

## ارزیابی عدم قطعیت‌های مدل‌های گردش کلی در تخمین بارش و رواناب حوضه دزعلیا تحت تأثیر تغییر اقلیم

حجت تابان<sup>۱</sup>، نرگس ظهراپی<sup>۲\*</sup> و علیرضا نیکبخت شهبازی<sup>۲</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران  
۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

(دریافت: ۹۵/۶/۱۷، پذیرش نهایی: ۹۵/۱۱/۵)

### چکیده

در این تحقیق تأثیر عدم قطعیت ناشی از مدل‌های گردش کلی (GCM) مورد استفاده، روش‌های ریزمقیاس‌نمایی و همچنین سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بر رواناب حوضه دزعلیا در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ بررسی شد. برای این کار از شبیه‌سازی دما و بارش حاصل از ۱۰ مدل GCM و دو روش ریزمقیاس‌کردن و سه سناریوی انتشار (A1B و A2 و B1) و از مدل آماری LARS-WG و روش عامل تغییر استفاده شد و جهت شبیه‌سازی بارش-رواناب، شبکه‌های عصبی مصنوعی به کار گرفته شد. ابتدا مدل بارش-رواناب برای دوره پایه ۱۹۷۱-۲۰۰۰ واسنجی و صحت‌یابی شد. سپس با ریزمقیاس‌کردن داده‌های اقلیمی به دو روش عامل تغییر و مدل آماری، ۱۰ مدل منتخب GCM برای منطقه مطالعاتی تعیین شدند. سپس با معرفی جداگانه هریک از آن‌ها به مدل بارش-رواناب، محدوده تغییرات رواناب حوضه در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ تحت سه سناریوی انتشار مشخص شد. نتایج نشان داد که درصد تغییرات درازمدت بارش منطقه در دو روش ریزمقیاس، اختلافی حدود ۴/۴ درصد دارند و در بیشتر ماه‌ها درصد میانگین درازمدت بارش حاصل از روش آماری (۱/۲۷- درصد) در مقایسه با روش ریزمقیاس عامل تغییر (۷/۵۲- درصد) کاهش کمتری دارد. اختلاف درصد تغییرات در رواناب بلندمدت ماهانه شبیه‌سازی شده طی دو روش ریزمقیاس، ۵/۱۱ درصد است. همچنین بیشترین اختلاف در فصل تابستان با ۳۰/۵۸ درصد و در ماه آگوست با ۷۸/۵۵ درصد وجود دارد. دبی میانگین ماهانه حاصل از داده‌های ریزمقیاس‌شده با روش آماری، کاهش ۲/۶۳ درصدی دارد و برای روش تناسبی این مقدار ۲۱/۶۶ درصد است. نتایج نشان داد که بارش متوسط در بقیه فصول کاهش می‌یابد؛ رواناب حوضه دزعلیا عدم قطعیت زیادی دارد؛ محدوده درصد تغییرات بارش برای سه سناریوی انتشار متفاوت است و این اختلاف برای ماه‌های سال، روند یکسانی ندارد. نتایج مقایسه سناریوهای انتشار در استفاده از میانگین ۱۰ مدل اقلیمی نشان داد که روند اختلاف محدوده درصد تغییرات در سه سناریوی انتشار برای ماه‌های مختلف هماهنگی نزدیکی با یکدیگر داشته است. بررسی توأم نشان داد که عدم قطعیت‌های ناشی از مدل‌های اقلیمی مختلف به کاررفته در این تحقیق بیش از عدم قطعیت روش‌های ریزمقیاس‌نمایی و سناریوهای انتشار است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، دزعلیا، ریزمقیاس‌نمایی، رواناب، سناریوی انتشار، عدم قطعیت.

### ۱. مقدمه

و سیلاب‌ها شود؛ همچنین باعث تغییر در حجم، زمان و مدت رواناب می‌شود که پیامد این اتفاق تحولات و تغییرات بسیاری در عرصه مدیریت منابع آب به وجود خواهد آورد. با توجه به حساسیت بیشتر تغییرات رواناب در مقایسه با تغییرات بارندگی و همچنین تغییر نسبی بیشتر رواناب در مقایسه با تغییرات نسبی بارندگی، تغییرات رواناب در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیش از هر چیز به تغییر اقلیم حساس است (کمال و همکاران، ۱۳۸۸).

