

راستی آزمایی برونداد مدل WRF برای بارندگی بر روی کشور ایران در دوره فوریه تا انتهای می سال ۲۰۰۹

زینب ذاکری^۱، مجید آزادی^۲، فاطمه صحرائیان^۳

۱- کارشناس ارشد مرکز پردازش فوق سریع داده‌های هواشناسی، سازمان هواشناسی کشور

۲- دانشیار پژوهشکده هواشناسی

۳- مربی پژوهشکده هواشناسی

چکیده

در این مطالعه برونداد مدل WRF^۱ برای پیش‌بینی بارش در مناطق مختلف کشور در بازه زمانی ابتدای فوریه تا انتهای می سال ۲۰۰۹ میلادی برای پیش‌بینی‌های ۴۲، ۶۶ و ۹۰ ساعته مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور برونداد بارندگی تجمعی مدل WRF در دوره زمانی مذکور با مقادیر متناظر دیدبانی یعنی بارندگی تجمعی ۲۴ ساعته در ۳۳۶ ایستگاه هواشناسی هم‌مدیدی در سطح کشور مقایسه شده است. با در نظر گرفتن آستانه‌های متفاوت برای بارش و تشکیل جدول توافقی برای وقوع یا عدم وقوع بارش در آستانه‌های مختلف، کمیت‌های عددی مربوط به مهارت مدل محاسبه و تحلیل شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که نزدیک به هفتاد و پنج درصد موارد از پیش‌بینی‌ها درست بوده است. هر چند مهارت مدل در پیش‌بینی بارش برای آستانه‌های مختلف متفاوت است به گونه‌ای که با افزایش آستانه بارش مهارت مدل در پیش‌بینی مقدار بارندگی کاهش می‌یابد. در مجموع به نظر می‌رسد مدل از قابلیت به نسبت مطلوبی برای پیش‌بینی بارندگی در چارچوب عملیاتی در منطقه ایران برخوردار است.

کلمات کلیدی: پیش‌بینی عددی بارش، مدل WRF، راستی آزمایی، جدول توافقی

مقدمه

مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا امروزه کاربرد گسترده‌ای در پیش‌بینی وضع هوا دارند. اما به دلایل مختلفی اعم از کاستی‌های موجود در بخش‌های مختلف مدل به ویژه بخش فیزیک آن و یا عدم قطعیت موجود در شرایط اولیه، پیش‌بینی این مدل‌ها دارای خطا می‌باشد. برای استفاده هوشمندانه و صحیح و نیز بهبود فرایند مدل‌سازی باید برآوردی از کیفیت پیش‌بینی آن مدل داشته باشیم.

راستی آزمایی یک پیش‌بینی، فرایندی به منظور ارزیابی کیفیت پیش‌بینی است. این فرایند را اعتبارسنجی یا ارزیابی نیز می‌نامند. راستی آزمایی پیش‌بینی وضع هوا از سال ۱۸۸۴ مطرح شده است و از آن زمان تاکنون روش‌های متنوعی برای انجام راستی آزمایی پیشنهاد شده است. تمام این روش‌ها شامل تعیین سنجه‌هایی برای مقایسه بین پیش‌بینی و دیدبانی‌های متناظر (یا بهترین برآورد از دیدبانی) می‌باشد. بنابراین در اساس تمام روش‌های راستی آزمایی شامل مقایسه جفت‌های پیش‌بینی و دیدبانی و بررسی ارتباط بین این دو است. مهم‌ترین دلایل لزوم انجام راستی آزمایی پیش‌بینی را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود.

- لزوم نظارت بر کیفیت پیش‌بینی بهبود کیفیت پیش‌بینی مقایسه کیفیت سامانه‌های پیش‌بینی مختلف به طور کلی برای ارزیابی هر پیش‌بینی سه ویژگی زیر باید مورد بررسی قرار گیرد.
- سازگاری: معیاری است از درجه تطابق یک پیش‌بینی با بهترین قضاوت یک پیش‌بین.
- کیفیت: معیاری است از درجه تطابق پیش‌بینی با رخداد واقعی.
- ارزش: معیاری است که به کمک آن می‌توان ارزش اقتصادی یک پیش‌بینی و میزان سودی که در صورت استفاده از پیش‌بینی در تصمیم‌گیری‌ها عاید می‌شود را با آن سنجید.

