



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و هشتم، شماره اول، ۱۴۰۰
۶۶-۴۵

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2021.18812.3429

مقاله کامل علمی - پژوهشی

ارزیابی حساسیت مدل WRF جهت شبیه‌سازی بارش‌های فوق‌سنگین،

"مطالعه موردی: ۲۶ اسفند ۱۳۹۷ تا ۲ فروردین ۱۳۹۸"

محمدحسن ماهوتچی^۱ و اسماعیل عباسی^{۲*}

^۱دانش‌آموخته دکتری آب و هواشناسی سینوپتیک، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران،

^۲استادیار گروه محیط‌زیست، پژوهشکده خلیج فارس، دانشگاه خلیج فارس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۳

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به بزرگ‌مقیاس بودن شبکه محاسباتی مدل‌های سیاره‌ای این مدل‌ها قادر به پیش‌بینی متغیرهای آب و هواشناختی در مقیاس منطقه‌ای نیستند. به‌عبارت‌دیگر این مدل‌ها در ارائه پیش‌بینی‌های مربوط به نزولات منطقه‌ای تحت‌تأثیر فرایندهای با مقیاس ریزتر از شبکه مدل قرار می‌گیرند، که باید خروجی آن‌ها را به مقیاس منطقه‌ای تبدیل نمود. با این تفاسیر هدف از پژوهش حاضر، بررسی پیکربندی‌های مختلف مدل WRF در شبیه‌سازی بارش پنج‌روزه اسفندماه ۱۳۹۷ و فروردین ۱۳۹۸ استان گلستان است که وقوع سیلاب ویرانگر و خسارات سنگین را در استان در پی داشته است.

مواد و روش‌ها: به‌منظور دستیابی به اهداف اشاره‌شده داده‌های دیدبانی و کنترل کیفی‌شده بارش در ۱۳ ایستگاه هم‌مدیدی استان گلستان برای دوره ۵ روزه ۲۶ اسفند ۱۳۹۷ تا ۲ فروردین ۱۳۹۸ به‌صورت ۲۴ ساعته (از ساعت ۰۶ UTC روز قبل تا ساعت ۰۶ UTC روز بعد) و ۶ ساعته (ساعت‌های ۰۶، ۱۲، ۱۸ و ۰۶ UTC به ترتیب برابر با ۰۳:۳۰، ۰۹:۳۰، ۱۵:۳۰ و ۲۱:۳۰ محلی) مورد واکاوی قرار گرفت. سپس به‌منظور اجرای مدل WRF دو نوع داده ورودی شامل داده‌های شرایط اولیه و داده‌های شرایط مرزی استفاده گردید. از داده‌های سامانه پیش‌بینی جهانی با تفکیک ۰/۵ درجه به‌عنوان داده‌های شرایط مرزی بهره گرفته‌شده است. هم‌چنین در راستای اجرای مدل، دو دامنه ۱- بزرگ (مادر) دارای تفکیک افقی ۱۸ کیلومتر و ۲- دامنه درونی که دامنه اصلی و دارای تفکیک افقی ۶ کیلومتر است، استفاده گردید.

یافته‌ها: با بررسی داده‌های بارش تجمعی دوره بارشی ۵ روزه که منجر به رخداد سیل گردید، مشخص شد که بیشینه بارش ۲۴ ساعته در طول دوره ۵ روزه به ساعت ۰۶ UTC روز ۲۷ اسفند تا ساعت ۰۶ UTC روز ۲۸ اسفند و بیشینه بارش تجمعی ۶ ساعته نیز به ساعت ۰۶ تا ۱۲ UTC روز ۲۷ اسفند ۱۳۹۷ اختصاص دارد. سپس با بررسی پژوهش‌های یادشده در ارتباط با بارش ایران، پیکربندی‌های مختلف استخراج و با به‌کارگیری و ترکیب این

* مسئول مکاتبه: esmaeil.abbasi@pgu.ac.ir

پیکربندی‌ها در اجراهای متنوع، پیکربندی‌های متفاوتی برای پیش‌بینی بارش اواخر اسفند سال ۱۳۹۷ استان گلستان حاصل شد. در ادامه به منظور تشخیص دقت مدل، مقادیر حاصل از مدل در پیکربندی‌های مختلف با مقادیر ایستگاه‌های هم‌دیدنی مقایسه شدند که برای اطمینان از این مقایسه از آماره‌های خطاسنجی MAE، R، d و ENS استفاده گردید.

نتیجه‌گیری: در بین تمامی پیکربندی‌ها، دو پیکربندی خروجی‌های بهتری را به نمایش گذاشتند. نتایج نشان داد که مدل WRF در اغلب ایستگاه‌ها با بیش‌برآوردی همراه بوده است. در هر دو پیکربندی هسته‌های بارشی به‌خوبی به تصویر کشیده شده است و از منظر مقادیر بارشی نیز دقت مدل مناسب بوده است. در رابطه با مقادیر بیشینه بارش پیکربندی نوع اول از دقت بهتری برخوردار است؛ و در مجموع پیکربندی نوع اول عملکرد بهتری را نسبت به پیکربندی نوع دوم به نمایش گذاشته است.

واژه‌های کلیدی: بارش، ریزمقیاس‌سازی، سیل گلستان، شبیه‌سازی، مدل WRF

مقدمه

مدل‌های سیاره‌ای آب‌وهوا، به دلیل بزرگ‌مقیاس بودن شبکه محاسباتی آن‌ها، قادر به پیش‌بینی متغیرهای آب و هواشناختی در مقیاس منطقه‌ای نیستند. در واقع از مشکلات اصلی در استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو موجود، وسعت محدوده برآورد متغیرها در این مدل‌ها است که با توجه به تغییرات توپوگرافی و اقلیم در این محدوده، نمی‌توان از نتایج مدل‌های جهانی، مستقیماً در مقیاس ایستگاهی استفاده نمود و بدین ترتیب نوعی ناسازگاری بین مقیاس اطلاعات آب و هوایی موجود و مقیاس مورد استفاده پژوهشگران مشاهده می‌شود؛ بنابراین به منظور این‌که بتوان نتایج مدل‌های جهانی را در مقیاس منطقه‌ای به‌خوبی مورد استفاده قرار داد، روش‌های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای ایجاد شده‌اند که به آن‌ها مقیاس‌کاهی^۱ گفته می‌شود^۲ (۲). مقیاس‌کاهی روشی برای دستیابی

به اطلاعات آب و هوایی یا تغییر آب‌وهوا با وضوح بالا از مدل‌های آب و هوایی سیاره‌ای با قدرت تفکیک پایین است؛ یعنی با مقیاس‌کاهی خروجی مدل‌ها می‌توان فرایندهای کوچک‌مقیاس و منطقه‌ای را شناسایی و پیش‌بینی کرد (۳۱). در واقع مقیاس‌کاهی روشی برای استخراج داده‌های با قدرت تفکیک بالا از داده‌های با قدرت تفکیک پایین می‌باشد (۲۸). روش‌های مقیاس‌کاهی به واسطه مدل‌های جهانی^۳ در مقیاس منطقه‌ای به دو دسته روش‌های مقیاس‌کاهی دینامیکی و مقیاس‌کاهی آماری تقسیم می‌شوند (۳۷). پژوهش‌های مدل‌سازی در مقیاس منطقه‌ای نشان می‌دهد که مقیاس‌کاهی آماری و دینامیکی، مدل‌های جهانی را بهبود می‌بخشند (۱۶) و با استفاده از روش‌های مختلف مقیاس‌کاهی می‌توان تغییرات آب و هوایی را در آینده مورد بررسی قرار داد (۱۱). از جمله ابزارهای مقیاس‌کاهی دینامیکی که امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است می‌توان به مدل عددی میان‌مقیاس^۴ WRF اشاره کرد. مدل پیش‌بینی و

1- Downscaling

۲- واژه‌های مقیاس‌کاهی، ریزگردانی، ریزمقیاس‌سازی، ریزمقیاس‌نمایی و ریزمقیاس کردن به یک معنی هستند که در پژوهش حاضر از واژه مقیاس‌کاهی استفاده می‌گردد.

3- General Circulation Model (GCM)

4- Weather Research and Forecasting (WRF) Model

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 پیش‌بینی از دقت مدل کاسته می‌شود (۲۲). لای‌فنگ و همکاران (۲۰۱۴) مطالعه‌ای را به منظور بهبود توانایی WRF در پیش‌بینی بارش‌های تابستانه در جنوب شرقی ایالات متحده انجام دادند. در این مطالعه تأثیر طرح‌واره‌های فیزیکی و قدرت تفکیک افقی بر دقت پیش‌بینی‌ها بررسی شده است. نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که شبیه‌سازی بارش باران به طرح‌واره‌های همرفت وابستگی زیاد، به طرح‌واره لایه مرزی زمین، نسبتاً وابسته بوده و وابستگی آن به طرح‌واره‌های میکروفیزیکی بسیار کم است (۲۴). پنلی و همکاران (۲۰۱۴) از مدل WRF برای شبیه‌سازی سه رویداد بارش سنگین در منطقه آلبرتا استفاده کردند. در این پژوهش به کارگیری ۵ طرح‌واره مختلف همرفت نشان داد که طرح‌واره Kain - Fritsch نتایج بهتری را ارائه می‌دهد (۳۲). مویا آلوارز و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل WRF به پیش‌بینی بارش‌های حدی در آند مرکزی در کشور پرو پرداختند. نتایج حاصل از مطالعه آنان نشان داد که مدل WRF در ۵۰ تا ۶۰ درصد از رخدادها در جنوب حوضه و منتهی‌الیه غرب در امتداد رشته‌کوه آند با کم‌برآوردی بارش نهایی روبه‌رو بوده است. واکاوی رخدادهای نشان داد که کم‌برآوردی مدل به سه دلیل زیر است: ناتوانی مدل برای تولید همرفت در بالادست آمزون در طول ساعت‌های ابتدایی صبح که ظاهراً به فرآیندهای بزرگ‌مقیاس مربوط است؛ محدودیت مدل در تشریح فرآیندهای میان‌مقیاس که حرکات عمودی و در پی آن بارندگی شدید را ایجاد می‌کنند و محدودیت مدل در طرح‌واره‌های میکروفیزیکی برای تولید بارندگی شدید (۳۰). راجیتا و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی عملکرد

تحقیقاتی جو (WRF)، نسل جدید از سامانه میان‌مقیاس پیش‌بینی عددی آب‌وهوا و اولین مدل پیش‌بینی جوی است که هم پیش‌بینی عملیاتی و هم نیازهای پژوهشی جوی را برآورده می‌سازد (۴۰). تمامی پارامترهای اقلیمی از طریق این مدل قابل پیش‌بینی و در واقع مقیاس‌گاهی هستند. در بین این پارامترها، بارش به لحاظ ضریب تغییرات بالا از حساسیت زیادی برخوردار است. به عبارت دیگر پیش‌بینی دقیق بارش به دلیل این‌که فرآیندهای فیزیکی مربوط به تولید بارش بسیار پیچیده‌تر از فرآیندهایی هستند که به تحول دما، فشار و باد مربوط می‌شوند، یکی از چالشی‌ترین فعالیت‌ها در آب و هواشناسی است (۱۸، ۲۵، ۳۹). برهمکنش پیچیده و مشکل از نظر فهم ویژگی‌های سطح زمین مانند ناهمواری، مرزهای خشکی - آب، پوشش گیاهی و رطوبت خاک تنها بخشی از عوامل افزایش‌دهنده پیچیدگی پیش‌بینی بارش هستند. از طرف دیگر اهمیت بارش برای کشور نیمه‌خشکی مانند ایران زمانی دوچندان می‌شود که خسارات ناشی از سیل را در پی داشته باشد. بنابراین پیش‌بینی بارش و به‌ویژه میزان آن به دلیل امکان رخداد سیل از موضوعات بسیار مهم در عمده کشورها از جمله کشور ایران است. پژوهش‌های مختلفی در زمینه ارزیابی عملکرد مدل WRF در پیش‌بینی بارش انجام گرفته است. کومار و همکاران (۲۰۰۸) بارش سنگین ۲۶ جولای ۲۰۰۵ بمبئی هندوستان را به کمک مدل WRF بررسی کردند. نتایج نشان داد که این مدل عددی قادر است رویداد بارش سنگین و شرایط دینامیکی و ترمودینامیکی آن را بازسازی کند (۲۳). در لهستان، مدل WRF را با تفکیک مکانی ۲ کیلومتر و با فاصله زمانی ۱ ساعته برای پیش‌بینی بارش به کار

۱- به منظور کسب اطلاعات بیشتر به پژوهش‌هایی چون اسکاماروک و همکاران (۲۰۱۹)؛ موسوی و همکاران (۱۳۹۶) و آزادی و همکاران (۱۳۹۰) مراجعه شود.

