

## ارزیابی پیش‌بینی بارش مدل منطقه‌ای WRF برای بارش‌های سنگین روزانه استان قزوین طی دوره ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰

فروزان ارکیان<sup>۱</sup>، ندا مشاطان<sup>۲\*</sup>، پری سیما کتیرایی بروجردی<sup>۳</sup> و ابراهیم میرزایی حاجی باقلو<sup>۴</sup>

۱، ۲ و ۳- گروه هواشناسی، دانشکده علوم فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال  
۴- سازمان هواشناسی کشور، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۵/۱۸

### چکیده

در این تحقیق پیش‌بینی بارش توسط مدل WRF برای بارش‌های سنگین روزانه استان قزوین مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور سی مورد از بارش‌های سنگین استان قزوین در دهه هشتاد شمسی با دو پیکربندی متفاوت از طرح واره‌های مدل WRF (KFMJY و GDMYJ) در بازه‌های زمانی ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته شبیه‌سازی شدند. با توجه ویژگی‌های ناهموازی و نوع اقلیم، استان قزوین به پنج ناحیه بارشی شامل دشت، حاشیه دشت، کوهپایه، ارتفاعات جنوب‌غربی و ارتفاعات شمال‌شرق تقسیم شد. سپس با دو رویکرد نقطه‌ای و منطقه‌بندی، بارش‌های شبیه‌سازی شده با مقادیر دیدبانی متناظر مقایسه و مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج این تحقیق، جذر میانگین مربعات خطا و اریبی چندگانه مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی بارش توسط مدل در بازه ۲۴ ساعت نسبت به بازه‌های ۴۸ و ۷۲ ساعت بهتر و به ترتیب در حدود ۸/۷ و ۱/۷ برای طرحواره GDMY می‌باشد. همچنین ضریب همبستگی بین بارش شبیه‌سازی مدل و مشاهدات برای ناحیه کوهپایه‌ای در مقایسه با سایر نواحی دارای مقدار بالاتری در حدود ۰/۵ می‌باشد. بطور کلی نسبت خطای سامانمند به کل خطای مدل بسیار پایین می‌باشد که نشان می‌دهد بیشتر خطای مدل ناشی از تغییرپذیری نوع‌های ناسامانمند و تصادفی است. با در نظر گرفتن آستانه بارش  $\geq 10\text{mm}$  و تشکیل جدول توافقی برای وقوع یا نبود بارش، امتیازهای مهارتی مدل برای منطقه قزوین محاسبه شد. نتایج نشان داد که مهارت مدل در پیش‌بینی بارش‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت در آستانه مذکور دارای دقت قابل قبولی می‌باشد و به طور متوسط در حدود ۷۱ درصد موارد، پیش‌بینی به درستی انجام شده است.

واژگان کلیدی: مدل منطقه‌ای WRF، راستی آزمایی پیش‌بینی بارش، استان قزوین

## مقدمه

امروزه برای بسیاری از کاربردها، پیش‌بینی بیشتر کمیتهای هواشناسی از جمله مقدار بارندگی از طریق مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا برآورد می‌شود. با وجود این که استفاده از مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا می‌تواند به پیش‌بینی هر چه صحیح‌تر وضعیت هوا کمک کند، اما این مدل‌ها در پیش‌بینی پارامترهای مختلف هواشناسی به ویژه پارامترهای نزدیک سطح زمین مانند (بارش و دما) همواره خطاهای قابل توجهی دارند و در نتیجه عدم قطعیت در نتایج حاصله وجود دارد. بنابراین تلاش برای کاهش خطاهای سامان مند برون‌داد مدل‌ها و در نتیجه کاربردی‌تر کردن مدل‌ها امری ضروری می‌باشد. با توجه به این موارد، به منظور کاهش خطای سامان مند و بهبود نتایج مدل و همچنین کاربردی نمودن مدل‌ها، تنظیم بخش فیزیک مدل و به کار بردن پیکربندی مناسب از طرح‌واره‌ها لازم و ضروری است. مدل WRF دارای طرح‌واره‌های پارامترساز فیزیکی بسیار متنوعی است که این طرح‌واره‌ها می‌توانند به هر طریقی با یکدیگر ترکیب شوند و زیر مجموعه‌ی بسیار بزرگی با ترکیبات متفاوت ایجاد کنند. بنابراین در هر منطقه‌ای، برای بالا بردن دقت پیش‌بینی لزوم بکارگیری پیکربندی مناسب از طرح‌واره‌ها و نیز انجام مطالعاتی برای راستی‌آزمایی برون‌داد مدل لازم و ضروری است. تحلیل آماری راستی‌آزمایی می‌تواند در ارزیابی نقاط قوت و ضعف پیش‌بین یا امر پیش‌بینی کمک نماید.

