




Evaluation of the Performance of the WRF Weather Forecast Model in Estimating Heavy Rainfall in Lorestan Province

Falah, F.¹  | Zeinivand, H.²  | Azadi, M.³ 

1. Ph.D. student of Watershed Management Science and Engineering, Lorestan University.
2. Associate Professor, Department of Range and Watershed management Engineering, Lorestan University.
3. Professor, Research Institute of Meteorology and Atmospheric Sciences (RIMAS).

Corresponding Author E-mail: zeinivand.h@lu.ac.ir

(Received: 06 Feb 2025, Accepted: 25 Aug 2025, Published online: 25 Aug 2025)

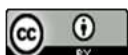
Abstract

Accurate and reliable precipitation forecasting, as a critical component of meteorology, plays a pivotal role in water resource management and in mitigating natural hazards such as floods and droughts. In recent decades, Numerical Weather Prediction (NWP) models have emerged as powerful tools for forecasting precipitation and other atmospheric phenomena. Among them, the Weather Research and Forecasting (WRF) model is widely applied due to its high capability in simulating atmospheric processes and providing accurate forecasts at multiple spatial and temporal scales. This study evaluates the performance of the WRF model in estimating average precipitation over Lorestan Province, Iran. Simulations were performed for a 97-hour forecast horizon covering five flood-inducing events during rainy days in March 2019, April 2018, March 2017, and April 2016. Three nested domains with spatial resolutions of 1.5 km, 5 km, and 6.1 km, and three distinct model configurations were employed. Global Forecast System (GFS) data served as the initial and boundary conditions, and simulation results were compared with observational records from synoptic meteorological stations in the province. The results indicate that the configuration combining the Kain–Fritsch (new Eta) cumulus parameterization, Lin et al. microphysics, Rapid Radiative Transfer Model (RRTM) longwave radiation, Goddard shortwave radiation, and YSU boundary layer scheme yielded the highest accuracy in reproducing average precipitation across the study area. These findings highlight the importance of appropriate model configuration in enhancing WRF's predictive skill for heavy rainfall events in complex mountainous regions such as Lorestan.

Keywords: Convection parameterization, precipitation simulation, YSU boundary conditions, Lorestan province

Cite this article: Falah, F., Zeinivand, H. and Azadi, M. (2025). Performance Evaluation of the WRF Weather Forecast Model in Estimating Heavy Rainfall in Lorestan Province. (e227607). Nivar, 49(130-131), 21-38, e227607 doi: 10.30467/nivar.2025.504939.1323

E-mail: (1) falahfateme69@gmail.com (3) azadi68@hotmail.com



ارزیابی عملکرد مدل پیش‌بینی وضع هوا WRF در برآورد بارش-های سنگین استان لرستان

فاطمه فلاح^۱ | حسین زینی‌وند^۲ | مجید آزادی^۳

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

۲. دانشیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

۳. استاد، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: zeinivand.h@lu.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۸، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۳، انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۶/۰۳)

چکیده

پیش‌بینی دقیق و قابل اعتماد بارش، به عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر هواشناسی، نقشی حیاتی در مدیریت منابع آب و پیشگیری از مخاطرات طبیعی مانند سیل و خشکسالی ایفا می‌کند. در دهه‌های اخیر، مدل‌های پیش‌بینی وضع هوا (NWP) به عنوان ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی بارش و سایر پدیده‌های جوی توسعه یافته‌اند. یکی از این مدل‌ها، مدل (WRF) (Weather Research and Forecasting) است که به دلیل قابلیت‌های بالای خود در شبیه‌سازی فرآیندهای جوی و ارائه پیش‌بینی‌های دقیق در مقیاس‌های مختلف، به طور گسترده‌ای در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این رو، هدف از این مطالعه بررسی عملکرد مدل WRF در برآورد میانگین بارش استان لرستان می‌باشد. بدین منظور، شبیه‌سازی بارش برای برد زمانی ۹۷ ساعته برای ۵ رویداد منجر به سیلاب در روزهای بارانی ماه‌های مارس ۲۰۱۹، آوریل ۲۰۱۸، مارس ۲۰۱۷ و آوریل ۲۰۱۶ در سه دامنه با تفکیک‌های ۱۵، ۵ و ۱/۶ کیلومتر و ۳ پیکربندی متفاوت صورت گرفت. بدین منظور از داده‌های GFS به عنوان داده‌های ورودی به مدل WRF برای شبیه‌سازی استفاده شد و نتایج با داده‌های دیدبانی ثبت شده ایستگاه‌های سینوپتیک استان لرستان مقایسه گردید. نتایج نشان داد که پیکربندی مدل با ترکیب طرحواره‌های پارامترسازی همرفت Kain-Fritsch (new Eta)، فیزیک Lin et al، طول موج بلند RRTM، طول موج کوتاه Goddard و شرایط مرزی YSU در شبیه‌سازی میانگین بارش استان عملکرد بهتری دارد. این یافته‌ها بر اهمیت پیکربندی مناسب مدل در بهبود توان پیش‌بینی مدل WRF برای رویدادهای بارش سنگین در مناطق کوهستانی پیچیده‌ای مانند لرستان تأکید می‌کنند.

کلیدواژه‌ها: پارامترسازی همرفت، شبیه‌سازی بارش، شرایط مرزی YSU، استان لرستان

۱. مقدمه

اقتصادی و اجتماعی امری ضروری است (عرفانیان و همکاران، ۲۰۱۳). توانایی پیش‌بینی دقیق رخداد‌های مختلف، اساس مدیریت بحران به شمار می‌رود و این امکان، زمانی حاصل می‌شود که بتوان مدل‌های پیش‌بینی مناسب را در اختیار داشت. در حوزه منابع آب، پیش‌بینی درست متغیرهای هیدرولوژیکی نظیر بارندگی، نقش حیاتی در مدیریت منابع

بارش به منزله یکی از مولفه‌های اصلی چرخه آب‌شناختی، تأثیر بسزایی در اقلیم و فرایندهای آب‌شناختی در مقیاس‌های جهانی و منطقه‌ای دارد (چامین و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین شناخت کافی از میزان این پارامتر اقلیمی و پیش‌بینی آن به منظور داشتن برنامه‌ریزی دقیق‌تر در مدیریت بخش‌های کشاورزی،

استناد: فلاح، فاطمه، زینی‌وند، حسین و آزادی، مجید. (۱۴۰۴). ارزیابی عملکرد مدل پیش‌بینی وضع هوا WRF در برآورد بارش‌های سنگین استان لرستان. (e227607).

نیوار، ۴۹(۱۳۰-۱۳۱)، ۳۸-۲۱. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2025.504939.1323>

رایانامه: (۱) falahfateme69@gmail.com (۳) azadi68@hotmail.com



و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی اثر تفکیک افقی بر روی دقت مدل بارش WRF جهت استفاده در پیش‌بینی رواناب پرداختند و دریافتند حوضه‌های با تفکیک ۴ و ۱/۳ کیلومتر در مقایسه با بارش دیده‌بانی همبستگی بالایی داشته به طوری که ضریب همبستگی برای آنها ۰/۹۶ و ۰/۹۲ محاسبه شده است. قصابی و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ی خود تاثیر طرحواره‌های خرد فیزیک و همرفت را در برآورد بارش حوزه آبریز کارون بررسی کردند. نتایج مطالعات نشان داد که مدل WRF در مقیاس زمانی و مکانی مورد مطالعه، حساسیت چندانی به نوع طرحواره‌های خرد فیزیک و همرفت ندارد. پتلی و همکاران (۲۰۱۴) از مدل WRF برای شبیه‌سازی سه رخداد بارش سنگین در منطقه آلبرتا از ۵ طرحواره مختلف همرفت استفاده کردند که نتایج نشان داد طرحواره Fritsch-Kain نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. گودرزی و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ی خود با استفاده از مدل WRF سه رویداد سنگین منجر به سیلاب در حوضه رودخانه کن تهران را پیش‌بینی کردند و بیان کردند که استفاده از مدل دینامیکی WRF دقت پیش‌بینی‌های بارش را نسبت به مدل جهانی افزایش می‌دهد. بنابراین پیشنهاد دادند که در تدوین و توسعه سامانه هشدار سیلاب در حوضه‌های سیلخیز کشور از مدل WRF در ترکیب با مدل هیدرولوژیکی جهت پیش‌بینی سیلاب استفاده شود. ایمانی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه خود جهت توسعه سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب در حوضه آبریز کشکان در استان لرستان امکان جفت شدن مدل عددی هواشناسی WRF با مدل WRF-Hydro را بررسی و بیان کردند که درصد خطای حجم سیلاب و دبی اوج شبیه‌سازی شده به مشاهداتی کمتر از ۲۰٪ و زمان رسیدن به اوج سیلاب دارای خطایی کمتر از ۵ ساعت است. اکبری و همکاران (۱۴۰۰) پس از ارزیابی پس پردازش داده‌ها به روش میانگین لغزان (خروجی‌های ۲۷، ۹، ۱۸ و ۶ کیلومتری) در پیش‌بینی‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته مدل میان مقیاس WRF در لرستان بیان کردند که خروجی

آب و خاک ایفا می‌کند و اطلاعات مفیدی را برای برنامه‌ریزی و کاهش اثرات منفی بحران‌های آبی ارائه می‌دهد (مسعودی مقدم، ۱۴۰۳).

هرچند مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا، پیشرفت قابل ملاحظه‌ای داشته‌اند، ولی هنوز پیش‌بینی دقیق بارش که نقشی اساسی در پیش‌بینی سیلاب‌ها دارد، چالش برانگیز است (کریم‌خانی و همکاران، ۱۳۹۶). تا به حال روش‌های مختلفی جهت پیش‌بینی پارامترهای جوی و از جمله بارش ارائه شده است که از آن میان می‌توان به مدل‌های سری زمانی، شبکه عصبی مصنوعی، روش تئوری موجک‌ها و رگرسیون درختی اشاره کرد. مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا نیز 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 (ذاکری و همکاران، ۱۳۹۳). امروزه سرویس‌ها و مراکز هواشناسی مختلفی، پیش‌بینی‌های جوی را با مدل‌های عددی وضع هوا در مقیاس شبکه‌بندی بزرگ ارائه می‌دهند (هونگ و همکاران، ۲۰۰۴) که می‌توان با روش‌های مختلف به ریزمقیاس‌نمایی این پیش‌بینی‌ها پرداخت. از جمله روش‌های دینامیکی که امروزه برای ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های بزرگ مقیاس بسیار مورد توجه قرار گرفته است می‌توان به مدل پژو هوش و پیش‌بینی وضع هوا (WRF) اشاره کرد.