واثقی و همکاران (۱۳۹۰) دو روش به کارگیری مدل‌های

تغییر اقلیم تأثیرات بارزی بر چرخه آب‌شناسی و منابع آب دارد؛ به گونه‌ای که می‌تواند تهدیدی بزرگ برای سامانه‌های آبی در سراسر جهان قلمداد شود. این تهدیدات برای مناطق مختلف زمین متفاوت است (استیل دان و همکاران، ۲۰۰۸). از این‌رو، بررسی در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب، نقش تعیین‌کننده‌ای در حمایت از اقتصاد خواهد داشت. تغییرات اقلیم باعث تغییر در مدت، شدت، شکل و زمان بارش در مناطق مختلف کره زمین می‌شود که این مسئله می‌تواند سبب ایجاد خشک‌سالی‌ها

LARS-WG جهت ریزمقیاس‌نمایی استفاده کردند. نتایج از وجود بیشترین عدم قطعیت در سناریوی A1B حکایت داشت، ولی در مورد پارامترهای مختلف نتایج متفاوتی به دست آمد که، برای حداقل دما و بارندگی، سناریوی B1 و، برای حداکثر دما، سناریوی A2 را با دقت زیادی پیش‌بینی کردند.

انصاری و همکاران (1393) تأثیر تغییر اقلیم را بر تغییرات بارندگی و دما توسط مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی، در ایستگاه سینوپتیک مشهد تحلیل و بررسی کردند. در بررسی عدم قطعیت خروجی مدل LARS-WG پس از پیش‌بینی دو متغیر بارش و دما طی سی سال بررسی شد. نتایج نشان داد که خروجی این مدل ریزمقیاس با عدم قطعیت همراه است؛ به طوری که تحلیل نتایج نمودار باکس پلات مقادیر ریزمقیاس‌شده بارش در چارک‌های اول تا چهارم با هم اختلاف زیادی دارند؛ به گونه‌ای که با سناریوی A2 و تحت سه مدل HadCM3 و INCM و GFCM21 در چارک اول، 75 درصد داده‌های پیش‌بینی بارش در ماه مارس به ترتیب بیش از مقادیر 53/95، 57/17، 44/93 میلی‌متر و در چارک سوم، 25 درصد داده‌ها به ترتیب بیشتر از مقادیر 95/86، 63/53، 50/23 میلی‌متر هستند. حسینی و همکاران (1394) به منظور ارزیابی تأثیراتی که به سناریوهای اقلیمی محلی نیاز دارند، روشی بر مبنای استفاده از یک مولد آب‌وهوایی با توانایی تولید سناریوهای اقلیمی روزانه در مقیاس ایستگاهی که ورودی‌های بسیاری از مدل‌های بررسی اثر فرآیندها (نظیر بارش- رواناب) هستند، ارائه کردند. نتایج بررسی جریانات رودخانه صوفی چای واقع در حوضه دریاچه ارومیه به وسیله مدل بارش- رواناب IHACRES نشان داد، اختلاف میان مدل‌های اقلیمی تحت سناریوی انتشار B1 برای هر دو دوره آتی دور و نزدیک به خصوص در فصول گرم سال نسبتاً اندک است.

مینویل و همکاران (2008) عدم قطعیت مربوط به تأثیرات تغییر اقلیم بر روی هیدرولوژی حوضه نوردیک کانادا را با استفاده از مدل هیدرولوژی HSAMI بررسی کردند. در

اقلیمی در شبیه‌سازی پارامترهای دما، بارش و رواناب در حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی را از طریق نمایش محدوده تغییرات در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی، مقایسه کرد. نتایج مقایسه دو روش مختلف استفاده از خروجی مدل‌های GCM در شبیه‌سازی دما برای مدل‌های هر دو سناریوی انتشار نشان داد هیچ‌گونه اختلافی در برآورد مقادیر متوسط و میانه تغییرات دما در آینده، بین دو روش وجود ندارد. پورعلی حسین و مساح‌بوانی (1392) اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش استان آذربایجان شرقی را در دوره 2013-2022 با هدف تحلیل مخاطره ارزیابی کردند. پس از مدل‌سازی چشم‌انداز متغیرهای اقلیمی برای دوره 2013 تا 2022 به صورت ماهانه با شانزده مدل جفت‌شده، مدل گردش کلی تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 و ریزمقیاس‌نمایی مکانی داده‌ها با کمک روش ریزمقیاس‌نمایی مکانی، به منظور بررسی عدم قطعیت و تحلیل مخاطره پیش‌بینی‌ها، داده‌ها با استفاده از روش مقیاس‌الگو، برای 46 سناریوی دیگر نیز تولید شدند. با محاسبه دما و بارش برای سطوح متفاوت مخاطره مشخص شد که در سطح مخاطره 10 درصد، دما 2/9 تا 3/15 درجه افزایش و مقدار بارش 75 تا 150 میلی‌متر کاهش خواهد داشت.

