های به‌دست آمده برای پیش‌بینی‌های ۲٤ ساعته می‌توان بیان کرد که کمیت PC که مقدار کمیت عددی نسبت صحیح برای همه پیش‌بینی‌ها است بیش از ۷٦ درصد است. به عبارت دیگر در دامنه‌های مذکور حدود ۷٦ درصد موارد پیش‌بینی وقوع با نبود بارش مدل درست بوده است. اما در ایستگاه‌های الیگودرز، بروجرد و پلدختر در دامنه ٦ کیلومتر از مقدار پایینی برخوردار بوده و مدل نتوانسته است وقوع یا عدم وقوع بارش را بخوبی پیش‌بینی نماید. بالاترین نسبت صحیح در ایستگاه‌ها به تفکیک: ایستگاه خرم‌آباد در دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۷۸، ایستگاه الشتر دامنه ۲۷ کیلومتر با مقدار ۰/۸٦، ایستگاه الیگودرز دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۸۸، ایستگاه بروجرد دامنه ۲۷ کیلومتر مقدار ۰/۸۱، ایستگاه پلدختر دامنه ۲۷ کیلومتر با مقدار ۰/۸۱، ایستگاه ازنا دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۸٦، ایستگاه درود دامنه ٦ کیلومتر با مقدر ۰/۸۳ ایستگاه کوهدشت دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۸۵، ایستگاه نورآباد دامنه‌های ۹ کیلومتر و ٦ کیلومتر با مقدار ۰/۸۱و ایستگاه رومشکان دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۸۰ درصد مشاهده شده است و به‌طور کلی می توان نتیجه گرفته که امتیاز مهارتی PC در دامنه‌های ۲۷ و ۹ کیلومتر بخوبی توانسته وقوع یا عدم وقوع بارش در منطقه را نشان دهد.

جدول ٤- کمیت‌های درستی سنجی پیش‌بینی وقوع بارش در بازه زمانی ٢٤ ساعته

نام ایستگاه	دامنه	pc	B	TS	FAR	H	F	PSS
خرم آباد	۲۷ کیلومتر	۰.۷۶	۱.۶۴	۰.۶۱	۰.۳۹	۱.۰۰	۰.۳۸	۰.۶۲
	۱۸ کیلومتر	۰.۷۵	۱.۶۸	۰.۵۹	۰.۴۱	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۵۹
	۹ کیلومتر	۰.۷۸	۱.۴۸	۰.۶۳	۰.۳۵	۰.۹۶	۰.۳۳	۰.۶۲
	۶ کیلومتر	۰.۷۶	۱.۵۲	۰.۶۱	۰.۳۷	۰.۹۶	۰.۳۶	۰.۶۰
الشتر	۲۷ کیلومتر	۰.۸۶	۱.۳۰	۰.۷۷	۰.۲۳	۱.۰۰	۰.۲۵	۰.۷۵
	۱۸ کیلومتر	۰.۸۵	۱.۲۶	۰.۷۴	۰.۲۴	۰.۹۶	۰.۲۵	۰.۷۱
	۹ کیلومتر	۰.۸۵	۱.۳۳	۰.۷۵	۰.۲۵	۱.۰۰	۰.۲۸	۰.۷۲
	۶ کیلومتر	۰.۸۵	۱.۲۶	۰.۷۴	۰.۲۴	۰.۹۶	۰.۲۵	۰.۷۱
الیکودرز	۲۷ کیلومتر	۰.۸۵	۱.۳۰	۰.۷۷	۰.۲۳	۱.۰۰	۰.۳۱	۰.۶۹
	۱۸ کیلومتر	۰.۸۶	۱.۲۷	۰.۷۹	۰.۲۱	۱.۰۰	۰.۲۸	۰.۷۲
	۹ کیلومتر	۰.۸۸	۱.۱۷	۰.۸۱	۰.۱۷	۰.۹۷	۰.۲۱	۰.۷۶
	۶ کیلومتر	۰.۳۴	۱.۹۲	۰.۳۵	۰.۶۰	۰.۷۶	۰.۹۷	-۰.۲۱
بروجرد	۲۷ کیلومتر	۰.۸۱	۱.۴۴	۰.۶۹	۰.۳۱	۱.۰۰	۰.۳۲	۰.۶۸
	۱۸ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۴۰	۰.۶۷	۰.۳۱	۰.۹۶	۰.۳۲	۰.۶۴
	۹ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۴۸	۰.۶۸	۰.۳۲	۱.۰۰	۰.۳۵	۰.۶۵
	۶ کیلومتر	۰.۳۹	۱.۵۵	۰.۴۱	۰.۵۲	۰.۷۴	۱.۰۰	-۰.۲۶
پلدختر	۲۷ کیلومتر	۰.۸۱	۱.۵۲	۰.۶۶	۰.۳۴	۱.۰۰	۰.۲۹	۰.۷۱
	۱۸ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۳۸	۰.۶۱	۰.۳۴	۰.۹۰	۰.۲۶	۰.۶۴
	۹ کیلومتر	۰.۷۸	۱.۴۳	۰.۵۹	۰.۳۷	۰.۹۰	۰.۲۹	۰.۶۲
	۶ کیلومتر	۰.۳۷	۱.۳۸	۰.۴۳	۰.۴۸	۰.۷۱	۰.۷۶	-۰.۰۵
ازنا	کیلومتر ۲۷	۰.۸۰	۱.۴۶	۰.۶۸	۰.۳۲	۱.۰۰	۰.۳۶	۰.۶۴
	کیلومتر ۱۸	۰.۷۸	۱.۴۲	۰.۶۶	۰.۳۲	۰.۹۶	۰.۳۶	۰.۶۰
	کیلومتر ۹	۰.۸۶	۱.۲۳	۰.۷۶	۰.۲۲	۰.۹۶	۰.۲۱	۰.۷۵
	کیلومتر ۶	۰.۸۰	۱.۳۸	۰.۶۸	۰.۳۱	۰.۹۶	۰.۳۳	۰.۶۳
دورود	کیلومتر ۲۷	۰.۷۸	۱.۵۲	۰.۶۶	۰.۳۴	۱.۰۰	۰.۳۸	۰.۶۲
	کیلومتر ۱۸	۰.۸۰	۱.۴۸	۰.۶۸	۰.۳۲	۱.۰۰	۰.۳۵	۰.۶۵
	کیلومتر ۹	۰.۸۰	۱.۴۸	۰.۶۸	۰.۳۲	۱.۰۰	۰.۳۵	۰.۶۵
	کیلومتر ۶	۰.۸۳	۱.۲۳	۰.۷۱	۰.۲۵	۰.۹۲	۰.۲۴	۰.۶۸
کوهدشت	کیلومتر ۲۷	۰.۷۸	۱.۶۵	۰.۶۱	۰.۳۹	۱.۰۰	۰.۳۳	۰.۶۷
	کیلومتر ۱۸	۰.۷۶	۱.۵۷	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۹۵	۰.۳۴	۰.۶۱
	کیلومتر ۹	۰.۸۵	۱.۴۳	۰.۷۰	۰.۳۰	۱.۰۰	۰.۲۴	۰.۷۶
	کیلومتر ۶	۰.۷۶	۱.۴۸	۰.۵۸	۰.۳۹	۰.۹۰	۰.۳۲	۰.۵۹
نورآباد	کیلومتر ۲۷	۰.۸۰	۱.۵۰	۰.۶۷	۰.۳۳	۱.۰۰	۰.۳۴	۰.۶۶
	کیلومتر ۱۸	۰.۸۰	۱.۴۰	۰.۶۷	۰.۳۱	۰.۹۶	۰.۳۲	۰.۶۴
	کیلومتر ۹	۰.۸۱	۱.۳۵	۰.۶۹	۰.۲۹	۰.۹۶	۰.۳۰	۰.۶۶
	کیلومتر ۶	۰.۸۱	۱.۲۸	۰.۶۸	۰.۲۸	۰.۹۲	۰.۲۶	۰.۶۶
رومشکان	کیلومتر ۲۷	۰.۷۸	۱.۶۲	۰.۶۲	۰.۳۸	۱.۰۰	۰.۳۴	۰.۶۶
	کیلومتر ۱۸	۰.۸۰	۱.۳۶	۰.۶۳	۰.۳۳	۰.۹۱	۰.۲۷	۰.۶۴
	کیلومتر ۹	۰.۸۱	۱.۵۲	۰.۶۶	۰.۳۴	۱.۰۰	۰.۲۹	۰.۷۱
	کیلومتر ۶	۰.۸۰	۱.۱۹	۰.۵۹	۰.۳۲	۰.۸۱	۰.۲۱	۰.۶۰