طیف گسترده‌ای از شیوه‌های راستی آزمایی پیش‌بینی وجود دارد. در سال‌های اخیر ذوالجودی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی صحت و دقت طرحواره‌های مختلف مدل WRF و ارزیابی پیش‌بینی بارش در یک دوره ۶ ماهه از ابتدای ژانویه

تا ابتدای ژوئن ۲۰۰۸ پرداختند. نتایج گویای آن است که در بین پیکربندی‌های مختلف، خروجی مدل برای دو پیکربندی GDMYJ و KFMYJ که در هر دو از طرحواره لایه مرزی Mellor-Yamada-Janjic استفاده شده، به واقعیت نزدیکتر و از دقت قابل قبول‌تری برخوردار است.

تقوی و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی پیش‌بینی‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته بارش کمی مدل WRF در مناطق گوناگون ایران در دوره یک ماهه (فوریه ۲۰۰۷) پرداخته‌اند. نتایج این بررسی نشان داد که امتیازات مهارتی برای آستانه‌های متفاوت روی حوزه مورد تحقیق برای کل بازه یک ماهه و روزهای اوج بارش، بیانگر عملکرد به نسبت مطلوب مدل در رخداد بارش در بیشتر نواحی است. برای آستانه بارش ۰/۱ میلی‌متر مدل در بیشتر ایستگاه‌های همدیدی منتخب تعداد دفعات بارش را به درستی برآورد می‌کند و امتیاز مهارتی مطلوبی دارد اگرچه هنوز دامنه بارش‌های برآورد شده دارای مشکلاتی است. در این تحقیق راستی آزمایی با استفاده از جدول توافقی برای پیش‌بینی‌های دو دویی برای ارزیابی کیفیت پیش‌بینی بارش مدل WRF در آستانه‌های مختلف در بازه زمانی سه ماهه از ابتدای فوریه تا انتهای می سال ۲۰۰۹ میلادی برای پیش‌بینی‌های ۴۲، ۶۶ و ۹۰ ساعته مورد استفاده قرار گرفته است. شایان گفتن است که انتخاب این بازه زمانی به علت رخداد بارش‌های به نسبت خوب و گسترده در سراسر کشور بوده است. پیکربندی مدل مورد استفاده در این بررسی در قسمت مواد و روش‌ها و نتایج بدست آمده در انتهای مقاله در قسمت نتیجه‌گیری آورده شده است.

مواد و روش‌ها

راستی آزمایی با استفاده از جدول توافقی ۲×۲

برای ارزیابی پیش‌بینی‌های دودویی معمولاً از جدول توافقی ۲×۲ استفاده می‌شود. این جدول با شمارش تعداد حالت‌های ممکن جفت پیش‌بینی-دیدبانی تشکیل می‌شود و نشان‌دهنده تابع احتمال مشترک پیش‌بینی دیدبانی برای نمونه مورد نظر می‌باشد. با فرض اینکه پیش‌بینی و دیدبانی به ترتیب با Y و O نشان داده شوند، جدول ۱ را به شکل زیر تشکیل می‌دهیم:

• دامنه بزرگ دارای تفکیک افقی ۴۵ کیلومتر می‌باشد و محدوده ۵۱-۱۰ درجه شمالی و ۸۰-۲۰ درجه شرقی را می‌پوشاند.

• دامنه کوچک دارای تفکیک افقی ۱۵ کیلومتر می‌باشد و محدوده ۴۱-۲۳ درجه شمالی و ۶۵-۴۲ درجه شرقی (کشور ایران) را می‌پوشاند.

طرحواره‌های انتخاب شده برای فیزیک مدل به شرح زیر است:

طرحواره میکروفیزیک Lin et al.، طرحواره تابش طول موج بلند RRTM، طرحواره تابش طول موج کوتاه Goddard Shortwave Scheme، طرحواره لایه سطحی Monin-Obukhov (Janjic)، طرحواره سطح زمین Unified Noah Land Surface Model، طرحواره لایه مرزی Miller - Yamada- Janjic TKE، طرحواره همرفتی Kain-Fritsch (New Eta).

