

بررسی توزیع مکانی بارش آینده در دشت نهاوند، استان همدان

روژین فصیحی^۱، عبدالله طاهری تیزرو^{۲*} و صفر معروفی^۳

۱- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

نویسنده مسئول: ttizro@basu.ac.ir *

نوع مقاله: کاربردی

دریافت: ۱۴۰۲/۸/۱۴ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۳

چکیده

افزایش دمای کره زمین موجب می‌گردد اقلیم‌ها دچار تغییر و دگرگونی در سطحی گسترده شوند که سبب بروز تغییراتی در زمان و مکان بارش می‌شود. در این تحقیق بارش هفت ایستگاه هواشناسی برزول، فارسبان، فیروزان، گیان، گوشه سدوقاص، سینوپتیک و وراینه دشت نهاوند استان همدان در غرب ایران طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۴ به صورت روزانه از سازمان مربوطه تهیه گردید. سپس با استفاده از مدل تغییر اقلیم LARS-WG6.0 تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 طی چهار دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ بارش پیش‌بینی گردید. نتایج توزیع مکانی بارش به صورت میانگین سالانه دوره مورد بررسی توسط نرم‌افزار Arc GIS10.3 رسم گردید. نتایج کالیبراسیون مدل LARS-WG6.0 برای پیش‌بینی بارش در منطقه میزان ضریب همبستگی بالای ۰/۹۴ و خطای nRMSE کمتر از ۱۰ درصد را نشان می‌دهد، که گواه دقت بالای این مدل در پیش‌بینی بارش در منطقه است. نتایج توزیع مکانی بارش تحت دو سناریو و ۴ دوره زمانی با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS10.3 نشان‌دهنده آن است که سناریو RCP4.5 مقدار بارش را برای دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ نسبت به سناریو RCP8.5 کمتر پیش‌بینی کرده است و در سه دوره مورد بررسی دیگر میزان بارش تحت سناریو RCP4.5 بیشتر از سناریو RCP8.5 می‌باشد. تحت دو سناریو و چهار دوره زمانی مورد بررسی همچنین در بین هفت ایستگاه مورد مطالعه ایستگاه برزول بیشترین درصد افزایش بارش را نسبت به دوره پایه دارد. تحت سناریو RCP8.5 نیز در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ میزان میانگین بارش دوره نسبت به دوره پایه کاهشی است (۳/۱۳ درصد)، بیشترین درصد کاهش متعلق به ایستگاه گوشه سدوقاص با میزان ۷/۹۹ درصد است.

واژه‌های کلیدی: نهاوند، بارش، تغییر اقلیم، Arc GIS

۱- پیشگفتار

علاوه بر افزایش گازهای گلخانه‌ای که عامل وقوع تغییرات اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی می‌باشد، عواملی چون پاره شدن لایه ازن و تغییرات چگالی انرژی ورودی خورشید به زمین در این تغییر اثر گذارند. مطالعات گسترده‌ای در این زمینه صورت گرفته که گواه وقوع تغییر اقلیم به طور ویژه در نیمکره شمالی است (میتچل و همکاران، ۱۹۹۵). بحث پیرامون تغییرات رژیم هیدرولوژیکی در اثر تغییر اقلیم موضوعی است که طی سال‌های اخیر در هیدرولوژی و منابع آب به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. روش‌های متفاوتی مانند مدل‌های گردش عمومی جو^۱ (GCM) به منظور پیش‌بینی تغییرات اقلیم انجام می‌گیرد. عملکرد سریع و

آسان این مدل‌ها از دلایل کاربرد آن‌ها نسبت به سایر روش‌ها و دقت بالای مدل به جهت اجزاء زیادی از خصوصیات موجود در جو و سطح زمین است (کوهستانی و همکاران، ۲۰۱۷). یکی از کاربردی‌ترین مدل‌هایی که در زمینه ریزمقیاس‌نمایی استفاده می‌گردد مدل مولد داده LARS-WG6.0 است.

پدیده گرمایش جهانی با اثراتی که بر پارامترهای مختلف هواشناسی و هیدرولوژیکی از جمله: توزیع بارندگی، نوع بارش‌ها، رژیم بارش‌ها، ذوب برف و غیره می‌گذارد، باعث به هم خوردن تعادل هیدرولوژیکی شده و به طور مستقیم اثر خود را بر منابع آبی می‌گذارد. پدیده تغییر اقلیم و افزایش دمای جهانی سبب تبدیل الگوی بارش برف به باران می‌گردد که به تبع آن سبب کاهش دبی رودخانه‌های

¹General Circulation Model

وابسته به ذوب برف در فصول بهار و تابستان و افزایش رواناب در فصول پاییز و زمستان می‌شود. وقوع این مسئله سبب عدم تطابق آبدهی مطمئن سدها با آنچه در زمان طراحی در نظر گرفته شده‌اند می‌شود. این موضوع چالش بزرگی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب ایجاد می‌کند (استیله دونه و همکاران، ۲۰۰۸). اگر به افزایش خشکسالی‌های متوالی و همچنین به رشد تقاضای آب و در مقابل کمبود آن توجه نشود، تغییر اقلیم در منطقه خاورمیانه چالش بزرگی محسوب می‌شود این چالش ابعاد وسیعی به خود می‌گیرد (آی پی پی سی، ۲۰۰۷).