امتیاز مهارتی B

تحلیل حاصل از امتیاز مهارتی B که کمیت اریبی است تقریبا مقدار عددی برابر ۱/۱۷ تا ۱/۹۲ درصد را برای هر چهار دامنه مورد بررسی را داراست و این نشان می‌دهد که تعداد مواردی که پیش‌بینی وقوع بارش با مدل صورت گرفته است بیش از مواردی است که بارش رخ داده است کمترین مقادیر در ایستگاه الشتر مشاهده می‌شود. کمترین مقدار این کمیت در ایستگاه خرم‌آباد برای دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۱/٤٨، ایستگاه الشتر دامنه‌های ٦ و ۱۸ کیلومتر با مقدار ۱/۲٦، ایستگاه الیگودرز برای دامنه ۹ کیلومتر با مقدار

۱/۱۷، ایستگاه بروجرد برای دامنه ۱۸ کیلومتر با مقدار ۱/٤۰، ایستگاه پلدختر برای دامنه‌های ۱۸ و ٦ کیلومتر با مقدار ۱/۳۸، ایستگاه ازنا برای دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۱/۲۳، ایستگاه درود برای دامنه ٦ کیلومتر با مقدار ۱/۲۳، ایستگاه کوهدشت برای دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۱/٤۳، ایستگاه نور آباد برای دامنه ٦ کیلومتر با مقدار ۱/۲۸ و در ایستگاه رومشکان برای دامنه ٦ کیلومتر با مقدار ۱/۱۹ می‌باشد. از تحلیل این امتیاز می‌توان نتیجه گرفت که دامنه‌های ٦ و ۱۸ کیلومتر بطور کلی توانسته‌اند خطای کمتری را برای وقوع پیش‌بینی بارش داشته باشند.

کمیت TS

کمیت TS که معیاری برای دقت پیش‌بینی‌ها است نشان می‌دهد که در بیش از ٦۵ درصد موارد که پدیده پیش‌بینی یا مشاهده شده است، به درستی وقوع بارش پیش‌بینی شده است که مقدار نسبتا خوبی است. مقدار این کمیت در ایستگاه‌های مورد مطالعه در بهترین حالت به شرح ذیل بوده است: ایستگاه خرم‌آباد دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/٦۳، ایستگاه الشتر دامنه ۲۷ کیلومتر و ۰/۷۷، ایستگاه الیگودرز دامنه ۹ کیلومتر ۰/۸۱، ایستگاه بروجرد دامنه ۹ کیلومتر ۰/٦۸، ایستگاه پلدختر دامنه ۲۷ کیلومتر ۰/٦٦، ایستگاه ازنا دامنه ۹ کیلومتر ۰/۷٦، ایستگاه درود دامنه‌های ۱۸ و ۹ کیلومتر ۰/٦۸، ایستگاه کوهدشت ۹کیلومتر ۰/۷۰، ایستگاه نورآباد ۹ کیلومتر ۰/٦۹، ایستگاه رومشکان ۹ کیلومتر ۰/٦٦ به ثبت رسیده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های دامنه ۹ کیلومتر با بهترین مقادیر توانسته که در اکثر موارد وقوع بارش را پیش‌بینی نموده است.

کمیت PSS

کمیت PSS که امتیاز مهارتی پیرس است، بهبود ٦۰ تا ۷۵ درصدی را بصورت کلی نشان می‌دهد. بالاترین بهبود در ایستگاه‌های الیگودرز و کوهدشت برای دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۷٦ ثبت شده است. بهترین بهبود در ایستگاه خرم‌آباد در دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/٦۲، ایستگاه الشتر دامنه ۲۷ کیلومتر با مقدار ۰/۷۵، ایستگاه الیگودرز دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۷٦، ایستگاه بروجرد دامنه ۱۸کیلومتر با مقدار ۰/٦۸، ایستگاه ازنا دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۷۵، ایستگاه درود دامنه‌های ۱۸ و ۹ کیلومتر با مقدار ۰/٦۵، ایستگاه کوهدشت دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۷٦، ایستگاه نورآباد دامنه‌های ۲۷ و ۹ و ۱۸ کیلومتر با مقدار ۰/٦٦، ایستگاه رومشکان دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۷۱ مشاهده می‌شود. نتایج حاصله نشان می‌دهد که دامنه‌های ۲۷ و ۹ کیلومتر در اکثر ایستگاه‌های استان توانسته بهترین بهبود را داشته باشد.

کمیت H

کمیت H مقدار آهنگ برخورد و بیانگر آن است که بیش از ۹۰ درصد مواردی که بارش رخ داده است مدل موفق به پیش‌بینی آن‌ها شده است. بهترین مقادیر این کمیت در ایستگاه‌های مورد مطالعه عبارتند از: خرم‌آباد دامنه‌های ۲۷ و ۱۸ کیلومتر، الشتر دامنه‌های ۲۷ و ۹، ایستگاه الیگودرز دامنه‌های ۱۸ و ۹، ایستگاه بروجرد دامنه‌های ۲۷ و ۹ کیلومتر، ایستگاه پلدختر دامنه‌های ۲۷ و ۹ کیلومتر، ایستگاه ازنا دامنه ۲۷ کیلومتر، ایستگاه درود دامنه‌های ۲۷ و ۱۸ و ۹ کیلومتر، ایستگاه کوهدشت دامنه‌های ۲۷ و ۹ کیلومتر، ایستگاه نورآباد دامنه ۲۷ کیلومتر، ایستگاه رومشکان دامنه‌های ۲۷ و ۹ کیلومتر که همگی با مقدار ۱ یعنی ۱۰۰ درصد مواردی که بارش رخ داده‌های مدل به‌خوبی موفق به پیش‌بینی شده است. بطور کلی در این کمیت دامنه‌های ۲۷ و ۹ کیلومتر در سطح استان لرستان دارای بهترین عملکرد بوده‌اند.