مطالعات بی‌شماری در سراسر دنیا در زمینه ارزیابی عملکرد این مدل در پیش‌بینی بارش انجام گرفته است. آزادی و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیقی برون‌داد مدل بارش WRF را برای ماه ژانویه در زمستان ۲۰۰۸ مورد راستی‌آزمایی قرار دادند. به منظور راستی‌آزمایی برای دو وضعیت بارش و فقدان بارش و نیز در نظر گرفتن چهار آستانه برای بارش جدول توافقی را تشکیل و امتیازات مهارتی را محاسبه و نشان دادند که در مجموع ۸۰ درصد پیش‌بینی‌های وقوع یا عدم وقوع بارش‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته به درستی انجام شده است. حیواتی

در تو ۳km/۹km) در حوضه Minjiang انجام و نشان دادند که WRF در بازتولید توزیع مکانی و شاخص‌های شدت/فرکانس خوب عمل می‌کند اما در شاخص‌های مدت (Duration) و در نواحی با توپوگرافی پیچیده دارای اریب است.

در سال‌های اخیر، استان لرستان با مخاطرات جوی و محیطی متعددی همچون بارش‌های سنگین، سیلاب و خشکسالی مواجه بوده که آثار آن در ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و زیست‌محیطی زندگی مردم نمایان شده است. بروز مشکلاتی نظیر ناتوانی در تأمین آب شرب و افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق، تنها بخشی از چالش‌های آبی این استان را تشکیل می‌دهد. از این رو، شناسایی و پایش روند تغییرات برخی عناصر اقلیمی، به‌ویژه بارش، و نیز پیش‌بینی دقیق آن‌ها، از الزامات اساسی در برنامه‌ریزی‌های توسعه و مدیریت منابع استان به شمار می‌آید (حیدری و همکاران، ۱۴۰۳). بر همین اساس، پیش‌بینی بارش طی سال‌های اخیر به یکی از موضوعات محوری مطالعات و تحقیقات در لرستان تبدیل شده است.

از این رو در ادامه روند بررسی نتایج مدل WRF در استان لرستان، در مطالعه حاضر توانایی مدل WRF در پیش‌بینی بارش‌های سنگین در این استان به عنوان یکی از سیل‌خیزترین استان‌های ایران با استفاده از ترکیب طرحواره‌های مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲. روش تحقیق

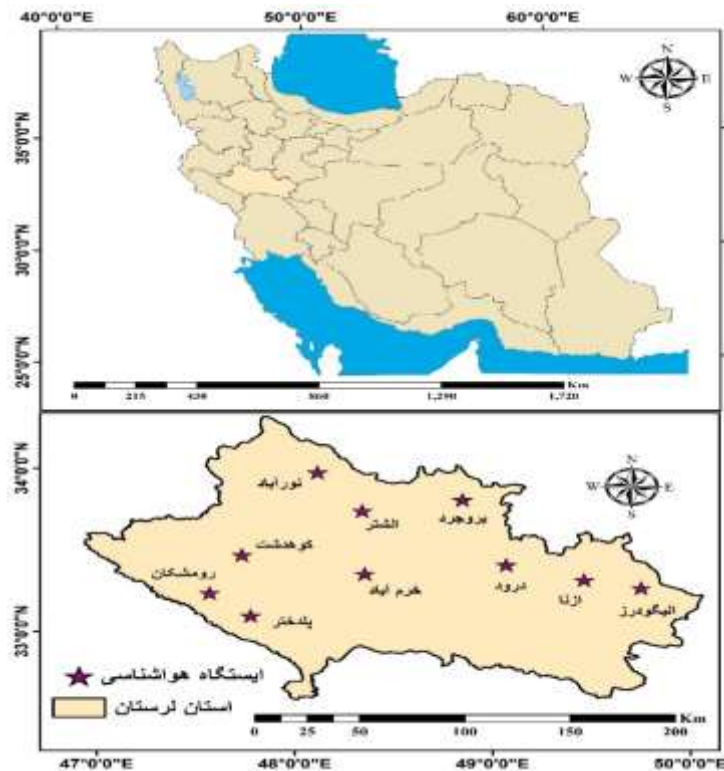
۲-۱. منطقه مورد مطالعه

در میان استان‌های کشور، استان لرستان به لحاظ قرارگیری در زاگرس میانی و شیب زیاد کوهستانی (با شیب متوسط حدود ۱۱ درصد)، ساختار زمین‌شناسی (لیتولوژی چینه شناسی، تکتونیک)، شرایط اقلیمی، آب و هوایی و فیزیوگرافی حوضه‌های آبخیز آن، از خطر بلایای طبیعی مستثنی نبوده است (اعظمی راد و سعیدیان، ۱۳۸۹). از بین رودخانه‌های دائمی لرستان، از سال ۱۳۳۴ تاکنون رودخانه

های ۲۷، ۹ و ۱۸ کیلومتری به ترتیب با مقادیر ۷/۳، ۴/۸ و ۱ درصد بیشترین افزایش دقت پیش‌بینی‌های ۲۴ ساعته را دارند. همچنین خروجی‌های ۲۷، ۱۸ و ۹ کیلومتری به ترتیب با مقادیر ۹/۴، ۷/۸ و ۴/۸ درصد بیشترین افزایش دقت پیش‌بینی‌های ۴۸ ساعته را دارند. در مطالعه ای دیگر اکبری و همکاران (۱۴۰۱) نتایج پیش‌بینی‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته مدل میان مقیاس WRF با دامنه‌های تو در تو و با تفکیک‌های ۱۸ و ۶ کیلومتر، برای یک دوره ۲ ماهه از اول مارس ۲۰۱۹ تا پایان آپریل ۲۰۱۹ را بررسی و با داده‌های دیدبانی بارش برای ۱۰ ایستگاه همدیدی هواشناسی لرستان مقایسه کردند. نتایج به دست آمده نشان داد در بازه زمانی ۲۴ ساعته و ۴۸ ساعته به ترتیب، همه دامنه‌ها در بیش از ۸۰ و ۷۷ درصد موارد توانسته‌اند وقوع یا عدم وقوع بارش در سطح استان را به درستی پیش‌بینی کنند. کوهی و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهش خود با هدف ارزیابی کارایی عملکرد مدل‌های WRF و IFS در شبیه‌سازی بارش در حوضه پلدختر در استان لرستان در گام‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته به این نتیجه رسیدند که بر اساس شاخص خطای NRMSE، متوسط مقدار خطا در گام‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته به ترتیب ۰/۹۸، ۰/۸۶ و ۰/۶۷ میلی‌متر (رخداد ۲۰۱۶) ۰/۷۲، ۰/۷۵ و ۰/۷۵ میلی‌متر (رخداد ۲۰۱۸) و برای سامانه عددی IFS به ترتیب ۰/۰۱، ۰/۸۰ و ۰/۶۶ میلی‌متر (رخداد ۲۰۱۶) و ۰/۲۰، ۰/۷۶ و ۰/۷۹ میلی‌متر (رخداد ۲۰۱۸) می‌باشد. Garcia et al. (۲۰۲۵) با بررسی حساسیت پارامترها و عملکرد WRF برای یک رویداد بارش شدید در Itajubá (۲۷ فوریه ۲۰۲۳) به این نتیجه رسید که انتخاب طرح‌های میکروفیزیک، شرایط مرزی (ERA5 vs GFS) و داده‌های سطحی (SST/soil moisture) تأثیر قابل توجهی بر دقت زمان-فضایی بارش دارد و با بهینه‌سازی مناسب می‌توان عملکرد مدل را بهبود داد. Zhang et al. (۲۰۲۵) شبیه‌سازی بلندمدت (۱۹۸۱-۲۰۲۰) شاخص‌های بارش شدید را با WRF (شبکه‌های تو

می‌کند که بتواند با دقت و صحت بالایی بر اساس وضعیت بارش، میزان رواناب حاصل از آن را تخمین بزند و بتوان در امر برنامه ریزی، طراحی و پیاده‌سازی سامانه هشدار سیل از آن استفاده کرد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۴). در شکل شماره ۱ موقعیت استان لرستان در ایران و همچنین موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در استان لرستان نشان داده شده است.

کشکان با ۱۸ سیلاب بالاتر از ۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه سیل خیزترین رودخانه‌ی استان است. بزرگ‌ترین سیلاب ثبت شده استان، سیل فروردین ماه ۱۳۹۸ رودخانه‌ی کشکان با آبدهی اوج ۶۵۰۰ مترمکعب در ثانیه در ایستگاه هیدرومتری پلدختر بوده است (شرکت آب منطقه‌ای لرستان، ۱۳۹۸). پتانسیل بالای سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز این استان، لزوم استفاده از مدل‌های کارا و مطمئن را ایجاب



شکل ۱. موقعیت استان لرستان در ایران

گستره وسیعی از پدیده‌های جوی از مقیاس چند متر تا چند صد هزار کیلومتر مناسب است (اسکاماروک و همکاران، ۲۰۰۸).

این مدل دارای دو هسته‌ی دینامیکی و فیزیکی است. هسته‌ی دینامیکی شامل فرارفت، شیو فشار، اثر کوریولیس، فیلترها، پخش و طرحواره‌های زمانی است. هسته‌ی فیزیکی مدل شامل طرحواره‌های پارامترهای تابش، لایه‌ی مرزی، سطح، همرفت و میکروفیزیک است که هر کدام شامل چندین نسخه‌ی مختلف‌اند. دستگاه مختصات قائم مدل دستگاه، سیگما است که مقدار آن از یک تا صفر از سطح

۲-۲. مدل WRF (Weather Research and Forecasting)

مدل WRF یکی از پرکاربردترین مدل‌های عددی هواشناسی است که هم در مطالعات و تحقیقات و هم در زمینه پیش‌بینی عددی در مراکز مختلف تحقیقاتی و سازمان‌های هواشناسی کشورها مورد استفاده قرار می‌گیرد (لایقی و همکاران، ۱۳۹۶). مدل WRF میان مقیاس پیش‌بینی عددی وضع هوا است که در دسامبر ۲۰۰۱ عرضه شده است (وانگ و همکاران، ۲۰۰۱). این مدل به گونه‌ای طراحی شده است که برای استفاده در شبیه‌سازی و پیش‌بینی

(NCEP) با تفکیک افقی نیم درجه استخراج شده است و مدل برای پنج بارش سنگین منجر به سیلاب اجرا شده است.

۲-۳. ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل WRF

جهت ارزیابی و تحلیل عملکرد مدل‌های تخمین و پیش‌بینی شاخص‌های متفاوتی از قبیل NSE (نش-ساتکیف)، RE (خطای نسبی)، MSE (میانگین مربعات خطا)، R^2 (ضریب تعیین) و غیره وجود دارد (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۶). در این پژوهش از قدر مطلق شاخص RE برای مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده بر اساس رابطه ۱ استفاده شده است:

$$RE = \frac{X_0 - X_S}{X_0} \times 100 \quad (1)$$

که در آن X_0 داده‌های مشاهده‌ای و X_S داده‌های شبیه‌سازی شده می‌باشد.