تغییرات آب و هوایی ممکن است بر شیوه‌های مدیریت زمین، استفاده از زمین و شیوه‌های کشاورزی تأثیر بگذارد (ایهارت و تونیل، ۱۹۹۹؛ لواآیسیاگا و همکاران، ۲۰۰۰). LARS-WG یک مولد آب و هوای تصادفی است که برای مدل‌سازی داده‌های آب و هوا در یک مکان واحد استفاده می‌شود (راسکو و همکاران، ۱۹۹۱؛ سمنو و باروو، ۱۹۹۷). با استفاده از پارامترهای توزیع آماری داده‌های سری زمانی مشاهده شده تاریخی، می‌تواند سری‌های زمانی مصنوعی روزانه داده‌های آب و هوا را برای دوره‌های گذشته و آینده تولید کند. GCMها با وضوح فضایی بزرگ مشخص می‌شوند و بنابراین، خروجی آن‌ها نمی‌تواند به‌طور مستقیم برای ارزیابی تأثیر در مقیاس محلی استفاده شود. LARS-WG برای کاهش مقیاس پیش‌بینی مدل آب و هوا با وضوح درشت برای سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در مراحل زمانی روزانه و مقیاس فضایی محلی مناسب است (شرافتی و همکاران، ۲۰۲۰). تحت شرایط آب و هوایی فعلی و آینده این مدل از توابع توزیع نیمه تجربی (SED) و توزیع احتمال تجمعی (PDF) برای تخمین توزیع‌های احتمال سری‌های مرطوب و خشک (WDseries)، بارندگی روزانه استفاده می‌کند (کاوونجه و همکاران، ۲۰۲۲). دقت عملکرد LARS-WG در سایر پژوهش‌ها ارائه گردیده است (کاوونجه و همکاران، ۲۰۲۲؛ شرافتی و همکاران، ۲۰۲۰؛ شا و همکاران، ۲۰۱۹؛ عثمان و همکاران، ۲۰۱۷). کاربرد مدل LARS-WG و بررسی تغییر اقلیم از سوی محققین مختلف گزارش شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد:

فصیحی و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی توزیع مکانی خشکسالی اقلیم‌های مختلف کشور با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.3 پرداختند نتایج آنان نشان دهنده آن بود که

اکثر اقلیم‌های مورد بررسی خشکسالی سالانه را بر اساس شاخص بارش استاندارد شده تجربه کرده‌اند. محمدی و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیق خود کاهش بارش آینده در منطقه زاگرس جنوبی برای دوره آینده را ارائه نمودند. عباس‌نوبین‌پور و همکاران (۲۰۲۱) تغییر اقلیم منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت روضه‌چای استان ارومیه را تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 مدل‌سازی نمودند. حاصل این پژوهش بر آن بود که تغییر دما تحت سناریو RCP8.5 بیشتر از سناریو RCP8.5 است و بارش روندی نامنظم در منطقه دارد. همچنین جهانگیر و همکاران (۲۰۲۰) پیش‌بینی بارش دوره آینده حوضه آبریز کرخه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج گواه آن بود که میزان بارندگی سالانه بر اساس سناریو A2 در همه ایستگاه‌ها به جز بستان نسبت به دو سناریو A1B و B2 بیشتر است. نوده فراهانی و همکاران (۲۰۱۸) اثر تغییر اقلیم بر دما، بارش و خشکسالی حوضه شادگان را بررسی نمودند. نتایج نشان داد دما در آینده افزایشی است. جهانبخش اصل و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش حوضه شهرچای ارومیه نشان دادند بارش دوره آتی ۹ میلی‌متر کاهش خواهد یافت. بنی حبیب و همکاران (۲۰۱۶) در تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدرولوژیکی و اقلیمی حوضه آبریز سد شاهچراغی استان سمنان بیان کردند که بیشترین افزایش در میزان بارش در دوره آتی در ماه می (۱۲۹ درصد) و بیشترین کاهش در ماه ژانویه (۹ درصد) رخ می‌دهد. رجبی و همکاران (۲۰۱۰) با مقایسه دو مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM و LARS-WG در ریزمقیاس کردن داده‌های جوی استان کرمانشاه اظهار داشتند مدل LARS-WG عملکرد بهتری در ریزمقیاس‌نمایی آماری نسبت به SDSM دارد. در پژوهش الشامی و همکاران (۲۰۰۵) قابلیت بالای مدل LARS-WG برای پیش‌بینی داده‌های هواشناسی در جنوب انگلستان گزارش شد.

پارامترهای هواشناسی اثر مستقیم و موثری بر تغییر اقلیم در هر منطقه دارند. این مطالعه با هدف کاربرد مدل LARS-WG6.0 و استفاده از GCMها جهت ریزمقیاس‌نمایی و پیش‌بینی بارش به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر اقلیمی تحت سناریوهای مختلف جدید اقلیمی تا سال ۲۱۰۰ در دشت نهاوند استان همدان انجام شد و بررسی توزیع مکانی گسترش بارش در منطقه توسط نرم‌افزار Arc GIS10.3

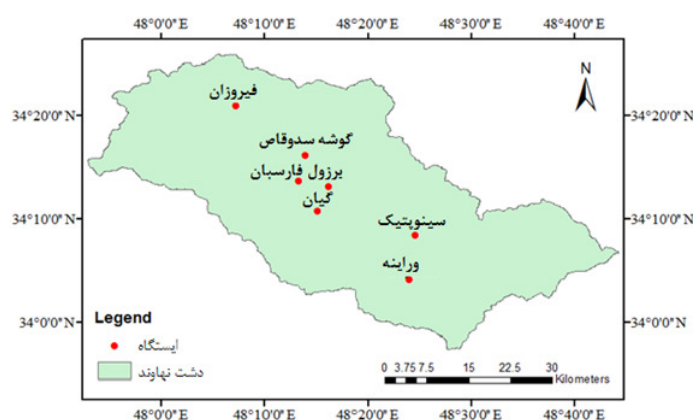
کیلومترمربع (۶۲ درصد) گسترش دارند شامل ارتفاعات حاشیه دشت می‌باشد. شیب عمومی دشت از جنوب‌شرق به طرف شمال‌غرب بوده، مرتفع‌ترین نقطه حوضه بیش از ۳۴۰۰ متر ارتفاع و پست‌ترین نقطه ۱۴۰۲ متر (منطبق با ایستگاه هیدرومتری دوآب در خروجی حوضه) و ارتفاع متوسط حوضه آبریز ۱۸۹۰ متر از سطح دریا می‌باشد (بی‌نام، ۱۴۰۲). داده‌های روزانه هفت ایستگاه هواشناسی: برزول، فارسبان، فیروزان، گیان، گوشه سدوقاص، سینوپتیک و وراینه طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۹۴ در این بررسی مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی را نشان می‌دهد.