کمیت F

کمیت F نشان می‌دهد که در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه بیش از ۳۰ درصد از مواردی که بارش رخ نداده است مدل WRF با دامنه‌های مذکور به اشتباه پیش‌بینی وقوع داده است. کمترین مقدار این کمیت در ایستگاه خرم‌آباد مربوط به دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۳۳، ایستگاه الشتر دامنه‌های ۲۷ و ۱۸ کیلومتر با مقدار ۰/۲۵، ایستگاه الیگودرز دامنه‌های ۱۸ و ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۲۱، ایستگاه بروجرد دامنه‌های ۲۷ و ۱۸ کیلومتر با مقدار ۰/۳۲، ایستگاه پلدختر دامنه ۱۸ کیلومتر با مقدار ۰/۲٦، ایستگاه ازنا دامنه ۹ کیلومتر با مقدار

۰/۲۱، ایستگاه درود دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۲٤، ایستگاه کوهدشت دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۲٤ و دامنه ٦ کیلومتر برای ایستگاه‌های نوراباد و رومشکان با مقدار ۰/۲۱ به‌دست آمده است. پیش‌بینی‌های دامنه ۹ کیلومتر دارای کمترین میزان خطا در ارتباط با عدم پیش‌بینی رخداد بارش می‌باشد.

کمیت FAR

با توجه به اینکه مقدار کمیت FAR ک در هر ٤ دامنه WRF27, WRF18, WRF9, WRF6برای اکثر نقاط استان بین ۱۰ تا ٤۰ درصد است، تنها ۱۰ تا ٤۰ درصد از پیش‌بینی‌های وقوع بارش رخ نداده است. دامنه ۹ کیلومتر ایستگاه خرم‌آباد با مقدار ۰/۳۵، دامنه ۲۷ کیلومتر ایستگاه الشتر با مقدار ۰/۲۳، دامنه ۹ کیلومتر ایستگاه الیگودرز با مقدار ۰/۱۷، دامنه‌های ۱۸ و ۲۷ ایستگاه بروجرد با مقدار ۰/۳۱، دامنه‌های ۲۷ و ۱۸ کیلومتر ایستگاه پلدختر با مقدار ۰/۳٤، دامنه ۹ کیلومتر ایستگاه ازنا با مقدار ۰/۲۲، دامنه ٦ کیلومتر ایستگاه درود با مقدار ۰/۲۵، دامنه ۹ کیلومتر ایستگاه کوهدشت با مقدار ۰/۳۰، دامنه ٦ کیلومتر برای ایستگاه‌های نورآباد و رومشکان با مقدار ۰/۳۲ دارای کمترین مقدار خطا در ارتباط با پیش‌بینی وقوع بارش هستند. نتایج حاصل از این کمیت نشان می‌دهد که دامنه ۹ کیلومتر دارای کمترین مقدار خطا می‌باشد.

درستی سنجی پیش‌بینی وقوع بارش برای استان لرستان در بازه زمانی ٤۸ ساعته

در جدول (۵) مقادیر به‌دست آمده کمیت‌های درستی سنجی پیش‌بینی ٤۸ ساعته برای بروندادهای مختلف مدل آمده است که در بخش‌های آتی تشریح می‌شوند.

کمیت PC

براساس نتایج حاصل از جدول شماره (۵) و نیز کمیت‌های به‌دست آمده برای پیش‌بینی‌های ٤۸ ساعته میتوان بیان کرد که کمیت PC که مقدار کمیت عددی نسبت صحیح برای همه پیش‌بینی‌ها است بیش از ۸۰ درصد است. به‌عبارت دیگر در دامنه‌های مذکور حدود ۸۰ درصد موارد پیش‌بینی وقوع با نبود بارش مدل درست بوده است. بالاترین نسبت صحیح در ایستگاه‌های خرم‌آباد، کوهدشت، نورآباد و رومشکان در همه دامنه‌ها با مقدار ۰/۸۰ می‌باشد. در ایستگاه الشتر دامنه‌های ۱۸ و ٦ کیلومتر با مقدار ۰/۹۰، ایستگاه ازنا دامنه ٦ کیلومتر با مقدار ۰/۹۰، ایستگاه دورود دامنه‌های ۱۸ و ٦ کیلومتر با مقدار ۰/۸۰ و ایستگاه بروجرد دامنه‌های ۱۸ و ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۸۰ مشاهده می‌شود. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفته که امتیاز مهارتی PC در دامنه‌های ۱۸ و ۹ کیلومتر بخوبی توانسته است وقوع یا عدم وقوع بارش در منطقه را نشان دهد.

امتیاز مهارتی B

تحلیل حاصل از امتیاز مهارتی B که کمیت اریبی است تقریبا مقدار عددی برابر ۱ تا ۱/۵۰ درصد را برای هر چهار دامنه مورد بررسی را داراست و این نشان می‌دهد که تعداد مواردی که پیش‌بینی وقوع بارش با مدل صورت گرفته است بیش از مواردی است که بارش رخ داده است. کمترین مقادیر در ایستگاه‌های الشتر، بروجرد، پلدختر و نورآباد با مقدار ۱ تا ۱/۱۰ برای دامنه ٦ کیلومتر مشاهده می‌شود. کمترین مقدار در سایر ایستگاه‌های مورد بررسی به شرح ذیل بوده است: ایستگاه خرم‌آباد دامنه‌های ۹ و ٦ کیلومتر با مقدار ۱/۳، ایستگاه الیگودرز دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۱/۲۰، ایستگاه ازنا دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۱/۲۰، ایستگاه درود دامنه‌های ۹ و ٦ کیلومتر با مقدار ۱/۲۰ و ایستگاه کوهدشت دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۱/۳۰. از تحلیل این امتیاز می توان نتیجه گرفت که دامنه ٦ کیلومتر به‌طور کلی توانسته است خطای کمتری را برای وقوع پیش‌بینی بارش داشته باشند.

کمیت TS

کمیت TS که معیاری برای دقت پیش‌بینی‌ها است نشان می‌دهد که در بیش از ۷۰ درصد موارد که پدیده پیش‌بینی یا مشاهده شده است، به درستی وقوع بارش پیش‌بینی شده است که مقدار نسبتا خوبی است. مقدار این کمیت در ایستگاه‌های مورد مطالعه در بهترین حالت به شرح ذیل بوده است: ایستگاه خرم‌آباد دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۸۰، ایستگاه الشتر دامنه ۱۸ و ٦ کیلومتر و ۰/۸۰، ایستگاه

الیگودرز دامنه ۹ کیلومتر ۰/۸۰، ایستگاه بروجرد دامنه ۱۸ کیلومتر ۰/۸۰، ایستگاه پلدختر دامنه ۲۷ و ۹ کیلومتر ۰/۸۰، ایستگاه ازنا دامنه ۹ و ٦ کیلومتر ۰/۸۰، ایستگاه درود همه دامنه‌ها با مقدار ۰/۷۰، ایستگاه کوهدشت ۹ کیلومتر ۰/۸۰، ایستگاه نورآباد ۱۸ و ۹ و ٦ کیلومتر ۰/۸۰، ایستگاه رومشکان ۲۷ و ۹ کیلومتر ۰/۸۰ به ثبت رسیده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست آمده می توان نتیجه گرفت که داده‌های دامنه ۹ کیلومتر با بالاترین مقدار توانسته‌اند که در اکثر موارد وقوع بارش را پیش‌بینی نماید.