زمین تا بالاترین لایه جو تغییر می‌کند. شبکه افقی مدل شبکه WRF C آراکوا است. مدل دارای سه بخش پیش‌پردازشگر، (خود مدل شامل هسته دینامیکی و هسته فیزیکی) و بخش پس‌پردازشگر است (خداامرادپور و همکاران، ۱۳۹۰).

داده‌های موردنیاز برای اجرای این مدل شامل داده‌های شرایط مرزی اولیه و داده‌های شرایط مرزی و ثانویه است. شرایط مرزی اولیه، نمایشگر متغیرهای سطح زمین است و شرایط مرزی ثانویه شامل داده‌های هواشناسی با گام زمانی ۶ ساعته می‌باشد (موسوی و همکاران، ۱۳۹۶). در این پژوهش شرایط مرزی و اولیه مدل از داده‌های پیش‌بینی سامانه مدل‌سازی تمام کره ای موسوم به (Global Forecasting System) از مرکز پیش‌بینی‌های محیطی

جدول ۱. پیکر بندی مورد استفاده در اجرای مدل WRF

| پیکر بندی | WRF _۱ | WRF _۲ | WRF _۳ |
|---|------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| mp_physics (خرد فیزیک) | Lin et al. | Lin et al. | Lin et al. |
| Cu_physics (همرفت) | Kain-Fritsch (new Eta) | Betts-Miller-Janjic | Kain-Fritsch (new Eta) scheme |
| bl_pbl_physics (فرآیندهای لایه مرزی) | YSU | Grenier-Bretherton-McCaa | Shin-Hong 'scale-aware' PBL scheme |
| ra_lw_physics (تابش طول موج بلند) | rrtm | rrtm | rrtm |
| ra_sw_physics (تابش طول موج کوتاه) | Goddard shortwave | Goddard shortwave | Dudhia |



شکل ۲. دامنه‌های اجرای مدل WRF

جدول ۲. تاریخ رخداد‌های اجرای شده

| مدت زمان اجرا | زمان پایان اجرا | زمان شروع اجرا | رخداد |
|---------------|-------------------|--------------------|-------|
| ۹۷ | ۲۷/۰۳/۲۰۱۹- ۰۶:۰۰ | ۲۳/۰۳/۲۰۱۹- ۰۶:۰۰ | ۱ |
| ۹۷ | ۰۳/۰۴/۲۰۱۹- ۰۶:۰۰ | ۳۰/۰۳/۲۰۱۹- ۰۶:۰۰ | ۲ |
| ۹۷ | ۰۵/۰۱/۲۰۱۸- ۰۰:۰۰ | ۲۰/۱۸/۰۴/۲۷- ۰۰:۰۰ | ۳ |
| ۹۷ | ۲۶/۰۳/۲۰۱۷- ۰۰:۰۰ | ۲۲/۰۳/۲۰۱۷- ۰۰:۰۰ | ۴ |
| ۹۷ | ۰۴/۱۶/۲۰۱۶- ۰۰:۰۰ | ۰۴/۱۲/۲۰۱۶- ۰۰:۰۰ | ۵ |

ایستگاه‌ها در جدول شماره ۳ ذکر شده است. همچنین موقعیت این ایستگاه‌ها در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.

از داده‌های روزانه ۱۰ ایستگاه هواشناسی اداره کل هواشناسی استان لرستان برای مقایسه بارش اندازه‌گیری شده با بارش پیش‌بینی شده استفاده گردید. مشخصات این

جدول ۳. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی لرستان

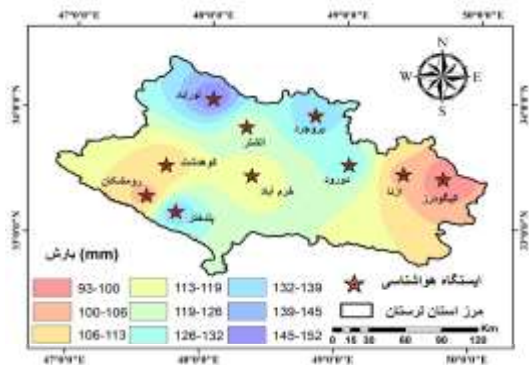
| ردیف | نام ایستگاه | شماره ایستگاه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع |
|------|-------------|---------------|---------------|---------------|--------|
| ۱ | خرم آباد | ۴۰۷۸۲ | ۴۸/۲۸۳۶ | ۳۳/۴۳۸۸ | ۱۱۴۷/۸ |
| ۲ | بروجرد | ۴۰۷۷۸ | ۴۸/۷۵۷۵ | ۳۳/۹۱۵ | ۱۶۲۹ |
| ۳ | پلدختر | ۴۰۷۸۶ | ۴۷/۷۱۹۱ | ۳۳/۱۵۴۴ | ۷۱/۵ |
| ۴ | ازنا | ۹۹۴۴۵ | ۴۹/۴۰۸۰ | ۳۳/۴۴۷۲ | ۱۸۷۱/۸ |
| ۵ | الیگودرز | ۴۰۷۸۳ | ۴۹/۷۰۲۵ | ۳۳/۴۰۸۱ | ۲۰۲۲/۱ |
| ۶ | نورآباد | ۴۰۷۷۳ | ۴۸ | ۳۴/۰۵ | ۱۸۵۹ |
| ۷ | کوهدهشت | ۹۹۴۳۸ | ۴۷/۶۴۷۷ | ۳۳/۵۲۴۴ | ۱۱۹۷/۸ |
| ۸ | الشتر | ۴۰۷۷۶ | ۴۸/۲۴۵ | ۳۳/۸۲۴۷ | ۱۵۶۸/۱ |
| ۹ | درود | ۹۹۴۴۴ | ۴۹/۰۰۴۴ | ۳۳/۵۲۳۶ | ۱۵۲۲/۳ |
| ۱۰ | رومشکان | ۹۹۴۷۴ | ۴۷/۵ | ۳۳/۲۸۳۲ | ۱۰۸۹ |

گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی، نقشه بارش مربوط به تاریخ‌های مورد نظر با استفاده از نرم افزار GIS تهیه و در شکل‌های ۳-الف تا ۳-ج آورده شده است.

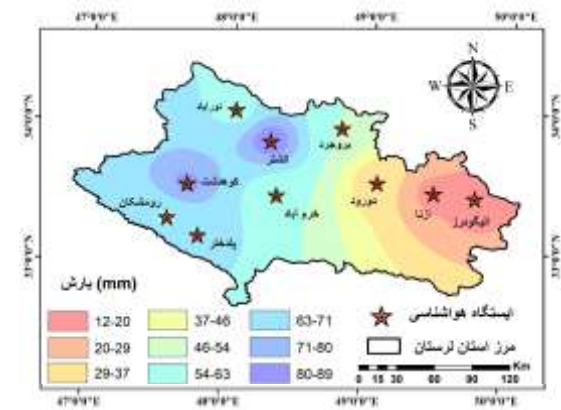
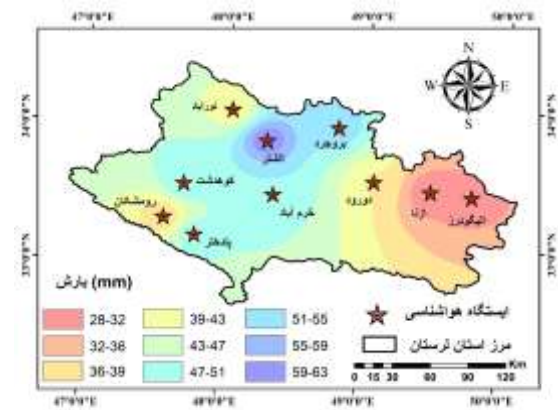
در جدول شماره ۴ میزان بارش اندازه گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی مربوط به رخدادهای مورد نظر آورده شده است. در مرحله بعد، بر اساس بارش‌های اندازه

جدول ۴. بارش اندازه گیری شده ایستگاه‌های هواشناسی لرستان

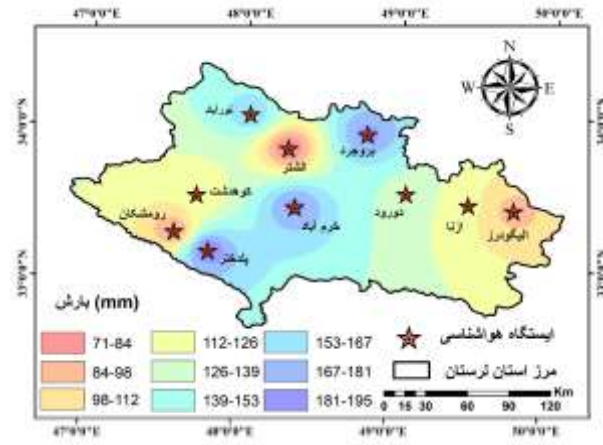
| ایستگاه | بارش اندازه گیری شده (mm) | | | | |
|--------------------|---------------------------|------------|------------|------------|------------|
| | ۲۰۱۹/۰۳/۳۰ | ۲۰۱۹/۰۳/۲۳ | ۲۰۱۸/۰۴/۲۷ | ۲۰۱۷/۰۳/۲۲ | ۲۰۱۶/۰۴/۱۲ |
| خرم آباد | ۱۳۶/۱ | ۱۱۳/۵ | ۵۴/۷ | ۵۱/۰۱ | ۱۸۴/۶ |
| بروجرد | ۱۳۶/۴ | ۱۳۸/۴ | ۵۴/۲ | ۵۴/۲ | ۱۸۴/۷ |
| پلدختر | ۱۶۵/۴ | ۱۳۹/۳ | ۶۷ | ۴۹/۸ | ۱۹۴/۳ |
| ازنا | ۸۶/۵ | ۱۰۴ | ۱۶/۹ | ۲۷/۸ | ۱۱۲/۸ |
| الیگودرز | ۶۰/۳ | ۹۳/۴ | ۱۲/۰۱ | ۲۹/۲ | ۹۲/۶ |
| نورآباد | ۱۷۲/۳ | ۱۵۲ | ۵۹/۴ | ۳۸/۹ | ۱۶۲/۶ |
| کوهدشت | ۱۴۲/۸ | ۱۰۶/۱ | ۸۲/۵ | ۵۱/۱ | ۱۱۱/۷ |
| الشتر | ۱۵۲/۷ | ۱۲۱/۳ | ۸۸/۳ | ۶۲/۹ | ۷۰/۵ |
| دورود | ۱۱۹/۴۱ | ۱۳۱/۰۱ | ۲۹/۸ | ۳۹/۲ | ۱۳۶ |
| رومشکان | ۱۵۱/۳ | ۱۰۲/۱ | ۶۲ | ۳۴/۹ | ۸۲/۹ |
| میانگین بارش استان | ۱۳۲/۳۲۱ | ۱۲۰/۱۱ | ۵۲/۲۶۸ | ۴۳/۹۰ | ۱۳۳/۲۷ |



شکل ۳-الف نقشه بارش برای رخداد ۲۰۱۹/۰۳/۳۰ (سمت راست) و رخداد ۲۰۱۹/۰۳/۲۳ (سمت چپ)



شکل ۳-ب. نقشه بارش برای رخداد ۲۰۱۸/۰۴/۲۷ (سمت راست) و رخداد ۲۰۱۷/۰۳/۲۲ (سمت چپ)



شکل ۳- نقشه بارش برای رخداد ۲۰۱۶/۰۴/۱۲

پس از اجرای مدل WRF با سه پیکربندی متفاوت، بارش شبیه سازی شده در دامنه دوم باتفکیک افقی ۵ کیلومتر در نزدیک ترین نقاط به ایستگاه‌های هواشناسی برداشت و درصد خطای

داده‌های شبیه سازی شده با داده‌های اندازه گیری شده محاسبه و نتایج این ارزیابی در جداول ۵ تا ۹ آورده شده است.

