نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و سوم، شماره ۶۹، تابستان ۱۴۰۲

کاربرد شبیه‌سازی مدل میان‌مقیاس پیش‌بینی وضع هوا در ترسیم الگوی توزیع زمانی بارش (مطالعه موردی حوضه آبریز پارسیان)[1]

دریافت مقاله: ۹۸/۷/۲۸ **پذیرش نهایی**: ۹۹/۱/۲۸

صفحات: ۲۷۵-۲۵۹

الهه قاسمی کرکانی: دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران[2]
Email: ghasemi.elaheh.k@ut.ac.ir
ابراهیم فتاحی: دانشیار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران
Email: ebfat2002@yahoo.com
تهمینه صالحی پاک: کارشناس ارشد جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
Email: ebfat2002@yahoo.com
هوشنگ قائمی: استاد پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران
Email: Hoo_ghaemi@yahoo.com

چکیده

شدت بارش در طول مدت بارش تغییر می‌کند. تغییرات مقدار بارش در طول یک واقعه در نحوه شکل‌گیری سیلاب و شدت و تداوم آن تأثیرگذار می‌باشد. شناخت و تعیین تغییرات زمانی بارش در طول مدت رگبار بر اساس الگوی توزیع زمانی مشخص می‌شود. در روند تبدیل حداکثر بارش محتمل به حداکثر سیل محتمل که با استفاده از مدل‌های بارش – رواناب انجام می‌گیرد، تعیین الگوی تیپ توزیع زمانی بارش در ایستگاه‌ها و منطقه تحت مطالعه ضروری است. بدین منظور می‌توان از داده‌های با مقیاس زمانی کوتاه‌مدت ایستگاه‌های باران‌نگار استفاده کرد. بهره‌گیری از شبیه‌سازی مدل‌های میان‌مقیاس عددی وضع هوا مانند مدل تحقیقات آب‌وهوا و پیش‌بینی (WRF) توانسته است تا حدود زیادی این نیاز را جبران کند. مدل WRF یکی از مدل‌های پاسخگو در زمینه پیش‌بینی بارش، دما و عناصر جوی است که در این مطالعه از آن بهره گرفته شده است. در این مقاله ابتدا مدل برای سه توفان شدید و فراگیر ۱۴ و ۱۵ آذر ۱۳۸۲، ۳ تا ۵ دی ۱۳۸۵ و ۶ و ۷ فروردین ۱۳۸۶ بر روی حوضه آبریز سد پارسیان و نواحی اطراف آن شبیه‌سازی شد و سپس خروجی آن با مقادیر بارش ثبت‌شده توسط دیتالاگرها مورد مقایسه قرار گرفت.

کلید واژگان: الگوی زمانی، بارش، مدل WRF، حوضه آبریز سد پارسیان

---

۱. این پژوهش بخشی از مطالعات حداکثر بارش محتمل و سیلاب حوضه آبریز سد پارسیان می‌باشد که در شرکت مهندسین مشاور لار انجام پذیرفته است.

۲ . نویسنده مسئول: تهران، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، گروه آب‌وهواشناسی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.107.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.259]

مقدمه

توزیع زمانی بارش یا به عبارتی الگوی بارش یکی از نیازهای اساسی پروژه‌های منابع آب و طرح‌های عمرانی وابسته آن است؛ اما به‌دلیل پیچیدگی‌های جغرافیایی و توپوگرافیک و عدم تراکم مناسب ایستگاه‌ها عموماً اطلاعات کافی از باران‌نگارها در دست نیست. لذا فقدان اطلاعات مشاهداتی برای ترسیم الگوی بارش تلاش برای دست یافتن به تکنیک‌های مناسب برای ارائه الگوهای زمانی آن را در بارندگی‌های با تداوم‌های مختلف موردتوجه قرارداده است. عموماً روش‌های تجربی، روابط ریاضی، روش‌های تئوریکی و داده‌های واقعی جهت تهیه الگوهای زمانی باران استفاده می‌شود که هر یک از این روش‌ها با نقاط ضعف و قوت خاص خود همراه‌اند و در برخی موارد فقط برای منطقه‌ای خاص جواب‌گو هستند. در حال حاضر برای تعیین کمی مقادیر بارش در یک شبکه منظم در یک منطقه، بهترین روش استفاده از مدل‌های عددی شبیه‌سازی هواشناسی می‌باشد. مدل‌های عددی شبیه‌سازی هواشناسی ازجمله ابزارهای سازنده در بررسی پدیده‌های جوی ازجمله بارش هستند. این مدل‌ها با قابلیت انعطاف‌پذیری بالا این امکان را فراهم می‌کنند تا نقش هرکدام از عوامل مؤثر بر پدیده‌های جوی به‌صورت مجزا موردبررسی و تحلیل قرار گیرد (سلطانزاده،۱۳۸۴). مدل‌های مذکور برای پیش‌بینی‌های اقلیمی مستلزم بررسی و به‌کارگیری طرحواره‌های فیزیکی مناسب بر اساس اقلیم منطقه ازلحاظ نوع بارش‌ها، توپوگرافی و نحوه رشد خطای مدل‌های عددی می‌باشند (مدیریان،۱۳۸۶)؛ بنابراین با توجه به گسترش دانش شبیه‌سازی جو به کمک مدل‌های عددی و شبیه‌سازی رخدادهای بارش در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت با دقت بالا، از خروجی این مدل‌ها با گام‌های زمانی کوتاه‌مدت می‌توان در تعیین الگوی بارش در یک منطقه خاص بهره برد. یکی از این مدل‌های عددی که هم‌اکنون در پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت در سطح کشور مورداستفاده قرار می‌گیرد مدل عددی WRF[1] است، این مدل یک مدل میان‌مقیاس با قابلیت‌های فراوان است و حالت‌های مختلف جو را شبیه‌سازی کرده و محدوده کاربرد آن بسیار وسیع است و گستره‌ای بین چندین متر تا هزاران کیلومتر را تحت پوشش قرار می‌دهد. این مدل هم برای تحقیقات جوی و هم برای پیش‌بینی توسعه‌یافته است. در سال‌های اخیر این مدل در مطالعات پیش‌بینی بارش‌های یک ماه، فصلی، روزانه و ساعتی در مناطق مختلف کشور به‌کاررفته است از آن جمله آزادی و همکاران (۱۳۹۱، ۴۸) به ارزیابی عملکرد مدل WRF در پیش‌بینی بارندگی تجمعی ۲۴ ساعته ایران پرداختند. پیش‌بینی‌های روزانه برای دوره اول نوامبر ۲۰۰۸ تا ۳۰ ژوئن ۲۰۰۹ برای بردهای ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته راست آزمایی شده‌اند و نتایج راست آزمایی مهارت قابل قبولی را از پیش‌بینی‌های مدل WRF نشان داد. این نتایج برای شمال کشور که جز مناطق پربارش هستند با مقدار کمیت TS بیش از ۰/۵ گزارش شد که بالاترین دقت مدل را برای پیش‌بینی بارش در بین مناطق مختلف را نشان داده است و در مناطق کم بارش شرق و جنوب شرق کشور کمیت TS با مقادیر کمتر از ۰/۴، کمترین دقت مدل را در بین مناطق مختلف کشور گزارش کرده است. ذوالجودی و همکاران (۱۳۹۲، ۱۸۷) میزان دقت و صحت برون‌داد و در نتیجه کارایی مدل WRF در پیش‌بینی ۲۴ و ۴۸ ساعته بارش را با انتخاب طرحواره‌های مختلف و در دو وضعیت بارش و عدم بارش مورد ارزیابی قرار دادند و با تعیین

1 Weather Research and Forecasting (WRF)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.107.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.259]