فیزیک یاد شده در بالا بر اساس نتایج یک مطالعه برای انتخاب پیکربندی مناسب مدل اختیار شده است. در این تحقیق خروجی مدل برای دامنه کوچکتر با تفکیک افقی ۱۵ کیلومتر مورد استفاده قرار گرفته است. اجرای مدل به صورت روزانه و برای ساعت UTC ۱۲ بوده و در هر اجرا پیش‌بینی تا ۱۲۰ ساعت آینده تولید می‌شود. تفکیک افقی داده‌های ناهمواری و کاربری زمین برابر ۲ دقیقه (حدود ۴ کیلومتر) می‌باشد.

نتایج

در این بخش پیش‌بینی‌های ۴۲، ۶۶ و ۹۰ ساعته دامنه ۱۵ کیلومتری مدل با دیدبانی متناظر در سطح کشور مقایسه شده است. داده‌های دیدبانی بارندگی از گزارش بارندگی تجمعی ۲۴ ساعته ایستگاه سینوپتیک و سینوپتیک تکمیلی در سطح کشور و پیش‌بینی متناظر در محل ایستگاه‌ها از روش میان‌یابی نزدیک‌ترین همسایه به دست آمده‌اند. دوره راستی آزمایشی از ابتدای فوریه تا انتهای می سال ۲۰۰۹ بوده است.

جدول شماره ۱- جدول توافقی (۲×۲)

	O ₁	O ₂	
Y ₁	a	b	a + b
Y ₂	c	d	c + d
	a+c	b+d	n=a+b+c+d

عناصر این جدول به صورت زیر تعریف می‌شوند:

O₁ تعداد دیدبانی‌های مثبت (وقوع پدیده)، O₂ تعداد دیدبانی‌های منفی (عدم وقوع پدیده)، Y₁ تعداد پیش‌بینی‌های مثبت (وقوع پدیده)، Y₂ تعداد پیش‌بینی‌های منفی (عدم وقوع پدیده)، a تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق افتاده و وقوع آن پیش‌بینی شده باشد، b تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق نیفتاده ولی وقوع آن پیش‌بینی شده باشد، c تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق افتاده و وقوع آن پیش‌بینی نشده باشد، d تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق نیفتاده و وقوع آن نیز پیش‌بینی نشده باشد.

با استفاده از جدول توافقی کمیت‌های عددی که تناظر بین توزیع‌های نمونه پیش‌بینی و دیدبانی را مقایسه می‌کنند، محاسبه می‌شوند. تعداد این کمیت‌ها بسیار زیاد است و هر کدام جنبه مختلفی از پیش‌بینی را می‌سنجند. در این مقاله برخی از مهمترین آن‌ها برای ارزیابی پیش‌بینی، محاسبه و ارایه می‌شود. برای توضیح کامل‌تر این کمیت‌ها به مراجع مختلف از جمله منبع [۱۰] مراجعه شود.

توصیف پیکربندی مدل WRF به کار رفته در این مطالعه مدل WRF یک مدل پیش‌بینی عدی وضع هوا (NWP) و یک سامانه شبیه‌سازی جوی است که برای مقاصد تحقیقاتی و عملیاتی طراحی شده است. برای آگاهی از جزئیات علمی در مورد مدل WRF به تارنمای آن به آدرس <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users> و منابع ذکر شده در آنجا مراجعه شود.

برای اجرای مدل دو دامنه در نظر گرفته شده است که مشخصات آن به شرح زیر می‌باشد:

دیگر مدل در ۷۰٪ موارد وقوع یا عدم وقوع بارندگی را درست پیش‌بینی کرده است.

BIAS میزان این کمیت حدود ۱/۷ است که نشان می‌دهد تعداد موارد پیش‌بینی وقوع بارندگی از تعداد مواردی که بارندگی واقعاً اتفاق افتاده بیشتر بوده است.

FAR نسبت هشدارهای نادرست به کل هشدارهای وقوع بارندگی حدود ۰/۵ می‌باشد. به عبارت دیگر ۵۰٪ هشدارهای وقوع بارندگی نادرست می‌باشد.

کمیت H به عنوان نسبت هشدارهای بارندگی به کل بارندگی‌های اتفاق افتاده تعریف می‌شود و مقدار آن در این جا حدود ۰/۸ است. یعنی در حدود ۸۰٪ مواردی که بارندگی اتفاق افتاده درست پیش‌بینی شده است.

در این مطالعه راستی آزمایی در دو بخش صورت گرفته است. پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع بارندگی و پیش‌بینی بارندگی برای آستانه‌های مختلف.