جدول ۵. مقایسه ی بارش شبیه سازی شده با بارش اندازه گیری شده ایستگاه‌های هواشناسی لرستان در رخداد ۲۰۱۹/۰۳/۳۰

| ایستگاه | بارش اندازه گیری شده (mm) | بارش شبیه سازی شده (mm) | | | درصد خطای نسبی | | |
|--------------------|---------------------------|-------------------------|--------|--------|----------------|-------|-------|
| | | WRF1 | WRF2 | WRF3 | WRF1 | WRF2 | WRF3 |
| خرم آباد | ۱۳۶/۱ | ۱۰۱/۴۱ | ۲۴/۶۱ | ۷۵/۵۸ | ۲۵/۴۹ | ۸۱/۹۱ | ۴۴/۴۷ |
| بروجرد | ۱۳۶/۴ | ۱۱۱/۲۳ | ۵۸/۵۱ | ۱۱۶/۲۸ | ۱۸/۴۵ | ۷۵/۱۰ | ۱۴/۷۵ |
| پلدختر | ۱۶۵/۴ | ۱۶۷/۴۲ | ۶۷/۷۲ | ۱۲۹/۲۷ | ۱/۲۲ | ۴۳/۸۱ | ۲۱/۸۵ |
| ازنا | ۸۶/۵ | ۵۳/۴۱ | ۲۷/۹۰ | ۳۴/۴۱ | ۳۸/۲۶ | ۶۷/۷۵ | ۶۰/۲۲ |
| الیگودرز | ۶۰/۳ | ۳۹/۹۳ | ۲۱/۹۳ | ۲۰/۰۳ | ۳۳/۷۸ | ۶۳/۶۳ | ۶۶/۷۹ |
| نورآباد | ۱۷۲/۳ | ۱۳۷/۵۷ | ۱۱۵/۷۱ | ۱۳۰/۵۴ | ۲۰/۱۵ | ۳۲/۸۴ | ۲۴/۲۳ |
| کوه‌دشت | ۱۴۲/۸ | ۱۸۴/۶۳ | ۱۰۰/۴۴ | ۱۳۶/۶۶ | ۲۹/۲۹ | ۲۹/۶۹ | ۴/۳۰ |
| الشتر | ۱۵۲/۷ | ۱۸۲/۸۸ | ۷۷/۳۰ | ۱۱۶/۲۱ | ۱۹/۷۶ | ۴۹/۳۸ | ۲۳/۹۰ |
| دورود | ۱۱۹/۴۱ | ۱۳۱/۰۲ | ۱۵۲/۸۷ | ۱۴۳/۷۶ | ۹/۷۲ | ۲۸/۰۲ | ۲۰/۳۹ |
| رومشکان | ۱۵۱/۳ | ۱۵۳/۶۶ | ۹۶/۵۷ | ۹۷/۳۵ | ۱/۵۷ | ۳۶/۱۷ | ۳۵/۶۶ |
| میانگین بارش استان | ۱۳۲/۳۲۱ | ۱۲۶/۳۲ | ۷۴/۳۶ | ۱۰۰/۰۱ | ۴/۵۴ | ۴۳/۸۱ | ۲۴/۴۲ |

جدول ۶. مقایسه ی بارش شبیه سازی شده با بارش اندازه گیری شده ایستگاه‌های هواشناسی لرستان در رخداد ۲۰۱۹/۰۳/۲۳

| ایستگاه | بارش اندازه گیری شده (mm) | بارش شبیه سازی شده (mm) | | | درصد خطای نسبی | | |
|----------|---------------------------|-------------------------|-------|-------|----------------|-------|-------|
| | | WRF1 | WRF2 | WRF3 | WRF1 | WRF2 | WRF3 |
| خرم آباد | ۱۱۳/۵۰ | ۵۱/۹۸ | ۴۲/۲۵ | ۴۷/۴۳ | ۵۴/۲۱ | ۶۲/۷۷ | ۵۸/۲۱ |
| بروجرد | ۱۳۸/۴۰ | ۶۷/۵۴ | ۸۴/۴۰ | ۸۴/۸۹ | ۵۱/۲۰ | ۳۹/۰۲ | ۳۸/۶۸ |
| پلدختر | ۱۳۹/۳۰ | ۷۶/۰۳ | ۵۷/۷۲ | ۶۴/۸۵ | ۴۵/۴۲ | ۵۸/۵۶ | ۵۳/۴۵ |
| ازنا | ۱۰۴/۰۰ | ۸۶/۲۹ | ۷۸/۳۳ | ۹۸/۶۸ | ۱۷/۰۲ | ۲۴/۶۸ | ۵/۱۲ |

| | | | | | | | |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| الیگودرز | ۹۳/۴۰ | ۷۶/۹۳ | ۷۶/۸۶ | ۶۱/۴۴ | ۱۷/۶۳ | ۱۷/۶۹ | ۳۴/۲۲ |
| نورآباد | ۱۵۲/۰۰ | ۱۱۷/۲۴ | ۱۱۱/۸۲ | ۹۲/۴۴ | ۲۲/۸۷ | ۲۶/۴۴ | ۳۹/۱۸ |
| کوهدشت | ۱۰۶/۱۰ | ۵۸/۱۸ | ۵۱/۹۲ | ۴۵/۲۵ | ۴۵/۱۷ | ۵۱/۰۰ | ۵۷/۳۵ |
| الشتر | ۱۲۱/۳۰ | ۸۴/۷۳ | ۹۱/۴۴ | ۷۸/۲۵ | ۳۰/۱۵ | ۲۴/۶۲ | ۳۵/۴۹ |
| دورود | ۱۳۱/۰۱ | ۱۴۲/۵۱ | ۱۰۳/۱۷ | ۱۳۱/۸۸ | ۸/۷۸ | ۲۱/۲۵ | ۰/۶۶ |
| رومشکان | ۱۰۲/۱۰ | ۶۹/۶۵ | ۶۷/۸۹ | ۵۰/۳۵ | ۳۱/۷۸ | ۳۳/۵۳ | ۵۰/۶۸ |
| میانگین بارش استان | ۱۲۰/۱۱ | ۸۳/۱۱ | ۷۶/۵۹ | ۷۵/۵۴ | ۳۰/۶۷ | ۳۵/۹۶ | ۳۷/۱۷ |

جدول ۷. مقایسه ی بارش شبیه سازی شده با بارش اندازه گیری شده ایستگاه های هواشناسی لرستان در رخداد ۲۰۱۸/۰۴/۲۷

| ایستگاه | بارش اندازه گیری شده (mm) | بارش شبیه سازی شده (mm) | | | درصد خطای نسبی | | |
|--------------------|---------------------------|-------------------------|-------|-------|----------------|--------|-------|
| | ۲۰۱۸/۰۴/۲۷ | WRF1 | WRF2 | WRF3 | WRF1 | WRF2 | WRF3 |
| خرم آباد | ۵۴/۷۰ | ۷۰/۵۱ | ۳۶/۸۳ | ۵۶/۱۷ | ۲۸/۹۱ | ۳۲/۶۷ | ۲/۶۹ |
| بروجرد | ۵۴/۲۰ | ۵۳/۶۲ | ۲۶/۹۶ | ۴۳/۰۳ | ۱/۰۶ | ۵۰/۲۵ | ۲۰/۶۲ |
| پلدختر | ۶۷/۰۰ | ۵۴/۰۱ | ۲۲/۴۳ | ۳۴/۸۵ | ۱۹/۳۹ | ۶۶/۵۳ | ۴۷/۹۹ |
| ازنا | ۱۶/۹۰ | ۱۹/۷۶ | ۱۳/۵۹ | ۱۱/۳۶ | ۱۶/۹۳ | ۱۹/۵۶ | ۳۲/۷۸ |
| الیگودرز | ۱۲/۰۱ | ۴۴/۶۲ | ۴۱/۹۶ | ۲۲/۵۲ | ۲۷۱/۴۹ | ۲۴۹/۳۶ | ۸۷/۴۸ |
| نورآباد | ۵۹/۴۰ | ۷۱/۰۹ | ۴۷/۲۳ | ۳۷/۵۳ | ۱۹/۶۷ | ۲۰/۴۹ | ۳۶/۸۱ |
| کوهدشت | ۸۲/۵۰ | ۵۸/۶۸ | ۳۸/۲۵ | ۵۴/۶۳ | ۲۸/۸۷ | ۵۳/۶۴ | ۳۳/۷۸ |
| الشتر | ۸۸/۳۰ | ۶۸/۷۲ | ۲۴/۵۹ | ۵۸/۹۱ | ۲۲/۱۸ | ۷۲/۱۵ | ۳۳/۲۸ |
| دورود | ۲۹/۸۰ | ۳۱/۵۶ | ۳۲/۶۹ | ۲۰/۷۰ | ۵/۸۹ | ۹/۶۸ | ۳۰/۵۳ |
| رومشکان | ۶۲/۰۰ | ۵/۱۶ | ۲۵/۴۹ | ۱۶/۷۰ | ۹۱/۶۸ | ۵۸/۸۹ | ۷۳/۰۶ |
| میانگین بارش استان | ۵۲/۶۸ | ۴۷/۷۷ | ۳۱/۰۰ | ۳۵/۶۴ | ۹/۳۲ | ۴۱/۱۵ | ۳۲/۳۵ |