بر این، مدل مقادیر بارش متوسط منطقه را به‌جز برای رخدادهای فصل پاییز و سامانه‌های مدیترانه‌ای کم‌تر از حد برآورد می‌کند اما در برآورد ساعات اوج همه رخدادهای موفق عمل کرده است (۱۲).

در ایران نیز پژوهش‌هایی پیرامون ارزیابی مدل WRF در پیش‌بینی بارش صورت گرفته است. ذوالجودی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی دقت مدل WRF در پیش‌بینی بارش پرداختند. نتایج این پژوهش گویای آن است که در حدود ۸۰ درصد موارد، پیش‌بینی رخداد یا عدم رخداد بارش به‌درستی انجام شده است (۴۶). تقوی و همکاران (۲۰۱۳) به ارزیابی پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت بارش در ایران با استفاده از مدل عددی WRF پرداختند. نتایج این پژوهش بیانگر عملکرد نسبتاً مطلوب مدل در پیش‌بینی بارش است (۴۲). امینی و همکاران (۲۰۱۵) از مدل WRF برای پیش‌بینی یک رویداد بارش سنگین رخ داده در اسفندماه ۱۳۹۲ در استان اصفهان استفاده و نشان دادند که مدل مذکور با هر درجه تفکیک، محل شدت بارش را به‌خوبی نشان می‌دهد اما نتایج اجرایی نمودن مدل در درجه تفکیک ۳ کیلومتر با واقعیت تطبیق بیشتری داشته است (۳). از دیگر پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه می‌توان به راست‌آزمایی برونداد بارش مدل WRF بر روی کشور ایران در دوره فوریه تا انتهای می سال ۲۰۰۹ (۴۴) و مقایسه پیش‌بینی بارش دو مدل WRF و MM5 بر روی ایران (۶) اشاره کرد. نتایج پژوهش گودرزی و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که بارش‌های پیش‌بینی‌شده توسط NCEP بسیار کم‌تر از مقدار واقعی برآورد شده‌اند، ضمن این‌که زمان وقوع بارش نیز به‌درستی پیش‌بینی نشده است. هم‌چنین نتایج بیانگر عملکرد نسبتاً مطلوب مدل WRF در پیش‌بینی بارش‌های سنگین است به‌طوری‌که با اجرای این مدل مقدار شاخص خطا به مقدار قابل‌توجهی نسبت به مدل بزرگ‌مقیاس کاهش یافت. مقایسه بین سه

طرح‌واره‌های فیزیکی در شبیه‌سازی بارندگی طی فصول مرطوب و خشک بر فراز لائوس پرداختند. برای فصل خشک، هیچ‌کدام از طرح‌واره‌ها برای جنوب لائوس عملکرد راضی‌کننده نداشتند درحالی‌که همه طرح‌واره‌ها برای مناطق شمالی و مرکزی عملکردی مناسبی را ارائه کرده‌اند. در فصل مرطوب تقریباً همه شبیه‌سازی‌های مدل WRF با بیش‌برآوردی بارندگی همراه بوده است. طرح‌واره BMJ^۱ برای فیزیک کومولوس در مناطق شمالی و مرکزی و طرح‌واره KF^۲ در منطقه جنوبی عملکرد بهتری داشته‌اند. طرح‌واره YSU در میان طرح‌واره‌های لایه‌مرزی سیاره‌ای^۳ در هر دو فصل مرطوب و خشک بهترین عملکرد را داشته است و این در حالی است که از میان طرح‌واره‌های خردفیزیک، طرح‌واره WSM5 برای فصل مرطوب و طرح‌واره LIN برای فصل خشک عملکرد بهتری را ارائه کرده‌اند (۵). نتایج پژوهش دوزنلی و همکاران (۲۰۲۱) بیانگر این است که طرح‌واره خردفیزیک، شرایط مرزی اولیه و جانبی و فاصله شبکه افقی به‌طور قابل‌توجهی در تخمین بارش WRF تأثیرگذار هستند، درحالی‌که طرح‌واره کومولوس دارای یک اثر نسبتاً کم است. انتخاب طرح‌واره لایه‌مرزی سیاره‌ای برای رخدادهای فصل تابستان ضروری است اما رخدادهای فصل پاییز از انتخاب طرح‌واره لایه‌مرزی مستقل هستند. براساس مطالعه یادشده خروجی‌های مدل WRF برای رخدادهای شرق دریای سیاه زمانی که داده‌های شرایط مرزی و اولیه از ERA5 باشد، از عملکرد بهتری برخوردار است و در مقابل داده‌های GFS برای رخدادهایی با منشأ دریای مدیترانه مناسب‌تر است. از نظر قدرت تفکیک مکانی، تفکیک افقی ۹ کیلومتر بهتر از تفکیک ۳ کیلومتر است. علاوه

1- Bets-Miller-Janic

2- Kain-Fritsch

3- Planetary boundary layer (PBL)

استان در رتبه اول و از نظر بزرگی دبی اوج، بعد از سیل سال ۱۳۸۰ در رتبه دوم قرار دارد. وقوع سیلاب مورد اشاره در مجموع با جان باختن ۸ نفر و تخریب و آسیب به ۲۴۰ هزار هکتار از باغ‌ها و اراضی کشاورزی، ۵۰۰ هکتار مزرعه پرورش آبزیان، آسیب‌دیدگی ۲۶۲۱۵ واحد مسکونی، فرسایش خاک به میزان ۲۴۰۰۰ هزار تن و خسارت به تأسیسات آب و فاضلاب روستایی، آب و فاضلاب شهری، زیرساخت‌های برق، زیرساخت‌های گاز و میراث فرهنگی به ترتیب با ۴۴۶، ۲۲۶، ۳۹ و ۴۳۵ میلیارد ریال که تنها قسمتی از خسارت‌های جدی ناشی از سیل در این استان بوده همراه شده است (۴۱).

با این تفاسیر هدف از پژوهش حاضر، بررسی پیکربندی‌های مختلف مدل WRF در شبیه‌سازی بارش پنج‌روزه اسفندماه ۱۳۹۷ و فروردین ۱۳۹۸ استان گلستان است که وقوع سیلاب ویرانگر و خسارات سنگین را در استان در پی داشته است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور شبیه‌سازی بارش‌های فوق سنگین از مدل WRF استفاده شده است. مدل WRF از مدل‌های دینامیکی مقیاس‌کاهی است که امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. مدل یادشده حاصل کار جمعی مرکز ملی پژوهش‌های جوی^۱، مدیریت ملی جوی و اقیانوسی^۲، مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی^۳، آزمایشگاه سامانه‌های پیش‌بینی^۴، آژانس هوایی نیروی هوایی آمریکا^۵، آزمایشگاه تحقیقات ناوبری، دانشگاه اوکلاهاما، مدیریت هوانوردی ملی^۶

طرح‌واره مختلف همرفت نیز نشان می‌دهد که طرح‌واره Grell 3D ensemble scheme نسبت به دو طرح‌واره دیگر در پیش‌بینی بارش‌های سنگین مورد مطالعه دارای خطای پیش‌بینی کم‌تری است (۱۳). عباسی و اعتمادی (۲۰۱۹) با مدل‌سازی عددی (WRF) پدیده جوی مسبب آب‌گرفتگی سواحل ایرانی خلیج فارس در تاریخ ۱۹ مارس سال ۲۰۱۷ دریافتند که مقادیر خروجی از مدل با داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه سینوپتیک دیزل برای پارامترهای دمای خشک، فشار تراز دریا و جهت و سرعت باد دارای تقریب بسیار دقیق و حتی در مواردی عیناً با مقادیر واقعی برابری می‌کند که این خود نشان‌دهنده دقت بالای خروجی‌ها و نتایج مدل‌سازی است (۱). سلیمی مستعلی و همکاران (۲۰۱۹) با مطالعه ارزیابی و پهنه‌بندی ریسک وقوع بارش‌های حدی در غرب ایران دریافتند که الگوریتم کلی به‌کاررفته در پژوهش یادشده جهت برآورد توزیع مکانی ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا منجر به حصول دقت مناسب و قابل قبول در برآورد منطقه‌ای و تعمیم نتایج حاصل از نقاط ایستگاهی به کل منطقه گردید (۳۵).