چهار آستانه برای بارش جدول توافقی تشکیل داده و امتیازهای مهارتی را محاسبه کردند. نتایج نشان داد که در بین پیکربندی‌های مختلف، خروجی مدل برای دو پیکربندی KFMYJ و GDMYJ به واقعیت نزدیک‌تر و از دقت قابل‌قبول‌تری برخوردار است. تقوی و همکاران (۱۳۹۲، ۱۴۵) پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت بارش مدل عددی WRF را در دوره یک ماه در ایران مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج ارزیابی برای پیش‌بینی‌های بارش نشان داد که الگوی کلی نوارهای بارشی را مدلWRF به درستی روی ناحیه برآورد می‌کند اما در دامنه بارش‌ها مشکلاتی وجود دارد. همچنین امتیازات مهارتی برای آستانه‌های متفاوت روی حوزه موردتحقیق برای کل بازه یک‌ماهه و روزهای اوج بارش، بیانگر عملکرد نسبتاً مطلوب مدل در رخداد بارش در بیشتر نواحی است. برای آستانه بارش ۰/۱ میلی‌متر مدل در بیشتر ایستگاه‌های همدیدی منتخب تعداد دفعات بارش را به‌درستی برآورد کرده است و امتیاز مهارتی مطلوبی داشته است، ولی هنوز دامنه بارش‌های برآورد شده با مشکلاتی همراه بوده است. همچنین امتیازات ارزیابی مدل در برآورد پیش‌بینی‌های بارش ۲۴ ساعته نسبت به ۴۸ ساعته بهتر بوده است. امینی و همکاران (۱،۱۳۹۳) با استفاده از مدل عددی WRF بارش‌های سنگین و سیل‌آسا روز بیستم تا بیست و دوم اسفندماه بر روی استان اصفهان را شبیه‌سازی کردند و پس از اجرا خروجی آن را با واقعیت مورد مقایسه قرار دادند؛ و مشاهده کردند که مدل عددی با هر درجه تفکیک محل شدت بارش را به‌خوبی نشان می‌دهد و با اجرایی نمودن این مدل در درجه تفکیک ۳ کیلومتر نتایج با واقعیت تطبیق بیشتری داشته است. ارکیان و همکاران (۱۳۹۳، ۸۵) به ارزیابی پیش‌بینی بارش مدل WRF برای بارش‌های سنگین ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته در دهه هشتاد شمسی در استان قزوین پرداختند بر اساس نتایج جذر میانگین خطا و بایاس چندگاه مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل در بازه ۲۴ ساعته نسبت به بازه‌های ۴۸ و ۷۲ ساعت عمل کرد بهتری داشته است. قصابی و همکاران (۱۳۹۴، ۹۹) به ارائه تابع توزیع زمانی لجستیک بر روی داده‌های بارش برازش داده شد و ضرایب لجستیک منحنی توزیع زمانی بارش با استفاده از نتایج مدل WRF، در توفان بزرگ ۱۲ تا ۱۵ نوامبر ۲۰۰۶ در جنوب‌غرب ایران پرداختند نتایج حاکی از تغییر ضریب a از حداقل ۰/۲ تا ۰/۷ از بخش‌های جنوب-شرقی و مرکزی تا شمال و جنوب‌غرب حوضه بوده است، به‌طوری‌که در شمال و جنوب‌غرب شدت بارش به مراتب بیشتر بوده است؛ و ضریب B از حداقل ۴ در جنوب شرق و مرکز منطقه تا حدود ۱۴ در جنوب و شمال متغیر است که بیانگر تأخیر بیشتر در زمان شروع بارش در توفان است. نسیانی و همکاران (۱۳۹۶،۱۰۳) به بررسی تأثیر داده‌گواری بر پیش‌بینی بارش در رخداد یک بارش سنگین ناشی از سامانه همدیدی قوی در منطقه غرب ایران پرداختند و نتیجه گرفتند اریبی بارش در ایستگاه‌های منتخب در غرب ایران، با داده‌گواری باعث کاهش ۷۳٪ در میزان اریبی پیش‌بینی بارش تجمعی ۲۴ ساعته می‌گردد اما در پیش‌بینی‌های بارش تجمعی ۴۸ ساعته تأثیر داده‌گواری کاهش می‌یابد. گودرزی و همکاران (۲۲۹،۱۳۹۷) توانایی مدل WRF در پیش‌بینی بارش‌های سنگین (کوتاه‌مدت ۲۴ ساعته) حوضه آبریز رودخانه کن تهران را با استفاده از سه مورد از بارش‌های تاریخی منجر به رخداد سیلاب در منطقه مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج حاصل از برون‌داد مدل WRFو پیش‌بینی‌های بزرگ‌مقیاس NCEP را با مقدار بارش مشاهداتی ثبت شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی مقایسه کردند. نتایج نشان داد که بارش‌های پیش‌بینی شده توسط NCEP بسیار کمتر از مقدار واقعی برآورد شده‌اند، ضمن این‌که زمان وقوع بارش نیز به‌درستی پیش‌بینی نشده است؛ اما نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.107.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.259]

WRF حاکی از 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 نشان داده است. پورآتشی و همکاران (۱۳۹۹،۲۴۱) به بررسی تأثیرگذاری میدان باد و دما در تقویت و تضعیف سامانه‌های کم‌فشار جنوبی در دو واقعه بارش شدید در تاریخ‌های ۱۱ مارس ۲۰۱۵ و ۱۷ ژانویه ۲۰۰۰ در جنوب ایران با استفاده از مدل عددی WRF پرداختند و با انجام چهار آزمایش شبیه‌سازی نشان دادند در مورد مارس ۲۰۱۵ که سیستم با کم‌فشارهای بریده همراه بوده است، کاهش دما سبب تقویت سامانه مورد و با کاهش پذیرش بخار آب موجود در جو میزان بارش در مدت کوتاه به مقدار زیادی افزایش‌یافته است. ولیکن در مورد دوم، ژانویه ۲۰۰۰ با وجود تقویت سامانه چرخندی در اثر کاهش دما، به دلیل جریان‌های جنوبی شرق ناوه فشاری در سطح زمین و فرارفت هوای گرم در ایستگاه‌های موردنظر، دمای منطقه مطالعاتی افزایش‌یافته و در نتیجه فعالیت سیستم سرد کاهش و میزان بارش در این شبیه‌سازی تغییر زیادی نداشته است در هر دو مورد با افزایش سرعت باد، سامانه تقویت و مقدار بارش بیشتر شده است. در مورد دوم به دلیل وجود شرایط برای فرارفت نم‌ویژه، با افزایش سرعت باد، مقدار فرارفت نم‌ویژه افزایش‌یافته و میزان افزایش بارش بسیار بیشتر شد. شاکری و همکاران (۱۳۹۸) حساسیت عناصر هواشناسی نظیر میانگین دما، رطوبت نسبی و سرعت باد به پارامترسازی‌های فیزیکی مختلف در مدل پیش‌بینی عددی وضع هوا (WRF) را جهت شبیه‌سازی اقلیم شهری و تعدیل جزیره گرمایی شهر در استان‌های تهران و البرز مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد در استان تهران، به‌طورکلی تمامی پیکربندی‌ها دمای هوا و سرعت باد را کمتر از مقدار واقعی و رطوبت نسبی را بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌نمایند؛ و در استان البرز تمامی پیکربندی‌ها دمای هوا و سرعت باد را بیشتر از مقدار واقعی و رطوبت نسبی را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌نمایند. با افزایش انعکاس سطوح شهری، میانگین دمای استان‌های تهران و البرز به ترتیب به میزان ۰/۶ و ۰/۲ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. سرعت باد مخصوصاً در نواحی شهری، مقداری افزایش می‌یابد و میانگین رطوبت نسبی (خصوصاً در نواحی شهری) افزایش می‌یابد. رشمی موهنا[1] و همکاران (۲۰۱۸، ۸۳) با انجام پنج شبیه‌سازی حساسیت به پارامترهای میکروفیزیکی مدل WRF را در شبیه‌سازی وقایع بارش شدید در منطقه چنای[2] در جنوب شرقی هند موردبررسی قرار دادند و نتایج حاصله را با داده‌های سطحی و رادار هواشناسی داپلر (DWR) مورد مقایسه دادند و نتیجه گرفتند که پارامترهای میکروفیزیکی به دلیل تغییر در نسبت‌های اختلاط مؤلفه‌های رطوبت[3] و پارامترهای دینامیکی و ترمودینامیکی مرتبط، به‌طور قابل‌توجهی در شبیه‌سازی بارش تأثیرگذار است. همچنین توانایی مدل WRF-ARW برای پیش‌بینی بارندگی شدید در منطقه آند مرکزی در کشور پرو با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های واقع در حوضه مانتارو[4] و تصاویر GOES مورد ارزیابی قرار گرفته است. در مطالعه مذکور به ارزیابی و تجزیه‌وتحلیل شرایط سینوپتیکی بیش از ۴۰ مورد رویداد شدید بارش و شبیه‌سازی