در نقاط مختلف دنیا تحقیقات گسترده‌ای پیرامون مدل WRF و ارزیابی پیش‌بینی‌های این مدل عددی صورت گرفته است. از کارهای انجام شده در زمینه مدل‌های پیش‌بینی عددی میان‌مقیاس می‌توان به مقایسه بین مدل MM5 و WRF در خصوص بارش‌های سنگین حاره‌ای در طی روزهای ۹ تا ۱۱ ژانویه ۲۰۰۲ در سنگال توسط Fall و همکاران (۲۰۰۷) اشاره نمود. Janko و همکاران (۲۰۰۵) اثر پارامترسازی‌های فیزیکی متفاوت در مدل WRF و اثر

متقابل آنها را بر روی بارش‌های همرفتی میان‌مقیاس در فصل گرم بررسی نمودند. آن‌ها با استفاده از ۱۸ پیکربندی مدل WRF که متشکل از ۳ طرح‌واره همرفت، ۳ طرح‌واره خردفیزیکی و ۲ طرح‌واره لایه مرزی بود، نشان دادند که با وجود این که اثر تغییرات اتفاق افتاده در پیش‌بینی بارش با استفاده از طرح‌واره‌های لایه مرزی و خردفیزیکی قابل توجه است، ولی بیشترین تغییرپذیری از تغییر در انتخاب طرح‌واره‌های همرفتی می‌باشد. در سال ۲۰۰۵ نیز مقایسه‌ای بین خروجی‌های شبیه‌سازی مدل‌های MM5 و WRF با مقادیر دیدبانی شده برای سیلاب ۱۹۹۳ غرب ایالات متحده آمریکا صورت گرفت و نشان داد که نتایج حاصل از مدل WRF به مقادیر واقعی نزدیک‌تر است. این مدل برای بارش سنگین سال ۲۰۰۶ در شمال تایلند توسط Kamol (۲۰۰۶) با استفاده از طرح‌واره‌های خردفیزیکی مختلف اجرا و نتایج حاصل از آن با هم مقایسه شد. Gallus و همکاران (۲۰۰۸) نیز مقایسه‌ای بین پنج طرح‌واره خردفیزیکی برای سیستم خط تندوزه (Squall line) آلمان که در ۱۲ آگوست ۲۰۰۴ رخ داد، انجام دادند. Xu و همکاران (۲۰۰۹) پیش‌بینی‌های مدل WRF را با گوارداده ماهواره‌ای و بدون گوارداده ماهواره‌ای در منطقه جنوب‌غرب آسیا برای کمیتهای دمای ۲ متری، بارش و باد ارزیابی کرده‌اند. همچنین دانیل Argueso و همکاران (۲۰۱۱) ارزیابی پارامترسازی‌های مدل WRF را برای مطالعات اقلیمی جنوب اسپانیا، منطقه‌ای با توپوگرافی (عارضه‌نگاری) پیچیده انجام دادند. آن‌ها حساسیت مدل، به هشت ترکیب از طرح‌واره‌های پارامترساز همرفت، خردفیزیک و لایه مرزی سیاره‌ای را در دوره‌ی ۱۹۹۰-۱۹۹۹ بررسی کردند. نتایج نشان داد که طرح‌واره‌های لایه مرزی و همرفت تأثیر اساسی بر روی بارش این منطقه دارند در حالی که هیچ تفاوتی بین انتخاب‌های خردفیزیکی به دست نیامد. تحقیقاتی نیز در این زمینه در داخل کشور انجام گرفته است. به عنوان مثال آزادی و

بدین صورت است که دو حرف اول معرف طرح‌واره همرفت مورد استفاده و سه حرف آخر معرف طرح‌واره لایه مرزی است.

با توجه به اهمیت پیش‌بینی بارش و نقش مدل‌های عددی وضع هوا و همچنین لزوم بکارگیری پیکربندی مناسب، ارزیابی برون‌داد مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا از قبیل مدل WRF در مناطق مختلف کشور امری ضروری می‌باشد. از این رو هدف اصلی پژوهش حاضر، ارزیابی و راستی‌آزمایی پیش‌بینی بارش توسط مدل WRF در استان قزوین می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

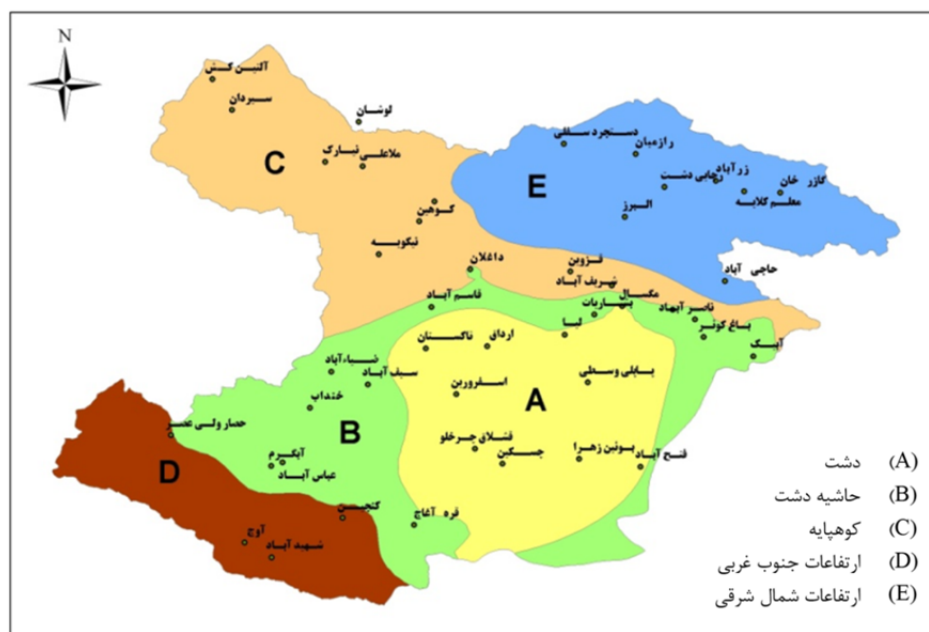
استان قزوین در حوضه مرکزی ایران بین ۴۸ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. از آنجائی که استان قزوین دارای ارتفاعات متعدد و اقلیم‌های متفاوت می‌باشد، با در نظر گرفتن ویژگی‌های ناهمواری، اقلیمی و میانگین بارش، استان قزوین به پنج ناحیه بارشی شامل دشت، حاشیه دشت، کوهپایه، ارتفاعات جنوب‌غربی و ارتفاعات شمال شرق تقسیم شد (جدول ۱). شکل (۱) نواحی تقسیم بندی شده و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی استان قزوین را نشان می‌دهد.