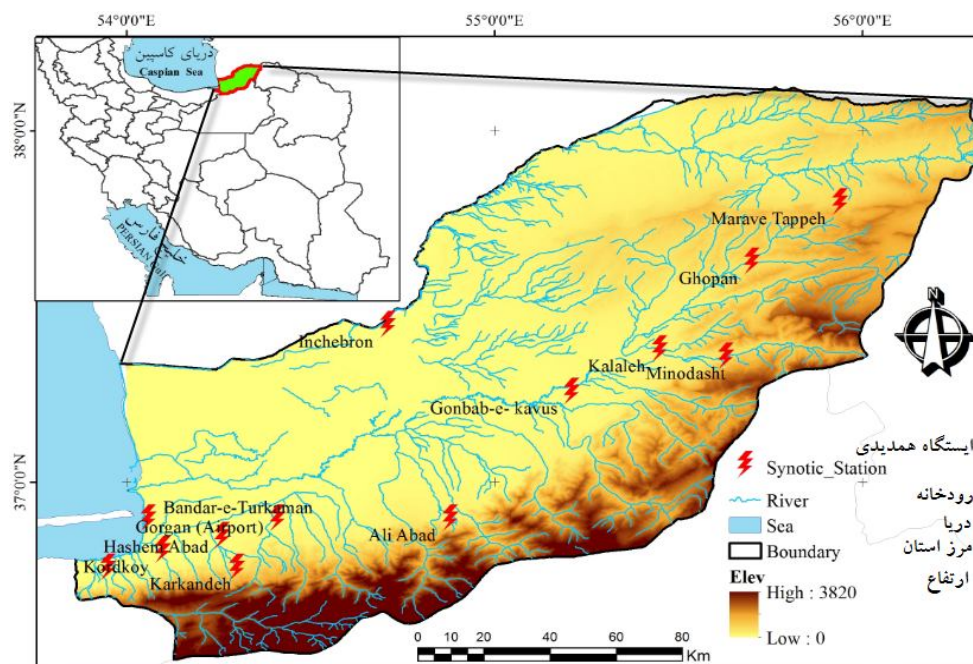
بنابراین، با توجه به این‌که مدل‌های جهانی در ارائه پیش‌بینی‌های مربوط به نزولات منطقه‌ای تحت تأثیر فرایندهای با مقیاس ریزتر از شبکه مدل قرار می‌گیرند باید خروجی آن‌ها را به مقیاس منطقه‌ای تبدیل نمود (۱۹) و همچنین با توجه به اهمیت پارامتر بارش از نظر تصادفی بودن و ضریب تغییرات بالا، در پژوهش حاضر با استفاده از خروجی مدل جهانی GFS به‌عنوان ورودی مدل دینامیکی WRF به ارزیابی مدل مقیاس‌کاهی دینامیکی WRF و پیکربندی‌های مختلف آن در مقایسه با بارش اواخر اسفند ۱۳۹۷ استان گلستان که منجر به وقوع سیلاب ویرانگر شد، پرداخته می‌شود. سیلاب رخ داده در نتیجه بارش ۵ روزه در استان گلستان از لحاظ خسارات واردشده در میان سیلاب‌های سال‌های اخیر

- 1- NCAR: National Center of Atmospheric Research
- 2- NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration
- 3- NCEP: National Center for Environment Prediction
- 4- FSL: Forecast System Laboratory
- 5- AFWA: Air Force Weather Agency
- 6- FAA: Federal Aviation Administration

سپیدایی و غیره است و شرایط مرزی شامل داده‌های هواشناسی است که این داده‌ها بسته به نوع پایگاه داده متفاوت هستند.

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های دیدبانی و کنترل کیفی شده بارش در ایستگاه‌های همدیدی استان گلستان (۱۳ ایستگاه همدیدی) برای دوره ۵ روزه ۲۶ اسفند ۱۳۹۷ (۱۷ مارس ۲۰۱۹) تا ۲ فروردین ۱۳۹۸ (۲۲ مارس ۲۰۱۹) به صورت ۲۴ ساعته (از ساعت ۰۶ UTC روز قبل تا ساعت ۰۶ UTC روز جاری) و ۶ ساعته (در ساعت‌های ۰۶، ۱۲، ۱۸ و ۰۰ UTC به ترتیب برابر با ساعت‌های ۰۳:۳۰، ۰۹:۳۰، ۱۵:۳۰ و ۲۱:۳۰ محلی) می‌باشد که از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد (شکل ۱). در ادامه تلاش گردید تا مشخص شود در طول دوره ۵ روزه بارش کدام روز و چه ساعاتی بیشترین بارش را دریافت نموده‌اند تا بتوان آن ساعات بیشینه را با استفاده از مدل دینامیکی WRF از منظر پیش‌بینی و شبیه‌سازی مورد توجه قرار داد.

(۲۸) و تعدادی از مؤسسات و دانشگاه‌های (آمریکایی و غیرآمریکایی) مشارکت‌کننده دیگر است (۴۰). مدل WRF به‌طور تقریبی بیشترین کاربر را در میان مدل‌های میان‌مقیاس جاری دارد و جانشین MM5 در جامعه کاربران شده است (۹، ۱۰، ۲۹). این مدل روی شبیه‌سازی‌هایی با تفکیک ۱-۱۰ کیلومتر متمرکز شده است؛ هرچند می‌تواند در تفکیک پایین‌تر نیز به کار رود (۲۷). به عبارت دیگر می‌تواند برای شبیه‌سازی در مقیاس مکانی چند صدمتر تا چند کیلومتر و مقیاس زمانی چند ساعت تا چند روز اعمال گردد (۲۸). کاربردهای پژوهشی این مدل از شبیه‌سازی آشفته‌گی‌های ریزمقیاس جوی تا چرخندزایی حاره‌ای و مدل‌سازی اقلیم منطقه‌ای (۹، ۱۰، ۲۹) و همچنین پیش‌بینی اوضاع جوی، توفان‌های تندری، آلودگی هوا و بررسی مسائل هیدرولوژیکی (۲۸) گسترده می‌شود. بدین ترتیب اجرای مدل WRF به دو نوع داده ورودی شامل داده‌های شرایط اولیه و داده‌های شرایط مرزی نیاز دارد (۲۷). شرایط اولیه، نمایشگر متغیرهای سطح زمین شامل توپوگرافی، پوشش گیاهی، نوع خاک،



شکل ۱- پراکنندگی ایستگاه‌های همدیدی استان گلستان (نگارندگان).

Figure 1. Geographical location of synoptic stations in Golestan province (Authors).

درونی که دامنه اصلی اجرا در این مطالعه است دارای تفکیک افقی ۶ کیلومتر است که محدوده ۳۵-۳۹ درجه شمالی و ۵۰-۵۹ درجه شرقی کشور ایران را دربرمیگیرد (شکل ۲). تفکیک افقی داده‌های ناهمواری و کاربری زمین برابر ۵ دقیقه (حدود ۱۰ کیلومتر) است. باید خاطرنشان ساخت که زمان تطبیق^۲ در این پژوهش از ساعت ۱۸ UTC روز ۱۷ مارس لحاظ گردید.

در پژوهش حاضر به‌منظور به‌کارگیری داده‌های شرایط مرزی از داده‌های تولیدشده سامانه پیش‌بینی جهانی^۱ (GFS) با تفکیک ۰/۵ درجه برای ساعت ۰۶ UTC روز ۱۸ مارس تا ۶ ساعت آینده یعنی تا ساعت ۱۲ UTC روز ۱۸ مارس بهره گرفته شده است. در ادامه به‌منظور اجرای مدل، دو دامنه با مشخصات زیر در نظر گرفته شده است: دامنه بزرگ (مادر) دارای تفکیک افقی ۱۸ کیلومتر که محدوده ۱۰-۵۱ درجه شمالی و ۷۰-۲۰ درجه شرقی و دامنه



شکل ۲- محدوده اجراشده در مدل WRF.

Figure 2. Implemented area of the WRF model.

کارکرد بهینه خویش را بروز دهد. بنابراین برای دستیابی به این مهم ابتدا تلاش گردید پژوهش‌هایی که تاکنون در رابطه با رخداد بارش در پهنه ایران زمین انجام گردیده مورد مطالعه قرار گیرد تا مشخص شود عمده‌تاً کدام طرح‌واره‌ها برای کشور ایران استفاده شده است تا در نهایت بتوان مناسب‌ترین طرح‌واره را برای پیش‌بینی بارش شناسایی نمود. جدول ۱ پیکربندی‌هایی که در پژوهش‌های مختلف در ارتباط با پیش‌بینی بارش در ایران به کار گرفته شده‌اند، به نمایش گذاشته است.

به‌منظور اجرای مدل WRF لازم است تا پیکربندی‌های موردنیاز مشخص گردد. پیکربندی فیزیکی مدل WRF به معنای به‌کارگیری مجموعه‌ای از طرح‌واره‌های فیزیکی مختلف برای اجرای مدل یادشده است (۳۶). به‌عبارت‌دیگر به‌منظور اجرای مدل WRF باید در بخش فیزیکی لیست‌نام^۳ پارامترسازی‌های مختلفی را استفاده نمود تا مدل

- 1- Global Forecast System (GFS)
- 2- Spin up
- 3- Namelist

جدول ۱- پیکربندی‌های به‌کارگرفته شده در پژوهش‌های مختلف در ارتباط با بارش ایران (نگارندگان).

Table 1. Configurations used in various studies related to Iranian precipitation (Authors).

کومولوس Cumulus	لایه‌مرزی سیاره‌ای Planetary boundary layer	خرد فیزیک Micro physics	تابش موج بلند Long wave radiation	تابش موج کوتاه Short wave radiation	لایه سطحی Surface layer	سطح خشکی Land surface	پیکربندی مدل WRF (منبع) WRF model configuration (source)
Kain-Fritsch (new Eta)	Mellor-Yamada-Janjic	Lin	RRTM	Godard	Monin-Obukhov (Janjic Eta)	Noah LSM	(۸)
Grell-Devenyi ensemble	Mellor-Yamada-Janjic	WSM3	RRTM	Dudhia	Eta similarity	5 layer thermal diffusion	(۸)
Kain-Fritsch	Mellor-Yamada-Janjic	Lin	RRTM	Godard	Monin-Obukhov Janjic	Noah LSM	(۷)
Kain-Fritsch (new Eta)	Mellor-Yamada-Janjic	Lin	RRTM	Godard	Monin-Obukhov (Janjic Eta)	Noah LSM	(۶)
Kain-Fritsch	YSUPBL	WSM3	RRTM	Dudhia	Monin-Obukhov Janjic	Noah LSM	(۴۲)
Kain-Fritsch (new Eta)	Mellor-Yamada-Janjic	Lin	RRTM	Godard	Monin-Obukhov Janjic	Noah LSM	(۴۶)
Grell-Devenyi ensemble	Mellor-Yamada-Janjic	WSM3	RRTM	Dudhia	Eta similarity	5 layer thermal diffusion	(۴۶)
Kain-Fritsch (new Eta)	Mellor-Yamada-Janjic TKE	Lin	RRTM	Godard	Monin-Obukhov (Janjic Eta)	Unified Noah LSM	(۴۴)
Kain-Fritsch	Mellor-Yamada-Janjic TKE	Kessler	Didhia/RRTM	Godard	Monin-Obukhov Janjic	Unified Noah	(۳۶)
Grell-Devenyi ensemble	Mellor-Yamada-Janjic TKE	Kessler	Didhia/RRTM	Godard	Monin-Obukhov Janjic	Unified Noah	(۳۶)
Kain-Fritsch	YSU	WSM3	RRTM	Dudhia	Monin-Obukhov Janjic	Noah MP	(۳۴)
BMJ	MYJ	Ferrier	RRTM	GFDL	Monin-Obukhov Janjic	Noah MP	(۳۴)
Kain-Fritsch	Grell 3D ensemble scheme	WSM 3-class	RRTM	Dudhia	Monin-Obukhov	Noah LSM	(۱۳)

است که سازگاری کامل مشاهدات و پیش‌بینی‌ها را نشان می‌دهد و اگر برابر با صفر باشد، هیچ‌گونه سازگاری میان مشاهدات و پیش‌بینی‌ها وجود ندارد (۴).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)} \right] \quad (2)$$

$$MAE = \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_i - O_i}{n} \right| \quad (1)$$

شاخص آماری توافق ویلموت (d): اندازه درستی پیش‌بینی‌های مدل را نشان می‌دهد (۴) که دارای مقداری بین صفر تا یک است (۴، ۲۱، ۴۷) چنان‌چه این شاخص برابر با یک باشد بیانگر بهترین برآزش

تمامی خروجی‌های حاصل به کمک آماره‌های خطاسنجی مورد آزمایش قرار گرفتند و در نهایت پیکربندی‌های مناسب برای بارش اواخر اسفند ۱۳۹۷ معرفی گردید.