1 Reshmi Mohana
2 Chennai
3 hydrometeors
4 Mantaro

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.107.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.259]

مدل پرداخته شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داده است که مدل WRF در حداقل ۵۰-۶۰ از موارد وقایع موردبررسی به‌طور عمده در جنوب حوضه و در منتهی‌الیه غربی ارتفاعات آن بارش را کمتر برآورد کرده است (مایو الوارز[1] و همکاران، ۲۰۱۸، ۱). افرایزل[2] و همکاران (۲۰۱۸، ۱) به ارزیابی مدل CESM/WRF که متشکل از مدل‌های اقلیمی، مدل سیستم جامع زمین (CESM) نسخه ۱، مدل ریزمقیاس[3] و مدل پژوهش و پیش‌بینی وضع هوا (WRF)، برای شبیه‌سازی اقلیمی با وضوح بالای پارامترهای دما و بارش در مناطق گرمسیری با شرایط پیچیده که در آن دما و بارش به‌شدت غیر همگن هستند پرداخته‌اند. مدل CESM/WRFبارش سالانه و فصلی و شبیه‌سازی دما را برای سال ۱۹۸۰-۱۹۹۹ در دقت مکانی ۱۰ کیلومتر برای سوماترا و مناطق اطراف آن با استفاده از داده‌های مشاهدات و داده‌های بازتحلیل ERA-Interim (ERA) ارزیابی شدند. علاوه بر این شبیه‌سازی‌های CESM/WRF با دقت مکانی ۱۰ کیلومتر نیز با داده‌های باز تحلیل کوچک‌مقیاس شده ERA/WRF در مقیاس ۱۰ کیلومتر مقایسه شدند. نتایج نشان داده است درحالی‌که الگوهای دما و بارش داده‌های اولیه CESM با داده‌های مشاهداتی بسیار متفاوت است، بااین‌حال نتایج CESM/WRF به‌خوبی با داده‌های مشاهداتی همخوانی دارد. ریزمقیاس نمایی دینامیکی CESM با استفاده از WRF وضوح و دقت شبیه‌سازی را به‌طور قابل‌توجهی بهبودیافته داده است و CESM/WRF توانسته است مکان‌هایی با دمای بسیار سرد را در قله‌های کوهستان شبیه‌سازی کند. سیستم شبیه‌سازی آب‌وهوا با وضوح‌بالا CESM/WRF توانسته است شبیه‌سازی اقلیمی مفید را در وضوح‌بالا برای سوماترا و مناطق مجاور فراهم کند؛ و نیز شبیه‌سازی قابل قبولی با داده‌هایی اقلیمی دما و بارش با دقت مکانی ۱۰ کیلومتر با ERA/WRF داشته است. در این تحقیق با توجه به اهمیت نقش بارش‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته در طراحی سرریز سدها و تخصیص اعتبار پروژه‌های عمرانی به ارزیابی پیش‌بینی‌های بزرگ‌ترین بارش‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته در حوضه آبریز سد پارسیان و تطابق توزیع زمانی آن‌ها به کمک مدل عددی WRF برای چند بازه زمانی منتخب پرداخته‌شده است.

روش تحقیق

معرفی محدوده موردمطالعه

حوضه آبریز سد پارسیان بخشی از شمال‌غرب استان فارس و محدوده شهرستان‌های سپیدان و ممسنی را در برگرفته است. محدوده حوضه آبریز این سد بین طول‌های جغرافیایی ۲۰- ۵۱ تا ۴۰-۵۲ درجه شرقی و ۴۵-۲۹ تا ۳۰-۳۰ عرض شمالی واقع‌شده است. ساختگاه اصلی سد پارسیان در مختصات جغرافیایی ´´۲۰´۴۸°۵۱ طول شرقی و ´´۳۳´۰۳°۳۰ عرض شمالی بر روی رودخانه ششپیر در حدود یک کیلومتری پایین‌دست روستای گورک از بخش دشمن زیاری واقع‌شده است. حوضه آبریز سد پارسیان ازنظر تقسیمات هیدرولوژیکی بخشی از سرشاخه‌های حوضه آبریز رودخانه‌های جراحی – زهره است، شکل (۱).

1 Moya-Álvarez
2 Afrizal
3 mesoscale

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.107.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.259]



شکل (۱). موقعیت حوضه سد پارسیان در استان

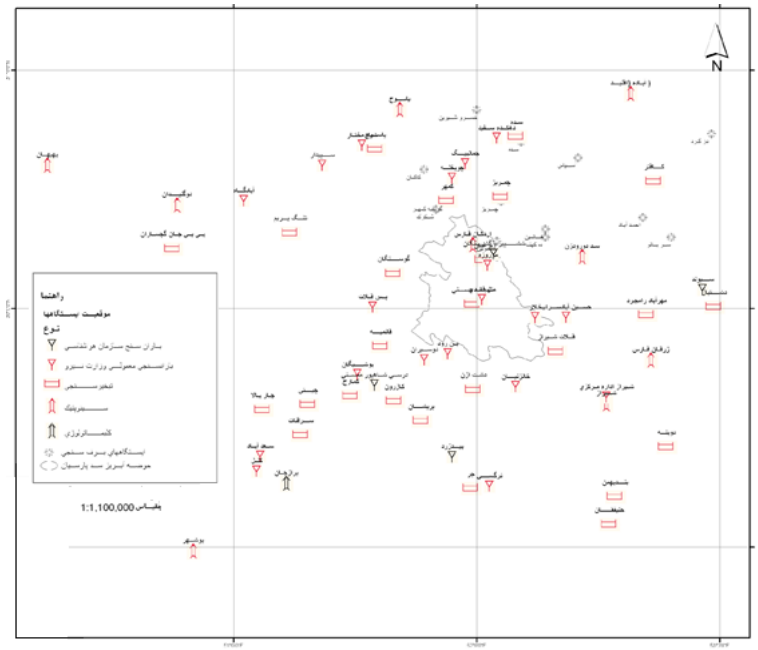
داده‌های مشاهداتی

عناصر هواشناسی که مشخص‌کننده وضعیت آب‌وهوایی می‌باشد در محل ایستگاه‌های باران‌سنجی، تبخیرسنجی، کلیماتولوژی و یا سینوپتیک به‌طور مستمر مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند. در این مطالعه جهت شناسایی بازه زمانی که بارش شدید و فراگیر بوده است از آمار بارش روزانه ایستگاه‌هایی که در داخل یا نزدیک حوضه موردمطالعه قرار دارند استفاده شده‌اند. در محدوده حوضه آبریز سد پارسیان و اطراف آن مجموعاً تعداد ۵۹ ایستگاه متعلق به سازمان هواشناسی و وزارت نیرو شناسایی و اطلاعات مربوط به آن‌ها جمع‌آوری گردیده است؛ که موقعیت آن‌ها به همراه موقعیت حوضه آبریز سد پارسیان در شکل (۲) ارائه شده است.