همکاران (۱۳۸۲) مطالعه‌ای روی مقایسه‌ی پارامترسازی‌های فیزیکی روی بارندگی‌های زمستانی ایران انجام دادند، که بررسی ترکیب طرح‌واره‌های مختلف در این مقاله نشان می‌دهد، ترکیب طرح‌واره‌های Grell, Betts-Miller یا Kain-Fritsch برای همرفت با طرح‌واره Blackadar برای لایه مرزی در مقایسه با دیگر ترکیب‌ها نتایج بهتری را به همراه دارد.

آزادی و همکاران (۱۳۸۸) میزان دقت و صحت برون‌داد بارش ۴۸ ساعته مدل WRF را برای یک مورد بارشی خاص از ۱۴ تا ۲۰ دی ۱۳۸۶ با شش پیکربندی مختلف در ایران مورد ارزیابی قرار داد. نقشه‌های هم‌باران با نقشه‌های واقعی متناظر و همچنین مقادیر بارش شبیه‌سازی شده با مقادیر متناظر دیدبانی در ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی و باران‌سنجی مقایسه شد. نتایج نشان داد که در مجموع اجرای مدل WRF با طرح‌واره‌های فیزیکی با دو پیکربندی KFMJYJ (KF نمایانگر طرح‌واره همرفت Kain-Fritsch و MYJ نمایانگر طرح‌واره لایه مرزی Mellor-Yamada-Janjic) و GDMYJ (GD نمایانگر طرح‌واره همرفت Grell-Devenyi ensemble و MYJ نمایانگر طرح‌واره لایه مرزی Mellor-Yamada-Janjic) نسبت به سایر پیکربندی‌ها (KFMRF, GDMRF, BMMRF و NOMYJ) از دقت قابل قبول‌تری برخوردار هستند. نامگذاری این پیکربندی‌ها

جدول ۱- ویژگی‌های جغرافیایی نواحی بارشی استان قزوین

ارتفاع (m)	میانگین بارش سال زراعی		مساحت (km <sup>2</sup> )	ناحیه بارشی
	حداقل	حداکثر		
۲۴۰۰	۱۱۴۰	۳۲۰	۳۴۵۱/۷	دشت (A)
۲۴۰۰	۱۱۴۰	۳۲۰	۳۳۳۸	حاشیه دشت (B)
۳۰۰۰	۲۰۰	۳۶۰	۳۷۷۰/۶	کوهپایه (C)
۲۷۰۰	۱۵۰۰	۴۶۰	۱۹۰۵/۳	ارتفاعات جنوب غربی
۴۰۰۰	۶۰۰	۵۴۰	۳۰۸۱	ارتفاعات شمال شرقی



شکل ۱- نواحی بارشی و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی استان قزوین

### شرایط اجرای مدل

در این پژوهش جهت ارزیابی پیش‌بینی کمی بارش توسط مدل WRF از دو پیکربندی KFMJY و GDMYJ (آزادی و همکاران، ۱۳۸۸) استفاده شده است (جدول ۲). مدل با استفاده از داده‌های FNL (NCEP Final Analysis) به عنوان ورودی، به صورت دامنه‌های تودرتو و دوطرفه با تفکیک ۲۷ km و ۹km، (شکل ۲)، برای ۳۰ مورد بارش‌های سنگین و فراگیر استان قزوین در دهه ۸۰ (سال‌های ۱۳۹۰-

۱۳۸۱) با هر یک از دو پیکربندی مورد نظر اجرا شد. مقادیر بارش دیدبانی شده در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی استان قزوین (۴۴ ایستگاه) و بارش متناظر شبیه‌سازی شده توسط مدل در بازه‌های زمانی ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته با یکدیگر مقایسه شدند. ارزیابی به دو روش نقطه‌ای و منطقه‌بندی انجام گرفت. در روش نقطه‌ای، مقدار شبیه‌سازی شده بارش توسط مدل در هر ایستگاه نسبت به مقدار دیدبانی شده متناظر با آن ارزیابی شد.