نتایج و بحث

با بررسی داده‌های بارش تجمعی ۲۴ ساعته ایستگاه‌های همدیدی استان گلستان در طول دوره بارشی ۲۶ اسفند ۱۳۹۷ تا ۲ فروردین ۱۳۹۸ مشخص گردید که بیشینه بارش ۲۴ ساعته به ساعت ۰۶ UTC (۹:۳۰ محلی) روز ۲۷ اسفند تا ساعت ۰۶ UTC (۹:۳۰ محلی) روز ۲۸ اسفند اختصاص دارد (شکل ۳). هم‌چنین با بررسی بارش تجمعی ۶ ساعته نیز چنین حاصل گردید که ساعت ۰۶ UTC (۹:۳۰ محلی) تا ۱۲ UTC (۱۵:۳۰ محلی) روز ۲۷ اسفند ۱۳۹۷ بیشینه بارش تجمعی ۶ ساعته را به خود اختصاص داده است. تمام ایستگاه‌های همدیدی استان گلستان به جز ایستگاه همدیدی مراوه‌تپه، بیشینه بارش خود را در ساعت‌های یادشده (۰۶ تا ۱۲ UTC روز ۲۷ اسفند) دریافت نموده‌اند (شکل ۴). با توجه به شکل ۴ مشخص می‌گردد که ایستگاه‌های مینودشت، کلاله و گنبدکاووس به ترتیب با ۸۷، ۸۳ و ۶۶ میلی‌متر، بیشینه بارش‌های تجمعی ۶ ساعته در ساعت ۰۶ تا ۱۲ UTC و هم‌چنین بیشینه بارش ۲۴ ساعته ایستگاه‌های همدیدی استان گلستان را به خود اختصاص داده‌اند. شکل ۵ پهنه‌بندی بارش با روش IDW را به نمایش گذاشته است. با توجه به شکل‌های ۴ و ۵ می‌توان پی برد که هسته دیگر بارش‌ها، ایستگاه فرودگاه گرگان و علی‌آبادکتول با ۴۹ و ۴۵ میلی‌متر است. این در حالی است که ایستگاه‌های کارکنده و بندرگز با ۲۷ میلی‌متر و ایستگاه‌های مراوه‌تپه و کردکوی با ۲۶ میلی‌متر، کمینه رخداد بارش تجمعی ۶ ساعته را به خود اختصاص داده‌اند.

ضریب نش-سانکلیف (ENS): از منفی بی‌نهایت تا یک است و اگر مقدار آن برابر یک باشد تناسب کاملی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی وجود دارد و چنان‌چه مقدار این ضریب بین ۰/۷۵-۰/۳۶ باشد نتایج مدل خوب تا متوسط به شمار می‌رود. درواقع هرچه مقدار این شاخص به عدد یک نزدیک‌تر باشد، مدل از عملکرد بهتری برخوردار است (۲۶، ۳۳، ۴۵).

$$ENS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

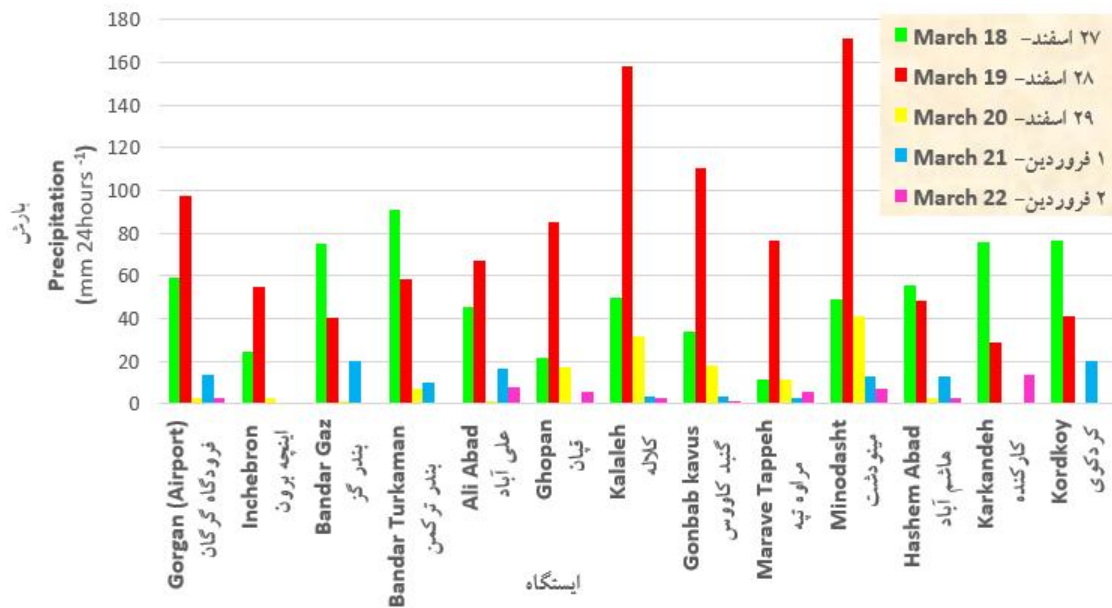
که در آن‌ها، P_i مقادیر شبیه‌سازی، O_i مقادیر مشاهده‌شده، n تعداد مشاهده‌ها و \bar{O} مقدار میانگین مشاهدات است.

ضریب همبستگی: بیان‌کننده میزان همبستگی بین نتایج برآورد شده مدل و داده‌های واقعی است که براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود (۱۴). درواقع ضریب همبستگی ارتباط خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری و یک ابزار ریاضی است که در پایه‌ریزی تحلیل‌های اقلیمی بسیار کاربرد دارد (۳۸).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{act} - \bar{y}_{act})(y_{est} - \bar{y}_{est})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{act} - \bar{y}_{act})^2 \sum_{i=1}^n (y_{est} - \bar{y}_{est})^2}} \quad (4)$$

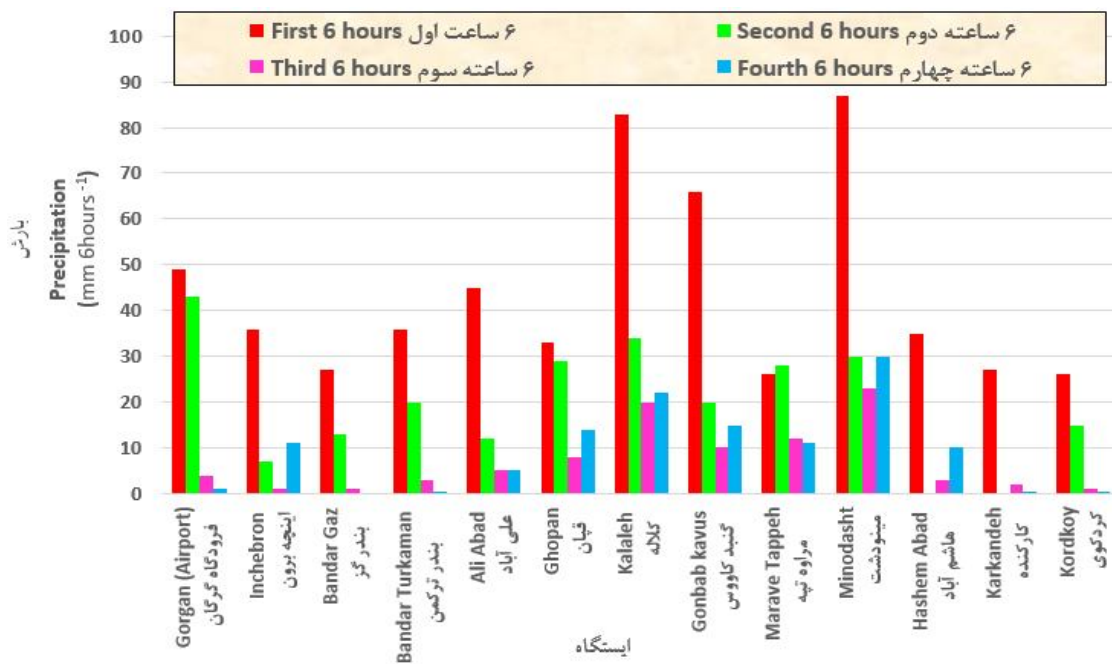
که در آن، y_{act} مقادیر مشاهداتی، \bar{y}_{act} میانگین مقادیر مشاهداتی، y_{est} مقادیر شبیه‌سازی‌شده و \bar{y}_{est} میانگین مقادیر شبیه‌سازی‌شده است.

به‌طورکلی ابتدا دوره بارشی منجر به رخداد سیلاب شناسایی و سپس داده‌های ساعتی مربوط به آن دوره دریافت و پس‌از آن بیشینه بارشی رخ داده در طول دوره بارشی استخراج گردید. سپس جهت اجرای مدل از داده‌های GFS با قدرت تفکیک ۰/۵ درجه استفاده شد. در ادامه پس از تنظیم و اجرای مدل با پیکربندی‌های مختلف، خروجی‌ها تهیه و



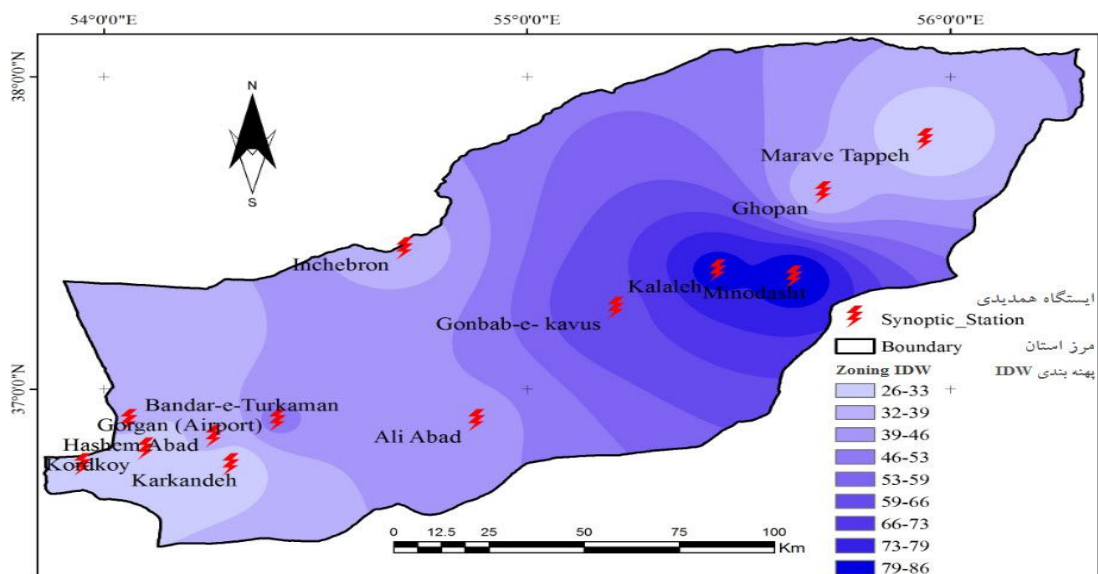
شکل ۳- بارندگی تجمعی ۲۴ ساعته ایستگاه‌های همدیدی استان گلستان در بازه ۲۷ اسفند تا ۲ فروردین ۱۳۹۷ (نگارندگان).