انتخاب بازه‌های با بارش شدید و فراگیر

توفان شدید و فراگیر عبارت است از شرایط فیزیکی جوی که موجب شدیدترین و فراگیرترین بارش در تمام ایستگاه‌های درون حوضه و پیرامون آن می‌شود که می‌تواند منجر به سیلاب‌های شدید شود. فراگیر بودن توفان به‌منظور اطمینان از صحت فرض اشباع هوا لازم است. انتخاب توفان شدید و فراگیر با توجه به داده‌های ثبت‌شده حداکثر بارش‌های روزانه با تداوم‌های یک تا چندروزه و با توجه به بیشینه دبی لحظه‌ای تعیین می‌گردد. سپس با توجه به تاریخ وقوع توفان‌های شدید و فراگیر در طول دوره آماری موردمطالعه ماه و فصولی که بیشترین فراوانی و شدیدترین توفان‌ها در آن اتفاق افتاده است، مشخص می‌گردد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.107.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.259]



شکل (۲). موقعیت ایستگاه‌های انتخابی در داخل حوضه و مجاورت آن

مدل‌های پیش‌بینی عددی

مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا که بر پایه پایستاری جرم، تکانه و انرژی استوارند، با به‌کارگیری معادلات دینامیکی جو و نیز استفاده از ساده‌سازی‌های مناسب، برای پیش‌بینی وضع هوا یا شبیه‌سازی پدیده‌های جوی به‌کار می‌روند. این مدل‌ها ازنظر حوضه موردمطالعه، فرایندهای فیزیکی، شرایط مرزی و اولیه و نیز انتخاب روش‌های عددی با هم تفاوت دارند. برخی از مدل‌های پیش‌بینی عددی برای تهیه پیش‌بینی میان‌مدت و نیز شبیه‌سازی اقلیمی به‌کار برده می‌شوند و برخی نیز برای تهیه پیش‌بینی کوتاه‌مدت و شبیه‌سازی فرایندهای کوچک‌مقیاس‌تر مورداستفاده قرار می‌گیرند (پژوهشکده هواشناسی، ۱۳۸۷). مدل پژوهش و پیش‌بینی وضع هوا WRF، نسل جدیدی از سامانه میان‌مقیاس مدل‌سازی عددی تحقیقاتی پیشرفته آب‌وهواست و در چند سال گذشته توسعه‌یافته است. برای توسعه مدل WRF تلاش همه جانبه‌ای بین مؤسسات و مراکز تحقیقاتی مختلف صورت گرفته است. از این مؤسسات معتبر می‌توان از مرکز ملی تحقیقات جوی (NCAR)، اداره کل جوی و اقیانوس‌شناسی ملی، مراکز ملی پیش‌بینی‌های زیست‌محیطی (NCEP)، آزمایشگاه سیستم‌های زیست‌محیطی (FSL)، آژانس آب‌وهوای نیروی هوایی (AFWA) و سایر مؤسسات نام برد. این مدل برای شبیه‌سازی جو واقعی و انجام شبیه‌سازی‌هایی با تفکیک درشت، مجموعه‌ای از مؤلفه‌های فیزیکی مانند تابش، پارامتری کردن لایه‌مرزی، پارامتری کردن همرفت، بخش پیچکی زیر شبکه‌ای و خردفیزیک لازم است که در مدل گنجانده‌شده است. چون مدل هم برای گروه‌های تحقیقاتی و هم عملیاتی توسعه داده‌شده است. طرحواره‌های فیزیکی در سطح بالا و نیز طرحواره‌های فیزیکی ساده، در مدل گنجانده‌شده است (پژوهشکده هواشناسی، ۱۳۸۷). این مدل از هسته‌های دینامیکی چندگانه، سیستم همگون‌سازی سه‌بعدی و متغیر

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.107.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.259]

(DVAR) برای داده‌ها و نرم‌افزاری تشکیل‌شده است که اجازه می‌دهد تا محاسبات موازی و توسعه‌پذیری سیستم صورت پذیرد. مدل WRF برای طیف وسیعی از کاربری‌ها و برای مقیاس‌هایی از چند متر تا چند هزار کیلومتر مناسب است. مدل WRF به محققان این امکان را می‌دهد که شبیه‌سازی‌هایی را با اطلاعات حقیقی یا وضعیت ایده‌آل انجام دهند. WRF یک مدل اجرایی برای پیش‌بینی‌های جوی ارائه می‌کند که از منظر محاسباتی کاملاً انعطاف‌پذیر باشد و درعین‌حال امکان اعمال پیشرفت‌های فیزیکی، عددی و نیز اضافه نمودن اطلاعات حاصل از جوامع تحقیقاتی گوناگون در آن وجود دارد.

نتایج

انتخاب بازه‌های توأم با بارش‌های شدید

انتخاب بازه‌های توأم با بارش‌های شدید و فراگیر با توجه به داده‌های حداکثر بارش‌های روزانه با تداوم‌های ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت طی دوره آماری بلندمدت (۲۰۱۴-۱۹۸۰) و همچنین داده‌های ثبت‌شده دبی‌های حداکثر لحظه‌ای و روزانه انجام‌گرفته است. پس از بررسی بارش‌های ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعته ایستگاه‌ها محاسبه و با در کنار هم قرار دادن بارش ایستگاه‌ها با تاریخ یکسان به شکل ستونی در مجاورت هم بارش‌ها با تداوم‌های مختلف به ترتیب نزولی مرتب شدند و درنهایت با تطابق رویدادهای سیل، تعداد ۱۳ بازه زمانی توأم با بارش شدید انتخاب گردید جدول (۱).

جدول (۱). ترتیب بزرگی توفان‌های شدید و فراگیر بر پایه میانگین بارش ایستگاه‌های موجود در منطقه

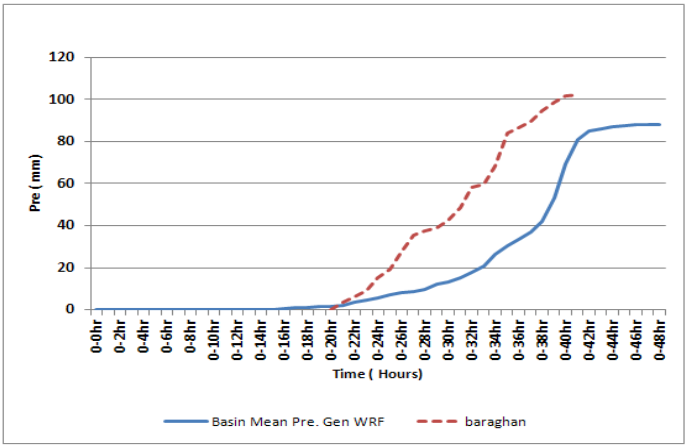
سال	ماه	رتبه بارش روزانه	تاریخ رخداد	متوسط بارش روزانه (mm)	بارش توفان (mm)
۷۳-۷۴	بهمن	۱	۱۶-۱۷	۷۴.۲	۱۴۸.۳
۸۲-۸۳	آذر	۲	۱۴-۱۵	۶۳.۹	۶۳.۹
۸۲-۸۳	دي	۳	۱۸-۱۹-۲۰-۲۱	۶۰.۲	۲۴۰.۶
۶۵-۶۶	آذر	۴	۹-۱۰-۱۱	۵۸.۸	۱۷۶.۳
۸۰-۸۱	دي	۵	۲۱-۲۲	۵۷.۷	۱۱۵.۴
۶۶-۶۷	دي	۶	۱۷	۵۴.۴	۵۴.۴
۷۳-۷۴	آبان	۷	۲۵-۲۶	۵۲.۲	۱۰۴.۴
۸۴-۸۵	دي	۸	۳-۴-۵	۴۶.۷	۱۴۰.۲
۷۶-۷۷	دي	۹	۱۵-۱۶	۴۶.۵	۹۳
۷۶-۷۷	اسفند	۱۰	۲۷	۴۳.۵	۴۳.۵
۶۸-۶۹	آذر	۱۱	۱۴	۴۲.۸	۴۲.۸
۸۵-۸۶	فروردين	۱۲	۷-۸	۴۲.۵	۸۵
۵۶-۵۷	دي	۱۳	۱	۴۱.۶	۴۱.۶

مقایسه الگوی زمانی بارش شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی

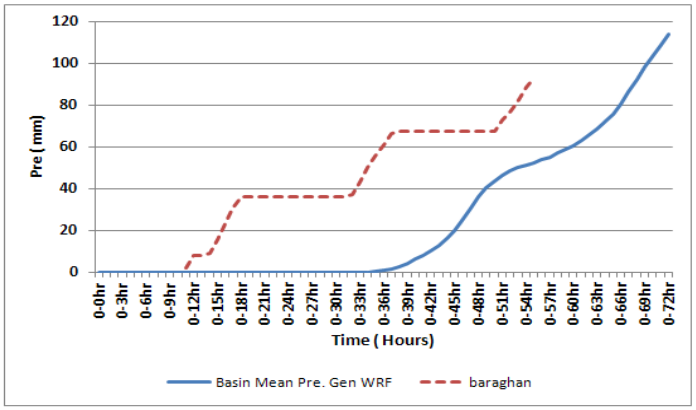
نظر به این‌که در محدوده موردمطالعه تنها اطلاعات ایستگاه باران‌نگار برغان (از سال ۱۳۸۰ به بعد) موجود بوده است مقایسه توزیع زمانی بارش برای سه رخ داد ۱۴ تا ۱۵ آذر ۱۳۸۲، ۳ تا ۵ دی ۱۳۸۵ و ۶ تا ۷ فروردین ۱۳۸۶ که آمار مشاهداتی آن در اختیار است صورت گرفته است. الگوی زمانی بارش مقادیر حاصل از خروجی مدل (WRF) در حوضه سد پارسیان برای سه رخ داد مذکور به همراه مقادیر مشاهداتی ایستگاه برغان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.107.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.259]