جدول ۸. مقایسه ی بارش شبیه سازی شده با بارش اندازه گیری شده ایستگاه های هواشناسی لرستان در رخداد ۲۰۱۷/۰۳/۲۲

| ایستگاه | بارش اندازه گیری شده (mm) | بارش شبیه سازی شده (mm) | | | درصد خطای نسبی | | |
|--------------|---------------------------|-------------------------|--------|--------|----------------|-------|--------|
| | ۲۰۱۶/۰۴/۱۲ | WRF1 | WRF2 | WRF3 | WRF1 | WRF2 | WRF3 |
| خرم آباد | ۱۸۴/۶۰ | ۱۱۰/۹۲ | ۹۳/۰۹ | ۸۹/۶۶ | ۳۹/۹۱ | ۴۹/۵۷ | ۵۱/۴۳ |
| بروجرد | ۱۸۴/۷۰ | ۱۵۴/۶۵ | ۸۱/۶۰ | ۱۰۷/۱۳ | ۱۶/۲۷ | ۵۵/۸۲ | ۴۲/۰۰ |
| پلدختر | ۱۹۴/۳۰ | ۲۳۶/۷۳ | ۱۲۳/۱۸ | ۱۸۴/۸۳ | ۲۱/۸۳ | ۳۶/۶۰ | ۴/۸۸ |
| ازنا | ۱۱۲/۸۰ | ۳۲/۶۷ | ۸۰/۹۶ | ۴۵/۱۴ | ۷۱/۰۳ | ۲۸/۲۳ | ۵۹/۹۸ |
| الیگودرز | ۹۲/۶۰ | ۶۳/۹۲ | ۷۹/۳۹ | ۵۸/۴۳ | ۳۰/۹۷ | ۱۴/۲۷ | ۳۶/۹۰ |
| نورآباد | ۱۶۲/۶۰ | ۸۹/۴۳ | ۱۱۲/۷۲ | ۹۳/۸۸ | ۴۵/۰۰ | ۳۰/۶۷ | ۴۲/۲۷ |
| کوهدشت | ۱۱۱/۷۰ | ۲۱۲/۱۷ | ۱۱۳/۷۷ | ۱۹۹/۶۲ | ۸۹/۹۵ | ۱/۸۵ | ۷۸/۷۱ |
| الشتر | ۷۰/۵۰ | ۱۵۱/۵۵ | ۵۸/۵۷ | ۱۶۰/۲۹ | ۱۱۴/۹۷ | ۱۶/۹۲ | ۱۲۷/۳۶ |
| دورود | ۱۳۶/۰۰ | ۶۴/۰۱ | ۹۵/۴۰ | ۵۳/۸۵ | ۵۲/۹۳ | ۲۹/۸۶ | ۶۰/۴۱ |
| رومشکان | ۸۲/۹۰ | ۸۰/۰۴ | ۹۰/۵۷ | ۱۳۵/۰۲ | ۳/۴۵ | ۹/۲۵ | ۶۲/۸۸ |
| میانگین بارش | ۱۳۳/۲۷ | ۱۱۹/۶۱ | ۹۲/۹۲ | ۱۱۲/۷۸ | ۱۰/۲۵ | ۳۰/۲۷ | ۱۵/۳۷ |

جدول ۹. مقایسه ی بارش شبیه سازی شده با بارش اندازه گیری شده ایستگاه های هواشناسی لرستان در رخداد ۲۰۱۶/۰۴/۱۲

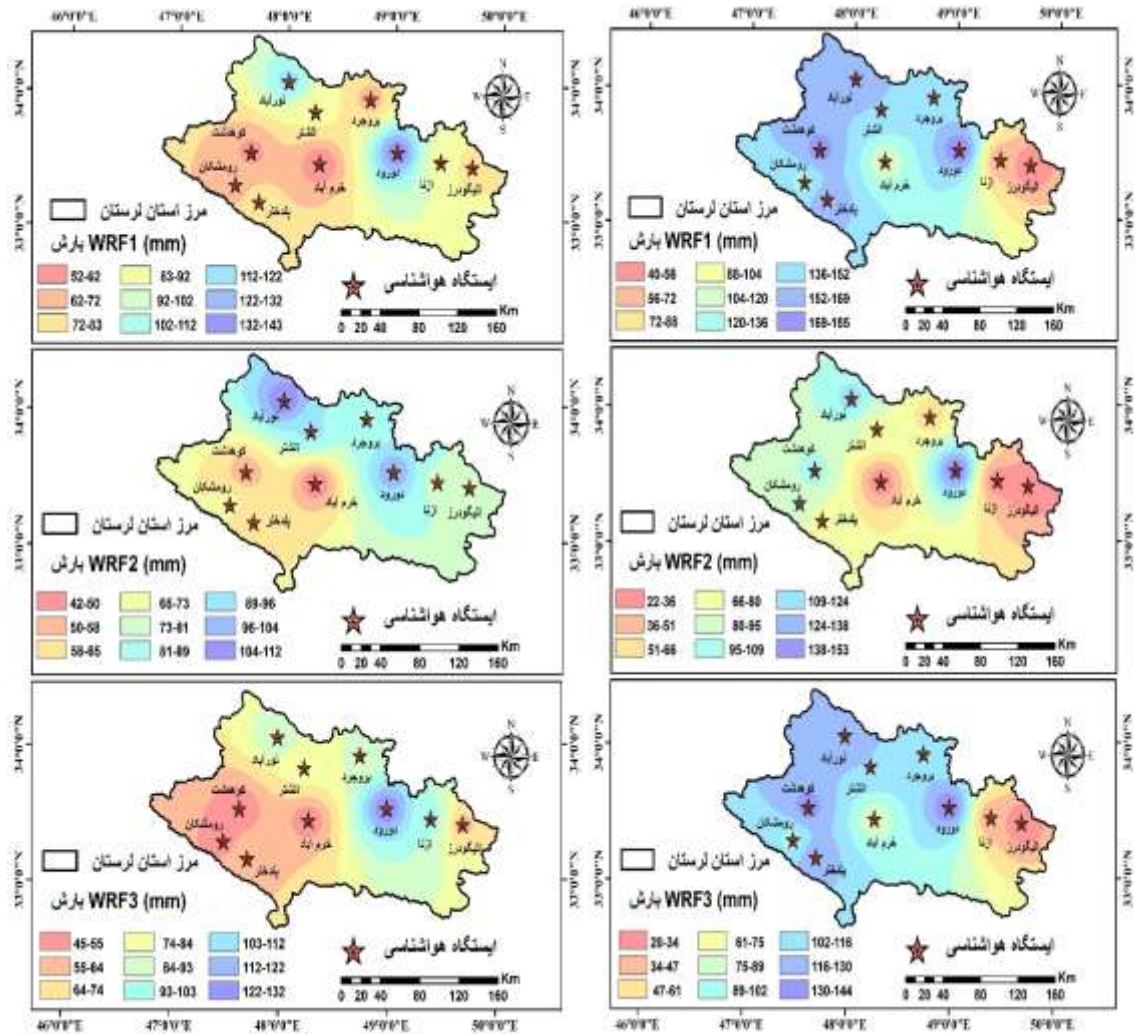
| ایستگاه | بارش اندازه گیری شده (mm) | بارش شبیه سازی شده (mm) | | | درصد خطای نسبی | | |
|----------|---------------------------|-------------------------|-------|-------|----------------|-------|-------|
| | ۲۰۱۶/۰۴/۱۲ | WRF1 | WRF2 | WRF3 | WRF1 | WRF2 | WRF3 |
| خرم آباد | ۱۸۴/۶۰ | ۱۱۰/۹۲ | ۹۳/۰۹ | ۸۹/۶۶ | ۳۹/۹۱ | ۴۹/۵۷ | ۵۱/۴۳ |

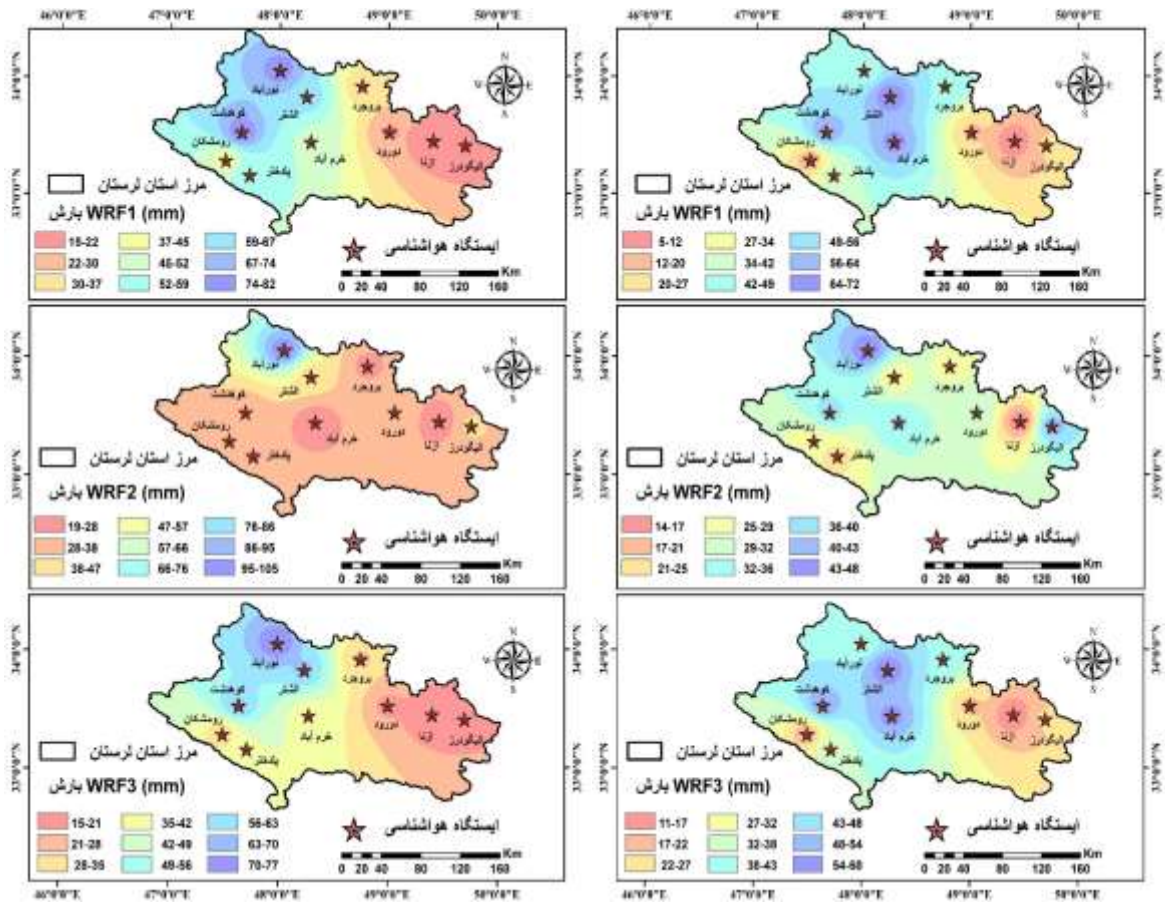
| | | | | | | | |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| بروجرد | ۱۸۴/۷۰ | ۱۵۴/۶۵ | ۸۱/۶۰ | ۱۰۷/۱۳ | ۱۶/۲۷ | ۵۵/۸۲ | ۴۲/۰۰ |
| پلدختر | ۱۹۴/۳۰ | ۲۳۶/۷۳ | ۱۲۳/۱۸ | ۱۸۴/۸۳ | ۲۱/۸۳ | ۳۶/۶۰ | ۴/۸۸ |
| ازنا | ۱۱۲/۸۰ | ۳۲/۶۷ | ۸۰/۹۶ | ۴۵/۱۴ | ۷۱/۰۳ | ۲۸/۲۳ | ۵۹/۹۸ |
| الیگودرز | ۹۲/۶۰ | ۶۳/۹۲ | ۷۹/۳۹ | ۵۸/۴۳ | ۳۰/۹۷ | ۱۴/۲۷ | ۳۶/۹۰ |
| نورآباد | ۱۶۲/۶۰ | ۸۹/۴۳ | ۱۱۲/۷۲ | ۹۳/۸۸ | ۴۵/۰۰ | ۳۰/۶۷ | ۴۲/۲۷ |
| کوهدشت | ۱۱۱/۷۰ | ۲۱۲/۱۷ | ۱۱۳/۷۷ | ۱۹۹/۶۲ | ۸۹/۹۵ | ۱/۸۵ | ۷۸/۷۱ |
| الشتر | ۷۰/۵۰ | ۱۵۱/۵۵ | ۵۸/۵۷ | ۱۶۰/۲۹ | ۱۱۴/۹۷ | ۱۶/۹۲ | ۱۲۷/۳۶ |
| دورود | ۱۳۶/۰۰ | ۶۴/۰۱ | ۹۵/۴۰ | ۵۳/۸۵ | ۵۲/۹۳ | ۲۹/۸۶ | ۶۰/۴۱ |
| رومشکان | ۸۲/۹۰ | ۸۰/۰۴ | ۹۰/۵۷ | ۱۳۵/۰۲ | ۳/۴۵ | ۹/۲۵ | ۶۲/۸۸ |
| میانگین بارش | ۱۳۳/۲۷ | ۱۱۹/۶۱ | ۹۲/۹۲ | ۱۱۲/۷۸ | ۱۰/۲۵ | ۳۰/۲۷ | ۱۵/۳۷ |