Figure 3. 24-hour cumulative precipitation of synoptic stations in Golestan province in the period of 18 to 22 March 2019 (Authors).



شکل ۴- بارندگی تجمعی ۶ ساعته روز ۲۷ اسفند ۱۳۹۷ ایستگاه‌های همدیدی استان گلستان (نگارندگان).

Figure 4. 6-hour cumulative precipitation on March 18 Golestan province synoptic stations (Authors).



شکل ۵- پهنه‌بندی (به روش IDW) بارش تجمعی ۶ ساعته- ساعت ۰۶ تا ۱۲ UTC ۲۷ اسفند ۱۳۹۷ ایستگاه‌های همیدی استان گلستان (نگارندگان).

Figure 5. 6-hour cumulative precipitation zoning (IDW method) - 06 to 12 UTC - March 18, 2019 Synopsis stations in Golestan province (Authors).

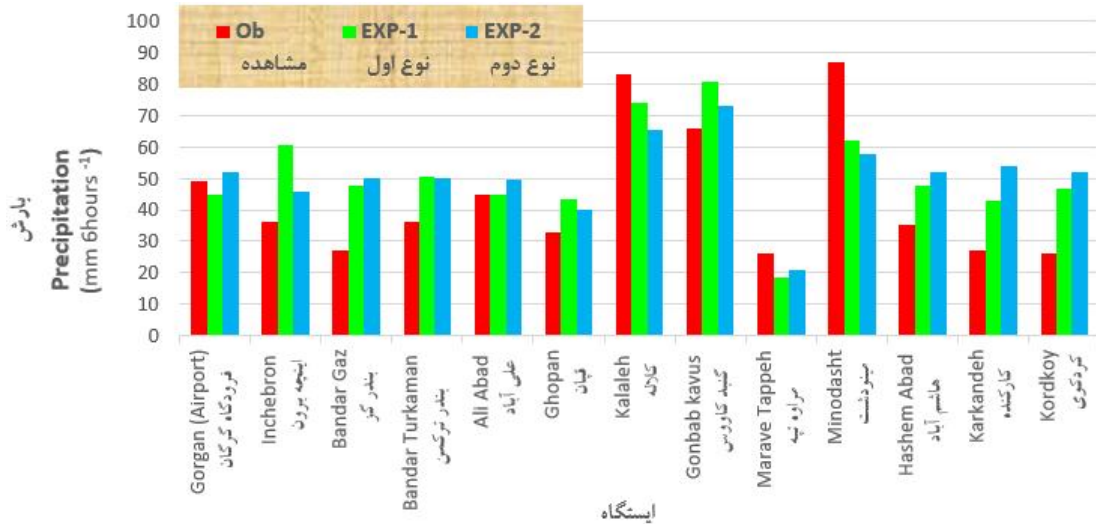
پیکربندی‌های مختلف با مقادیر ایستگاه‌های همیدی است که در پژوهش حاضر پیش‌بینی ۶ ساعته به‌دست‌آمده از مدل WRF در پیکربندی‌های متفاوت برای ساعت ۰۶ تا ۱۲ UTC روز ۲۷ اسفند ۱۳۹۷ (۱۸ مارس ۲۰۱۹) با دیدبانی متناظر ایستگاه‌های همیدی در استان مقایسه شدند. شکل ۶ مقادیر حاصل از دو پیکربندی که در برآورد مقادیر بارشی در مقایسه با مقادیر بارشی رخ داده در ایستگاه‌های همیدی عملکرد بهتری را داشتند به تصویر کشیده است. هم‌چنین به‌منظور درک بهتر از مقایسه مقادیر مشاهداتی و پیکربندی‌های مدل، انحرافات (آریب) دو پیکربندی مدل WRF نسبت به مقادیر بارش مشاهداتی ایستگاه‌های همیدی به درصد ارائه‌شده است (شکل ۷). با توجه به شکل مورد اشاره (شکل ۷) مدل WRF در عمده ایستگاه‌ها با بیش‌برآوردی همراه بوده است. در پیکربندی نوع اول^۱ ایستگاه و در پیکربندی نوع دوم^۲ ایستگاه بیش برآوردی داشته‌اند که دامنه این

راست‌آزمایی برون‌داد مدل WRF، به‌عنوان پیش‌نیاز استفاده پژوهشی و عملیاتی از آن، ضروری است. منظور از فرایند راست‌آزمایی، ارزیابی کیفی پیش‌بینی‌های هواشناسی است که در آن نتایج فرایند پیش‌بینی، با دیدبانی‌های متناظر مقایسه می‌شود (۸، ۴۶). از آنجاکه استفاده عملیاتی از مدل‌های منطقه‌ای پیش‌بینی عددی وضع هوا در چند سال اخیر در ایران متداول شده بنابراین چنین مطالعاتی ضروری به نظر می‌رسد. بارش کمی است که پیش‌بینی صحیح آن از جهات مختلف اقتصادی، اجتماعی و غیره دارای اهمیت است. یافتن پیکربندی مناسب مدل، با هدف پیش‌بینی درست کمیت‌های هواشناختی مانند بارش، بر ارزیابی نتایج آن مبتنی است (۴۶). به‌عبارت‌دیگر، زمانی یک پیکربندی مناسب است که نتایج حاصل از مدل به مقادیر واقعی رخداد، نزدیک یا نسبتاً نزدیک باشد. پس لازم است پیش از به کار بردن این مدل در چارچوب عملیاتی از صحت نتایج آن اطمینان حاصل شود. بدین‌ترتیب یکی از مهم‌ترین راه‌ها برای تشخیص دقت مدل، مقایسه مقادیر حاصل از مدل در

1- Experiment-1 (EXP-1)
2- Experiment-2 (EXP-2)

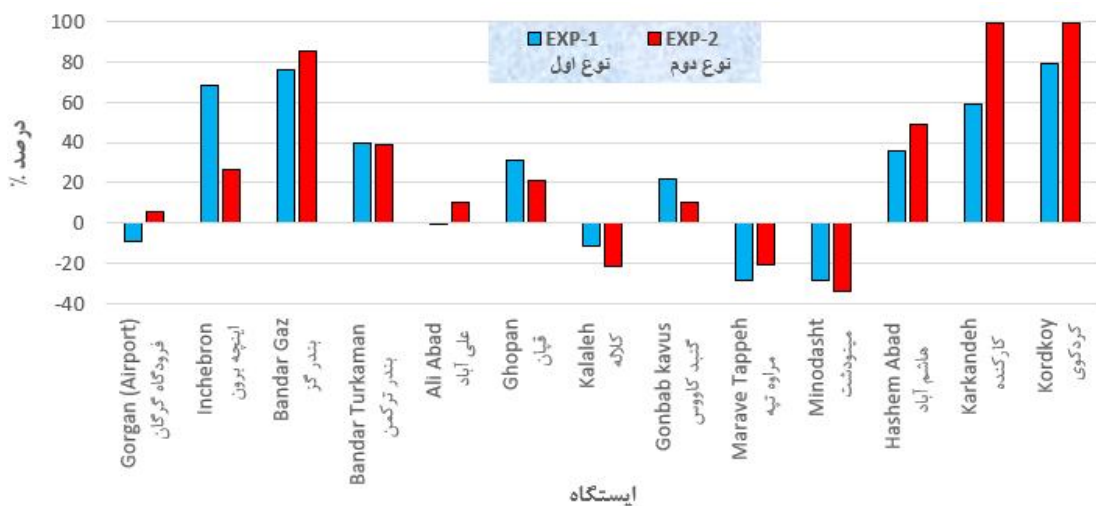
۳۰ میلی‌متر (۳۴ درصد) در ایستگاه مینودشت متغیر است. بنابراین از منظر فراوانی تعداد ایستگاه‌های دارای بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی به ترتیب پیکربندی نوع دوم و اول و از منظر مقادیر بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی نیز در هر دو حالت پیکربندی نوع دوم پیشینه را به خود اختصاص داده است.

بیش‌برآوردی از ۳ میلی‌متر (۶ درصد) در ایستگاه گرگان تا ۲۷ میلی‌متر (۹۹ درصد) در ایستگاه کارکنده متغیر است. از طرف دیگر پیکربندی نوع اول در ۵ ایستگاه و پیکربندی نوع دوم در ۳ ایستگاه با کم‌برآوردی همراه بوده است که دامنه این کم‌برآوردی از ۰/۳ میلی‌متر (۰/۶ درصد) در ایستگاه علی‌آباد تا



شکل ۶- مقایسه بارش واقعی تجمعی ۶ ساعته اول روز ۲۷ اسفند ۱۳۹۷ ایستگاه‌های همدیدی استان گلستان و دو پیکربندی مدل WRF (نگارندگان).

Figure 6. Comparison of actual cumulative precipitation in the first 6 hours of March 18 synoptic stations in Golestan province and two WRF model configurations (Authors).



شکل ۷- انحرافات (أرب) دو پیکربندی مدل WRF نسبت به مقادیر بارش مشاهداتی ایستگاه‌های همدیدی به درصد (نگارندگان).

Figure 7. Deviations of the two configurations of the WRF model in comparison with the observed precipitation values of synoptic stations (authors).

برابر با ۰/۷۸ و ۰/۶۷؛ ضریب نش-ساتکلیف برای پیکربندی نوع اول و دوم به ترتیب برابر با ۰/۴۲ و ۰/۳۰ و ضریب همبستگی برای پیکربندی نوع اول و دوم به ترتیب برابر ۰/۷۳ و ۰/۶۳ است و در مجموع آماره‌های یادشده بیانگر این است که پیکربندی نوع اول شرایط بهتری را نسبت به پیکربندی نوع دوم دارا می‌باشد.