در اشکال (۳) تا (۵) ارائه‌شده است. مقایسه این دو الگو نشان می‌دهد که روند مشابهی را در توزیع الگوی زمانی بارش حوضه و بارش ایستگاه ثبات برغان وجود دارد. اختلاف میزان بارش در مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی به دلیل نقطه‌ای بودن مقادیر بارش در ایستگاه برغان است و الگوی بارش حوضه نیز که از متوسط بارش در نقاط مختلف حوضه به‌دست‌آمده بارش کمتری را نسبت به ایستگاه برغان نشان می‌دهد.

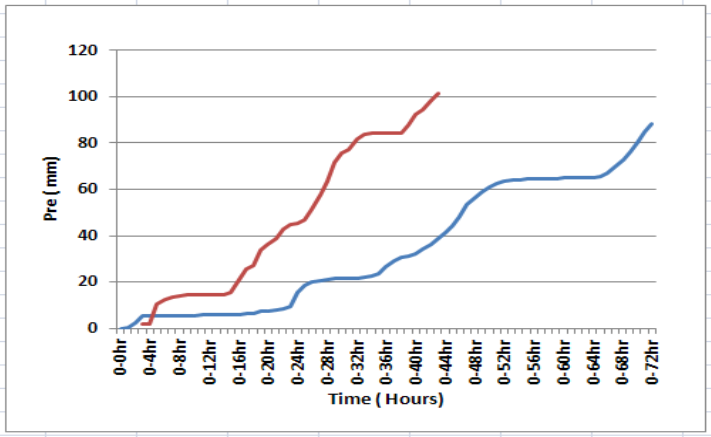


شکل (۳). مقایسه تغییرات الگوی زمانی بارش ایستگاه برغان و مدل عددی WRF (کل حوضه) بازه زمانی ۱۴ و ۱۵ آذر ۱۳۸۲



شکل (۴). مقایسه تغییرات الگوی زمانی بارش ایستگاه برغان و مدل عددی WRF (کل حوضه) بازه زمانی ۳ و ۵ دی ۱۳۸۴

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.107.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.259]

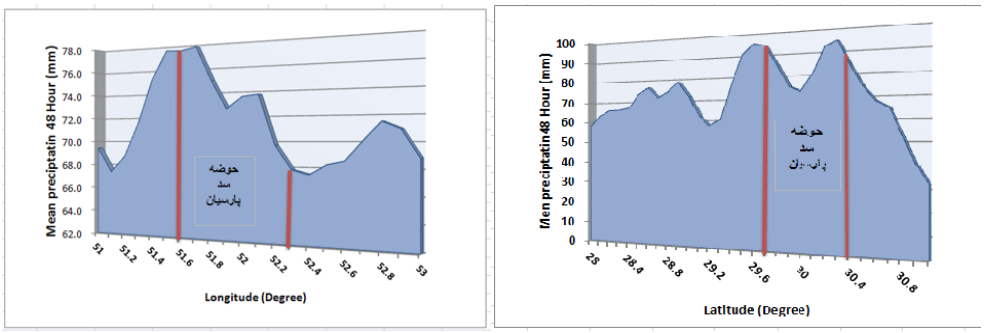


شکل (۵). مقایسه تغییرات الگوی زمانی بارش ایستگاه برغان و مدل عددی WRF (کل حوضه) توفان مورخ ۶ و ۷ فرودین ۱۳۸۶

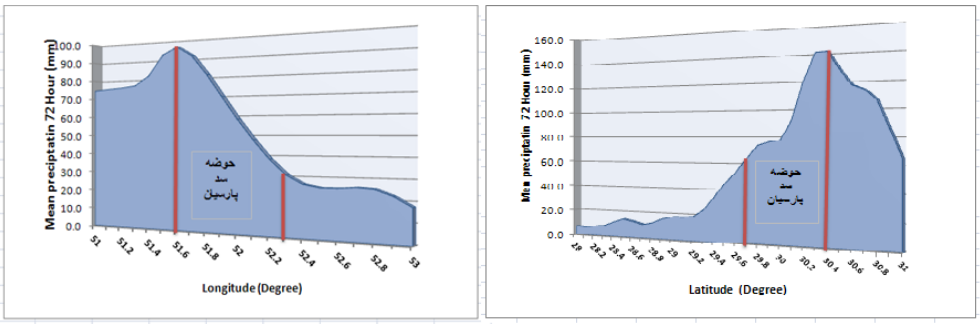
توزیع زمانی بارش در گام‌های مکانی

همچنین بررسی توزیع زمانی بارش با استفاده از خروجی مدل (WRF) با گام‌های مکانی ۰/۱ درجه در طول و عرض جغرافیایی و گام زمانی یک ساعت صورت گرفته است. برش طولی و عرضی تغییرات میانگین مقدار بارش در رخداد توفان‌های ۴۸ ساعته مورخ ۱۵ آذر ۱۳۸۲ (۴ و ۵ فوریه ۲۰۰۳) و توفان ۷۲ ساعته مورخ ۳ تا ۵ آذر ۱۳۸۴ (۲۴ تا ۲۶ دسامبر ۲۰۰۵) در حوضه موردمطالعه و اطراف آن و همچنین در عرض حوضه و نواحی پیرامون آن در اشکال (۶) و (۷) نشان داده است. این تغییرات مکانی در طول و عرض حوضه سد پارسیان در اشکال (۸) و (۹) ارائه‌شده است به‌منظور درک دقیق‌تری از اشکال (۶ تا ۹) و چگونگی توزیع الگوی بارش در منطقه موردمطالعه در تاریخ‌های فوق‌الذکر تغییرات مقادیر بارش ۴۸ ساعته و ۷۲ ساعته با طول جغرافیایی در طول‌های ۵۱/۶ درجه تا ۵۲/۳ درجه شرقی و همچنین با عرض جغرافیایی ۲۹/۷ تا ۳۰/۴ درجه عرض شمالی (داخل حوضه سد پارسیان) همراه با تغییرات ارتفاع در اشکال (۱۰ تا ۱۵) ارائه‌شده است. با توجه به اشکال (۶ تا ۱۵) می‌توان نتیجه گرفت به‌طورکلی تغییرات بارش از غرب به شرق و از جنوب به شمال در منطقه موردمطالعه و پیرامون آن روند کاهشی داشته که بیانگر ورود و تأثیرگذاری سامانه‌های بارشی از غرب و جنوب‌غرب کشور به این محدوده می‌باشد. علاوه بر این تغییرات بارش با ارتفاع نشان می‌دهد که با توجه به وجود دشت تکتونیکی که در دامنه جنوب غربی رشته ارتفاعات شرقی و شمال غربی حوضه قرارگرفته است تا حدودی نوسانات بارش در داخل حوضه را متأثر ساخته و در میانه حوضه با از دست دادن رطوبت توده‌هوا بارندگی کاهش می‌یابد.