مربوط به رخدادهای موردنظر در محیط GIS ترسیم و در شکل‌های ۴ تا ۶ نشان داده شده است.

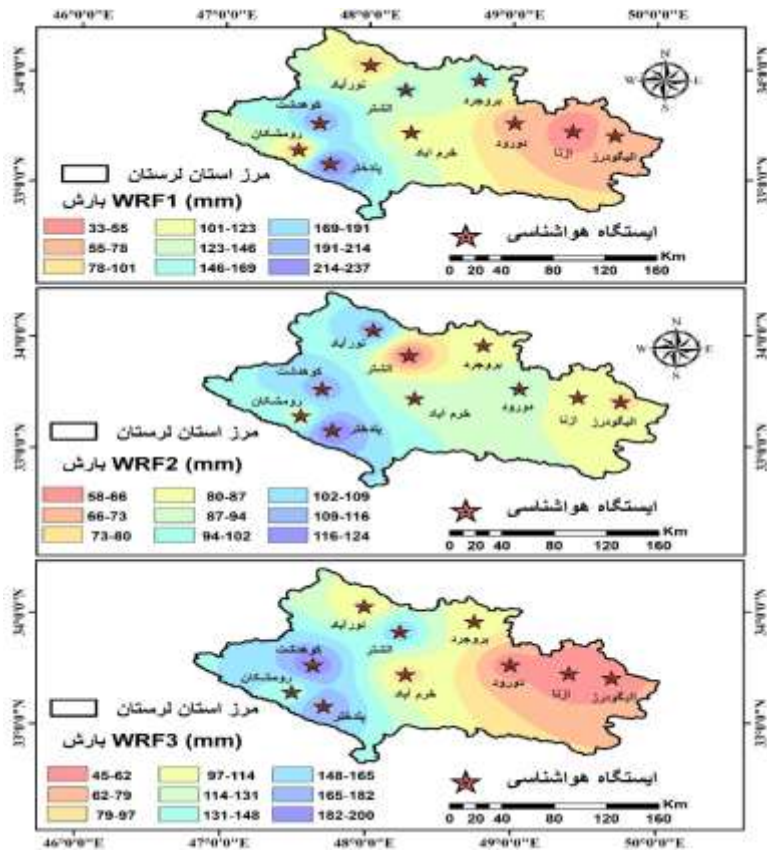
در گام بعدی با توجه به داده‌های شبیه‌سازی شده و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی، نقشه‌های بارش شبیه‌سازی شده

شکل ۴- الف. نقشه بارش شبیه‌سازی شده برای رخداد ۲۰۱۹/۰۳/۳۰ و ۴- ب. نقشه بارش شبیه‌سازی شده برای رخداد ۲۰۱۹/۰۳/۲۳





شکل ۵-الف نقشه بارش شبیه‌سازی شده برای رخداد ۲۰۱۸/۰۴/۲۷ و ۵-ب. نقشه بارش شبیه‌سازی شده برای رخداد ۲۰۱۷/۰۳/۲۲



شکل ۶. نمودار دما-شوری برای (الف) فصل بهار، (ب) تابستان، (پ) زمستان

۳. بحث

شده با طرحواره سوم با داده‌های اندازه‌گیری شده مطابقت بیشتری دارد و برای ایستگاه رومشکان (۵۸/۸۹٪) طرحواره دوم کمترین اختلاف را با داده اندازه‌گیری شده دارد.

بررسی‌ها برای رخدادهای ۲۰۱۷/۰۳/۲۲ برای ایستگاه‌های خرم آباد (۴/۷۱٪)، بروجرد (۴۳/۵۶٪)، پلدختر (۱۶/۰۵٪) و رومشکان (۱۳/۵۳٪) طرحواره شماره ۱، نتایج نزدیکتری به داده اندازه‌گیری شده داشته و در ایستگاه‌های ازنا (۲۵/۴۹٪)، الیگودرز (۳۵/۳۵٪) و دورود (۶/۲۹٪) طرحواره شماره ۲ نتایج شبیه‌سازی شده با طرحواره دوم با داده‌های اندازه‌گیری شده مطابقت بیشتری دارد و برای ایستگاه نورآباد (۹۶/۵۹٪)، کوهدشت (۲۶/۸۵٪) و الشتر طرحواره سوم (۲/۹۷٪) کمترین اختلاف را با داده اندازه‌گیری شده دارد.

بررسی‌ها برای رخدادهای ۲۰۱۶/۰۴/۱۲ برای ایستگاه‌های خرم آباد (۳۹/۹۱٪)، بروجرد (۱۶/۲۷٪) و رومشکان (۳/۴۵٪) طرحواره شماره ۱ نتایج نزدیکتری به داده اندازه‌گیری شده داشته و در ایستگاه‌های ازنا (۲۸/۲۳٪)، الیگودرز (۱۴/۲۷٪)، نورآباد (۳۰/۶۷٪)، کوهدشت (۱/۸۵٪)، الشتر (۱۶/۹۲٪) و دورود (۲۹/۸۶٪) نتایج شبیه‌سازی شده با طرحواره دوم با داده‌های اندازه‌گیری شده مطابقت بیشتری دارد و پلدختر (۴/۸۸٪) طرحواره سوم کمترین اختلاف را با داده اندازه‌گیری شده دارد.

این در حالی است که در تمامی پنج رویداد شبیه‌سازی شده، میانگین بارش شبیه‌سازی شده ایستگاه‌های استان با طرحواره شماره ۱ با میانگین بارش اندازه‌گیری شده کمترین اختلاف را دارد. به طوری که این اختلاف برای تاریخ‌های ۲۰۱۷/۰۳/۲۲، ۲۰۱۸/۰۴/۲۷، ۲۰۱۹/۰۳/۲۳، ۲۰۱۹/۰۳/۳۰ و ۲۰۱۶/۰۴/۱۲ به ترتیب ۴/۵۴ درصد، ۳۰/۶۷ درصد، ۹/۳۲ درصد، ۳/۳۷ درصد و ۱۰/۲۵ درصد می‌باشد که این نتایج حاکی از عملکرد خوب طرحواره شماره ۱ در میانگین بارش استان دارد.

این ارقام نه تنها بیانگر دقت بالا و پایداری طرحواره شماره ۱ در بازتولید الگوهای بارشی است، بلکه نشان می‌دهد این

پس از اجرای مدل WRF با سه پیکر بندی متفاوت، بارش شبیه‌سازی شده در دامنه دوم با تفکیک افقی ۵ کیلومتر در نزدیک ترین نقاط به ایستگاه‌های هواشناسی برداشت و درصد خطای داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های اندازه‌گیری شده محاسبه و نتایج این ارزیابی در جداول ۵ تا ۹ آورده شده است.

بر این اساس، نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است که طرحواره‌های مختلف نتایج متفاوتی در پیش‌بینی بارش داشته‌اند. به گونه‌ای که در رخداد ۲۰۱۹/۰۳/۳۰ برای ایستگاه خرم آباد با خطای نسبی ۲۵/۴۹٪، پلدختر (۱/۲۲٪)، ازنا (۳۸/۲۶٪)، الیگودرز (۳۳/۷۸٪)، نورآباد (۲۰/۱۵٪)، الشتر (۱۹/۷۶٪)، دورود (۹/۷۲٪) و رومشکان (۱/۵۷٪) طرحواره شماره ۱ نتایج نزدیکتری به داده‌های اندازه‌گیری شده داشته و در ایستگاه‌های بروجرد (۱۴/۷۵٪) و کوهدشت (۴/۳۰٪) نتایج شبیه‌سازی شده از طرحواره سوم با داده‌های اندازه‌گیری شده مطابقت بیشتری دارد.

در رخداد ۲۰۱۹/۰۳/۲۳ برای ایستگاه‌های خرم آباد (۵۴/۲۱٪)، پلدختر (۴۵/۴۲٪)، الیگودرز (۱۷/۶۴٪)، نورآباد (۲۲/۸۷٪)، کوهدشت (۴۵/۱۷٪) و رومشکان (۳۱/۷۸٪) طرحواره شماره ۱ نتایج نزدیکتری به داده اندازه‌گیری شده داشته است. در ایستگاه‌های بروجرد (۳۸/۶۸٪)، ازنا (۵/۱۲٪) و دورود (۰/۶۶٪) نتایج شبیه‌سازی شده با طرحواره سوم با داده‌های اندازه‌گیری شده مطابقت بیشتری دارد و برای ایستگاه الشتر (۲۴/۶۲٪) نتایج حاصل از طرحواره دوم نتایج نزدیکتری به داده‌های اندازه‌گیری شده دارند.