به منظور اطمینان و ارزیابی عملکرد مدل پیش‌بینی، آماره‌های خطاسنجی نیز به کار گرفته شدند که در جدول ۲ آماره‌های مربوط به دو نوع پیکربندی که به داده‌های مشاهداتی نزدیک‌تر بوده است، ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد (جدول ۲) مقدار میانگین خطای مطلق برای پیکربندی نوع اول و دوم به ترتیب برابر با ۱۳/۸ و ۱۴/۶؛ مقدار آماره ویلموت برای پیکربندی نوع اول و دوم به ترتیب

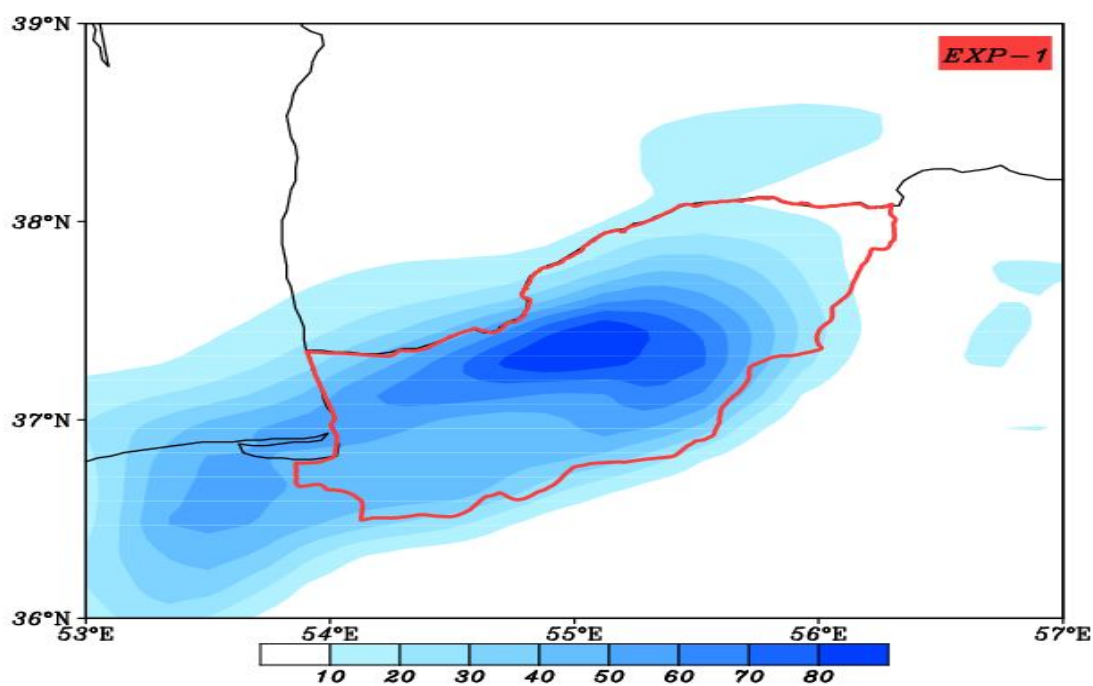
جدول ۲- ارزیابی عملکرد مدل WRF با استفاده از آماره‌های خطاسنجی (نگارندگان).

Table 2. Evaluation of WRF model performance using different criteria (measurement Statistic) (authors).

پیکربندی Configurations		آماره Statistic
نوع دوم EXP-2	نوع اول EXP-1	
14.6	13.8	MAE
0.67	0.78	d
0.63	0.73	R
0.30	0.42	ENS

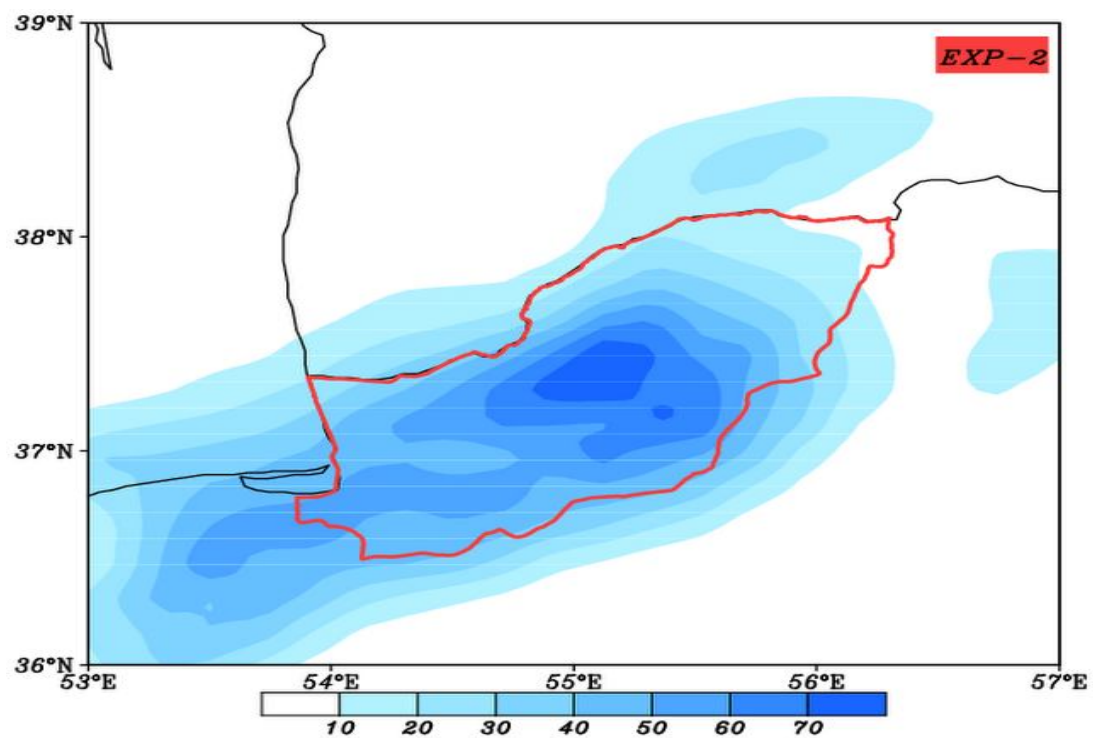
گلستان قابل توجه است. شکل ۸ پهنه‌های بارشی و هم‌چنین قرارگیری هسته بارش بر فراز ایستگاه‌های گنبدکاووس، کلاله و مینودشت را به خوبی نشان می‌دهد؛ و این در حالی است که در شکل ۹ پهنه بارشی قابل توجه است و برخلاف شکل ۸ هسته‌های بارشی به خوبی برآورد نشده است.

شکل‌های ۸ و ۹ نقشه‌های بارش حاصل از دو نوع پیکربندی یادشده که به رخداد واقعی بارش در ساعت ۰۶ تا ۱۲ UTC روز ۲۷ اسفند ۱۳۹۷ نزدیک‌تر می‌باشند را نشان می‌دهد. شکل ۸ پیکربندی نوع اول و شکل ۹ پیکربندی نوع دوم را به نمایش گذاشته است. با توجه به شکل‌های مورد اشاره هسته‌های بارشی و مقادیر بارشی بر فراز استان



شکل ۸- پیکربندی نوع اول مدل WRF - رنگ: بارش؛ (نگارندگان).

Figure 8. Configuration of the EXP-1 of WRF model - Color: precipitation (Authors).



شکل ۹- پیکربندی نوع دوم مدل WRF - رنگ: بارش (نگارندگان).

Figure 9. Configuration of the EXP-2 of WRF model - Color: precipitation (Authors).

Janic (BMJ)، طرح‌واره لایه مرزی سیاره‌ای: WSM 3-class، طرح‌واره خردفیزیک: Eta similarity به‌عنوان طرح‌واره‌های مناسب نسبت به بارش واقعی استان گلستان معرفی گردیدند. هم‌چنین لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر طرح‌واره‌های سطح خشکی، لایه سطحی، تابش موج‌کوتاه و تابش موج‌بلند به دلیل عدم‌تغییر در خروجی مدل (شبیه‌سازی بارش) به‌عنوان طرح‌واره‌های ثابت لحاظ گردیدند.

در ادامه دو پیکربندی که نتایج بهتری را در مقایسه با داده‌های مشاهداتی برآورد کرده‌اند معرفی گردیده است (جدول ۳). در پیکربندی نوع اول (EXP-1) طرح‌واره کومولوس: Kain-Fritsch، طرح‌واره لایه مرزی سیاره‌ای: Mellor-Yamada-Janjic، طرح‌واره خردفیزیک: Lin و طرح‌واره لایه سطحی Monin-Obukhov-Janji به‌عنوان طرح‌واره‌های مناسب برای بارش استان گلستان معرفی گردیدند و این در حالی است که در پیکربندی نوع دوم (EXP-2) طرح‌واره کومولوس: Bets-Miller-

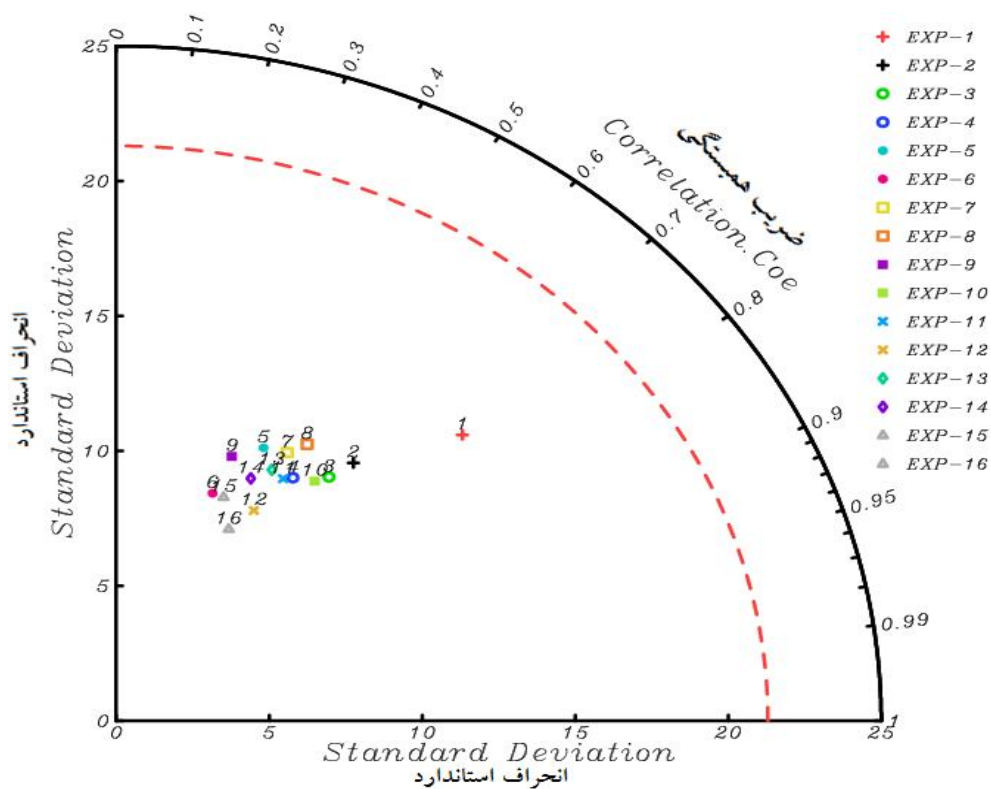
جدول ۳- پیکربندی مدل WRF برای پیش‌بینی ۶ ساعته (۰۶ تا ۱۲ UTC) بارش ۲۷ اسفند ۱۳۹۷ استان گلستان (نگارندگان).

Table 3. WRF model configuration for 6-hour forecast (06 to 12 UTC) precipitation March 18, 2019 Golestan province Authors).

کومولوس Cumulus	لایه مرزی سیاره‌ای Planetary boundary layer	خرد فیزیک Micro physics	تابش موج‌بلند Long wave radiation	تابش موج‌کوتاه Short wave radiation	لایه سطحی Surface layer	سطح خشکی Land surface	پیکربندی مدل WRF WRF model configuration
Kain-Fritsch (new Eta)	Mellor- Yamada-Janjic (TKE)	Lin	RRTM	Godard	Monin- Obukhov (Janjic Eta)	Noah LSM	EXP-1
Bets-Miller- Janic (BMJ)	YSU(PBL)	WSM 3- class	RRTM	Godard	Eta similarity	Noah LSM	EXP-2

بهتری را در مقایسه با سایر پیکربندی‌ها جهت شبیه‌سازی بارش‌های فوق‌سنگین استان گلستان دارا هستند (شکل ۱۰). شکل یادشده بیانگر این است که انحراف استاندارد دو پیکربندی ۱ و ۲ نسبت به سایر پیکربندی‌ها به انحراف استاندارد داده‌های مشاهده‌ای نزدیک‌تر هستند و از طرفی مقادیر همبستگی پیکربندی اول و دوم با داده‌های واقعی بیش‌تر است.