جدول ۲- گزینه‌های انتخاب شده برای فیزیک مدل

طرحواره زمین سطح	طرحواره لایه سطحی	طرحواره تابش موج کوتاه	طرحواره تابش موج بلند	طرحواره لایه مرزی سیاره‌ای	طرحواره همرفت	طرحواره خرد فیزیک ابر	پیکربندی
NOAH	Eta similarity	Goddard short wave	RRTM <sup>1</sup> Scheme	Mellor-Yamada-Janjic	Kain_Fritsch	Lin et al. Scheme	KFMJY
5 layer Thermal diffusion	Eta similarity	Dudhia scheme	RRTM Scheme	Mellor-Yamada-Janjic	Grell-Devenyi ensemble scheme	WSM 3-class simple ice scheme	GDMYJ

Rapid Radiative Transfer Model

کمیت دو دویی در نظر گرفته می‌شود و برای هر کدام از آستانه‌های متفاوت بارش یک جدول توافقی  $2 \times 2$  تشکیل می‌شود و سپس کمیت‌های عددی متناظر با هر جدول محاسبه می‌شود (Wilks, 2006). در نهایت نتیجه‌گیری بر اساس تحلیل این کمیت‌ها به دست می‌آید.

با فرض اینکه پیش‌بینی و دیدبانی به ترتیب با Y و O نشان داده شوند، جدول (۲) را به شکل زیر تشکیل می‌شود که متغیرهای آن به ترتیب عبارتند از:

O1: دیدبانی‌های مثبت (وقوع پدیده)،  
دیدبانی‌های منفی (نبود پدیده)،  
Y1: پیش‌بینی‌های مثبت (وقوع پدیده)،  
پیش‌بینی‌های منفی (نبود 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 ولی وقوع آن پیش‌بینی نشده باشد،

d: تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق نیفتاده ولی وقوع آن پیش‌بینی نشده باشد.

نسبت صحیح: یکی از مشهورترین کمیت‌های نرده‌ای وابسته به جدول توافقی ( $2 \times 2$ ) برای سنجش دقت پیش‌بینی‌ها نسبت صحیح است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

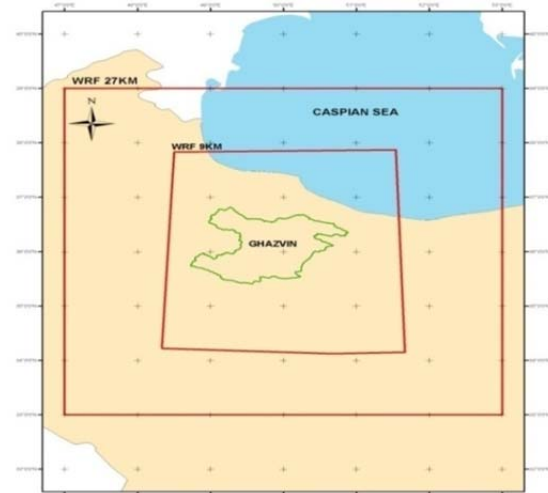
$$PC = \frac{a + d}{n}$$

آهنگ برخورد: بنا به تعریف نسبت تعداد پیش‌بینی‌های مثبت درست به تعداد کل دیدبانی‌هایی است که پدیده مورد نظر اتفاق افتاده است:

$$POD = \frac{a}{a + c}$$

نسبت هشدارهای نادرست: این کمیت بنا به تعریف، نسبت تعداد پیش‌بینی‌های نادرست به تعداد کل

در روش منطقه‌بندی، نیز مجدداً برونداد مدل به صورت نقطه‌ای در هر منطقه و همچنین پهناهای (مقایسه میانگین بارش شبیه‌سازی شده در هر منطقه با میانگین منطقه‌ای مقادیر دیدبانی) مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۲- دامنه‌های استفاده شده در شبیه‌سازی مدل WRF. دامنه بزرگتر  $660 \text{ km} \times 660 \text{ km}$  شامل  $25 \times 25$  نقطه شبکه‌ای و دامنه کوچکتر  $390 \text{ km} \times 390 \text{ km}$  شامل  $46 \times 46$  نقطه شبکه‌ای

### راستی آزمایی مدل

راستی آزمایی فرایندی است که کیفیت، مهارت و ارزش یک پیش‌بینی را از طریق مقایسه نتایج پیش‌بینی با دیدبانی متناظر تعیین می‌کند. همان طور که برای پیش‌بینی روش‌های مختلفی وجود دارد، راستی آزمایی نیز به روش‌های متفاوتی انجام می‌شود. در ادامه این بخش دو مورد روش راستی آزمایی به اختصار مرور می‌شود.

### راستی آزمایی پیش‌بینی دو حالتی (جدول

توافقی  $2 \times 2$ )

یکی از روش‌های متداول برای بررسی عملکرد مدل در پیش‌بینی بارندگی آن است بارش به صورت یک

پرت حساس است. مزیت استفاده از RMSE این است که مقدار خطا را بر حسب همان یکا و مقیاس کمیت مورد سنجش بیان می‌کند.