ارائه گردید. نتایج می‌تواند در برنامه‌ریزی زیست‌محیطی و منابع آب و مخاطرات ناشی از خشکسالی و سیل در مقیاس محلی مفید باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

دشت نهاوند با وسعت حوضه آبریز ۱۹۰۲ کیلومترمربع یکی از دشت‌های حوضه علیای رودخانه کرخه محسوب می‌گردد و در شمال‌شرق کوه‌های گرین از سلسله ارتفاعات زاگرس قرار گرفته است. وسعت اراضی مسطح (دشت) نهاوند ۶۴۴ کیلومترمربع و بقیه اراضی که ۱۰۴۶



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

Fig. 1. The location of the studied meteorological stations

یک متغیر اقلیمی v_i ، مربوط به احتمال p_i به صورت رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$v_i = \min \{v: P(v_{obs} \leq v) \geq p_i\} \quad i = 0, \dots, n \quad (1)$$

که در آن P احتمال براساس داده‌های مشاهده شده $\{v_{obs}\}$ را نشان می‌دهد. برای هر متغیر اقلیمی، دو مقدار p_0 و p_n به صورت $v_0 = \min\{v_{obs}\}$ با مقادیر متناظر $p_n = 1$ و $p_0 = 0$ و $v_n = \max\{v_{obs}\}$ به منظور تقریب دقیق مقادیر افراطی یک متغیر آب و هوایی، مقداری عدد P نزدیک به صفر برای مقادیر بسیار کم متغیر و نزدیک به ۱ برای مقادیر بسیار بالا اختصاص داده می‌شود.

بقیه مقادیر P به طور مساوی در مقیاس احتمال توزیع می‌شوند. فقط دو مقدار، $v_1 = 0.5$ میلی‌متر و $v_1 = 1$ میلی‌متر برای تکرار تقریبی در بازه $\{0, 1\}$ با احتمالات مربوطه محاسبه شده به صورت $p_i = P(v_{obs} \leq v_i) \quad i = 1$ دلیل این است که، احتمال بارش روزانه بسیار کم (< 1 میلی‌متر) معمولاً

با در نظر گرفتن اطلاعات روزانه هفت ایستگاه هواشناسی در منطقه نهاوند طی سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۰ به عنوان دوره پایه، اقدام به ریزمقیاس‌نمایی پارامترهای هواشناسی شد. بدین منظور از خروجی مدل اقلیمی GCM، MRI-CGCM3 تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 که برای منطقه قابل قبول می‌باشد (عباسیان و همکاران، ۲۰۱۸). طی دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ در مدل تولید داده LARS-WG6.0 استفاده شد.

LARS-WG6.0 تحت شرایط آب و هوایی فعلی و آینده از توابع توزیع نیمه تجربی (SED) و توزیع احتمال تجمعی (PDF) در ۲۳ بازه زمانی برای پیش‌بینی توزیع‌های احتمال سری‌های مرطوب و خشک (W.D. series)، بارندگی روزانه، دما و تابش خورشیدی استفاده می‌کند (راسکو و همکاران، ۱۹۹۱). برای هر متغیر اقلیمی v ، مقدار

پس از کسب اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG-6.0 در پیش‌بینی داده‌های هواشناسی، ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل GCM، مدل MRI-CGCM3 برای چهار دوره ۲۰ ساله از سال ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 اجرا و مقادیر روزانه بارش برای دوره آتی تولید شد. دوره اول از سال ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰، دوره دوم از سال ۲۰۴۱ تا ۲۰۶۰، دوره سوم از سال ۲۰۶۱ تا ۲۰۸۰ و دوره چهارم ۲۰۸۱-۲۱۰۰ بودند. به منظور تعمیم نتایج در منطقه مورد بررسی، پهنه‌بندی بارش پیش‌بینی شده طی سال‌های آینده با روش زمین‌آمار انجام شد. هدف از انجام این کار بررسی توزیع مکانی تغییرات بارش طی سال‌های آتی بود. برای این منظور از روش عکس فاصله^۱ (IDW) اقدام به درون‌یابی مقدار بارش با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.3 شد. در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی با در نظر گرفتن بارش در هر یک از سناریوها طی سال‌های آینده ترسیم گردید.

۳- نتایج و بحث

کالیبراسیون مدل برای هفت ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه در شکل ۲ آورده شد. همانگونه که در شکل ۲ ارائه شده است، مقدار آماره خطاسنجی nRMSE و ضریب همبستگی (r) پارامتر بارش منطقه در مرحله کالیبراسیون برای دوره پایه نشان داده شده است. آنالیز نتایج ارائه شده در شکل ۲ نشان می‌دهد که مدل LARS-WG6.0 بر اساس شاخص‌های مورد ارزیابی دقت بالایی در پیش‌بینی بارش منطقه نه‌اوند دارد. مقدار ضریب همبستگی در حدود ۰/۹ (۰/۹۹ - ۰/۹۴) و دقت مدل با استفاده از شاخص nRMSE نشان می‌دهد که خطای مدل در شش ایستگاه مورد بررسی کمتر از ۱۰ درصد (۹/۴ - ۶ درصد) و صرفاً برای ایستگاه فیروزان دقت حدود ۱۵ درصد است. نتایج نشان می‌دهد مدل‌سازی دقیق بارش در منطقه صورت پذیرفته است. بالاترین دقت متعلق به ایستگاه گوشه سدوقاص با مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۸۹ و مقدار nRMSE، ۶ درصد است و در مقابل کمترین دقت در ایستگاه فیروزان مقدار r و nRMSE به ترتیب برابر ۰/۹۴۲ و ۱۵/۵ درصد می‌باشد. در مطالعه بیات ورکشی و فصیحی (۲۰۱۸) مقدار ضریب همبستگی مدل LARS-WG6.0 را در پیش‌بینی پارامتر بارش ۰/۹۹ و

نسبتاً زیاد است و چنین بارش کم تأثیر بسیار کمی بر خروجی یک مدل دارد. سری‌های خشک و مرطوب بسیار طولانی با استفاده از دو مقدار نزدیک به ۱ در SED برای سری‌های مرطوب و خشک (WDseries)، $p_{n-1}=0.99$ و $p_n=0.98$ به حساب می‌آیند (سمنو و استراتونوویچ، ۲۰۱۰). نتایج به دست آمده از پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که LARS-WG6.0 یک مدل قوی برای پیش‌بینی متغیرهای آب‌وهوای آینده می‌باشد. نسخه جدید LARS-WG6.0 شامل پیش‌بینی‌های ۱۵، GCM مورد استفاده در IPCC AR4 است (سولومون و همکاران، ۲۰۰۷). سناریوهای انتشار همه این GCMها، مدل‌های اتمسفر-اقیانوسی جفت شده هستند و بیشتر آن‌ها برای دوره ۲۱۰۰-۱۹۶۰ اجرا شده‌اند.