راستی آزمایی پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع بارندگی

در جدول ۲ پارامترهای مربوط به جدول توافقی ۲×۲ برای پیش‌بینی‌های ۴۲، ۶۶ و ۹۰ ساعته وقوع یا عدم وقوع بارندگی به همراه چند کمیت نرده‌ای مربوط به سنجش دقت پیش‌بینی آمده است. در زیر به اجمال مقادیر این کمیت‌ها را بررسی می‌کنیم.

PC این کمیت در واقع نسبت پیش‌بینی‌های درست برای وقوع یا عدم وقوع بارندگی به تعداد کل پیش‌بینی هاست. مقدار این کمیت حدود ۰/۷ به دست آمده است. به عبارت

جدول شماره ۲- نتایج راستی آزمایی پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع بارندگی

	total	A	b	c	d	PC	BIAS	FAR	H	F	TS
۴۲ساعت	۳۲۳۵۷	۶۵۹۲	۶۵۱۰	۱۱۳۶	۱۸۱۱۹	۰/۷۶	۱/۶۹	۰/۵	۰/۸۵	۰/۲۶	۰/۴۶
۶۶ساعت	۳۲۰۴۶	۶۴۱۰	۷۵۳۸	۱۳۲۳	۱۶۷۷۵	۰/۷۲	۱/۸۰	۰/۵۴	۰/۸۳	۰/۳۱	۰/۴۲
۹۰ساعت	۳۱۷۵۳	۵۹۱۷	۷۹۲۶	۱۵۹۹	۱۶۳۱۱	۰/۷۰	۱/۸۴	۰/۵۷	۰/۷۹	۰/۳۳	۰/۳۸

به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که مدل به طور نسبی در تشخیص وقوع یا عدم وقوع بارندگی موفق بوده است. اما همانطور که در جدول ۲ دیده می‌شود با زیاد شدن سن پیش‌بینی دقت پیش‌بینی تا حد قابل توجهی کاهش می‌یابد.

راستی آزمایی پیش‌بینی بارندگی برای آستانه‌های مختلف
در جداول ۳، ۴ و ۵ نتایج راستی آزمایی برای آستانه‌های مختلف بارشی (۱ mm، ۱۰ mm و ۲۰ mm) برای پیش‌بینی‌های ۴۲، ۶۶ و ۹۰ ساعته آورده شده است. همانطور که در این جداول دیده می‌شود مهارت مدل برای پیش‌بینی آستانه‌های بارش مختلف، متفاوت است. به عنوان مثال مقدار PC در جدول ۳ برای پیش‌بینی ۴۲ ساعته برای آستانه بیشتر از ۲۰ mm مقدار بیشتری از آستانه ۱ mm را نشان می‌دهد.

کمیت F یعنی نسبت تعداد پیش‌بینی‌های نادرست وقوع بارندگی به کل مواردی که بارندگی اتفاق نیافتاده حدود ۰/۳ است، به عبارت دیگر در ۳۰ درصد از روزهای بدون بارندگی هشدار نادرست صادر شده است.

کمیت TS به صورت نسبت پیش‌بینی‌های مثبت صحیح به تعداد کل روزهایی که بارندگی رخ داده یا پیش‌بینی شده است تعریف می‌شود و در این جا مقدار آن حدود ۰/۴ است به عبارت دیگر به طور میانگین در ۴۰ درصد مواردی که پیش‌بینی یا دیدبانی وقوع بارندگی مثبت بوده، پیش‌بینی هم درست بوده است. به علت حذف d در مخرج تعداد پیش‌بینی‌های منفی درست در این نسبت تاثیری ندارد.

جدول شماره ۳- کمیت‌های محاسبه شده برای پیش‌بینی ۴۲ ساعته بارندگی در آستانه‌های مختلف

Threshold (mm)	total	a	b	c	d	PC	BIAS	FAR	H	F	TS
۱<	۳۲۳۵۷	۳۹۱۲	۴۷۲۵	۱۲۷۰	۲۲۴۵۰	۰/۸۲	۱/۶۷	۰/۵۵	۰/۷۶	۰/۱۷	۰/۴
۱۰<	۳۲۳۵۷	۴۸۱	۱۳۶۶	۴۴۱	۳۰۰۶۹	۰/۹۴	۲/۰۰	۰/۷۴	۰/۵۲	۰/۰۴	۰/۲۱
۲۰<	۳۲۳۵۷	۱۱۳	۵۰۹	۱۷۹	۳۱۵۵۶	۰/۹۸	۲/۱۳	۰/۸۲	۰/۳۹	۰/۰۲	۰/۱۴