نمودار تیلور از جمله‌ی نمودارهایی است که امکان مقایسه پیکربندی‌های مختلف را به‌صورت هم‌زمان و به‌سادگی فراهم می‌کند. نمودار یادشده دارای دو نوع ساده و بی‌بُعد است که حالت بی‌بُعد به‌منظور مقایسه پارامترهای مختلف کاربرد دارد و این در حالی است که نوع ساده برای یک پارامتر مشخص به کار می‌رود (۴۳). بنابراین در پژوهش حاضر از نمودار تیلور ساده بهره گرفته شده است. با توجه به نمودار تیلور می‌توان پی برد که پیکربندی‌های نوع اول و دوم شرایط



شکل ۱۰- نمودار تیلور؛ اعداد بیانگر شماره پیکربندی‌ها (نگارندگان).

Figure 10. Taylor diagram; Numbers represent the configurations number (authors).

علل فیزیکی رخداد خطاها، میزان این خطاها را با تغییر طرح‌واره‌های مدل عددی و پارامترسازی فیزیکی کاهش داد (۴۲).

نتیجه‌گیری کلی

مدل‌های سیاره‌ای در ارائه پیش‌بینی‌های مربوط به نزولات منطقه‌ای تحت تأثیر فرایندهای با مقیاس ریزتر از شبکه مدل قرار می‌گیرند که باید خروجی آن‌ها را به مقیاس منطقه‌ای تبدیل نمود (۲۰)؛ بنابراین در پژوهش حاضر با استفاده از ابزار واسطی به نام مدل مقیاس‌کاهی دینامیکی WRF، خروجی مدل جهانی در مقیاس نقطه‌ای و ایستگاهی مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت. از طرف دیگر با توجه به اهمیت پارامتر بارش، مقادیر بارش پنج‌روزه اسفندماه ۱۳۹۷ استان گلستان که خسارات سنگینی را در پی داشته است

با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر باید در نظر داشت که به‌کارگیری مدل‌های آب و هوایی منطقه محدود برای یک منطقه جدید با چالش‌هایی چون انتخاب حوضه مناسب، داده‌های اولیه و داده‌های شرایط مرزی مناسب و انتخاب گزینه‌های مناسب از میان طرح‌واره‌های فیزیکی روبه‌رو می‌شود (۲۰). از طرف دیگر منبع اصلی خطا در پیش‌بینی بارش با استفاده از مدل‌های عددی چون WRF، بیش‌تر ناشی از خطاهای تصادفی است. این خطاهای تصادفی مانع پیش‌بینی دقیق مقادیر بارش خواهند شد. آماره‌ها و نتایج به‌دست‌آمده در این‌گونه پژوهش‌ها اطلاعات مناسبی را برای کاربران پیش‌بینی و توسعه‌دهندگان مدل فراهم خواهد کرد، به‌نحوی که منجر به شناسایی مناطقی خواهد شد که نیاز به توجه و پژوهش بیش‌تری دارند. در این مناطق می‌توان با بررسی دقیق

می‌توان پی برد که درمجموع مدل WRF در دو نوع پیکربندی یادشده نتایج قابل‌قبولی داشته است. در هر دو پیکربندی هسته‌های بارشی به‌خوبی به تصویر کشیده شده است و از منظر مقادیر بارشی نیز دقت مدل نسبتاً خوب بوده است. هم‌چنین در رابطه با مقادیر بیشینه بارش پیکربندی نوع اول از دقت بالاتری برخوردار است؛ و درمجموع پیکربندی نوع اول عملکرد بهتری را نسبت به پیکربندی نوع دوم به نمایش گذاشته است. لازم به ذکر است پیکربندی نوع اول که شامل طرح‌واره کومولوس: Kain-Fritsch، طرح‌واره لایه مرزی سیاره‌ای: Mellor-Yamada، طرح‌واره خردفیزیک: Lin و طرح‌واره لایه سطحی Monin-Obukhov-Janji است با پیکربندی پژوهش‌هایی چون آزادی و همکاران (۲۰۰۹)، آزادی و همکاران (۲۰۱۲)، آزادی و همکاران (۲۰۱۲b)، ذوالجودی (۲۰۱۳)، ذاکری و همکاران (۲۰۱۴) و ساسانیان و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. درنهایت نتایج حاصله بیانگر این است که به‌کارگیری مدل‌های مقیاس‌کاهی به‌طور عام و به‌کارگیری مدل دینامیکی چون WRF به‌طور خاص می‌تواند در پیش‌آگاهی رخداد بارش مفید واقع شود. درواقع استفاده از مدل دینامیکی یادشده دقت پیش‌بینی‌های بارش را افزایش می‌دهد که از این نظر نتایج پژوهش حاضر با پژوهش‌هایی چون مویا آلوارز (۲۰۱۸)، دوزنلی و همکاران (۲۰۲۰) و راجیتا و همکاران (۲۰۲۱) هماهنگ است؛ بنابراین می‌توان در تدوین و توسعه سیستم هشدار سیلاب در حوضه‌های سیل‌خیز کشور از مدل مقیاس‌کاهی دینامیکی WRF جهت پیش‌بینی سیلاب استفاده نمود.

تقدیر و تشکر

از سازمان هواشناسی کشور به‌دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های موردنیاز پژوهش تشکر می‌گردد.

بررسی گردید. برای این منظور داده‌های بارش تجمعی دوره بارشی ۵ روزه که منجر به رخداد سیل گردید بررسی که در پی آن مشخص شد بیشینه بارش ۲۴ ساعته در طول دوره ۵ روزه به ساعت ۰۶ UTC روز ۲۷ اسفند تا ساعت ۰۶ UTC روز ۲۸ اسفند و بیشینه بارش تجمعی ۶ ساعته نیز به ساعت ۰۶ UTC تا ۱۲ UTC روز ۲۷ اسفند ۱۳۹۷ اختصاص دارد. بعد از اجرای مدل برای ساعت ۰۶ تا ۱۲ UTC روز ۲۷ اسفند و سپس با استفاده از آماره‌های خطاسنجی مشخص گردید که دو پیکربندی از سایر پیکربندی‌های به‌کار گرفته‌شده دارای خطای کم‌تری هستند. برای پیکربندی نوع اول و دوم مقدار میانگین خطای مطلق به‌ترتیب برابر با ۱۳/۸ و ۱۴/۶؛ مقدار آماره ویلموت برابر با ۰/۷۸ و ۰/۶۷؛ ضریب نش-ساتکلیف برابر با ۰/۴۲ و ۰/۳۰ و ضریب همبستگی برابر ۰/۷۳ و ۰/۶۳ است. نتایج حاصل از مقایسه انحرافات دو پیکربندی با بارش‌های واقعی نشان داد که مدل WRF در اغلب ایستگاه‌ها با بیش‌برآوردی همراه بوده است به‌گونه‌ای که در پیکربندی نوع اول ۸ ایستگاه و در پیکربندی نوع دوم ۱۰ ایستگاه بیش‌برآوردی داشته‌اند که دامنه این بیش‌برآوردی از ۳ میلی‌متر در ایستگاه گرگان تا ۲۷ میلی‌متر در ایستگاه کارکنده متغیر است. از طرف دیگر پیکربندی نوع اول در ۵ ایستگاه و پیکربندی نوع دوم در ۳ ایستگاه با کم‌برآوردی همراه بوده است که دامنه این کم‌برآوردی از ۰/۳ میلی‌متر در ایستگاه علی‌آباد تا ۳۰ میلی‌متر در ایستگاه مینودشت متغیر است؛ بنابراین از منظر فراوانی تعداد ایستگاه‌های دارای بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی به ترتیب پیکربندی نوع دوم و اول و از منظر مقادیر بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی نیز در هر دو حالت، پیکربندی نوع دوم بیشینه را به خود اختصاص داده است و به عبارتی با بیشینه خطا نسبت به پیکربندی نوع اول همراه است. با توجه به جدول ۲ و شکل‌های ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰

داده‌ها و اطلاعات

داده‌های مقاله حاضر از سایت سازمان هواشناسی

کشور دریافت شده است.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این

مسئله مورد تأیید همه نویسندگان است.

منابع

1. Abbasi, E., and Etemadi, H. 2019. Numerical modeling of the atmospheric phenomenon causes of water logging in Persian Gulf coastal area. *J. of Environmental Science and Technology*. 23: 104. 103-114. (In Persian)
2. Ahmadi, M., Lashkari, H., Keikhosravi, Gh., and Azadi, M. 2016. Comparing the performance of LARS_WG and RegCM4 models in simulating and post-processing of annual temperature and rainfall data in Great Khorasan. *J. of Geographical Data (SEPEHR)*. 25: 98. 157-170. (In Persian)
3. Amini, L., Parhizkar, D., and Khakian, G. 2015. The performance of WRF model in heavy precipitation forecasting With a resolution of 27, 9 and 3 km in Esfahan province. *The Second National Conference on Flood Management and Engineering with the Approach of Urban Flooding*, Tehran. (In Persian)
4. Asakerh, H., and Shadman, H. 2019. A Capability Assessment of the SDSM Model to Simulate Mean Temperature of Urmia City. *J. of Geography and Environmental Planning*, 29: 4. 89-107. (In Persian)
5. Rajitha, A., Thaileng, T., Panduka, N., Monica, P., Sorlaty, S., Larxoy, L., Sengkeo, K., and Viengkham, S. 2021, Evaluating the Performance of a WRF Physics Ensemble in Simulating Rainfall over LaoPDR during Wet and Dry Seasons, *Advances in Meteorology*, vol, 2021, Article ID 6630302, 1-16. <https://doi.org/10.1155/2021/6630302>.
6. Azadi, M., Taghizadeh, E., and Memarian, M.H. 2012. Verification of WRF Precipitation Forecast over Iran Country during Nov.2008-Jun.2009. *J. of Iran-Water Resources Research*. 8: 2. 48-59. (In Persian)
7. Azadi, M., Shirgholami, M.R., Hajjam, S., and Sahraian, F. 2012b. WRF Model Output Postprocessing for Daily Precipitation over Iran M. *J. of Iran Water Resources Research*. 7: 4. 81-71. (In Persian)
8. Azadi, M., Kalateh Seifri, Z., and Jafari, S. 2009. Performance evaluation of WRF model in Iran for rainfall prediction using different physical schemas: A case study. *Twelfth Conference on Fluid Dynamics*. Noshirvani Babol University of Technology. 10-8 May. Pp: 1-7. (In Persian)
9. Davis, C.A., Wang, W., Chen, Y.R., Corbosiero, K., Dudhia, J., and Holland, G. 2006. Advanced research WRF developments for hurricane prediction [presentation]. In *7th WRF Users' Workshop*. University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), Boulder, CO, US.
10. Done, J.M., L.R. Leung, and B.K. 2006. Understanding error in the long-term simulation of warm season rainfall using the WRF model., In *7th WRF Users' Workshop*. University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), Boulder, CO, US.
11. Dubrovsky, M. 1996. Validation of the stochastic Weather Generator Met & ROLL. *Meteorologickeo Zpravy*, 49: 129-138.
12. Düzenli, E., Pilatin, H., Yücel, İ., Kılıçarslan, B., and Yılmaz, M.T. 2020. Evaluation of the performance of WRF model in extreme precipitation estimation concerning the changing model configuration and the spatial and temporal variations. *EGU General Assembly 2020*, Vienna, Austria. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-1026>.