اولین مرحله در کاربرد مدل LARS-WG6.0 پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی در دوره پایه می‌باشد با در نظر گرفتن پارامتر بارش روزانه هر ایستگاه از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۰ به عنوان ورودی مدل، اقدام به پیش‌بینی پارامترهای متناظر شد. به همین خاطر کالیبراسیون مدل در قالب پارامتر بارش صورت گرفت. به منظور کالیبراسیون طی دوره پایه مورد بررسی در مدل LARS-WG6.0 و همچنین ارزیابی از دو شاخص ضریب همبستگی (r) و ریشه میانگین مربعات نرمال شده (nRMSE) (اشچرباکو و همکاران، ۲۰۱۳). استفاده شد. که بر اساس روابط ۲ و ۳ محاسبه گردید:

$$nRMSE = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\text{mean}(e_i^2)}, i = 1, n; \text{ and} \quad (2)$$

$$e_i = (Y_i - \bar{X}_i) \quad (2)$$

$$r = \frac{(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}))}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2)(\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2)}} \quad (3)$$

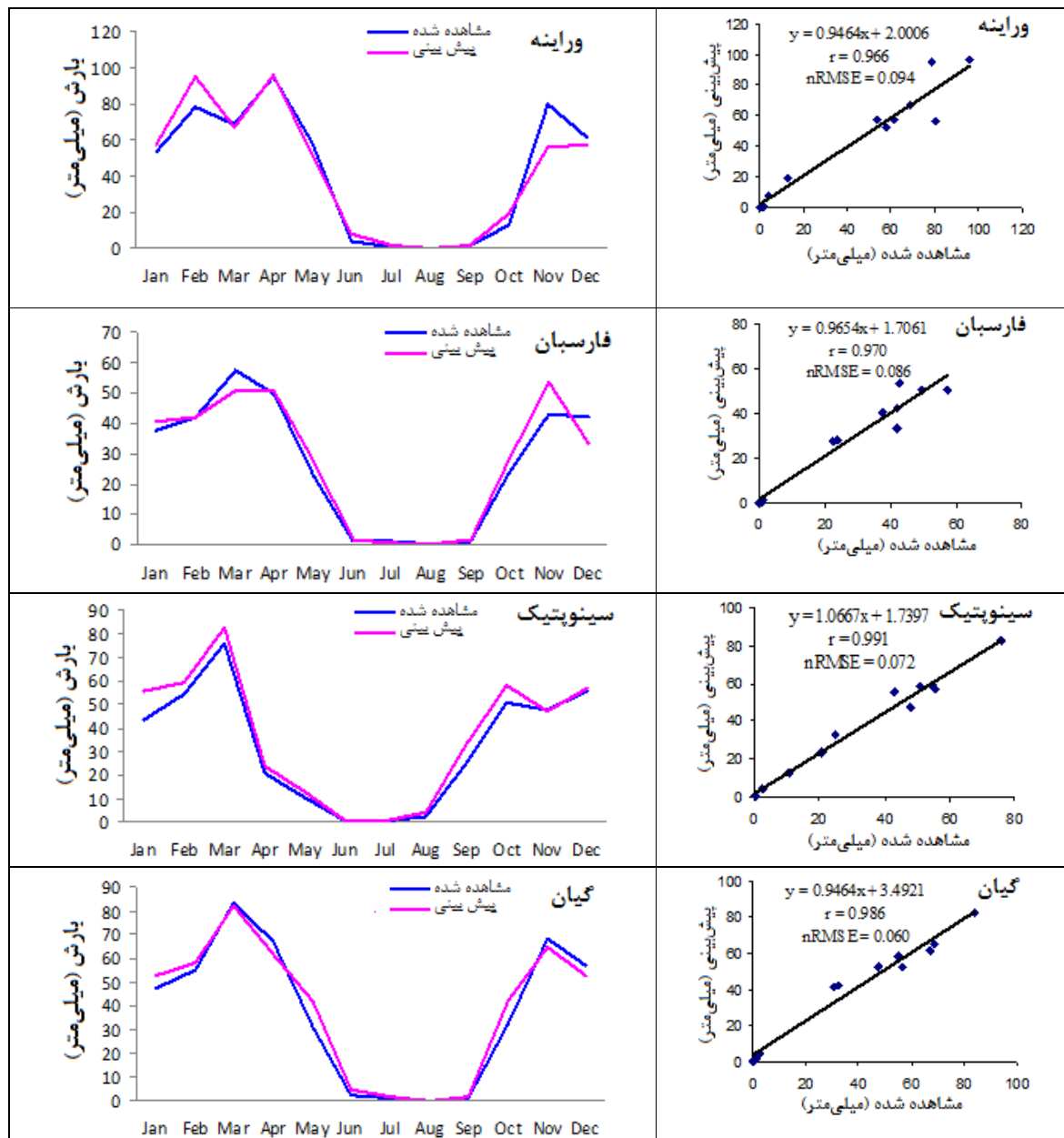
که در این روابط:

$\bar{Y}$: ضریب نرمال‌سازی، که معمولاً برابر با حداکثر مقدار مشاهده شده در افق پیش‌بینی یا تفاوت بین مقادیر حداکثر و حداقل است. ضریب نرمال‌سازی را می‌توان در کل بازه زمانی یا افق زمانی یا بازه کوتاه مدت مشاهده محاسبه کرد. X مقدار مشاهده شده در زمان i ، Y مقدار پیش‌بینی شده در زمان i است. $\bar{X}$ و $\bar{Y}$ میانگین X و Y و n تعداد کل داده‌ها است.