جدول شماره ۴- کمیت‌های محاسبه شده برای پیش‌بینی ۶۶ ساعته بارندگی در آستانه‌های مختلف

Thresh old (mm)	total	a	b	c	d	PC	BIAS	FAR	H	F	TS
۱<	۳۲۰۴۶	۳۷۸۶	۵۶۰۴	۱۳۵۵	۲۱۳۰۱	۰/۷۸	۱/۸۳	۰/۶	۰/۷۴	۰/۲۱	۰/۳۵
۱۰<	۳۲۰۴۶	۴۲۹	۱۶۳۱	۴۸۳	۲۹۵۰۳	۰/۹۳	۲/۲۶	۰/۷۹	۰/۴۷	۰/۰۵	۰/۱۷
۲۰<	۳۲۰۴۶	۱۱۳	۵۰۹	۱۷۹	۳۱۵۵۶	۰/۹۸	۲/۲۴	۰/۸۸	۰/۲۷	۰/۰۲	۰/۰۹

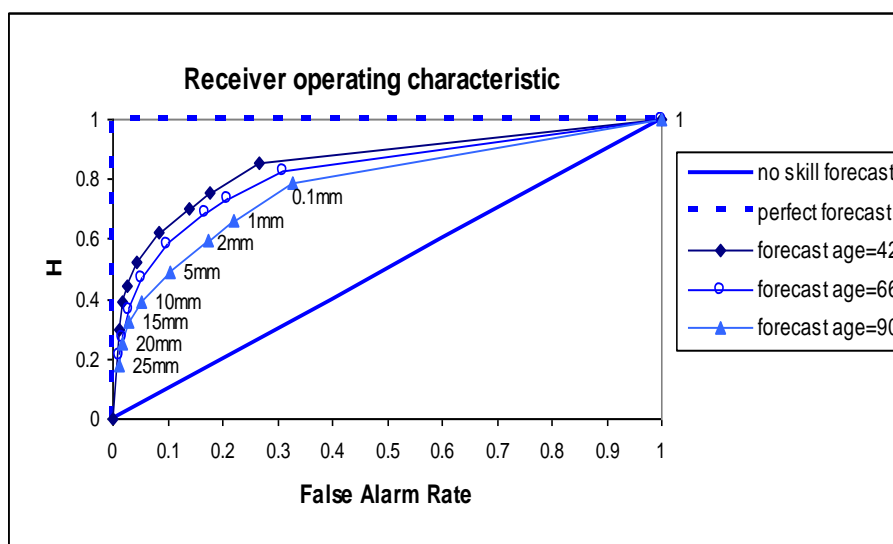
جدول شماره ۵- کمیت‌های محاسبه شده برای پیش‌بینی ۹۰ ساعته بارندگی در آستانه‌های مختلف

Threshold (mm)	پارامترهای جدول توافقی ۲×۲					دقت					
	total	a	b	c	d	PC	BIAS	FAR	H	F	TS
۱<	۳۱۷۵۳	۳۳۱۷	۵۸۷۶	۱۶۷۳	۲۰۸۸۷	۰/۷۶	۱/۸۴	۰/۶۴	۰/۶۷	۰/۲۲	۰/۳۱
۱۰<	۳۱۷۵۳	۳۴۸	۱۵۹۵	۵۵۰	۲۹۲۶۰	۰/۹۳	۲/۱۶	۰/۸۲	۰/۳۹	۰/۰۵	۰/۱۴
۲۰<	۳۱۷۵۳	۷۳	۵۳۵	۲۱۷	۳۰۹۲۸	۰/۹۸	۲/۱	۰/۸۸	۰/۲۵	۰/۰۲	۰/۰۹

از نقطه (۰,۰) شروع شود و در امتداد محور y به نقطه (۰,۱) برسد و سپس به صورت افقی تا نقطه (۱,۱) امتداد یابد (منحنی خط چین). خط قطری که نقاط (۰,۰) و (۰,۱) را بهم وصل می کند نشان دهنده مهارت صفر است بدین معنی که پیش بینی ها هیچ گونه تمایزی را بین موارد اتفاق افتاده نمی دهند. بنابراین مساحت زیر منحنی ROC را می توان به صورت یک سنجه مهارتی در سنجش پیش بینی در نظر گرفت به گونه ای که برای پیش بینی بدون مهارت، سطح زیر منحنی ROC برابر ۰/۵ و برای پیش بینی کامل این مقدار یک می باشد. همانطور که در نمودار دیده می شود منحنی مربوط به پیش بینی ۴۲ ساعته به پیش بینی کامل نزدیکتر است.