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (F_i - o_i)^2}$$

ضریب همبستگی: این شاخص در حقیقت بیان‌کننده همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی و دیدبانی است و اندازه‌ای از وابستگی خطی بین پیش‌بینی و دیدبانی (خطای فاز) را نتیجه می‌دهد و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$r = \frac{\sum(F - \bar{F})(O - \bar{O})}{\sqrt{\sum(F - \bar{F})^2} \sqrt{\sum(O - \bar{O})^2}}$$

نمودار پراکنش مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی: در این نوع مقایسه نمودار مقادیر مشاهده‌ای در مقابل مقادیر برآوردی رسم می‌شود. نمودار پراکنش ارتباط یا وابستگی مقادیر پیش‌بینی و دیدبانی را نشان می‌دهد. هر چقدر پراکندگی مقادیر به خط ۴۵ درجه نزدیک‌تر باشد نشانگر برآورد دقیق‌تر روش می‌باشد.

### نتایج

در این پژوهش ارزیابی برون‌داد مدل WRF به دو روش نقطه‌ای و منطقه‌بندی شده انجام گرفت. در روش نقطه‌ای با در نظر گرفتن آستانه بارش  $\geq 10 \text{ mm}$  و نیز تشکیل جدول توافقی، امتیازهای مهارتی مانند نسبت صحیح، آهنگ برخورد و نسبت هشدارهای نادرست محاسبه شدند. همچنین برای تعیین خطای مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی بارش توسط مدل نسبت به مشاهدات و ارتباط بین آن‌ها، جذر میانگین مربعات خطا، اریبی چندگانه، نمودارهای پراکنش و ضریب همبستگی استفاده شد. در نهایت با استفاده از این کمیت‌ها و سنجش‌های آماری راستی‌آزمایی و ارزیابی

پیش‌بینی‌های وقوع پدیده است. بنابراین هرچه مقدار آن کوچک‌تر باشد بهتر است که برای بهترین حالت صفر و برای بدترین حالت یک می‌شود:

$$FAR = \frac{b}{a + d}$$

جدول ۲- جدول توافقی (۲×۲)

	O1	O2	
Y1	a	b	a+b
Y2	c	d	c+d
	a+c	b+d	n=a+b+c+d

### روش‌های محاسبه خطای برون‌داد مدل نسبت

#### به مشاهدات

در زیر چند نمونه از روش‌های محاسبه خطا که در این پژوهش استفاده شده است معرفی می‌شود. در روش‌های زیر،  $F_i$  مقدار شبیه‌سازی شده،  $O_i$  مقدار مشاهده‌ای و  $n$  تعداد نقاط با متغیر مشاهده شده می‌باشد. اریبی چندگانه (multiplicative Bias) این شاخص میانگین پیش‌بینی‌ها را با میانگین دیدبانی‌های متناظر مقایسه می‌کند. مقدار این شاخص هرچه به یک نزدیک‌تر باشد دقت مدل بالاتر است. استفاده از این شاخص به ویژه در مورد کمیت‌هایی نظیر بارندگی که از یک طرف به صفر محدود می‌شوند، بسیار مناسب است.

$$\text{multiplicative bias} = \frac{\bar{F}}{\bar{O}} = \frac{\sum_i^n F_i}{\sum_i^n O_i}$$

#### جذر میانگین مربع خطا Root Mean Square Error

(RMSE) این معیار به صورت زیر محاسبه شده و همواره مثبت است و هر چقدر به صفر نزدیک‌تر باشد بیانگر خطای کم‌تر روش می‌باشد. این معیار برای خطاهای بزرگ‌تر جریمه بیشتری قائل می‌شود، چون در این شاخص مقادیر خطاها به توان ۲ رسانده می‌شود. به عبارت دیگر این کمیت به پیش‌بینی‌های

بارش آورده شده است. نتایج حاکی از آن است که نسبت صحیح (PC) برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته مقادیر قابل قبولی دارد به گونه‌ای که برای هر دو پیکربندی به طور متوسط در حدود ۷۱ درصد موارد پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع بارش به درستی انجام شده است. مقدار POD که نشان دهنده آهنگ برخورد است برای پیکربندی KFMYJ نسبت به GDMYJ و همچنین برای بازه‌های زمانی ۴۸ و ۷۲ ساعته نتایج بهتری (مقادیر نزدیک به ۱) را نشان می‌دهد. کمیت FAR، یا نسبت پیش‌بینی‌های نادرست، برای بازه زمانی ۷۲ ساعته به مراتب بهتر از بازه‌های زمانی ۲۴ و ۴۸ ساعته است و نشان می‌دهد که فقط ۲۰ درصد پیش‌بینی‌ها نادرست بوده‌است.

مدل صورت گرفت. در رویکرد منطقه‌بندی، پس از اینکه استان قزوین به پنج منطقه‌ی بارشی تقسیم شد با استفاده از روش‌های محاسبه خطای فوق‌الذکر برای هر منطقه به طور مجزا خطای بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF به دست آمد. جهت ارزیابی مدل در مناطق مختلف بارشی استان قزوین از میانگین بارش شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در هر ناحیه استفاده شده است.