¹ Inverse Distance Weight

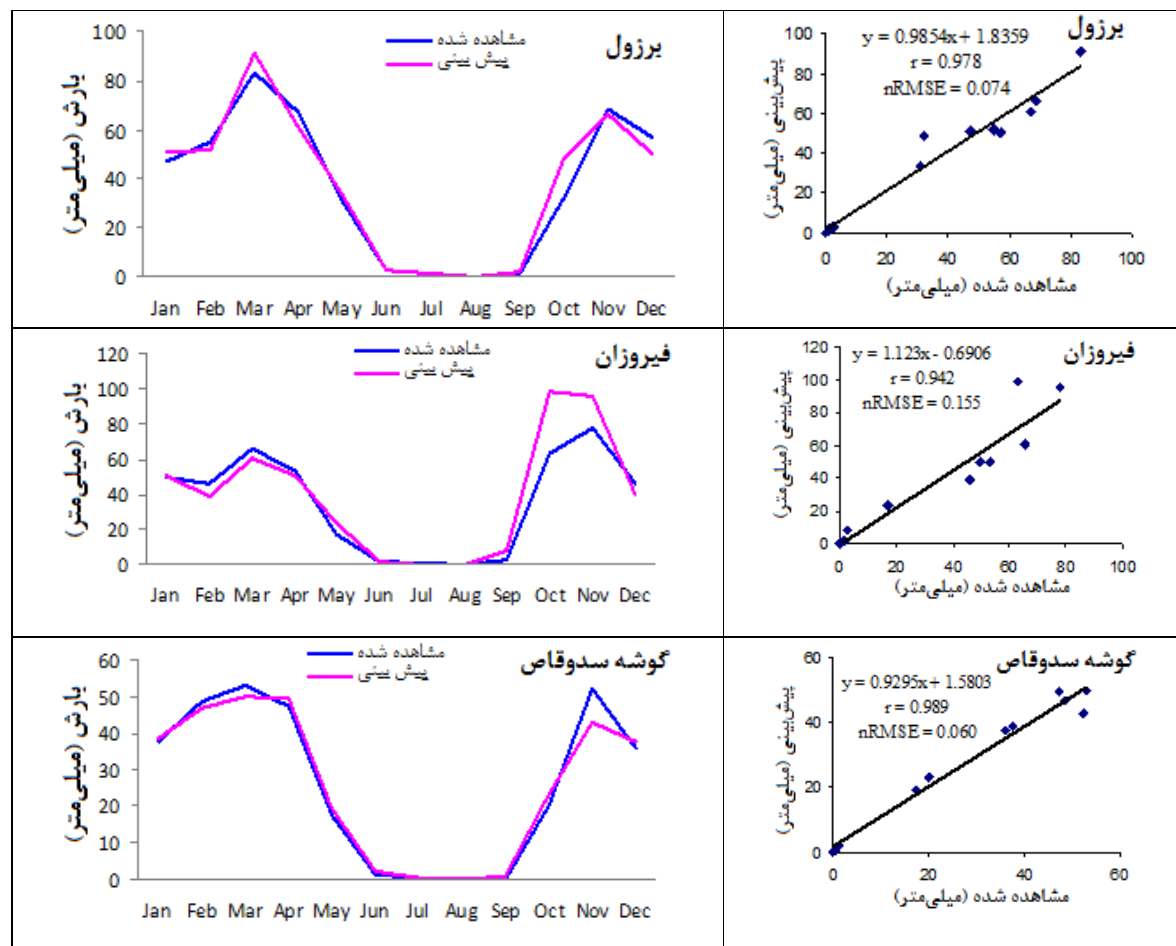
نهایند در سال‌های آینده نشان می‌دهد که کم‌ترین بارش دریافتی به بخش شمال شرقی دشت نهایند و بیش‌ترین آن به ناحیه جنوب و جنوب‌شرقی تعلق دارد. این روند مشابه روند داده‌ها در دوره پایه (۱۹۹۴-۲۰۱۰) است که طی سال‌های آینده نیز حفظ خواهد شد.

مقدار خطا را حدود ۷ درصد گزارش نمودند. نصیری و یارمرادی (۲۰۱۷) نیز در پژوهشی مقدار ضریب همبستگی مدل LARS-WG6.0 را جهت پیش‌بینی پارامتر بارش بیش از ۰/۹۰ گزارش کردند که این نتیجه‌گیری همسو با نتایج این مطالعه می‌باشد که دقت مدل LARS-WG6.0 دقیق ارزیابی شده است. توزیع مکانی بارش در دشت



شکل ۲. نتایج کالیبراسیون LARS-WG6.0 برای پیش‌بینی بارش طی دوره پایه (۱۹۹۴-۲۰۱۰)

Fig. 2. LARS-WG6.0 calibration results for precipitation predicting during the base period (1994-2010)