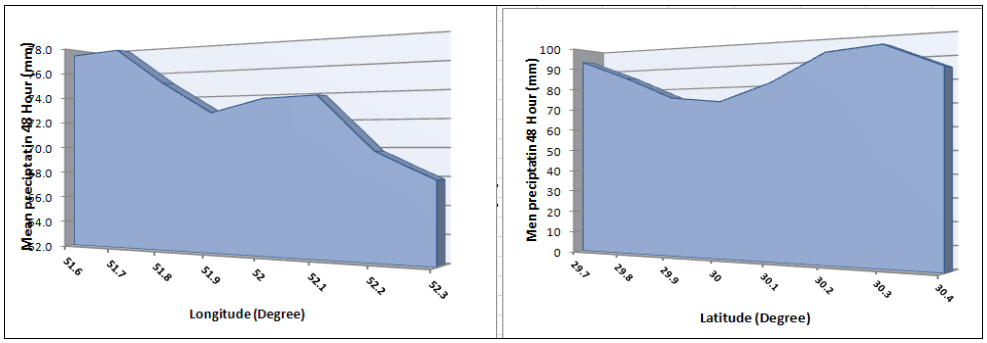
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.107.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.259]



شکل (۶). توزیع الگوی بارش ۴۸ ساعته رخداد توفان مورخ ۱۴ تا ۱۵ آذر ۱۳۸۲ در محدوده موردمطالعه و پیرامون آن
شکل سمت راست: برش عرضی تغییرات بارش، شکل سمت چپ: برش طولی تغییرات بارش

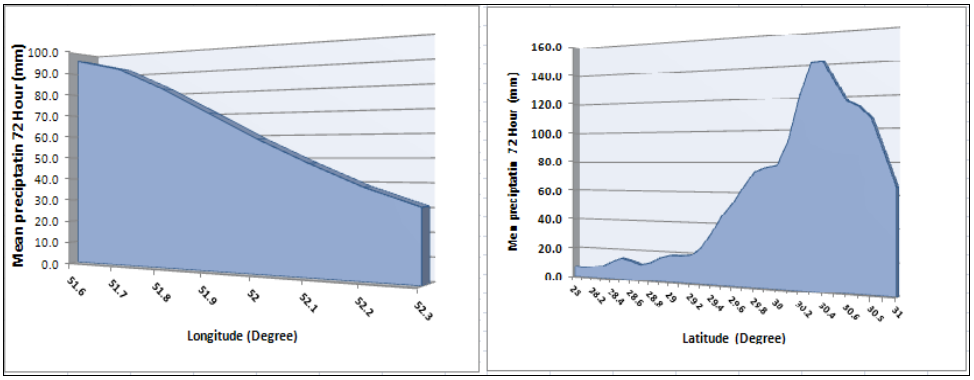


شکل (۷). توزیع الگوی بارش ۷۲ ساعته رخداد توفان مورخ ۳ تا ۵ دی ۱۳۸۴ در محدوده موردمطالعه و پیرامون آن
شکل سمت راست: برش عرضی تغییرات بارش، شکل سمت چپ: برش طولی تغییرات بارش

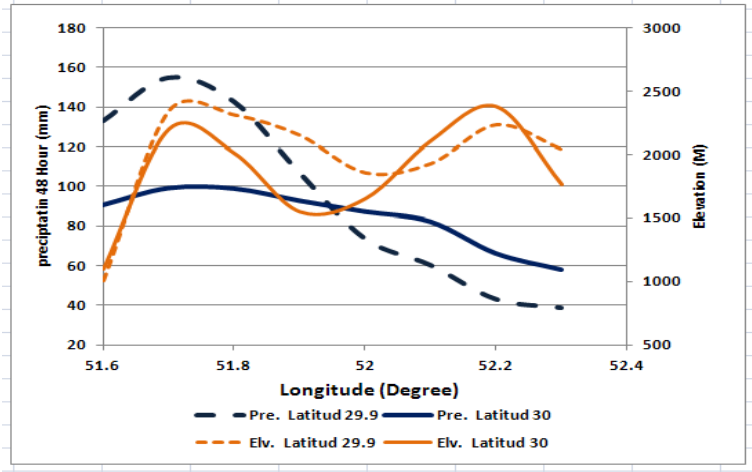


شکل (۸). توزیع الگوی بارش ۴۸ ساعته رخداد توفان مورخ ۱۴ تا ۱۵ آذر ۱۳۸۲ در محدوده حوضه سد پارسیان
شکل سمت راست: برش عرضی تغییرات بارش، شکل سمت چپ: برش طولی تغییرات بارش

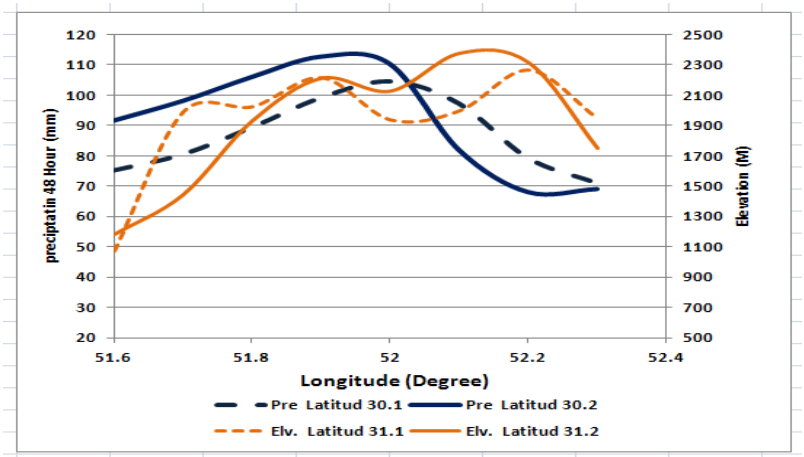
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.107.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.259]



شکل (۹). توزیع الگوی بارش ۷۲ ساعته رخداد توفان مورخ ۳ تا ۵ دی ۱۳۸۴ در محدوده موردمطالعه و پیرامون آن
شکل سمت راست: برش عرضی تغییرات بارش، شکل سمت چپ: برش طولی تغییرات بارش

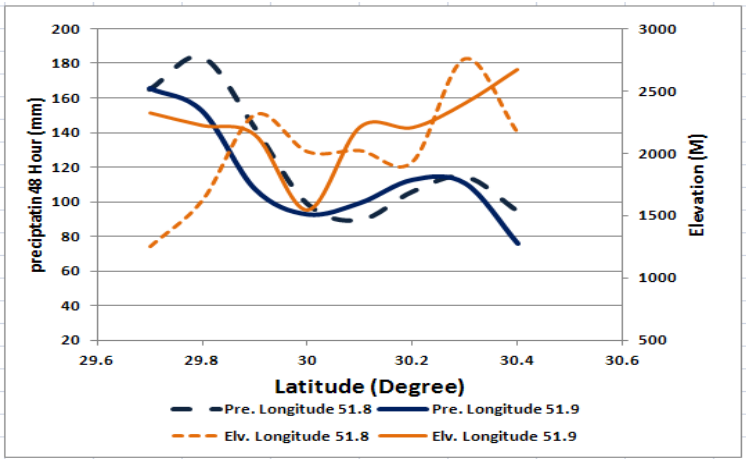


شکل (۱۰). تغییرات بارش با ارتفاع و طول جغرافیایی در عرض جغرافیایی ۲۹/۹ و ۳۰ درجه توفان مورخ ۱۴ تا ۱۵ آذر ۱۳۸۲ در محدوده حوضه سد پارسیان

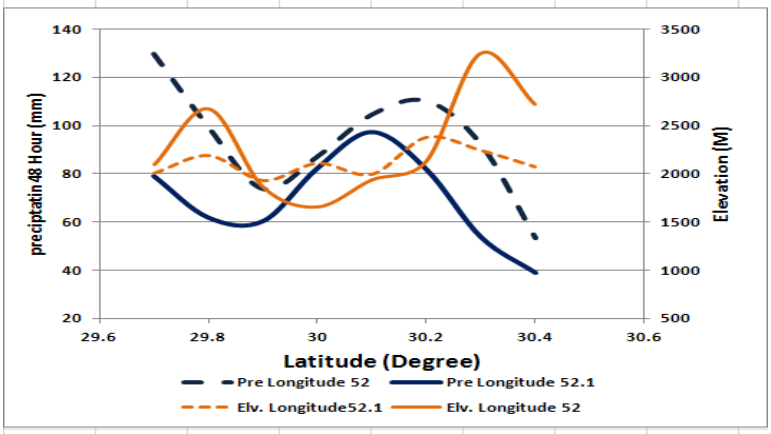


شکل (۱۱). تغییرات بارش با ارتفاع و طول جغرافیایی در عرض جغرافیایی ۳۰/۱ و ۳۰/۲ درجه توفان ۴۸ ساعته ۱۴ تا ۱۵ آذر ۱۳۸۲ در محدوده حوضه سد پارسیان