جدول ۵- کمیت‌های درستی سنجی پیش‌بینی وقوع بارش در بازه زمانی ٤٨ ساعته

نام ایستگاه	دامنه	pc	B	TS	FAR	H	F	PSS
خرم آباد	۲۷ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۵۰	۰.۷۰	۰.۳۰	۱.۰۰	۰.۵۰	۰.۵۰
	۱۸ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۴۰	۰.۷۰	۰.۳۰	۱.۰۰	۰.۴۰	۰.۶۰
	۹ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۳۰	۰.۸۰	۰.۲۰	۱.۰۰	۰.۴۰	۰.۶۰
	۶ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۳۰	۰.۷۰	۰.۳۰	۱.۰۰	۰.۴۰	۰.۶۰
الشتر	۲۷ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۳۰	۰.۸۰	۰.۲۰	۱.۰۰	۰.۵۰	۰.۵۰
	۱۸ کیلومتر	۰.۹۰	۱.۱۰	۰.۹۰	۰.۱۰	۱.۰۰	۰.۲۰	۰.۸۰
	۹ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۳۰	۰.۸۰	۰.۲۰	۱.۰۰	۰.۴۰	۰.۶۰
	۶ کیلومتر	۰.۹۰	۱.۱۰	۰.۹۰	۰.۱۰	۱.۰۰	۰.۲۰	۰.۸۰
الیگودرز	۲۷ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۳۰	۰.۷۰	۰.۲۰	۱.۰۰	۰.۶۰	۰.۴۰
	۱۸ کیلومتر	۰.۷۰	۱.۵۰	۰.۷۰	۰.۳۰	۱.۰۰	۰.۹۰	۰.۱۰
	۹ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۲۰	۰.۸۰	۰.۲۰	۱.۰۰	۰.۴۰	۰.۶۰
	۶ کیلومتر	۰.۷۰	۱.۵۰	۰.۷۰	۰.۳۰	۱.۰۰	۰.۹۰	۰.۱۰
بروجرد	۲۷ کیلومتر	۰.۷۰	۱.۴۰	۰.۷۰	۰.۳۰	۱.۰۰	۰.۶۰	۰.۴۰
	۱۸ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۳۰	۰.۸۰	۰.۲۰	۱.۰۰	۰.۵۰	۰.۵۰
	۹ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۲۰	۰.۷۰	۰.۲۰	۰.۹۰	۰.۴۰	۰.۵۰
	۶ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۰۰	۰.۷۰	۰.۲۰	۰.۹۰	۰.۳۰	۰.۶۰
پلدختر	۲۷ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۳۰	۰.۷۰	۰.۳۰	۰.۹۰	۰.۴۰	۰.۵۰
	۱۸ کیلومتر	۰.۷۰	۱.۳۰	۰.۶۰	۰.۳۰	۰.۹۰	۰.۴۰	۰.۵۰
	۹ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۲۰	۰.۷۰	۰.۲۰	۰.۹۰	۰.۳۰	۰.۶۰
	۶ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۱۰	۰.۷۰	۰.۲۰	۰.۹۰	۰.۳۰	۰.۶۰
ازنا	۲۷ کیلومتر	۰.۷۰	۱.۴۰	۰.۷۰	۰.۳۰	۱.۰۰	۰.۶۰	۰.۴۰
	۱۸ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۳۰	۰.۷۰	۰.۲۰	۱.۰۰	۰.۵۰	۰.۵۰
	۹ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۲۰	۰.۸۰	۰.۲۰	۱.۰۰	۰.۳۰	۰.۷۰
	۶ کیلومتر	۰.۹۰	۱.۳۰	۰.۸۰	۰.۲۰	۱.۰۰	۰.۲۰	۰.۸۰
دورود	۲۷ کیلومتر	۰.۸۱	۱.۳۱	۰.۷۶	۰.۲۴	۱.۰۰	۰.۴۶	۰.۵۴
	۱۸ کیلومتر	۰.۸۱	۱.۳۱	۰.۷۶	۰.۲۴	۱.۰۰	۰.۴۶	۰.۵۴
	۹ کیلومتر	۰.۸۱	۱.۳۱	۰.۷۶	۰.۲۴	۱.۰۰	۰.۴۶	۰.۵۴
	۶ کیلومتر	۰.۸۵	۱.۲۶	۰.۸۰	۰.۲۰	۱.۰۰	۰.۳۸	۰.۶۳
کوهدشت	۲۷ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۴۰	۰.۷۰	۰.۳۰	۱.۰۰	۰.۴۰	۰.۶۰
	۱۸ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۴۰	۰.۷۰	۰.۳۰	۱.۰۰	۰.۴۰	۰.۶۰
	۹ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۳۰	۰.۸۰	۰.۲۰	۱.۰۰	۰.۳۰	۰.۷۰
	۶ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۴۰	۰.۷۰	۰.۳۰	۱.۰۰	۰.۳۰	۰.۸۰
نورآباد	۲۷ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۲۰	۰.۷۰	۰.۲۰	۰.۹۰	۰.۴۰	۰.۵۰
	۱۸ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۲۰	۰.۸۰	۰.۲۰	۱.۰۰	۰.۳۰	۰.۷۰
	۹ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۲۰	۰.۸۰	۰.۲۰	۰.۹۰	۰.۴۰	۰.۶۰
	۶ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۱۰	۰.۸۰	۰.۲۰	۰.۹۰	۰.۳۰	۰.۶۰
رومشکان	۲۷ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۳۰	۰.۸۰	۰.۲۰	۱.۰۰	۰.۴۰	۰.۶۰
	۱۸ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۲۰	۰.۷۰	۰.۲۰	۰.۹۰	۰.۳۰	۰.۶۰
	۹ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۳۰	۰.۸۰	۰.۲۰	۱.۰۰	۰.۴۰	۰.۶۰
	۶ کیلومتر	۰.۸۰	۱.۱۰	۰.۷۰	۰.۲۰	۰.۹۰	۰.۳۰	۰.۷۰

کمیت PSS

کمیت PSS که امتیاز مهارتی پیرس است، بهبود ٦٠ تا ٧٥ درصدی را بصورت کلی نشان می‌دهد. بالاترین بهبود در ایستگاه‌های الیگودرز و کوهدشت برای دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۷٦ ثبت شده است. بهترین بهبود در ایستگاه خرم-آباد در دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/٦۲، ایستگاه الشتر دامنه ۲۷ کیلومتر با مقدار ۰/۷۵، ایستگاه الیگودرز دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۷٦، ایستگاه بروجرد دامنه ۱۸کیلومتر با مقدار ۰/٦۸، ایستگاه ازنا دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۷۵، ایستگاه درود دامنه‌های ۱۸ و ۹ کیلومتر با مقدار ۰/٦۵، ایستگاه کوهدشت دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۷٦، ایستگاه نورآباد دامنه‌های ۲۷ و ۹ و ۱۸ کیلومتر با مقدار ۰/٦٦، ایستگاه رومشکان دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۷۱ مشاهده می‌شود. نتایج حاصله نشان می‌دهد که دامنه‌های ۲۷ و ۹ کیلومتر در اکثر ایستگاه‌های استان توانسته بهترین بهبود را داشته باشد.

کمیت H

کمیت H مقدار آهنگ برخورد و بیانگر آن است که بیش از ۹۰ درصد مواردی که بارش رخ داده است مدل موفق به پیش‌بینی آن‌ها شده است. بهترین مقادیر این کمیت در ایستگاه‌های مورد مطالعه عبارتند از: خرم‌آباد دامنه‌های ۲۷ و ۱۸ کیلومتر، الشتر دامنه‌های ۲۷ و ۹، ایستگاه الیگودرز دامنه‌های ۱۸ و ۹، ایستگاه بروجرد دامنه‌های ۲۷ و ۹ کیلومتر، ایستگاه پلدختر دامنه‌های ۲۷ و ۹ کیلومتر، ایستگاه ازنا دامنه ۲۷ کیلومتر، ایستگاه درود دامنه‌های ۲۷ و ۱۸ و ۹ کیلومتر، ایستگاه کوهدشت دامنه‌های ۲۷ و ۹ کیلومتر، ایستگاه نورآباد دامنه ۲۷ کیلومتر، ایستگاه رومشکان دامنه‌های ۲۷ و ۹ کیلومتر که همگی با مقدار ۱ یعنی ۱۰۰ درصد مواردی که بارش رخ داده‌های مدل به‌خوبی موفق به پیش‌بینی شده است. بطور کلی در این کمیت دامنه‌های ۲۷ و ۹ کیلومتر در سطح استان لرستان دارای بهترین عملکرد بوده‌اند.