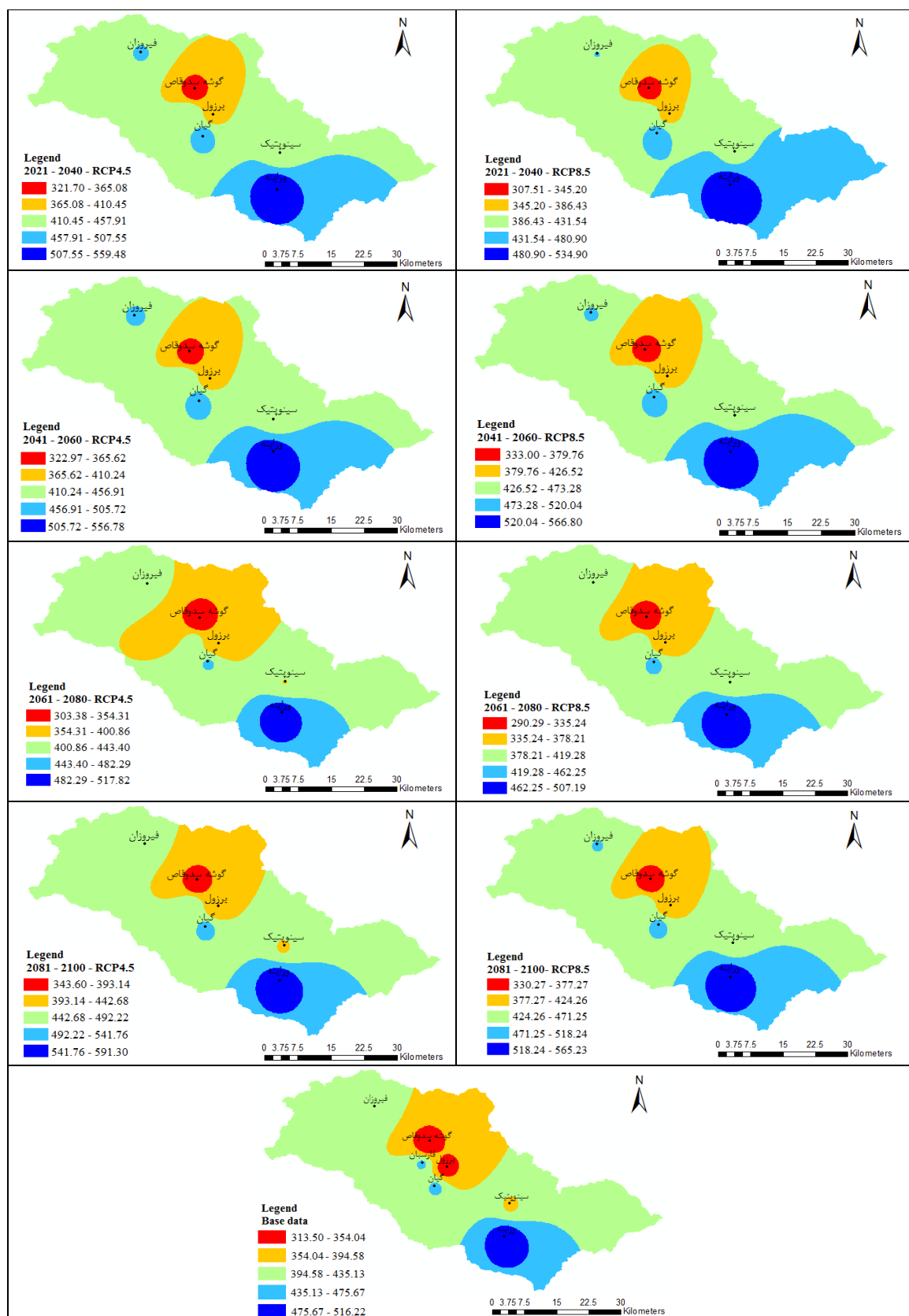


ادامه شکل ۲. نتایج کالیبراسیون LARS-WG6.0 برای پیش‌بینی بارش طی دوره پایه (۱۹۹۴-۲۰۱۰)

Fig. 2. LARS-WG6.0 calibration results for precipitation predicting during the base period (1994-2010)

همچنین در بین هفت ایستگاه مورد مطالعه ایستگاه برزول بیشترین درصد افزایش بارش را نسبت به دوره پایه دارد. تحت سناریو RCP8.5 نیز در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ میزان میانگین بارش دوره نسبت به دوره پایه کاهشی است (۳/۱۳ درصد)، بیشترین درصد کاهش متعلق به ایستگاه گوشه سدوقاص با میزان ۷/۹۹ درصد است. در ۲۰ ساله اول (۲۰۲۱-۲۰۴۰) میزان بارش نسبت به دوره پایه فقط در دو ایستگاه فارسبان (۴/۰۷ درصد) و گوشه سدوقاص (۱/۹۴ درصد) کاهشی می‌باشد. تحت این سناریو در دو دوره دیگر بارش نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. بیات ورکشی و فصیحی (۲۰۱۸) در پژوهش خود اظهار نمودند تغییرات بارش کشور طی سال‌های آینده از روند یکسان و یکنواختی تبعیت نمی‌کند که همسو با نتایج این پژوهش است.

تحت سناریو RCP4.5 مقدار بارش را برای دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ نسبت به سناریو RCP8.5 کمتر پیش‌بینی کرده است و در سه دوره مورد بررسی دیگر میزان بارش تحت سناریو RCP4.5 بیشتر از سناریو RCP8.5 می‌باشد. تحت سناریو RCP4.5 مقدار بارش در دوره‌های ۲۰ ساله ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه به ترتیب با مقدار میانگین ۷/۲۴، ۷/۰۸ و ۱۱/۸۸ درصد افزایش یافته است و در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ در سه ایستگاه فارسبان، فیروزان و گوشه سدوقاص بارش نسبت به دوره پایه کاهش یافته که بیشترین کاهش به میزان ۵/۴۸ درصد متعلق به ایستگاه فیروزان می‌باشد. در کل تحت این سناریو در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ میزان بارش بیشترین افزایش را نسبت به دوره پایه داشته است، بیشترین درصد افزایش در ایستگاه برزول با مقدار ۲۱/۲۰ درصد مشاهده شد. در کل تحت دو سناریو و چهار دوره زمانی مورد بررسی



شکل ۳. پیش‌بینی توزیع مکانی بارش تحت سناریوها و دوره‌های زمانی مختلف

Fig. 3. Prediction of the spatial distribution of precipitation under different scenarios and time periods

- Abbasian, M., Moghim, S. and Abrishamchi, A (2019) Performance of the general circulation models in simulating temperature and precipitation over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 135: 1465-1483.
- Anonymous (2023) Annual report western regional water, Hamedan, Iran. (In persian).
- Banihabib, M. E., Hasani, K., and Massah Bavani, A. R (2016) Assessment of Climate Change Effects on Shahcheraghi Reservoir Inflow. *Journal of Water and Soil*, 30(1): 1-14. (In persian).
- Bayatvarkeshi, M., and Fasihi, R (2018) The Analysis of Downscaling Results of Weather Parameters for Iran Future. *Geography and Environmental Sustainability*, 8(1): 73-87. (In persian).
- Eheart, J. W., and Tornil, D. W (1999) Low-flow frequency exacerbation by irrigation withdrawal in the agricultural Midwest under various climate change scenarios. *Water Resources Research*, 35 (7): 2237-2246. doi: 10.1029/1999WR900114.
- Elshamy, M. E., Weather, H. S., Gedney, N., and Huntingford, C (2005) Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies. *Journal of Hydrology*, 326: 1-24. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.09.017.
- Fasihi, R., Taheri Tizro, A., and Bayatvarkeshi, M. (2023) Investigating the temporal and spatial distribution of drought in Iran based on the standardized precipitation index. *New findings in Applied Geology*, online published, doi: 10.22084/nfag.2023.28197.1574.
- IPCC (2007) Summary for policy makers Climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the forth assessment report. Cambridge University Press.
- Jahanbakhsh Asl, S., Khorshiddoust, A., Alinejad, M. H., and Pourasghar, F (2016) Impact of Climate Change on Precipitation and Temperature by Taking the Uncertainty of Models and Climate Scenarios (Case Study: Shahrchay Basin in Urmia). *Hydrogeomorphology*, 3(7): 107-122. doi: 20.1001.1.23833254.1395.3.7.6.2. (In persian).
- Jahangir, M. H., Asadi, A., Norozi, E., and Talei, M (2020) Evaluation of LARS-WG model performance in prediction pf precipitation in Karkheh catchment area. *Echhydrology*, 7(4): 981-992. (In persian).
- Kavwenje, S., Zhao, L., Chen, L., and Chaima, E (2022) Projected temperature and precipitation changes using the LARS-WG statistical downscaling model in the Shire River Basin, Malawi. *International Journal of Climatology*, 42(1): 400-415. doi: 10.1002/joc.7250.