### تحلیل برون‌داد مدل به صورت نقطه‌ای

در جدول (۳)، امتیازهای مهارتی برای بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF با آستانه ( $\geq 10 \text{ nm}$ ) به منظور راستی‌آزمایی برای دو وضعیت بارش و عدم

جدول ۳- نتایج راستی‌آزمایی پیش‌بینی در حالت ۲×۲

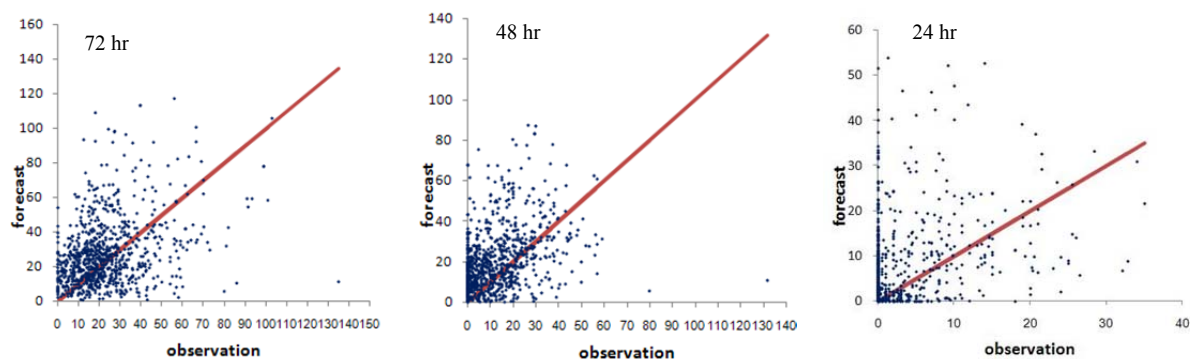
FAR		POD		PC		بارش شبیه‌سازی شده
GDMYJ	KFMYJ	GDMYJ	KFMYJ	GDMYJ	KFMYJ	
۷۰	۸۰	۰/۵	۰/۶	۸۴	۷۷	۲۴ ساعته
۴۰	۵۰	۰/۷	۰/۸	۶۳	۵۹	۴۸ ساعته
۲۰	۲۰	۰/۷	۰/۹	۶۹	۷۶	۷۲ ساعته

با افزایش سن پیش‌بینی این مقدار افزایش پیدا کرده است و برای پیکربندی GDMYJ نسبت به پیکربندی KFMYJ مقدار کمتری را نشان می‌دهد. با توجه نمودارهای پراکنش بارش شبیه‌سازی شده ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت در مقابل مشاهدات (شکل ۳)، در هیچ یک از پیکربندی‌ها الگوی مناسب و معناداری دیده نمی‌شود و پراکندگی و تفاوت زیادی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده وجود دارد.

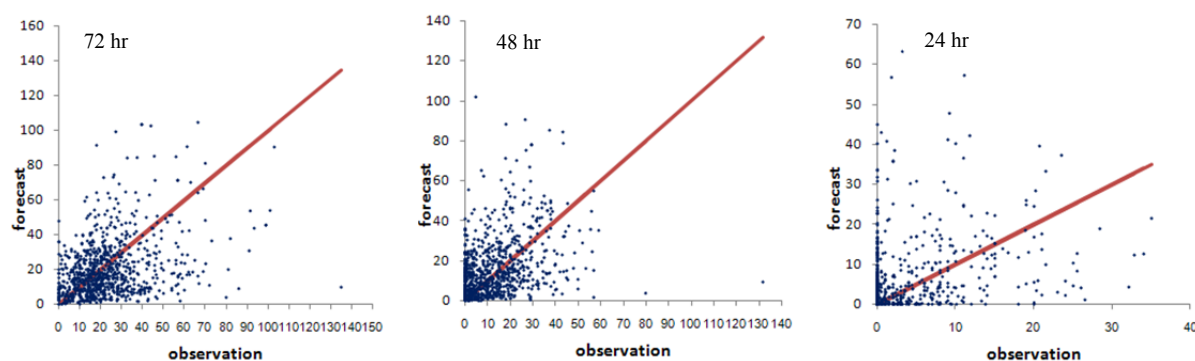
در جدول (۴) سنجه‌های آماری ضریب همبستگی، جذر میانگین مربعات خطا و اریبی چندگانه برای بارش برآورد شده توسط هر دو پیکربندی KFMYJ و GDMYJ آورده شده است. همبستگی بارش شبیه‌سازی شده و مشاهده شده ضعیف و در هر سه بازه‌ی زمانی، ضریب همبستگی در حدود ۰/۳ می‌باشد. جذر میانگین مربعات خطا در بازه زمانی ۲۴ ساعته برای هر دو پیکربندی بیشتر از ۸ میلی‌متر می‌باشد و

جدول ۴- نتایج مقایسه‌ی آماری بین نتایج بارش شبیه‌سازی شده مدل و مشاهده به روش نقطه‌ای