در مورد آهنگ برخورد H و کمیت TS ملاحظه می شود که میزان آن به مقدار قابل توجهی با افزایش آستانه بارش افت می کند. در مجموع به نظر می رسد با افزایش آستانه بارش قابلیت مدل در پیش بینی میزان بارندگی تا حدودی کاهش می یابد.

برای به دست آوردن یک ارزیابی کلی از کیفیت پیش بینی مستقل از آستانه بارشی منحنی ROC پیش بینی های ۴۲، ۶۶ و ۹۰ ساعته مدل رسم شده است (شکل ۱). منحنی ROC نمودار آهنگ برخورد H بر حسب آهنگ هشدارهای نادرست FAR برای آستانه های مختلف بارندگی را نشان می دهد و برای سنجش تمایز پیش بینی به کار می رود. همان گونه که از شکل پیداست برای تمایز کامل باید منحنی ROC



شکل شماره ۱- منحنی ROC پیش بینی ۴۲، ۶۶ و ۹۰ ساعته بارندگی

همانطور که در جدول ۶ ملاحظه می شود مقدار این کمیت برای پیش بینی ۴۲ ساعته ۰/۸۶ به دست آمده است. به عبارت دیگر پیش بینی از کیفیت به نسبت خوبی برخوردار است. همانطور که انتظار می رود با افزایش سن پیش بینی از کیفیت آن کاسته می شود.

نتیجه گیری

در این مقاله خروجی های بارش مدل WRF در مناطق مختلف کشور در بازه زمانی ابتدای فوریه تا انتهای می سال

برای به دست آوردن ارزیابی کمی از دقت پیش بینی مستقل از آستانه بارشی کمیت AUC یا سطح زیر نمودار منحنی های ROC شکل ۲ محاسبه شده و در جدول ۶ آورده شده است.

جدول شماره ۶- سطح زیر نمودار منحنی های ROC

بود پیش بینی	AUC
hr ۴۲	۰/۸۶
hr ۶۶	۰/۸۲
hr ۹۰	۰/۷۸

نتایج به دست آمده در این مقاله مطابقت خوبی با نتایج مطالعات مشابه پیشین دارد. هر چند شایان گفتن است که بخشی از کاستی‌های مهارت مدل در پیش‌بینی بارندگی مربوط به عدم وجود اندازه‌گیری‌های دقیق بارش، با توجه به ناهموازی پیچیده در بیشتر نقاط ایران است. به عبارت دیگر بخشی از عدم توافق برون‌داد مدل و دیدبانی در برخی از نقاط، مربوط به ناکامل بودن دیدبانی‌هاست مثلاً هسته‌های بیشینه بارندگی معمولاً در نقاط خاصی از ارتفاعات رخ می‌دهد که تعداد دیدبانی‌های در دسترس در این نقاط کمتر است زیرا دیدبانی‌ها معمولاً به طور میانگین در کوهپایه‌ها و در دره‌ها انجام می‌شود تا در نقاط شاخص و قله‌ها.

منابع

- ۱- هدایتی دزفولی،، اکرم، مجید، آزادی، ۱۳۸۶، راستی‌آزمایی پیش‌بینی بارش مدل منطقه‌ای MM5 بر روی ایران، مجموعه مقالات هفتمین همایش پیش‌بینی عددی وضع هوا، ۱۳۸۶، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ۱۲۷-۱۱۲.
- ۲- ذوالجودی،، مجتبی، سیده مژگان، قاضی میرسعید، زهرا، سیفری، ۱۳۹۱، بررسی صحت و دقت طرحواره‌های مختلف مدل WRF و ارزیابی پیش‌بینی بارش در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۲، شماره پیاپی ۱۰۹، ۱۹۴-۱۸۷.
- ۳- تقوی، فرحناز، ابوالفضل،، نیستانی، سرمد، قادر، ارزیابی پیش‌بینی‌های کوتاه مدت بارش مدل عددی WRF در منطقه ایران در دوره یک ماهه، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹، شماره ۲، ۱۳۹۲، ۱۷۰-۱۴۵.
- ۴- آزادی، مجید،، زهرا، کلاته سیفری، سمیه، جعفری،، ۱۳۸۸، ارزیابی عملکرد مدل WRF در ایران برای پیش‌بینی بارش با استفاده از طرحواره‌های فیزیکی مختلف، دوازدهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها، تهران، انجمن فیزیک ایران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.