نکته قابل توجه در دو سناریو آن است که توزیع بارش تحت پنج کلاس نشان داده شده در شکل ۳ در دو دوره اول ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ در نیمه جنوبی بیشتر بوده و در ناحیه شمالی منطقه بارش کمترین گستره را دارد. اما در دوره‌های ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ گستره کمترین مقدار بارش افزایش می‌یابد و بیشترین میزان بارش که در ناحیه جنوبی منطقه نهانند می‌باشد نسبت به دو دوره قبل کمتر می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

حساسیت منابع آب به تغییر اقلیم و تاثیر این تغییرات اقلیمی بر روی دما و بارش امروزه پژوهشگران را بر آن داشته تا به پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی بپردازند. در این پژوهش با استفاده از داده‌های روزانه بارش موجود در هفت ایستگاه هواشناسی منطقه نهانند طی سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۰ و استفاده از مدل LARS-WG6.0 تحت دو سناریو و چهار دوره زمانی آینده بارش پیش‌بینی گردید. نتایج کالیبراسیون مدل LARS-WG6.0 با دو شاخص آماری r و nRMSE مورد بررسی قرار گرفت. دقت بالایی مدل LARS-WG6.0 در پیش‌بینی بارش منطقه نهانند در غرب ایران بر اساس شاخص‌های مذکور نشان داده شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.3 توزیع مکانی بارش منطقه مورد مطالعه بررسی گردید. نتایج حاکی از آن است که طی دوره‌های آبی میزان بارش در سه دوره زمانی و دو سناریو افزایش خواهد یافت. کمترین بارش دریافتی به بخش شمال شرقی دشت نهانند و بیشترین آن به ناحیه جنوب و جنوب شرقی تعلق دارد. صرفاً تحت سناریو RCP8.5 و دوره ۲۰ ساله ۲۰۸۰-۲۰۶۱ میزان میانگین بارش دوره نسبت به دوره پایه ۳/۱۳ کاهش می‌یابد. بیشترین میانگین درصد افزایش بارش ایستگاه‌های مورد بررسی نسبت به دوره پایه تحت سناریو RCP4.5 و حدود ۱۲ درصد دوره ۲۰۱۰-۲۰۸۱ است. در کل بررسی تاثیر تغییرات اقلیمی در هر منطقه می‌تواند کمک شایانی به مدیران بخش منابع آب جهت استفاده بهتر از منابع آب را نماید.

References

- Abbas Novinpour, E., Sadeghi Aghdam, F., and Kaki, M (2021) The effect of climate change on surface and groundwater resources in Rozeh Tea Plain. *New findings in Applied Geology*, 15 (29): 15-27.

- Theoretical and Applied Climatology, 137: 3027-3039. doi: 10.1007/s00704-019-02781-4.
- Sharafati, A., Pezeshki, E., Shahid, S., and Motta, D (2020) Quantification and uncertainty of the impact of climate change on river discharge and sediment yield in the Dehbar river basin in Iran. *Journal of Soils and Sediments*, 20: 2977-2996. doi: 10.1007/s11368-020-02632-0.
- Shcherbakov, M. V., Brebels, A., Shcherbakova, N. L., Tyukov, A. P., Janovsky, T. A. and Kamaev, V. A. E (2013) A survey of forecast error measures. *World applied sciences journal*, 24 (24): 171-176. doi: 10.5829/idosi.wasj.2013.24.itmies.80032.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Marquis, M., and others (2007) *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York, NY. 185 p.
- Steele-Dunne, S., Lynch, P., McGrath, R., Semmler, T., Wang, S., Hanafin, J., and Nolan, P (2008) The impacts of climate change on hydrology in Ireland. *Journal of Hydrology*, 356: 28-45.
- Kouhestani, S., Eslamian, S., Besalatpour, A (2017) The Effect of Climate change on the Zayandeh-Rud River Basin's temperature using a Bayesian machine learning Soft Computing Technique, 21 (1): 203-216. (In persian).
- Loaiciga, H. A., Maidment, D. R., and Valdes, J. B. (2000) Climate change impacts in a regional karst aquifer, Texas, USA. *Journal of Hydrology*, 227: 173-194. doi: 10.1016/S0022-1694(99)00179-1.
- Mohammadi, H., Khalili, R., and Mohammadi, S (2021) Forecasting changes in temperature and precipitation using LARS-WG climate-generating radiative scenarios in South Zagras. *Nivar*, 45(114-115): 137-153. doi: 10.30467/nivar.2022.319565.1209. (In persian)
- Mitchell, J. F. B., Davis, R. A., Ingram, W. A. and Senior, C. A (1995) On surface temperature, greenhouse gases, and aerosols: Models and observations. *Journal of Climate*, 8(10): 2364-2386.
- Nasiri, B., and Yarmoradi, Z (2017) Forecasting the changes of climatic parameters of Lorestan province in the next 50 years using HADCM3 model, *Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 26 (101): 144-154. (In persian).
- Nodeh Farahani, M. A., Rasekhi, A., Permas, B., and Keshvari, A. R (2018) Investigation of the effects of climate change on temperature, precipitation and future droughts in Shadegan Basin. *Iranian Water Resources Research*, 14 (3): 160-173. (In persian).
- Osman, Y., Al-Ansari, N. and Abdellatif, M (2019) Climate change model as a decision support tool for water resources management in northern Iraq: a case study of Greater Zab River. *Journal of Water and Climate Change*, 10 (1): 197-209. doi: 10.2166/wcc.2017.083.
- Racsko, P., Szeidl, L., and Semenov, M (1991) A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological modelling*, 57(1-2): 27-41. doi: 10.1016/0304-3800(91)90053-4.
- Rajabi, A., Sedghi, H., Eslamian, S., and Musavi, H (2010) Comparison of LARS-WG and SDSM Downscaling Models in Kermanshah (Iran). *Ecology, Environment and Conservation*, 16 (4): 465-474.
- Semenov, M. A., and Barrow, E. M (1997) Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climatic change*, 35 (4): 397-414.
- Semenov, M. A., and Stratonovitch, P (2010) Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate research*, 41(1): 1-14. doi: 10.3354/cr00836.
- Sha, J., Li, X. and Wang, Z. L (2019) Estimation of future climate change in cold weather areas with the LARS-WG model under CMIP5 scenarios.