کمیت F

کمیت F نشان می‌دهد که در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه بیش از ۳۰ درصد از مواردی که بارش رخ نداده است مدل WRF با دامنه‌های مذکور به اشتباه پیش‌بینی وقوع داده است. کمترین مقدار این کمیت در ایستگاه خرم‌آباد مربوط به دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۳۳، ایستگاه الشتر دامنه‌های ۲۷ و ۱۸ کیلومتر با مقدار ۰/۲۵، ایستگاه الیگودرز دامنه‌های ۱۸ و ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۲۱، ایستگاه بروجرد دامنه‌های ۲۷ و ۱۸ کیلومتر با مقدار ۰/۳۲، ایستگاه پلدختر دامنه ۱۸ کیلومتر با مقدار ۰/۲٦، ایستگاه ازنا دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۲۱، ایستگاه درود دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۲٤، ایستگاه کوهدشت دامنه ۹ کیلومتر با مقدار ۰/۲٤ و دامنه ٦ کیلومتر برای ایستگاه‌های نوراباد و رومشکان با مقدار ۰/۲۱ به‌دست آمده است. پیش‌بینی‌های دامنه ۹ کیلومتر دارای کمترین میزان خطا در ارتباط با عدم پیش‌بینی رخداد بارش می‌باشد.

کمیت FAR

با توجه به اینکه مقدار کمیت FAR ک در هر ٤ دامنه WRF27,WRF18,WRF9,WRF6برای اکثر نقاط استان بین ۱۰ تا ٤۰ درصد است، تنها ۱۰ تا ٤۰ درصد از پیش‌بینی‌های وقوع بارش رخ نداده است. دامنه ۹ کیلومتر ایستگاه خرم‌آباد با مقدار ۰/۳۵، دامنه ۲۷ کیلومتر ایستگاه الشتر با مقدار ۰/۲۳، دامنه ۹ کیلومتر ایستگاه الیگودرز با مقدار ۰/۱۷، دامنه‌های ۱۸ و ۲۷ ایستگاه بروجرد با مقدار ۰/۳۱، دامنه‌های ۲۷ و ۱۸ کیلومتر ایستگاه پلدختر با مقدار ۰/۳٤، دامنه ۹ کیلومتر ایستگاه ازنا با مقدار ۰/۲۲، دامنه ٦ کیلومتر ایستگاه درود با مقدار ۰/۲۵، دامنه ۹ کیلومتر ایستگاه کوهدشت با مقدار ۰/۳۰، دامنه ٦ کیلومتر برای ایستگاه‌های نورآباد و رومشکان با مقدار ۰/۳۲ دارای کمترین مقدار خطا در ارتباط با پیش‌بینی وقوع بارش هستند. نتایج حاصل از این کمیت نشان می‌دهد که دامنه ۹ کیلومتر دارای کمترین مقدار خطا می‌باشد.

مقایسه کمیت‌های درستی سنجی میان پیش‌بینی‌های ۲٤ و ٤۸ ساعته

نتایج کمیت‌های درستی سنجی بصورت میانگین در سطح استان برای هر ٤ دامنه مذکور و در بازه‌های زمانی ۲٤ و ٤۸ ساعته در نمودارهای (۳) تا (۹) نشان داده شده اند.

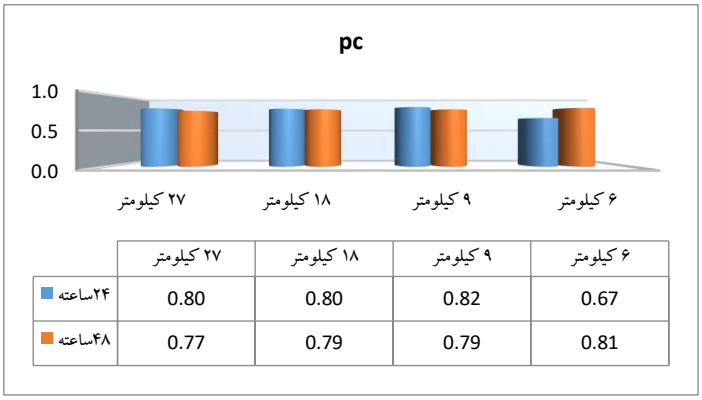
نتایج به‌دست آمده از امتیاز مهارتی PC نشان داد که در بازه زمانی ۲٤ ساعته، دامنه‌های ۲۷، ۱۸ و ۹ کیلومتر در بیش از ۸۰ درصد موارد توانسته اند وقوع یا عدم وقع بارش در سطح استان را به درستی پیش‌بینی نمایند. بررسی‌های به عمل آمده برای بازه زمانی ٤۸ ساعته نشان داد که دامنه‌های ۱۸، ۹ و ٦ کیلومتر در بیش از ۷۹ درصد صحت وقوع یا عدم وقع بارش را بدرستی نشان داده‌اند (نمودار (۳)).

بررسی کمیت اریبی B نیز نشان می‌دهد که تعداد پیش‌بینی‌های وقوع بارش برای بازه زمانی ۲٤ ساعته در دامنه‌های مورد بررسی بین ۱/۳۹ تا ۱/٤۹ درصد بیشتر از مواردی است که بارش اتفاق افتاده است که بیانگر فزونی پیش‌بینی وقوع بارش نسبت به رخداد بارش است. برای پیش‌بینی در بازه زمانی ٤۸ ساعته این کمیت قدری بهبود یافته و دارای خطای کمتری می‌باشد (نمودار (٤)).

میانگین کمیت TS در پیش‌بینی برای بازه زمانی ۲٤ ساعته بیش از ٦٦ درصد برای دامنه‌های ۲۷، ۱۸ و ۹ کیلومتر است که با افزایش بازه زمانی پیش‌بینی به ٤۸ ساعت این کمیت بهبود یافته و در هر ٤ دامنه به بیش از ۷۲ درصد رسیده است (نمودار (۵)).

کمیت FAR در بازه زمانی ۲٤ ساعته برای هر ٤ دامنه به‌صورت میانگین از ۲۹ تا ۳۸ درصد متغیر است و بیانگر آن است که تنها ۲۹ تا ۳۸ درصد از پیش‌بینی‌های وقوع بارش رخ محقق نشده‌اند. در بازه زمانی ٤۸ ساعته این کمیت نیز قدری بهبود یافته و به ۲۱ تا ۲٦ رسیده است (نمودار (٦)).

نتایج بررسی کمیت آهنگ برخورد H در بازه زمانی ۲٤ ساعته بیانگر آن است که سه دامنه ۲۷، ۱۸ و ۹ کیلومتر توانایی بالایی را برای پیش‌بینی وقوع بارش مثبت داشته‌اند. همچنین در بازه زمانی ٤۸ ساعت تقریبا هر ٤ دامنه از قدرت بالایی برخوردار بوده‌اند (نمودار (۷)).