13. Goodarzi, L., Banihabib, M.E., and Ghafarian, P. 2018. Evaluation of the WRF model performance for heavy rainfall simulation A Case Study of the Kan Basin in Iran. *J. of Water and Soil Conservation*. 25: 1. 229-242. (In Persian)
14. Goodarzi, M. Hoseini, M., and Parekar, M. 2017. Evaluation of Statistical Downscaling Method in Simulation of Climate Change of Karkheh Basin up to the Karkheh Dam. *Jwmseir*. 10: 35. 51-65. (In Persian)
15. Hewitson, B.C., and Crane, R.G. 2006. Consensus between GCM Climate Change Projections with Empirical Downscaling: Precipitation Downscaling over South Africa. *Int. J. Climatol*. 26: 1315-1337.
16. Houshyar, M., Sobhani, B., and Hosseini, S.A. 2018. Future projection of Maximum Temperature in Urmia through Downscaling output of CanESM2 Model. *Quarterly Journal of Geography and Planning*. 22: 63. 305-325. (In Persian)
17. Hu, T.S., Lam, K.C., and Ng, S.T. 2001. River flow time series prediction with a range dependent neural network. *Hydrological Science Journal*. 46: 729-745.
18. Kalnay, E., Kanamitsu, M., and Baker, W. 1990. Global Numerical Weather Prediction at the National Meteorological Center. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 71: 10. 1410-1428.
19. Karori, M. 2008. Downscaling NCC CGCM output for seasonal precipitation prediction over ISLAMABAD-PAKISTAN. *Pakistan Journal of Meteorology*. 4: 59-72.
20. Khorshiddoust, A.M., Mofidi, A., Rasuly, A.A., and Azarm, K. 2017. Evaluating the sensitivity of RegCM4 model to types of Convection Parameterization Schemes on the modeling of springtime precipitation in the North West of Iran: (Case Study: Spring 2004). *Journal of the Earth and Space Physics*. 43: 3. 651-671. (In Persian)
21. Kiani, M. Gheysari, M., and Mostafazadeh-Fard, B. 2013. Estimation of genetic coefficients and evaluation of OILCROP-SUN model under different levels of nitrogen fertilizer. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*. 2: 3. 1-11. (In Persian)
22. Kryza, M., Werner, M., Walszek, 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.
23. Kumar, A., Dudhia, J., Rotunno, R., Niyogi, D., and Mohanty, U. 2008. Analysis of the 26 July 2005 heavy rain event over Mumbai, India using the Weather Research and Forecasting (WRF). *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 134: 1897-1910.
24. Laifang, L., Wenhong, L., and Jiming, J. 2014. Improvements in WRF simulation skills of southeastern United States summer rainfall: physical parameterization and horizontal resolution. *Climate Dynamics*. 43: 7-8. 2077-2091.
25. Landis, R.C. 1994. Comments on Forecasting in meteorology. *Bulletin American Meteorological Society (BAMS)*. 75: 823-827.
26. Mahmoodi, Z., Bahremand, A., Abdollahi, K., Sadoddin, A., Kuhestani, S., and Komaki, C. 2020. Investigation of Temporal and Spatial Variations of Water Balance Components and Hydrograph Separation of Arzkoose Watershed through Groundwater Recharge Modeling using WetSpa Model. *Journal of Water and Soil Conservation*, 27: 1. 25-47. doi: 10.22069/jwsc.2020.17733.3330. (In Persian)
27. Mazidi, A., Jafari Zoj, F., and Heidary, S. 2015. Simulation of Dust Storm Events on February 28, 2009 in Fars province Using WRF Model. *J. of Applied Climatology*. 2: 2. 48-68. (In Persian)
28. Moosavi, S.M., Zarrin, A., Mofidi, A., and Hosseini, S.F. 2017. Investigating the relationship between the frequency of thunderstorms and temperature trend in Mashhad. *GeoRes*. 32: 3. 74-87. (In Persian)

29. Moeng, C.H., Dudhia, J., Klemp, J.B., and P.P.S. 2007. Examining two-way grid nesting for large eddy simulation of the PBL using the WRF model. *Mon. Wea. Rev.* 135: 2295-2311.
30. Moya-Álvarez, A.S., Gálvez, J., Holguín, A., Estevan, R., Kumar, S., Villalobos, E., Martínez-Castro, D., and Silva, Y. 2018. Extreme Rainfall Forecast with the WRF-ARW Model in the Central Andes of Peru. *Atmosphere*, 9: 9. 1-20. <https://doi.org/10.3390/atmos9090362>.
31. Nazemosadat, S.M.J., and Ravan, V. 2011. Prediction of temperature and precipitation fluctuations in the central zone of Fars province for the period 2011-2040 with similar use to ECHAM. *J. of Water Resources Engineering*. 4: 10. 51-62. (In Persian)
32. Pennelly, C., Reuter, G., and Flesch, T. 2014. Verification of the WRF model for simulating heavy precipitation in Alberta. *Atmospheric Research*. 135: 172-192.
33. Rezazadeh Judi, A., and Sattari, M. 2017. Evaluate the performance of various methods in reconstructing monthly precipitation data. *Applied Research in Geographical Sciences (Geographical Sciences)*, 16: 42. 155-176. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=358139>. (In Persian)
34. Safar, M., and Ahmadi Givi, F. 2017. Optimal run-time selection of convection scheme based on radar data in the WRF model for short-range precipitation prediction. *Journal of the Earth and Space Physics*. 43: 3. 585-600. (In Persian)
35. Salimi Mastali, A., Khoshkhoo, Y., and Gholizadeh, M. 2019. Evaluating and Zoning of the Extreme Rainfalls Occurrence Risk in West of Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26: 1, 49-69. doi: 10.22069/jwsc.2019.15685.3086. (In Persian)
36. Sasanian, S., Azadi, M., and Ghorban Fallah, R. 2015. Evaluate the performance of the WRF model with different physical options for predicting Wintertime precipitation on the southwest of Iran. The first scientific research congress on the development and promotion of agricultural sciences, natural resources and environment of Iran. Pp: 1-12. (In Persian)
37. Shamsipoor, A.A. 2013. *Climate Modelin, Theory and Method*. Tehran Univ. Press, 287p. (In Persian)
38. Sedaghat Kerdar, A., and Fattahi, E. 2008. Drought forecast indicators in Iran. *J. of Geography and Development Iranian Journal*. 6: 11. 59-76. (In Persian)
39. Shuman, F.G. 1989. History of numerical weather prediction at the National Meteorological Center. *Weather and Forecasting*. 4: 286-296.
40. Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D., Duda, M.G., and Powers, J.G. 2019. A Description of the Advanced Research WRF Version 3 (No. NCAR/TN-475+STR). University Corporation for Atmospheric Research. 1-125. doi:10.5065/D68S4MVH.
41. Special Reporting Committee on Iran Floods. 2019. The 2019 Iran Floods Narrative. Pp: 1-122. (In Persian)
42. Taghavi, F., Neyestani, A., and Ghader, S. 2013. Short range precipitation forecasts evaluation of WRF model over IRAN. *Journal of the Earth and Space Physics*. 39: 2. 145-170. (In Persian)
43. Taylor, Karl E. 2001. Summarizing multiple aspectsof model performance in a single diagram, *Journal of Geophysical Research*, 106: D7. 7183-7192.
44. Zakeri, Z., Azadi, M., and Sahraeiyan, F. 2014. Verification of WRF forecasts for precipitation over Iran in the period Feb-May 2009. *J. of NIVAR*, 38: 87-86. 3-10. (In Persian)
45. Zandi Darreh Gharibi, F., and Khorsandi Kohanestani, Z., and Mazin, M., and Arman, N. 2017. Technical report: Investigation of efficiency of GR4J and GR2M runoff models in flow simulation of Darreh Takht watershed. *Watershed Engineering and Management*, 9: 3. 360-370. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=360411>. (In Persian)

46. Zoljoodi, M., Ghazi Mirsaeed, M., and Seifari, Z. 2013. Verification of WRF model On Accuracy and Precision of Various Schemes and Evaluation of Precipitation Forecast in Iran. *GeoRes.* 28: 2. 187-194. (In Persian)

47. Willmott, C.J. 1982. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. *Bulletin American Meteorological Society.* 63. 1309-1313.



Assessment of WRF model sensitivity for simulating super heavy Precipitation, "Case study: 17 to 22 March 2019"

M.H. Mahoutchi¹ and E. Abbasi^{*2}

¹Ph.D. Graduate of Synoptic Climatology, Dept. of Physical Geographic, University of Tehran,

²Assistant Prof., Dept. of Environment, Persian Gulf Research Institute, University of Persian Gulf

Received: 01.30.2021; Accepted: 05.24.2021

Abstract

Background and Objectives: The large-scale computational network of planetary models are not able to predict climatic variables on a regional scale. In other words, these models are affected by processes with a smaller scale than the model network in providing predictions of regional precipitation. Therefore, the model outputs should convert into a regional scale. The research purpose is to investigate the different configurations of the WRF model in the simulation of 5-days rainfall in March 17 to 22 March 2019 in Golestan province, which has caused devastating floods and heavy damage in the province.

Materials and Methods: The observation and quality control precipitation data was analyzed in 13 synoptic stations of Golestan province for a 5-days period from March 17 to 22 March 2019 in the form of 24 Hours (From 06 UTC the day before to 06 UTC the next day) and 6 hours (00, 06, 12 and 18 UTC are 3:30, 9:30, 15:30 and 21:30 local time, respectively). Also, two types of input data including initial condition data and boundary condition data were used in the WRF model. The boundary condition data was GFS data with 0.5-degree resolution. Furthermore, two domains were used in WRF model, 1) the large (mother) with a horizontal resolution of 18 km and 2) internal domain, which is the main domain and has 6 km horizontal resolution.

Results: Two configuration was selected which showed better output results. The 5-days cumulative precipitation data which caused the flood show that the maximum 24-hour precipitation during the 5-days period is 06:00 UTC on March 18 to 06:00 UTC March 19 and the maximum cumulative rainfall of 6 hours is related to 06 to 12 UTC on March 18, 2019. Subsequently, by study similar research in Iran, different configurations for precipitation prediction were extracted and modeled. Then, in order to determine the accuracy of the model, the values obtained from the model in different configurations were compared with the values of synoptic stations. To ensure this comparison, MAE, d, R and ENS test statistics were used.

Conclusion: The results showed that the WRF model overestimate the precipitation data in most stations. In both configurations, results convey the precipitation cores well illustrated and the model accuracy was good enough in predicting precipitation. In maximum values of precipitation, the configuration of the first type show better results. Overall, the first type configuration performed more accurate than the second type configuration.

Keywords: Downscaling, Golestan flood, Precipitation, Simulation, WRF model

* Corresponding Author; Email: esmaeil.abbasi@pgu.ac.ir