Investigating the spatial distribution of future precipitation in Nahavand plain, Hamedan province

R. Fasihi¹, A. Taheri Tizro^{2*} and S. Marofi³

1- Ph. D. student of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- Assoc. Prof., Dept., of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3- Prof., Dept., of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

* ttizro@basu.ac.ir

Recieved: 2023.11.5 Accepted: 2024.1.13

Abstract

The increase in the temperature of the earth causes the climate changes and transform on a wide scale variations in the time and place of precipitation. In this research, the precipitation data of seven meteorological stations of Barzool, Faresban, Firoozan, Giyan, Gooshesadevaghhas, Synoptic and Varayaneh, in Nahavand Plain, Hamadan Province which is in the west of Iran. The data obtained from the relevant organization for period of 1994-2020 and finally prepared on a daily basis. By using the LARS-WG6.0 climate change model, precipitation data was predicted under two scenarios RCP4.5 and RCP8.5 during four time periods: 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, and 2081-2100. The results of the spatial distribution were obtained as the annual average of the investigated period by Arc GIS 10.3 software. The calibration results of the LARS-WG6.0 model for predicting precipitation in the region showed a high correlation coefficient of 0.94 and nRMSE error of less than 10%. Which proves the high accuracy of this model in predicting precipitation in the region. The results of the spatial distribution of precipitation under two scenarios and 4 time periods using Arc GIS10.3 software show that the RCP4.5 scenarios has predicted less precipitation for the period 2041-2060 than the RCP8.5 scenarios. In the other three investigated periods, the amount of precipitation under the RCP4.5 scenarios is higher than the RCP8.5 scenarios. Under the two scenarios and four time periods, among the seven selected stations, Barzool station has the highest percentage of increase in precipitation compared to the base period. Under the RCP8.5 scenarios, in the period of 2061-2080, the average precipitation of the period will decrease (3.13%), the highest percentage of decrease belongs to Gooshe-sade-vaghhas station with the amount of 7.99%.

Keywords: Nahavand, Precipitation, Climate change, Arc GIS

Introduction

The phenomenon of global warming with its effects on various meteorological and hydrological parameters causes the hydrological balance to be disrupted and directly affects water resources. The phenomenon of climate change and the increase in global temperature causes the pattern of precipitations, as a result, reduces the flow of rivers due to snow melting in spring and summer and increases the runoff in autumn and winter. This issue creates a big challenge in planning and managing water resources. If we don't pay attention to the increase of successive droughts and also to the growth of water demand and its shortage, climate change in the Middle East region can cause a big challenge, and this challenge will take on large dimensions. LARS-WG is a stochastic climate

generator used to model climate data at a single location. Using the statistical distribution parameters of historical observed time series data, it can produce daily synthetic time series of climate data for past and future periods. GCMs are characterized by large spatial resolution, and therefore, their output cannot be used directly to evaluate the impact at the local scale. LARS-WG is suitable for downscaling climate model predictions with coarse resolution for different climate change scenarios at daily time steps and local spatial scale. Under current and future climate conditions, the model uses semi-empirical distribution functions (SED) and cumulative probability distribution (PDF) to estimate probability distributions of wet and dry series (WDseries).

Materials and Methods

Nahavand plain with a catchment area of 1902 Km² is one of the plains of the upper basin of the Karkhe River. The daily data of seven meteorological stations: Barzool, Faresban, Firoozan, Giyan, Gooshe sadevaghias, Synoptic and Varayaneh during the years 1994-2010 were used in this study. Considering the daily data of seven meteorological stations in Nahavand region during the years 1994 to 2010 as the base period, the meteorological parameters were scaled. For this purpose, from the output of GCM, MRI-CGCM3 climate model under two scenarios RCP4.5 and RCP8.5 which are acceptable for the region, during the periods of 2040-2021, 2060-2041, 2061-2080 and 2100-2081 were used in LARS-WG6.0 data generation model. LARS-WG6.0 under current and future climate conditions from semi-empirical distribution functions (SED) and cumulative probability distribution (PDF) in 23 time intervals to estimate probability distributions of wet and dry series (WDseries), daily precipitation, temperature and radiation uses solar energy.

Results

The LARS-WG6.0 model has high accuracy in predicting the precipitation of Nahavand region based on the evaluated indicators. The value of the correlation coefficient is around 0.9 (0.94-0.99) and the accuracy of the model using the nRMSE index shows that the model error in six investigated stations is less than 10 percent (9.4-6 percent) and Only for Firoozan station, the accuracy is about 15%. The results show that accurate precipitation modeling has been done in the region. The spatial distribution of precipitation in the Nahavand plain in the coming years shows that the least amount of precipitation is in the northeastern

part of the Nahavand plain and the most in the south and southeast. This trend is similar to the data trend in the base period (1994-2010), which will be maintained in the coming years. The noteworthy point in the two scenarios is that the distribution of precipitation under the five classes shown in the article in the first two periods of 2040-2021, 2041-2060 is more in the southern half, and in the northern part of the region, the precipitation is the least extensive. But in the periods of 2080-2061 and 2081-2100, the range of the lowest amount of precipitation increases and the maximum amount of precipitation, which is in the southern part of Nahavand region, decreases compared to the previous two periods.

Discussion and Conclusion

The sensitivity of water resources to climate change and the impact of these climate changes on temperature and precipitation have led researchers to predict meteorological parameters. In this research, using the daily precipitation data available in seven meteorological stations of Nahavand region during the years 1994 to 2010 and using the LARS-WG6.0 model, the future precipitation was predicted under two scenarios and four time periods. The calibration results of LARS-WG6.0 model were analyzed with two statistical indices *r* and nRMSE, which shows the high accuracy of the model in prediction of the precipitation of Nahavand region in the west of Iran. Then, using ArcGIS10.3 software, the spatial distribution of precipitation in the study area was investigated. The results indicated that the amount of precipitation will increase in three time periods and two scenarios in the coming periods. The least amount of precipitation is in the northeastern part of the Nahavand plain and the most in the south and southeast