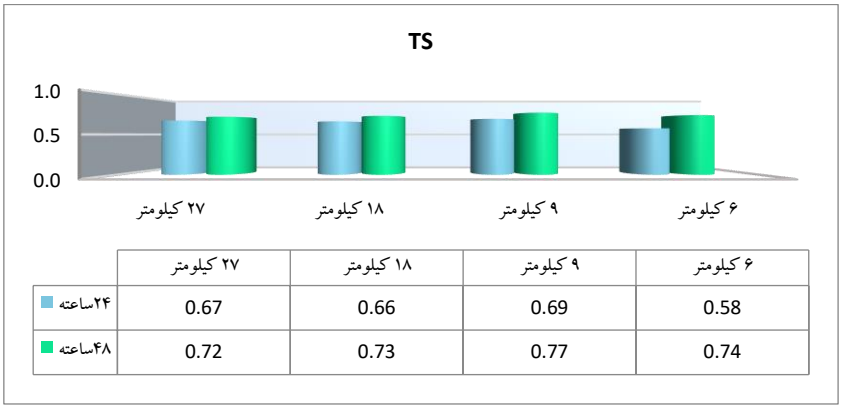


	۲۷ کیلومتر	۱۸ کیلومتر	۹ کیلومتر	۶ کیلومتر
۲۴ساعته	0.80	0.80	0.82	0.67
۴۸ساعته	0.77	0.79	0.79	0.81

نمودار ۳- مقایسه میانگین کمیت PC درستی سنجی در بازه‌های ۲٤و ٤۸ ساعته با اجراهای مختلف مدل WRF برای استان لرستان

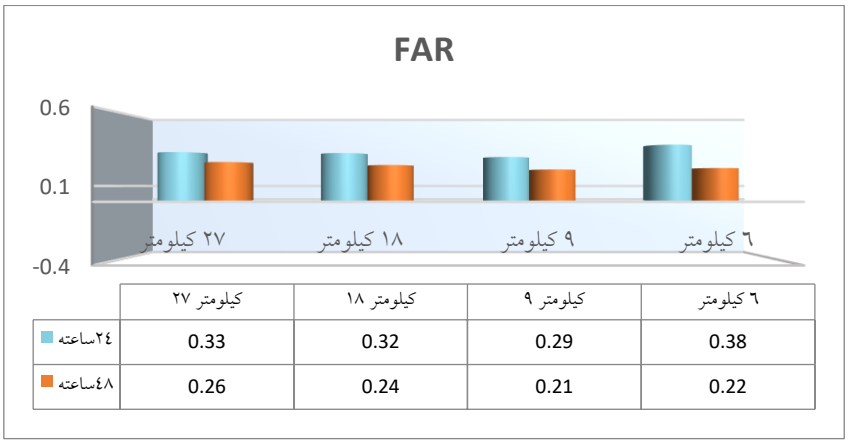
	۲۷ کیلومتر	۱۸ کیلومتر	۹ کیلومتر	۶ کیلومتر
۲۴ساعته	1.49	1.42	1.39	1.42
۴۸ساعته	1.35	1.3	1.24	1.21

نمودار ٤- مقایسه میانگین کمیت B درستی سنجی در بازه‌های ۲٤و ٤۸ ساعته با اجراهای مختلف مدل WRF برای استان لرستان



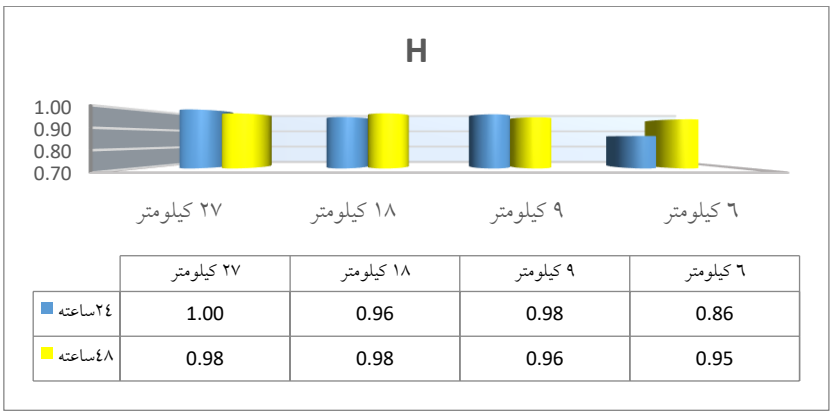
	۲۷ کیلومتر	۱۸ کیلومتر	۹ کیلومتر	۶ کیلومتر
۲۴ساعته	0.67	0.66	0.69	0.58
۴۸ساعته	0.72	0.73	0.77	0.74

نمودار ۵- مقایسه میانگین کمیت TS درستی سنجی در بازه‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته با اجراهای مختلف مدل WRF برای استان لرستان



	۲۷ کیلومتر	۱۸ کیلومتر	۹ کیلومتر	۶ کیلومتر
۲۴ساعته	0.33	0.32	0.29	0.38
۴۸ساعته	0.26	0.24	0.21	0.22

نمودار ۶- مقایسه میانگین کمیت FAR درستی سنجی در بازه‌های ۲۴و ۴۸ ساعته با اجراهای مختلف مدل WRF برای استان لرستان



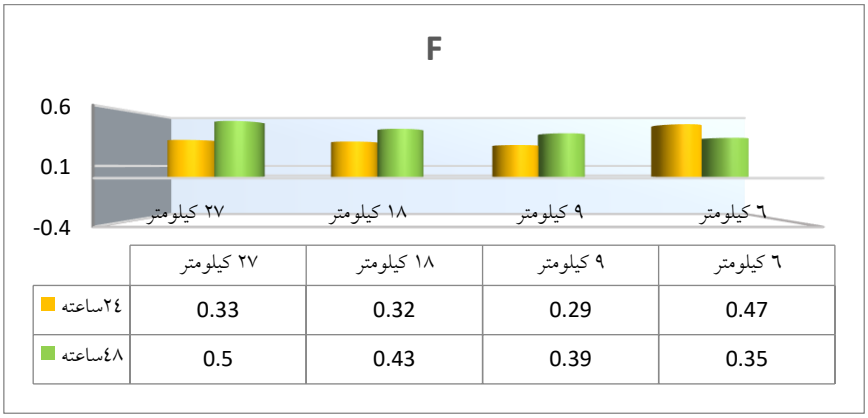
	۲۷ کیلومتر	۱۸ کیلومتر	۹ کیلومتر	۶ کیلومتر
۲۴ساعته	1.00	0.96	0.98	0.86
۴۸ساعته	0.98	0.98	0.96	0.95

نمودار ۷- مقایسه میانگین کمیت H درستی سنجی در بازه‌های ۲۴و ۴۸ ساعته با اجراهای مختلف مدل WRF برای استان لرستان

بررسی میانگین کمیت F نشان می‌دهد در بازه زمانی ۲۴ ساعته برای دامنه‌های ۹، ۱۸ و ۲۷ بین ۲۹ تا ۳۳ درصد از مواردی که بارش رخ نداده است مدل به اشتباه پیش‌بینی وقوع داده است که این خطا برای دامنه ۶ کیلومتر ۴۷ درصد بوده‌است. در بازه زمانی ۴۸ ساعته میزان این خطا برای ۴ دامنه به ۳۵ تا ۵۰ درصد رسیده که نشان دهنده افزایش این نوع خطا با افزایش بازه زمانی است (نمودار (۸)).