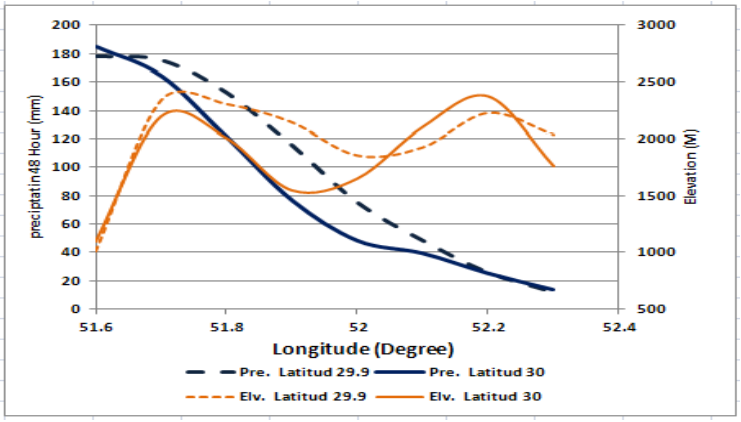
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.107.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.259]



شکل (۱۲). تغییرات بارش با ارتفاع و عرض جغرافیایی در طول جغرافیایی ۵۱/۸ و ۵۱/۹ درجه توفان ۴۸ ساعته ۱۴ تا ۱۵ آذر ۱۳۸۲ در محدوده حوضه سد پارسیان

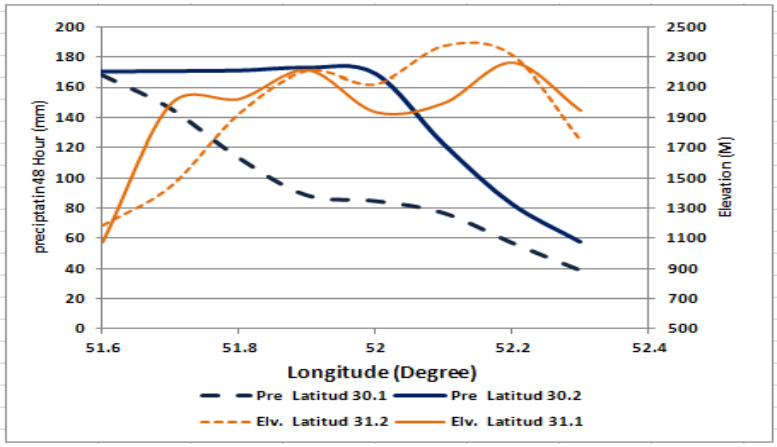


شکل (۱۳). تغییرات بارش با ارتفاع و عرض جغرافیایی در طول جغرافیایی ۵۲ و ۵۲/۱ درجه توفان ۴۸ ساعته ۱۴ تا ۱۵ آذر ۱۳۸۲ در محدوده حوضه سد پارسیان

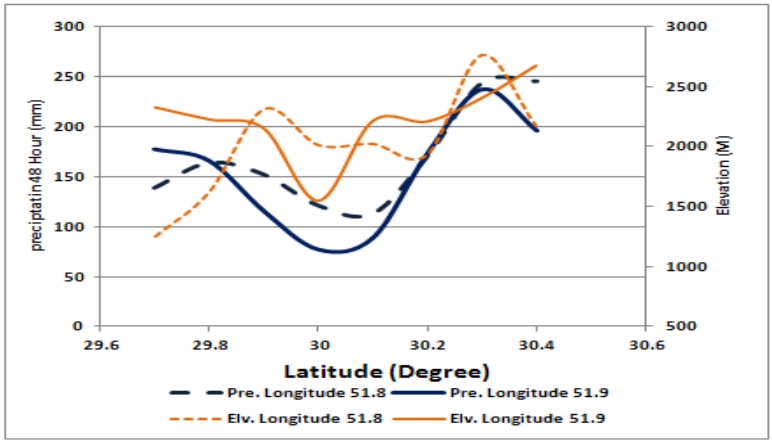


شکل (۱۴). تغییرات بارش با ارتفاع و طول جغرافیایی در عرض جغرافیایی ۲۹/۹ و ۳۰ درجه توفان ۷۲ ساعته مورخ ۳ تا ۵ دی ۱۳۸۴ در محدوده حوضه سد پارسیان

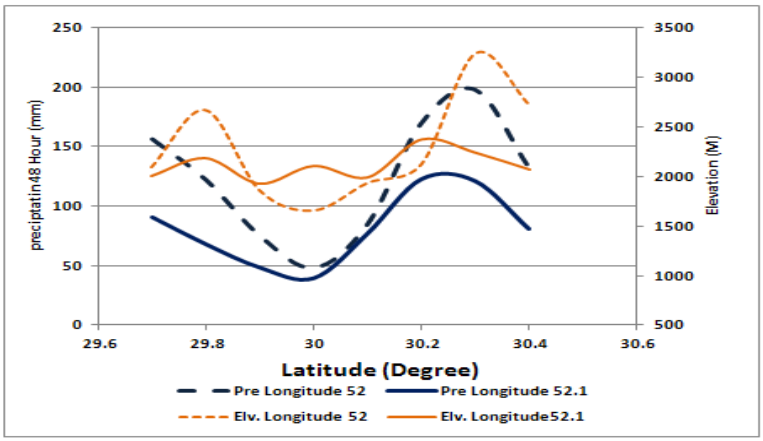
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.107.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.259]



شکل (۱۵). تغییرات بارش با ارتفاع و طول جغرافیایی در عرض جغرافیایی ۳۰/۱ و ۳۰/۲ درجه توفان ۷۲ ساعته ۳ تا ۵ دی ۱۳۸۴ در محدوده حوضه سد پارسیان



شکل (۱۶). تغییرات بارش با ارتفاع و عرض جغرافیایی در طول جغرافیایی ۵۱/۸ و ۵۱/۹ درجه توفان ۷۲ ساعته ۳ تا ۵ دی ۱۳۸۴ در محدوده حوضه سد پارسیان



شکل (۱۷). تغییرات بارش با ارتفاع و عرض جغرافیایی در طول جغرافیایی ۵۲ و ۵۲/۱ درجه توفان ۴۸ ساعته ۳ تا ۵ دی ۱۳۸۴ در محدوده حوضه سد پارسیان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.107.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.259]