اریبی چندگانه		جذر میانگین مربعات خطا		ضریب همبستگی		بارش شبیه‌سازی شده
GDMYJ	KFMYJ	GDMYJ	KFMYJ	GDMYJ	KFMYJ	
۱/۷	۲/۳	۸/۷	۹/۸	۰/۳	۰/۳	۲۴ ساعته
۱/۲	۱/۵	۱۶/۴	۱۸	۰/۳	۰/۳	۴۸ ساعته
۰/۸	۱/۲	۱۹/۶	۲۱/۵	۰/۳	۰/۳	۷۲ ساعته



(الف)



(ب)

شکل ۳- نمودار پراکنش بارش شبیه‌سازی شده ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت استان قزوین با دو پیکربندی (الف) KFMJY و (ب) GDMYJ در مقابل مشاهدات

که این مقدار بسیار پایین است و تنها برای ناحیه کوهپایه مقدار ضریب همبستگی بین ۰/۵ تا ۰/۷ بود که نسبت به سایر نواحی مختصری بالاتر می‌باشد. مقادیر جذر میانگین مربعات خطا نیز در تمام نواحی بالا بوده (بیش‌تر از ۶ میلی‌متر) که خطای زیاد مدل را نشان می‌دهد. همچنین با افزایش سن پیش‌بینی، این مقدار افزایش پیدا کرده است. البته؛ در پیش‌بینی‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته برای پیکربندی GDMYJ نسبت به KFMJY بجز ناحیه ارتفاعات جنوب‌غربی مقدار کم‌تری مشاهده می‌شود. مقادیر اریبی چندگانه نیز در همه نواحی بیش‌تر از یک بوده که بیانگر خطای زیاد مدل است.

#### تحلیل برونداد مدل به صورت منطقه‌ای

در روش منطقه‌ای بعد از اینکه استان قزوین به پنج منطقه‌ی بارشی تقسیم شد، ارزیابی برای هر منطقه به طور جداگانه به دو روش نقطه‌ای و پهنه‌ای صورت گرفت. در روش پهنه‌ای، از مقایسه میانگین بارش شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در هر ناحیه استفاده شده است. در جدول (۵) سنج‌های آماری ضریب همبستگی، جذر میانگین مربعات خطا و اریبی چندگانه برای هر دو پیکربندی KFMJY و GDMYJ به هر دو روش نقطه‌ای و پهنه‌ای آورده شده است. در روش نقطه‌ای ضریب همبستگی در هر سه بازه‌ی زمانی، برای تمامی نواحی کمتر از ۰/۵ به دست آمد



جدول ۵- مقادیر ضریب همبستگی، جذر میانگین مربعات خطا و اریبی چندگانه برای بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF با دو طرحواره در بازه‌های زمانی ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت در نواحی مختلف بارشی استان قزوین

ناحیه بارشی	بازه زمانی	ضریب همبستگی				جذر میانگین مربعات خطا				اریبی چندگانه	
		نقطه‌ای		پهنه‌ای		نقطه‌ای		پهنه‌ای		پهنه‌ای	
		GDMYJ	KFMYJ	GDMYJ	KFMYJ	GDMYJ	KFMYJ	GDMYJ	KFMYJ	GDMYJ	KFMYJ
دشت	۲۴	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
	۴۸	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
	۷۲	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
حاشیه دشت	۲۴	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
	۴۸	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
	۷۲	۰/۳	۰/۵	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
کوهپایه	۲۴	۰/۳	۰/۵	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
	۴۸	۰/۳	۰/۵	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
	۷۲	۰/۳	۰/۷	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
ارتفاعات جنوب غربی	۲۴	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
	۴۸	۰/۳	۰/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
	۷۲	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
ارتفاعات شمال شرقی	۲۴	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
	۴۸	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
	۷۲	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳

حاصل به شرح ذیل می‌باشد:

در رویکرد نقطه‌ای ضریب همبستگی بین بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقادیر مشاهده شده بارش، در هر سه بازه‌ی زمانی بسیار ضعیف و در حدود ۰/۳ می‌باشد. جذر میانگین مربعات خطا در بازه زمانی ۲۴ ساعته برای هر دو پیکربندی بیشتر از ۸ میلی‌متر بوده و با افزایش سن پیش‌بینی این مقدار افزایش پیدا کرده‌است. البته جذر میانگین مربعات خطا برای پیکربندی GDMYJ نسبت به پیکربندی KFMYJ مقدار کمتری را دارا است. در هیچ یک از نمودارهای پراکنش مربوط به داده‌های بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقادیر مشاهده شده، الگوی مناسب و معناداری دیده نمی‌شود که بیانگر کم بودن دقت مدل در پیش‌بینی کمی بارش می‌باشد.

جهت راستی‌آزمایی مدل، با در نظر گرفتن آستانه بارش  $\geq 10 \text{ mm}$  و تشکیل جدول توافقی، امتیازهای مهارتی نسبت صحیح، اریبی، آهنگ برخورد و نسبت هشدارهای نادرست محاسبه شد. نتایج نشان داد که مهارت مدل در پیش‌بینی بارش‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت در آستانه مذکور دارای دقت قابل قبولی می‌باشد و به طور متوسط در حدود ۷۱ درصد موارد، پیش‌بینی به درستی انجام شده است.