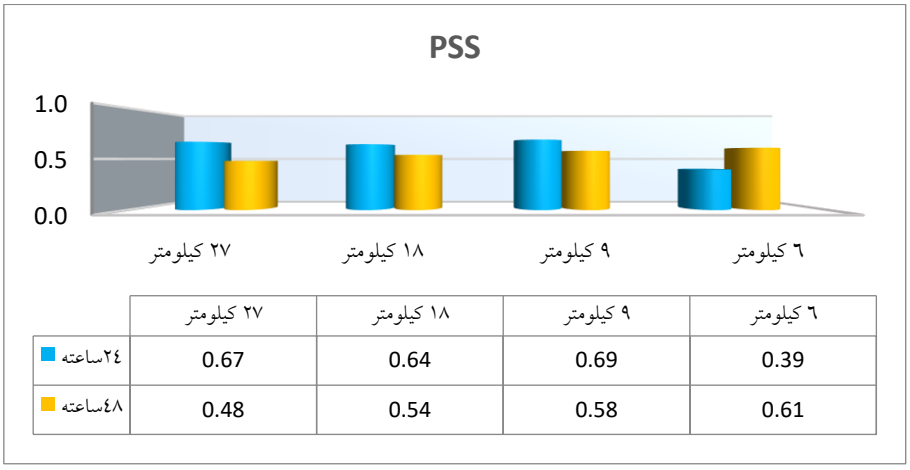
بررسی کمیت PSS که امتیاز مهارتی پیرس است، در بازه زمانی ۲۴ ساعته بهبود ۳۹ تا ۶۹ درصدی را برای دامنه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که در این بین دامنه‌های ۹ و ۲۷

کیلومتر دارای عملکرد بهتری می‌باشند. در بازه زمانی ٤٨ ساعته مقدار این کمیت به ٤٨ تا ٦١ درصد رسیده است که برخلاف بازه زمانی ٢٤ ساعته بهترین مقدار مربوط به دامنه ٦ کیلومتر است (نمودار (٩)).



	۲۷ کیلومتر	۱۸ کیلومتر	۹ کیلومتر	٦ کیلومتر
٢٤ساعته	0.33	0.32	0.29	0.47
٤٨ساعته	0.5	0.43	0.39	0.35

نمودار ٨- مقایسه میانگین کمیت F درستی سنجی در بازه‌های ٢٤ و ٤٨ ساعته با اجراهای مختلف مدل WRF برای استان لرستان



	۲۷ کیلومتر	۱۸ کیلومتر	۹ کیلومتر	٦ کیلومتر
٢٤ساعته	0.67	0.64	0.69	0.39
٤٨ساعته	0.48	0.54	0.58	0.61

نمودار ٩- مقایسه میانگین کمیت‌های درستی سنجی پیش‌بینی وقوع بارش در بازه‌های ٢٤و ٤٨ ساعته اجراهای مختلف مدل WRF برای استان لرستان

نتیجه گیری

* نتایج به‌دست آمده از امتیاز مهارتی PC نشان داد که در بازه زمانی ٢٤ ساعته، دامنه‌های ٢٧، ١٨ و ٩ کیلومتر در بیش از ٨٠ درصد موارد توانسته‌اند وقوع یا عدم وقع بارش در سطح استان را به درستی پیش‌بینی نمایند که این امتیاز برای دامنه ٦ کیلومتر کمینه و به میزان ٦٧ درصد بوده است. همچنین بررسی‌های به عمل آمده برای بازه زمانی ٤٨ ساعته نشان داد که همه دامنه‌ها در بیش از ٧٧ درصد موارد صحت وقوع یا عدم وقوع بارش را بدرستی نشان داده‌اند.

* میانگین کمیت اریبی B برای ٤ دامنه نشان داد که تعداد پیش‌بینی‌های وقوع بارش برای بازه زمانی ٢٤ ساعته در دامنه‌های مورد بررسی بین ١/٣٩ تا ١/٤٩ درصد بیشتر از مواردی است که بارش اتفاق افتاده است که بیانگر بیشتر بودن پیش‌بینی وقوع بارش نسبت به رخداد بارش است. برای پیش‌بینی در بازه زمانی ٤٨ ساعته این کمیت قدری بهبود یافته و دارای خطای کمتری می‌باشد.

* میانگین کمیت TS در پیش‌بینی برای بازه زمانی ٢٤ ساعته بیش از ٦٦ درصد برای دامنه‌های ٢٧، ١٨ و ٩ کیلومتر است که با افزایش بازه زمانی پیش‌بینی به ٤٨ ساعت این کمیت بهبود یافته و در هر ٤ دامنه به بیش از ٧٢ درصد رسیده است.

* کمیت FAR در بازه زمانی ٢٤ ساعته برای هر ٤ دامنه بصورت میانگین از ۲۹ تا ۳۸ درصد متغیر است و بیانگر آن است که تنها ۲۹ تا ۳۸ درصد از پیش‌بینی‌های وقوع بارش محقق نشده‌اند. در بازه زمانی ٤٨ ساعته این کمیت نیز قدری بهبود یافته و به ۲۱ تا ٢٦ رسیده است.

* نتایج بررسی کمیت آهنگ برخورد H در بازه زمانی ٢٤ ساعته بیانگر آن است که سه دامنه ۲۷، ۱۸ و ۹ کیلومتر توانایی بالایی را برای پیش‌بینی وقوع بارش مثبت داشته‌اند. همچنین در بازه زمانی ٤٨ ساعته تقریبا هر ٤ دامنه از قدرت بالایی برخوردار بوده اند.

* بررسی میانگین کمیت F نشان می‌دهد در بازه زمانی ٢٤ ساعته برای دامنه‌های ۹، ۱۸ و ۲۷ بین ۲۹ تا ۳۳ درصد از مواردی که بارش رخ نداده است مدل به اشتباه پیش‌بینی وقوع داده است که این خطا برای دامنه ٦ کیلومتر ٤٧ درصد می‌باشد. در بازه زمانی ٤٨ ساعته میزان این خطا برای ٤ دامنه به ۳۵ تا ۵۰ درصد رسیده که نشان دهنده افزایش این نوع خطا با افزایش بازه زمانی است.

* بررسی کمیت امتیاز مهارتی پیرس PSS در بازه زمانی ٢٤ ساعته بهبود ۳۹ تا ٦۹ درصدی را برای دامنه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که در این بین دامنه‌های ۹ و ۲۷ کیلومتر دارای عملکرد بهتری می‌باشند. در بازه زمانی ٤٨ ساعته مقدار این کمیت به ٤٨ تا ٦١ درصد رسیده است که برخلاف بازه زمانی ٢٤ ساعته بهترین مقدار مربوط به دامنه ٦ کیلومتر است.

* برای پیش‌بینی ٢٤ ساعته بطور متوسط دامنه ۲۷ کیلومتر بیشترین امتیاز میانگین خطای مطلق و دامنه ٦ کیلومتر کمترین میزان این کمیت را به ترتیب با مقادیر ۰/۰۷ و ۰/۰۸- به خود اختصاص داده‌اند.

* برای پیش‌بینی ٤٨ ساعته بطور متوسط دامنه ۲۷ کیلومتر بیشترین امتیاز میانگین خطای مطلق و دامنه ٦ کیلومتر کمترین میزان این کمیت را به ترتیب با مقادیر ۰/۱۱ و ۰/۰۲- به خود اختصاص داده‌اند.