نتیجه‌گیری

عمق شدت بارش در طول مدت بارش تغییر می‌کند. تغییرات مقدار بارش در طول یک واقعه در نحوه شکل‌گیری سیلاب و شدت و تداوم آن تأثیرگذار می‌باشد. شناخت و تعیین تغییرات زمانی بارش در طول مدت رگبار بر اساس الگوی توزیع زمانی مشخص می‌شود. در روند تبدیل حداکثر بارش محتمل به حداکثر سیل محتمل که با استفاده از مدل‌های بارش–رواناب انجام می‌گیرد، تعیین الگوی تیپ توزیع زمانی بارش در ایستگاه‌ها و منطقه تحت مطالعه ضروری است. بدین منظور می‌توان از اطلاعات ایستگاه‌های باران‌نگار و یا مدل‌های پیش‌بینی کوتاه‌مدت اقلیمی مانند WRF استفاده کرد. با توجه به تعداد اندک ایستگاه‌های دارای باران‌نگار در محدوده مطالعاتی، تعیین الگوی رگبار طرح برای توفان‌های منتخب با مشکلات زیادی مواجه بوده است. اصولاً برای تهیه الگوی بارش در یک ایستگاه بایستی تعداد کافی رویداد بارش با تداوم‌های مختلف وجود داشته باشد تا بتوان از میان آن‌ها الگوهای بحرانی برای هر تداوم زمانی بارش را استخراج نمود. از سوی دیگر با توجه به تعداد اندک ایستگاه‌های باران‌سنج ثبات شناسایی الگویی بارش در مناطقی که ایستگاه‌های باران‌سنج از تراکم مناسبی برخوردار نیستند عمدتاً طراح‌های اجرائی را با چالش‌هایی مواجه می‌کند ازاین‌روی بهره‌گیری از شبیه‌سازی‌های مدل‌های میان‌مقیاس مانند WRF می‌تواند تا حدود زیادی این مشکل را مرتفع سازد. در این مطالعه با توجه به اهمیت الگوی بارش در مطالعات سیلاب ابتدا با توجه به مقادیر بارش ۲۴ ساعته، ۴۸ ساعته و ... بازه‌های زمانی مربوط به بارش‌های شدید در محدوده شناسایی شد؛ و سه بازه زمانی با توجه به وجود اطلاعات ایستگاه باران‌نگار برغان (از سال ۱۳۸۰ به بعد) برای شبیه‌سازی بارش به کمک مدل WRF انتخاب شد. مقایسه الگوی زمانی بارش مقادیر حاصل از خروجی مدل پیش‌بینی وضع هوا WRF در حوضه و ایستگاه برغان برای سه رخداد توفان ۱۵ آذر ۱۳۸۲، ۳ تا ۵ دی ۱۳۸۵ و ۶ و ۷ فروردین ۱۳۸۶ حاکی از توانایی مدل در شبیه‌سازی الگوی بارش در تاریخ‌های مذکور می‌باشد؛ که می‌توان از این مدل به‌منظور تعیین الگوی بارش در سایر مطالعات اجرایی سیلاب بهره جست. از سوی دیگر بررسی تغییرات بارش در گام‌های مکانی ۰/۱ درجه نشان می‌دهد تغییرات بارش از غرب به شرق و از جنوب به شمال در منطقه موردمطالعه و پیرامون آن روند کاهشی داشته که بیانگر ورود و تأثیرگذاری سامانه‌های بارشی از غرب و جنوب غرب کشور به این محدوده می‌باشد. علاوه بر این تغییرات بارش با ارتفاع نشان می‌دهد که با توجه به وجود دشت تکتونیکی که در دامنه جنوب‌غربی رشته ارتفاعات شرقی و شمال‌غربی حوضه قرارگرفته است تا حدودی نوسانات بارش در داخل حوضه را متأثر ساخته و در میانه حوضه با از دست دادن رطوبت توده‌هوا بارندگی کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به جهت جریان رودخانه‌ها در حوضه که اکثراً از شرق به غرب و شمالی -جنوبی است که در خلاف جهت ورود سامانه‌های جوی به درون حوضه می‌باشند. بارش رخ‌داده در پایین‌دست حوضه نسبت به بارش‌های بالادست زودتر از دسترس خارج شده و در شکل‌گیری سیلاب نقش عمده‌ای نخواهند داشت.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.107.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.259]

منابع

ارکیان، فروزان، مشاطان، ندا، کتیرایی بروجنی، پری‌سیما، میرزایی حاجی باقلو، ابراهیم. (۱۳۹۳). **ارزیابی پیش‌بینی بارش مدل WRF برای بارش‌های سنگین روزانه استان قزوین**، شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۳.

آزادی، مجید، تقی‌زاده، احسان، معماریان، محمدحسین. (۱۳۹۱). **راست آزمایی پیش‌بینی بارش مدل تحقیقات آب‌وهوایی و پیش‌بینی وضع هوا (WRF) روی کشور ایران در دوره هشت‌ماهه نوامبر ۲۰۰۸ تا ژوئن** ۲۰۰۹ تحقیقات منابع آب ایران، ۸(۲): ۴۸-۵۹.

امینی، لیلا، پرهیزکار، داود، خاکیان، غلامرضا. (۱۳۹۳). **نقش مدل عددی WRF در عددی نمودن پیش‌بینی بارش‌های سنگین در استان اصفهان با درجه تفکیک ۲۷ و ۹ و ۳ کیلومتر**. دومین کنفرانس ملی مدیریت و مهندسی سیلاب با رویکرد سیلاب‌های شهری. تهران.

پژوهشکده هواشناسی. (۱۳۸۷). **مطالعه و اجرای سامانه هشدار سیل حوضه‌های آبریز استان گلستان**.

پورآتشی، محبوبه، مرادی، محمد، فتاحی، ابراهیم. (۱۳۹۹). **بررسی اثر تغییر دما و باد در سامانه‌های کم‌فشار جنوبی (مطالعه موردی)**. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۰ (۵۷): ۲۲۳-۲۴۱.

تقوی، فرحناز، نیستانی، ابوالفضل، قادر، سرمد. (۱۳۹۲). **ارزیابی پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت بارش مدل عددی WRFدر منطقه ایران در دوره یک‌ماهه**. فیزیک زمین و فضا، ۳۹(۲): ۱۷۰-۱۴۵.

ذوالجودی، مجتبی، قاضی میرسعید، مژگان، سیفری، زهرا. (۱۳۹۲). **بررسی صحت و دقت طرحواره‌های مختلف مدل WRF و ارزیابی پیش‌بینی بارش در ایران زمین**. تحقیقات جغرافیایی، (۲) ۲۸: ۱۸۷-۱۹۴.

سلطانزاده، ایمان. (۱۳۸۴). **بررسی سه‌ماهه تأثیر رشته‌کوه‌های زاگرس بر جریان‌های میان‌مقیاس منطقه شرق زاگرس با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM**. ۱۳۸۴، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

شاکری، فهیمه، فلاح قالهری، غلام عباس، اکبری، هاشم، حجازی‌زاده، زهرا. (۱۳۹۸). **حساسیت سنجی پارامترسازی‌های فیزیکی مدل WRF در شبیه‌سازی اقلیم شهری و کاهش جزیره گرمایی در شرایط پایدار جوی (مطالعه موردی: استان‌های تهران و البرز)**. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی.

قصابی، زهرا، کمالی، غلامعلی، جواهری، نصرالله، مشکوتی، امیرحسین، حجام، سهراب. (۱۳۹۴). **بررسی تحلیلی توزیع زمانی بارش توفان‌های جنوب‌غرب ایران مطالعه موردی: توفان ۱۲ تا ۱۵ نوامبر ۲۰۰۶ (۲۱ تا ۲۴ آبان ۱۳۸۵)**. مجله پژوهش آب ایران، (۱۹).

گودرزی، لیلا، ابراهیم بنی حبیب، محمد، غفاریان، پروین. (۱۳۹۷). **ارزیابی عملکرد مدل WRF در شبیه‌سازی بارش‌های سنگین**. نشریه علمی پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، ۲۵(۱): ۲۴۲-۲۲۹.

مدیریان، راهله، بابائیان، ایمان، کریمیان، مریم. (۱۳۸۶). **شبیه‌سازی عددی بارش و دمای جنوب شرق ایران با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3**، مجله نیوار، (۶۶ و ۶۷).

مهندسین مشاور لار. (۱۳۹۳). **گزارش حداکثر بارش محتمل به روش سینوپتیکی در حوضه آبریز سد پارسیان**.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.107.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.259]

نیستانی، ابوالفضل، قادر، سرمد، محب‌الحجه، علیرضا. (۱۳۹۶). **کاربست داده‌گواری در مدلWRF برای شبیه‌سازی بارش ناشی از یک سامانه همدیدی در غرب ایران**. مجله ژئوفیزیک ایران. ۱۱(۱): ۱۲۳-۱۰۱.

Afrizal, T. & Surussavadee, S. (2018). **High-Resolution Climate Simulations in the Tropics with Complex Terrain Employing the CESM/WRF Model.2018**. Advances in Meteorology, Volume 2018, Article ID 5707819, 15 pages, https://doi.org/10.1155/2018/5707819

Moya-Álvarez, A.S., Gálvez, J., Holguín, A., Estevan, A., Kumar. S., Villalobos, E., Martínez-Castro, D., & Silva, Y. (2018). **Extreme Rainfall Forecast with the WRF-ARW Model in the Central Andes of Peru**. Atmosphere 2018, 9(9), 362; https://doi.org/10.3390/atmos9090362

Reshmi Mohana, P. Srinivasa, C.V., Yesubabub, V., Baskarana, R., & Venkatramana, B. (2018**). Simulation of a heavy rainfall event over Chennai in Southeast India using WRF: Sensitivity to microphysics parameterization**. Atmospheric Research 210 (2018) 83–99.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.107.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.259]