۲۰۰۹ میلادی برای پیش‌بینی‌های ۴۲، ۶۶ و ۹۰ ساعته مورد ارزیابی قرار گرفته است. علت اصلی انتخاب این دوره برای راستی‌آزمایی بارش‌های به نسبت خوب، تقریباً برای تمام کشور بود به گونه‌ای که در برخی موارد از بارندگی‌های این دوره با عنوان‌های "بارش‌های بی‌سابقه"، "غیر طبیعی" یا نظایر آن یاد شده است. بررسی بارندگی‌های بلند مدت در دوره پیش گفته (نتایج در این مقاله نیامده است) نشان می‌دهد که بارندگی‌های رخ داده در این دوره از نظر اقلیمی بی‌سابقه نبوده است (بررسی این موضوع از حیطه این مقاله خارج است و نتایج بررسی‌ها در این مقاله نیامده است). با توجه به مطالعات انجام شده پیشین و معلوم بودن نسبی دقت مدل (با پیکربندی و شرایط مورد استفاده در ایران) برای بارندگی‌های کشور، نتایج این مطالعه علاوه بر جنبه علمی می‌تواند شاهد دیگری بر طبیعی بودن بارندگی‌های دوره مورد مطالعه باشد. بررسی نتایج راستی‌آزمایی برون‌داد مدل WRF برای آستانه‌های مختلف بارشی (۱ mm، ۱۰ mm و ۲۰ mm) مربوط به پیش‌بینی‌های ۴۲، ۶۶ و ۹۰ ساعته تفاوت مهارت مدل برای پیش‌بینی آستانه‌های مختلف بارش را نشان می‌دهد که بعنوان نمونه می‌توان به مقدار PC در پیش‌بینی ۴۲ ساعته برای آستانه بیشتر از ۲۰ mm اشاره نمود که مقدار بیشتری از آستانه ۱ mm را نشان می‌دهد. در مورد پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع بارش میزان این کمیت برای تمام پیش‌بینی‌ها، بیش از ۰/۷ می‌باشد به این معنی که مدل در بیش از ۷۰٪ موارد در پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع بارندگی موفق بوده است. بررسی مقادیر محاسبه شده برای آهنگ برخورد H و کمیت TS نشان می‌دهد که مقدار این کمیت‌ها با افزایش آستانه بارش کاهش می‌یابد و بطور کلی می‌توان گفت با افزایش آستانه بارش قابلیت مدل در پیش‌بینی میزان بارندگی تا حدودی کم می‌شود. به علاوه منحنی ROC برای پیش‌بینی‌های ۴۲، ۶۶ و ۹۰ ساعته نشان می‌دهد پیش‌بینی ۴۲ ساعته به پیش‌بینی کامل نزدیکتر است. همچنین مقدار کمیت AUC برای پیش‌بینی ۴۲ ساعته ۰/۸۶ به دست آمده است و به این معنی است که پیش‌بینی از کیفیت قابل قبولی برخوردار است.

- 8-Murphy, A.H., 1996, The Finley affair: A signal event in the history of forecast verification, *Weather and forecasting*, 11, 3-20.
- 9-URL1:
http://www.bom.gov.au/bmrc/wefor/staff/eee/verif/verif_web_page.html
- 10-Wilks, Daniel S., 2006, statistical methods in the atmospheric sciences, Academic press.
- 5- Joliffe, I. T. and D. B., Stephenson, 2003, Forecast verification, A Practitioners Guide in Atmospheric Science, John Wiley and sons ltd, ISBN: 0-471-49759-2.
- 6- Muller, R. H., 1944, Verification of short – range weather forecasts (a survey of the literature), *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 25, 18-27, 47-53, 88-95.
- 7- Murphy, A.H., 1993, What is a good forecast? An essay on the nature of goodness in weather forecasting, *Weather and forecasting*, 8, 281 – 293.