در ارزیابی به روش پهنه‌ای مطابق جدول (۵) ضریب همبستگی همچنان در ناحیه کوهپایه برای هر دو پیکربندی نسبت به سایر نواحی بیش‌تر می‌باشد. جذر میانگین مربعات خطا در تمامی نواحی از مقادیر بالایی برخوردار بوده که باز هم خطای زیاد مدل را نشان می‌دهد و البته این مقدار به نسبت برای پیکربندی GDMYJ در نواحی دشت، کوهپایه و ارتفاعات شمال شرقی نسبت به دو ناحیه دیگر مقدار کمتری را نشان می‌دهد. مقادیر اریبی چندگانه نیز در همه نواحی دورتر از یک بوده که خطای زیاد را نشان می‌دهد. پیش‌بینی بارش مدل با پیکربندی GDMYJ در نواحی دشت، حاشیه دشت و کوهپایه ۶۰ تا ۸۰ درصد زیر برآورد و در نواحی ارتفاعات جنوب غربی و شمال شرقی ۵۰ تا ۶۰ درصد بالا برآورد است. همچنین مدل با پیکربندی KFMYJ به جز ناحیه ارتفاعات جنوب‌غربی پیش‌بینی بارش را بین ۵۰ تا ۸۳ درصد بیش‌تر از دیدبانی برآورد کرده‌است.

### بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش پیش‌بینی بارش توسط مدل WRF برای بارش‌های سنگین روزانه استان قزوین به دو روش نقطه‌ای و منطقه بندی مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج

- آزادی، م.، وکیلی، غ. و قادر، س. ۱۳۹۰. مقدمه‌ای بر عددی وضع هوا. پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو. تهران.
- Argueso, D., Hidalgo-Munoz, J. M., Gamiz-Fortis, S. R. & Esteban-Parra, M. J. 2011, Evaluation of WRF parameterizations for climate studies over Southern Spain Using a multistep regionalization. *American Meteorological Society*, 24: 5633-5650.
- Fall, S., Niyogi, D., Mohanty, U. C. & Kumar, A. 2007. Application of weather prediction models for hazard mitigation planning: a case study of heavy off-season rains in Senegal. *Natural Hazards*, 41(1):227-243.
- Gallus, J. R. W. A. & Pfeifer, M. 2008, Inter comparison of simulations using 5 WRF microphysical schemes with dual-Polarization data for a German squall line. *Advances in Geosciences*, 16:109 -116.
- Jankov, W. A., Gallus, J., Segal, M., Shaw, B. & Koch, S. E. 2005. The impact of different WRF model physical parameterizations and their interactions on warm season MCS rainfall. *American Meteorological Society*, 20: 1048-1060.
- Kamol, P. S. 2006. Microphysics schemes simulation of heavy rain falls in low pressure trough passed the North of Thailand. 4353 Numerical Weather Prediction (NWP). Thai Meteorological Department. Thailand.
- Wilks, D. S. 2006. Statistical methods in the atmospheric sciences. Academic Press, USA.
- Xu, J., Rugg, S. Byerle, L. & Liu, Z. 2009, Weather forecasts by the WRF-ARW Model with the GSI data assimilation system in the complex terrain areas of Southwest Asia. *Weather and Forecasting*, 24: 987-1008.

در رویکرد منطقه‌بندی، ارزیابی به دو روش نقطه‌ای و پهنه‌ای صورت گرفت. در هر دو روش نتایج تقریباً مشابهی به دست آمد، به طوری که ضریب همبستگی بین بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقادیر مشاهده شده بارش، برای ناحیه کوهپایه‌ای نسبت به سایر نواحی دارای مقادیر بالاتری بین ۰/۵ تا ۰/۷ می‌باشد.

در روش پهنه‌ای، پیش‌بینی بارش توسط مدل با پیکربندی GDMYJ در نواحی دشت، حاشیه دشت و کوهپایه ۶۰ تا ۸۰ درصد زیر برآورد و در نواحی ارتفاعات جنوب غربی و شمال شرقی ۵۰ تا ۶۰ درصد بالا برآورد است. همچنین مدل با پیکربندی KFMYJ به جز ناحیه ارتفاعات جنوب غربی پیش‌بینی بارش را بین ۵۰ تا ۸۳ درصد بیش‌تر از دیدبانی برآورد کرده است. به طور کلی نسبت خطای سامانمند به کل خطای مدل بسیار پایین می‌باشد که نشان می‌دهد بیش‌تر خطای مدل ناشی از تغییرپذیری نوع‌های ناسامانمند و تصادفی است.

## منابع

- آزادی، م.، رضازاده، پ.، میرزایی، ا. و وکیلی، غ. ۱۳۸۲. پیش‌بینی عددی سیستم‌های زمستانی روی ایران: مطالعه مقایسه‌ای پارامتری‌سازی‌های فیزیکی، هشتمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها. دانشگاه تبریز، انجمن فیزیک ایران، تبریز.
- آزادی، م.، کلاته سیفری، ز. و جعفری، س. ۱۳۸۸. ارزیابی عملکرد مدل WRF در ایران برای پیش‌بینی بارش با استفاده از طرحواره‌های فیزیکی مختلف: مطالعه موردی، دوازدهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها. انجمن فیزیک ایران،