پیشنهادات

* به منظور ارزیابی دقیق‌تر مدل، انجام مطالعات موردی بیشتر در فصول مختلف سال پیشنهاد می‌گردد.

* بازه زمانی اجرای مدل افزایش یابد.

* مدل با طرحواره‌های مختلف اجرا گردد.

* از سایر روش‌های پس پردازش مانند بهترین برآورد کننده سیستماتیک جهت بررسی چگونگی بهبود بروندادها استفاده شود.

* نتایج حاصل از درستی سنجی در این پژوهش برای روزهای همراه با بارش بوده است و آستانه خاصی برای مقادیر بارش در نظر گرفته نشده است، پیشنهاد می‌گردد برای اینکه ضعف نسبی مدل بهبود یابد کمیت‌های درستی سنجی برای آستانه‌های مشخص (بارش سبک، بارش متوسط و بارش سنگین) به‌دست آیند.

* نتایج بروندادهای این پژوهش با مدل‌های GFS و ECMWF مقایسه گردد.

منابع

1. Afandi, G., Morsy, M., El Hussieny, F. 2013. Heavy rainfall simulation over Sinai Peninsula using the weather research and forecasting model. Inter. J. Atm. Sci. pp: 1-11
2. Amini, Leila; Pious, David; Khakian, Gholamreza; 2013 "The role of the wrf numerical model in numerically predicting heavy rains in Isfahan province with a resolution of 27, 9 and 3 km", the second national conference on flood management and engineering with an urban flood approach.
3. Azadi M., P. Rezazadeh, E. Mirzaei, G. A. Vakili, 2003, Numerical Forecast of Winter Systems over Iran: Comparision Study of Physic parameterization, 12th Fluid Conference, Iran.
4. Azadi, Majid; Rezazadeh, Parviz; Mirzaei, Ibrahim; Vakili, Gholam Ali; 1382 "Numerical prediction of winter systems over Iran: a comparative study of physical parameterizations", 8th Conference on Fluid Dynamics.
5. Azadi, Majid; Taghizadeh, Ehsan; Memarian, Mohammad Hossein; 1389 "Comparison of rainfall forecast in MM5 and WRF regional model over Iran", 14th Iran Geophysics Conference, 148-152.
6. Azadi, Majid; Taghizadeh, Ehsan; Memarian, Mohammad Hossein; 2013 "Validation of precipitation forecast of the Weather Research and Weather Forecasting Model (WRF) over

Iran in the eight-month period from November 2008 to June 2009" Iran Water Resources Research Journal, eighth year, number 2, 48-59.
7. Azadi, Majid; Vashani, Saeed; Hijam, Sohrab; 2013 "Prediction of precipitation probabilities using post processing of the output of a Hamadi system", Journal of Earth and Space Physics, Volume 38, Number 3, 2016-203.
8. Courant, R., Friedrichs, K. and Lewy, H., 1928, Über die partiellen Differenzengleichungen der mathematischen Physik. Mathematische Annalen, 100(1), 32–74.
9. Cunningham, J., T. Nobis, E. Kuchera, S. Rentschler, S Rugg, M. Sittel, 2007, *Jont Ensemble Forecast System (JEFS) Project UPDATE*. Air Force Weather Agency, Offutt AFB, NE 68113.
10. Gasabi, Zahra; Kamali, Gholam Ali; Meshkouti, Amir Hossein; Hejam, Sohrab; Javaheri, Nasraleh; 2013 "Evaluation of the performance of micro-physical parameterization schemes and WRF model convection in precipitation estimation in the Karun watershed in southwest Iran," Climatology Research, 5th year, 10-1.
11. Gooderzi, Leila; Bani Habib, Mohammad Ibrahim; Ghaffarian, Parvin; 2017 "Investigation of synoptic-dynamic patterns of convective and non-convective heavy rainfall events" Water and Soil Conservation Research (Agricultural Sciences and Natural Resources), Volume 25, Number 1, 229-242.
12. Hedayati, Akram; Azadi, Majid; 1389 "Verification of MM5 regional model precipitation forecast over Iran" Journal of Earth and Space Physics, Volume 26, Number 3, 115-129.
13. Hong S. Y., J. O Jade Lim, 2006, *The WRF Single-Moment 6-Class Microphysics Scheme (WSM6)*. Journal of Korean Meteorological Society, No. 42, 2, pp. 129-151.
14. Jankov I., W.A. Jr. Gallus, M. Segal, B. Shaw, S. E. Koch, 2005, The Impact of Different WRF Model Physical parameterizations and Their Interactions on Warm Season MCS Rainfall. Wea. Forecasting, No. 20, pp. 1048-1060.
15. Jucker, M., Lane, T. P., Vincent, C. L., Webster, S., Wales, S. A., Louf, V., 2020, Locally forced convection in subkilometre-scale simulations with the Unified Model and WRF, Q.J.R. Meteorol. Soc., 146-732, 3450-3465.
16. Kalverla, P., Steeneveld, G., Ronda, R., Holtslag, A., 2019, Evaluation of three mainstream numerical weather prediction models with observations from meteorological mast IJmuiden at the North Sea, Wind Energy, 22, 34-38.
17. Kryza, M., Werner, M., Wałszek, K., and Dore, A.J. 2013. Application and evaluation of the WRF model for high-resolution forecasting of rainfall-a case study of SW Poland. Meteorologische Zeitschrift. 22: 5. 595-601.
18. Moradi, Mohammad; Mortezapour, Saman; 2017 "Post-processing of WRF model output using moving average method for temperature, dew point temperature, maximum temperature and minimum temperature, in Rasht Airport weather station", Meteorology and Atmospheric Sciences, No. 2, 152-148.
19. Nouri, Hamid; Ghayor, Hassan Ali; Masoudian, Abolfazl; Azadi, Majid; 2012 "Investigation of synoptic-dynamic patterns of convective and non-convective heavy rainfall events" Geographical Research, 109, 239-215.
20. Partridge, T. F., Winter, J. M., Kendall, A. D., Hyndman D.W., 2021, Cross-scale evaluation of dynamic crop growth in WRF and Noah-MP-Crop, Agricultural and Forest Meteorology, 296, 108217.
21. Ranjbar, Abbas; Tajbakhsh, Sahar; Moradi, Mohammad; 2017 "Study of short-term convective rains leading to floods in Ken and Sijan region (case study: July 28, 2014)" Meteorology and Atmospheric Sciences, Volume 1, Number 2, 176-163.
22. Taqvi, Farhanaz; Nistani, Abolfazl; Sarmad, Qadir; 2013 "Scrutiny of accuracy and accuracy of different schemes of WRF model and evaluation of rainfall forecast in Iran", Journal of Earth and Space Physics, Volume 39, Number 2, 145-170.
23. Warner, T., 2010: Numerical Weather and Climate Prediction. Cambridge: Cambridge University Press. 125.
24. Wilks, D. S., (2006) Statistical methods in the atmospheric sciences, Second Edition, Academic Press. Elsevier Inc.U.S.A., 627.
25. Zuljudi, Mojtaba; Judge Mirsaid, Mozhgan; Sifari, Zahra; 2013 "Scrutiny of validity and accuracy of different schemes of WRF model and evaluation of rainfall forecast in Iran", Geographical Research, 109, 187-194.
26. http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users
27. http://www.vapor.ncar.edu
28. http://www.dtcenter.org/met/users/
29. http://www.Asmerc.ac.ir