بررسی‌ها برای رخدادهای ۲۰۱۸/۰۴/۲۷ نشان داد که برای ایستگاه‌های بروجرد (۱/۰۶٪)، پلدختر (۱۹/۳۹٪)، ازنا (۱۶/۹۳٪)، نورآباد (۱۹/۶۷٪)، کوهدشت (۲۸/۸۷٪)، الشتر (۲۲/۱۸٪) و دورود (۵/۸۹٪) طرحواره شماره ۱ نتایج نزدیکتری به داده اندازه‌گیری شده داشته و در ایستگاه‌های خرم آباد (۲/۶۹٪) و الیگودرز (۸۷/۴۸٪) نتایج شبیه‌سازی

این وجود، پیش‌بینی‌های حاصل از این مدل‌ها همواره با درجاتی از خطا همراه هستند.

خطای مدل در پیش‌بینی وضع هوا، به معنای تفاوت بین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل و مقادیر واقعی مشاهده شده است. این خطا می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی باشد که در ادامه به برخی از مهم‌ترین آنها اشاره می‌شود.

اختلاف در نمایش عملکرد طرح‌های متفاوت برای ایستگاه‌های متفاوت می‌تواند به علت شبکه‌بندی مدل و اختلاف در دور یا نزدیک بودن نقاط برداشت شده از مدل با مختصات دقیق ایستگاه‌ها و در نتیجه شیفت سامانه بارش شبیه‌سازی شده باشد. از طرفی نکته قابل توجه در این پیش‌بینی‌ها این است که موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در این مطالعه در ارتفاعات پایین قرار دارند و داده‌های درونیابی شده لزوماً درست نیستند چون در ارتفاعات ایستگاه وجود ندارد.

همچنین زمان شروع شبیه‌سازی در رخدادهای این پژوهش ۴۸ ساعت قبل از پیک بارش در نظر گرفته شده است که در نتیجه شبیه‌سازی‌ها از یک زمان یکسان آغاز نشده‌اند. زمان محاسبات نیز موردی است که باید مد نظر قرار گیرد. از آنجایی که انجام محاسبات مدل‌های هواشناسی زمان‌بر است. محدودیت‌های زمانی می‌تواند منجر به استفاده از تنظیمات ساده‌تر مدل و در نتیجه خطای بیشتر در پیش‌بینی شود.

از دیگر دلایل احتمالی برای خطای پیش‌بینی بارش که در تحقیقات دیگر محققین نیز به آنها اشاره شده می‌توان به خطا در شرایط مرزی جانبی مدل (اوچوا و همکاران، ۲۰۱۴)، خطا در داده‌های استاتیک شامل توپوگرافی (اوچوا و همکاران، ۲۰۱۴) و خطا در طرح‌های پارامترسازی به ویژه خردفیزیک و همرفت (جانکو و همکاران، ۲۰۰۵) اشاره نمود. علاوه بر این، شواهد نشان می‌دهد که برخی ایستگاه‌ها (مثلاً کوه‌دشت، الشتر در برخی رخدادهای) تمایل به بیش‌برآورد

طرح‌واره در شرایط آب‌وهوایی متنوع (آب و هوای متنوع لرستان) عملکرد قابل اطمینانی دارد. به نظر می‌رسد علت اصلی این موفقیت، تلفیق بهینه پارامترهای دینامیکی و ترمودینامیکی در این طرح‌واره باشد که امکان مدلسازی تعاملات پیچیده ابر-بارش را فراهم می‌کند.

از سوی دیگر، مقایسه این نتایج با طرح‌واره‌های دیگر (مانند طرح‌واره‌های چندلایه یا مبتنی بر پارامترسازی‌های ساده‌تر) نشان می‌دهد که طرح‌واره شماره ۱ به‌طور میانگین ۲۵-۴۰٪ خطای کمتری در برآورد بارش دارد. این موضوع اهمیت انتخاب الگوریتم‌های پیشرفته ریزگردانی و در نظر گرفتن اثرات توپوگرافی محلی را در مدل‌های آب‌وهوایی برجسته می‌سازد.

همچنین، در ایستگاه‌هایی با ارتفاع متوسط تا زیاد (مثلاً بروجرد، ازنا، الیگودرز، نورآباد) دیده می‌شود که گاهی WRF۲ یا WRF۳ عملکرد بهتری دارند؛ این احتمالاً نشان‌دهنده حساسیت طرح‌واره‌ها به بازتولید فرآیندهای اوروگرافیک، میکروفیزیک و توزیع رأس‌های همرفتی در ارتفاع است. در ایستگاه‌های پایین‌دست و دره‌ای (مثلاً پلدختر، رومشکان) بسته به رخداد، هر یک از طرح‌واره‌ها ممکن است بهتر باشد؛ اما WRF۱ غالباً در بازتولید مقادیر بالاتر بارش در این نقاط بهتر عمل کرده است. این الگو نشان می‌دهد که عملکرد بهینه یک طرح‌واره وابسته به خصوصیات محلی (توپوگرافی، موقعیت نسبت به محور سامانه، رطوبت سطحی) و نیز ماهیت سامانه (همرفتی شدید یا بارش ممتد لایه‌ای) است.

۴ بررسی علل خطای پیش‌بینی

در پیش‌بینی وضع هوا، مدل‌های عددی به عنوان ابزاری قدرتمند برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتار جو عمل می‌کنند. این مدل‌ها با استفاده از معادلات ریاضی و فیزیکی و با دریافت داده‌های اولیه جوی، قادر به پیش‌بینی پارامترهای مختلف هواشناسی مانند دما، بارش، باد و رطوبت هستند. با

در نقشه‌های حاصل از شبیه‌سازی اول و سوم نیز به خوبی مشهود است.

به طور کلی بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها نقشه‌های شبیه‌سازی شده حاصل از طرحواره اول و سوم مطابقت بسیار بالایی با یکدیگر دارند این در حالی است که الگوی بارش در طرحواره دوم بسیار متفاوت است. از این طریق می‌توان به اهمیت انتخاب الگوی ابر همرفت و شرایط مرزی در پیش‌بینی بارش پی برد که با تغییر این موارد در طرحواره دوم شکل الگوی بارش بسیار تغییر کرده است. از طرفی مطابقت بالای الگوی بارش در داده‌های اندازه‌گیری شده با داده‌های شبیه‌سازی شده حاصل از طرحواره اول نشان می‌دهد که انتخاب (Kain-Fritsch (new Eta به عنوان همرفت در پیکر بندی مدل برای استان لرستان نتیجه مطلوبی به همراه دارد. از طرفی باید در نظر داشت که متغیر بارش به طور طبیعی یک متغیر گسسته است و هیچ تایم سری از بارش نرمال نیست به غیر از میانگین‌های تجمعی بلند مدت اقلیمی (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳)، به این معنا که بارش در نقاط مختلف می‌تواند بسیار متفاوت باشد و به شکل پیوسته تغییر نکند. استفاده از اینترپولاسیون می‌تواند اطلاعات نادرستی ارائه دهد و الگوهای نادرست ایجاد کند. در این تحقیق میزان بارش تجمعی رویدادهای مختلف درون‌یابی شده و در واقع درصدی از خطا ممکن است به همین خاطر باشد.

۵ نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف ارزیابی توانایی مدل عددی WRF در شبیه‌سازی بارش‌های سنگین و سیل‌آسا در استان لرستان انجام شده است. برای این منظور، شبیه‌سازی‌های مدل WRF با استفاده از طرحواره‌های مختلف برای ۵ رخداد بارشی سنگین در برد زمانی ۹۷ ساعته در روزهای بارانی ماه‌های مارس ۲۰۱۹، آوریل ۲۰۱۸، مارس ۲۰۱۷ و آوریل ۲۰۱۶ با تفکیک مکانی ۵ کیلومتر صورت گرفت و نتایج با داده‌های

توسط مدل دارند؛ این می‌تواند نتیجه اغراق در پارامترهای رشد همرفتی یا نرخ تبدیل رطوبت به بارش در میکروفیزیک باشد. در مقابل، ایستگاه‌هایی مانند الیگودرز و ازنا در برخی رخدادهای کم‌برآورد دیده شده‌اند؛ ضعف در بازنمایی ورود رطوبت میانی یا اثر سرمای ارتفاع می‌تواند عامل آن باشد که به نوعی بیانگر خطای سیستماتیک مدل است.

با توجه به نقشه‌های بارش حاصله از داده‌های اندازه‌گیری شده که با توجه به تعداد نسبتاً کم ایستگاه‌ها با روش کریجینگ درون‌یابی شده‌اند مشاهده می‌شود که در رخداد ۲۰۱۹/۰۳/۳۰ (شکل ۴-الف) قسمت اعظم استان دارای بارندگی بیش از ۱۰۰ میلی‌متر بوده است که با نقشه‌های حاصل از شبیه‌سازی اول و سوم مطابقت دارد. هم‌چنین شهرستان‌های الیگودرز و ازنا دارای کمترین میزان بارش هستند. این در حالیست که در رخداد ۲۰۱۹/۰۳/۲۳ (شکل ۴-ب) نیز بخش اعظمی از استان دارای بارندگی بیش از ۱۰۰ میلی‌متر بوده که مغایر است با نقشه‌های شبیه‌سازی شده حاصله از مدل WRF. با توجه به خطای محاسباتی میانگین که در این تاریخ نزدیک به ۳۱ درصد بوده است این امر قابل پیش‌بینی بود.

نتایج حاصله از ترسیم نقشه بارش ۲۰۱۸/۰۴/۲۷ (شکل ۵-الف) نشان داد که قسمت اعظم استان طی این رخداد بارش دارای بارش بیش از ۳۰ میلی‌متر بوده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی اول و سوم نیز این نتیجه را نشان می‌دهد. بر این اساس با توجه به نقشه‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، بارش در مناطقی شرقی و جنوب شرقی کم و به طرف شمال، شرق و جنوب افزایش می‌یابد.

در رخداد ۲۰۱۷/۰۳/۲۲ (شکل ۵-ب)، نیز بخش‌های زیادی از استان دارای بارش بیش از ۳۰ میلی‌متر بوده‌اند که به خوبی در نقشه‌های حاصل از شبیه‌سازی اول و سوم مشهود است.

در رخداد ۲۰۱۶/۰۴/۱۲ (شکل ۶) بخش زیادی از استان دارای بارندگی بیش از ۱۰۰ میلی‌متر بوده است که این مهم

همچنین نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نقشه‌های بارش مشاهده‌ای نشان داد که مدل در برخی موارد در شبیه‌سازی الگوهای فضایی بارش با دقت بیشتری عمل می‌کند که اهمیت انتخاب مناسب طرحواره همرفت و شرایط مرزی در مدل WRF را برای شبیه‌سازی دقیق بارش در مناطق کوهستانی و سیل‌خیز مانند استان لرستان برجسته می‌کند. همچنین، این یافته‌ها می‌تواند به عنوان مبنایی برای بهینه‌سازی سیستم‌های پیش‌بینی بارش در استان مورد استفاده قرار گیرد و نقش کلیدی در مدیریت منابع آب، پیش‌بینی سیلاب، برنامه‌ریزی کشاورزی ایفا کند. با این حال، برای تعمیم نتایج، انجام مطالعات تکمیلی با در نظر گرفتن رویدادهای حدی و روندهای بلندمدت تغییر اقلیم، همچنین، آنالیز حساسیت، آزمون ترکیب چند طرحواره‌ای، مقایسه داده‌های راداری با ماهواره‌ای پیشنهاد می‌شود.

۶ تشکر و قدردانی

از سازمان هواشناسی کشور بخاطر اجازه دسترسی به سرورهای آن جهت اخذ داده‌های مدل WRF تشکر و قدردانی می‌شود.

اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی مقایسه گردید. نتایج نشان داد که طرحواره‌های پارامترسازی همرفت-Kain-Fritsch (new Eta) و شرایط مرزی عملکرد مناسبی در شبیه‌سازی میانگین بارش استان دارند. این نتایج بیانگر آن است که انتخاب طرحواره بهینه برای پیش‌بینی بارش، وابسته به ویژگی‌های محلی بوده و یک طرحواره واحد نمی‌تواند در همه نقاط عملکرد یکسانی داشته باشد. همچنین، مشاهده می‌شود که در برخی ایستگاه‌ها مدل تمایل به بیش‌برآورد یا کم‌برآورد بارش دارد، که می‌تواند ناشی از ضعف مدل در بازنمایی فرآیندهای خردمقیاس، به‌ویژه در شرایط بارش‌های سنگین و پیچیدگی‌های ناهمواری‌های لرستان باشد. یافته‌های مشابه در تحقیقات پیشین (مانند Moya-Álvarez et al., ۲۰۲۰; Baki et al., ۲۰۱۸) نیز نشان داده‌اند که استفاده از طرحواره‌های مختلف می‌تواند باعث تفاوت قابل توجهی در دقت پیش‌بینی شود و تنظیم پارامترهای فیزیکی مدل برای هر منطقه ضروری است.

منابع

1. A'zami Rad, M., & Saidian, F. (2010). Investigation of Flood Hazard Assessment Based on Permeability and Runoff from Geological Formations in a Watershed (Case Study: Karde Dam Watershed, Mashhad). Proceedings of the 6th National Conference on Watershed Science and Engineering and the 4th National Conference on Erosion and Sediment. Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University. (In Persian)
2. Akbari, Z., Azadi, M., Moradpour, B., Masaoudi, H., Davoudi, R., & Rezaeipour, S. (2022). Verification Results of the WRF Numerical Prediction Model in Lorestan Meteorology and the Meteorology and Atmospheric Science Research Institute during March and April 2019. Climatological Research, 13(50), 167–182(In Persian).
3. Akbari, Z., Masaoudi, H., Moradpour, B., & Davoudi, R. (2021). Evaluation of Precipitation Post-Processing in the WRF Numerical Prediction Model in Lorestan Province during March and April 2019. Nivar, 14(112-113), 161–173(In Persian).
4. Azadi, M., Ghazi Mirsaeid, M., & Jafari, S. (2009). Evaluating the Performance of the WRF Model for Precipitation Forecasting over Iran for a One-Month Period. Proceedings of the 12th Fluid Dynamics Conference. Iranian Physics Association, Babol Noshirvani University of Technology, Tehran. (In Persian)
5. Baki, H., Smith, J., Lee, K., & Zhang, Y. (2022). Determining the parameter sensitivity of the WRF model for tropical cyclone simulations using global sensitivity analysis methods. Geoscientific Model

- Development, 15, 2133–2155. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-2133-2022>
6. Chambon, P., Zhang, S. Q., Hou, A. Y., Zupanski, M., and Cheung, S., (2013). Assessing the impact of pre-GPM microwave precipitation observations in the Goddard WRF ensemble data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 140, 1219–1235.
 7. Erfanian, M., Ansari, H., and Alizadeh, A. (2013). The average monthly precipitation and temperature prediction models using artificial neural networks to link distance (Case study: Mashhad station). *J. Geograph. Res. Arid Zone*, 3(14), 53–73.
 8. Garcia, D. W., Reboita, M. S., & Carvalho, V. S. B. (2025). Sensitivity Analysis and Performance Evaluation of the WRF Model in Forecasting an Extreme Rainfall Event in Itajubá, Southeast Brazil. *Atmosphere*, 16(5), 548. <https://doi.org/10.3390/atmos16050548>.
 9. Givati, A., Lyan, B., Liu, Y., and Rimmer, A., (2012). Using the WRF Model in an Operational Streamflow Forecast System for the JORDAN River. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51, 285–299.
 10. Goudarzi, L., Bani Habib, M. A., & Ghafarian, P. (2018). Evaluation of the WRF Model Performance in Simulating Heavy Rainfall (Case Study: Kan River Watershed). *Journal of Water and Soil Conservation Research*, 25(1), 1393. (In Persian)
 11. Goudarzi, M., Manafzadeh Vaziri, B., & Mirhosseini, M. R. (2017). Evaluation of the IHE-RAS Model Performance for Simulating Surface Runoff under Climate Change Conditions (Case Study: Kan Watershed). *Iranian Watershed Management Science and Engineering*, 11(38), 83–94. (In Persian)
 12. Heidari, Sh., Salehi, B., Zeinali, B., & Pourghasemi, A. (2024). Precipitation Forecasting for Some Stations in Lorestan Province in the Next Two Decades Using the LARS-WG Model. *Environmental Science Studies*, 9(1), 7963–7976. (In Persian)
 13. Hong, S. Y., Dudhia, J., and Chen, S. H. (2004). A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. *Monthly Weather Review*, 132(1), 103–120.
 14. Imani, S., Hassanli, S., Farrokhnia, A., Javadi, F., & Najafi, M. (2020). Evaluating the Efficiency of the WRF-Hydro Model in Developing Flood Forecasting and Warning Systems (Case Study: Keshkan Watershed). *Iranian Water Resources Research*, 16(4), 225–240. (In Persian)
 15. Jankov, I., Gallus Jr, W. A., Segal, M., Shaw, B., & Koch, S. E. (2005). The impact of different WRF model physical parameterizations and their interactions on warm season MCS rainfall. *Weather and Forecasting*, 20(6), 1048–1060.
 16. Karimkhani, M., Jamshidi Khazali, T., Azadi, M., & Fattahi, A. (2017). The Effect of Horizontal Resolution on Precipitation Forecast Accuracy Using the WRF Model. Study Area: Karkheh and Karun River Basins. *Quarterly Journal of Wetland Ecology*, 9(34), 55–74. Islamic Azad University, Ahvaz Branch. (In Persian)
 17. Khodamoradpour, M., & Irannazad Hajjam, S. (2011). Evaluation of Discharge Simulation from the Coupled Surface and River Routing Scheme in the WRF Numerical Weather Prediction Model (Case Study: Karun River Basin). *Journal of Earth and Space Physics*, 37(1), 199–214. (In Persian)
 18. Kouhi, S., Azizian, A., & Najafi, M. S. (2024). Evaluation of the Performance of the Local WRF Precipitation Model and the Regional IFS Model in Rainfall Estimation. *Iranian Journal of Water and Soil Research*, 55(11), 2018–2033. (In Persian)
 19. Layeghi, B., Sarmad, Gh., Aliakbari Bidokhti, A., & Azadi, M. (2017). Sensitivity Analysis of WRF Model Simulations to Physical Parameterizations in the Persian Gulf and Oman Sea Area during Summer Monsoon. *Iranian Journal of Geophysics*, 11(1), 1–19. (In Persian)
 20. Masoudi Moghadam, M. (2024). Application of Artificial Intelligence and Deep Learning in Water Resource Management: Crisis Forecasting and Resource Allocation Optimization under

- Climate Change Conditions. Proceedings of the 9th International Conference on Civil Engineering, Architecture, and Sustainable City. (In Persian)
21. McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Eighth Conference on Applied Climatology, January 17e22, Anaheim, California, 179–184.
 22. Mousavi, S. M., Zarrin, A., Mofidi, A., & Hosseini, S. F. (2017). Investigation of the Relationship between Thunderstorm Frequency and Temperature Trend in Mashhad City. *Geographical Research Quarterly*, 32(3). (In Persian)
 23. Moya-Álvarez, A. S., Martínez-Castro, D., Flores, J. L., & Silva, Y. (2018). Sensitivity Study on the Influence of Parameterization Schemes in WRF_ARW Model on Short- and Medium-Range Precipitation Forecasts in the Central Andes of Peru. *Advances in Meteorology*, 2018, Article ID 1381092, 16 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/1381092>.
 24. Ochoa, A., Pineda, L., Crespo, P., and Willems, P. (2014). Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates and WRF retrospective precipitation simulation over the Pacific–Andean region of Ecuador and Peru. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 3179–3193. <https://doi.org/10.5194/hess-18-3179-2014>
 25. Pennelly, C., Reuter, G., and Flesch, T. (2014). Verification of the WRF model for simulating heavy precipitation in Alberta. *Atmospheric Research*, 135, 172–192.
 26. Qasabi, Z., Kamali, Gh., Mashkouti, A., Hajjam, S., & Javaheri, N. (2014). Evaluating the Performance of Microphysics and Convection Parameterization Schemes of the WRF Model in Estimating Rainfall in the Karun Watershed in Southwest Iran. *Journal of Climatological Research*, 5(19-20). (In Persian)
 27. Santos, C., Calvao, C., Suzuki, K., and Trigo, R. (2001). Matsuyama city rainfall data Analysis using wavelet transform. *J. Hydr. Engin. JSCE*, 45, 211–216.
 28. Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X., Wang, W., and Powers, J. (2008). A description of the advanced research WRF version 3. NCAR/TN-475+STR.
 29. Wang, W., Baker, D., Bruyere, C., Dudhia, J., Gill, D. and Michalakes, J. (2001). ARW User's Guide.
 30. Zakeri, Z., Azadi, M., & Sahraiyani, F. (2014). Verification of WRF Model Output for Rainfall over Iran in the Period of February to the End of May 2009. *Nivar Scientific and Promotional Journal*, 68-68, Autumn and Winter 2014 (Biannual). (In Persian)
 31. Zhang, Y., Deng, C., Xu, W., Zhuang, Y., Jiang, L., Jiang, C., Gao, L. (2025). Long-term variability of extreme precipitation with WRF model at a complex terrain River Basin. *Scientific Reports*, 15, 156. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84076-x>.