منصوری و همکاران (1393) آثار تغییر اقلیم را بر دما، بارندگی و رواناب در دوره‌های آتی با کمک مدل LARS-WG و مدل مفهومی هیدرولوژیکی SWAT در حوضه زاینده‌رود ارزیابی کردند. ایشان از 16 مدل گردش کلی استفاده کردند تا برای دوره 2015-2030 مقدار متغیرهای هواشناسی را بررسی کنند. نتایج نشان داد که متوسط ماهانه درجه حرارت حداقل و حداکثر، در دوره آتی افزایش می‌یابد و متوسط ماهانه بارندگی در فصل بهار کاهش نشان می‌دهد؛ در حالی که به مقدار آن در فصل‌های تابستان و پاییز افزوده خواهد شد. هوشمند و خردادی (1393) عدم قطعیت 15 مدل GCM و سناریوهای انتشار را در برآورد پارامترهای اقلیمی در حوضه قره‌قوم بررسی کردند. ایشان از مدل آماری

ورودی را به ترتیب ۱۸ و ۲۶ درصد بهبود داده است. چن و همکاران (۲۰۱۲) دما و بارش را برای کشور سودان در قسمت جنوبی با ۷ مدل گردش کلی بر اساس سناریوی A2 پیش‌بینی کردند. در این تحقیق خروجی ۷ مدل تحت سناریوی A2 را برای دوره‌های بیست‌ساله ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس کردند. بارش ریزمقیاس شده توسط مدل LARS-WG در ۷ مدل گردش کلی بر اساس سناریوی A2 نتایج متناقضی به دست داده است که مبین عدم قطعیت زیاد در مدل‌های گردش کلی است، ولی، در خصوص دمای حداقل و حداکثر، بین همه مدل‌های گردش عمومی جو در همه ایستگاه‌ها هماهنگی وجود داشت و در هر دو متغیر فوق روند افزایشی نشان داد.

با توجه به مطالعات می‌توان نتیجه گرفت که رژیم جریان رودخانه‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم در دوره‌های آبی دچار تغییراتی خواهد شد که در هر منطقه با توجه به ویژگی‌های اقلیمی متفاوت است؛ بنابراین می‌بایست چگونگی این تغییرات در مناطق مختلف جداگانه بررسی شود. از این رو در این تحقیق تلاش شده است تا تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر تغییرات جریان رودخانه در حوضه آبریز دزعلیا با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های ناشی از روش ریزمقیاس‌نمایی و مدل‌های مختلف GCM مطالعه شود. نتایج تحقیقات نشان داد ارزیابی اثرات تغییر اقلیم توسط منابع مختلف عدم قطعیت تحت تأثیر قرار می‌گیرد که البته میزان این اثرپذیری در مناطق مختلف متفاوت است. در مجموع اکثر مطالعات از تأثیر بسیار عدم قطعیت مدل‌های GCM در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژی نشان دارد. بنابراین استفاده از فقط یک مدل GCM برای تجزیه و تحلیل‌های تغییر اقلیم نمی‌تواند تمامی محدوده عدم قطعیت‌های مربوطه را پوشش دهد. از طرف دیگر ارجحیتی بین عملکرد مدل‌های GCM در شبیه‌سازی اقلیم وجود ندارد و به عبارت دیگر می‌بایست از تعداد حداکثری آن‌ها در مطالعات استفاده کرد (یعقوبی و مساح‌بوانی، ۱۳۹۳). از طرفی به کارگیری

این تحقیق از ۱۰ مدل اقلیمی با وزن‌دهی مساوی به‌واسطه ترکیب ۵ مدل چرخه عمومی (GCM) و ۲ سناریوی انتشار گاز گلخانه‌ای برای تعیین عدم قطعیت متغیرهای هیدرولوژی استفاده شد. نتایج تحقیق، افزایش ۱+ تا ۱۴+ درجه‌ای را در دمای فصلی و تغییر ۹- تا ۵۵ درصد را در بارش فصلی نشان داد. ضرغامی و همکاران (۲۰۱۱) برای منطقه آذربایجان شرقی سه سناریوی A2، B1 و A1B تغییر اقلیم از مدل HadCM3 را با استفاده از دو روش ریزمقیاس LARS-WG و ANN به کار گرفتند. آن‌ها ۶ ایستگاه هواشناسی موجود دارای اطلاعات مناسب را برای این منظور انتخاب کردند. بر این اساس به‌طور متوسط در افق ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ دما حدود ۲/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و بارش حدود ۳ درصد تغییر خواهد یافت. آن‌ها جهت بررسی تغییرات اقلیمی از شاخص اقلیمی دو مارتن استفاده کردند و مدل فوق برای افق ۲۰۵۰ کاهش شاخص را نشان داد. دقت مدل در شبیه‌سازی دمای حداقل و حداکثر و بارش به ترتیب خوب و قابل قبول به دست آمد. ستگن و همکاران (۲۰۱۱) ابتدا با استفاده از ۱۵ مدل گردش کلی، تغییرات پیش‌بینی شده بارش و دمای ماهانه را بررسی کردند و در مرحله بعد جهت ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر حوضه دریاچه تانا در اتیوپی به تعیین اثرات SWAT با استفاده از ابزار تغییرات دما و بارش روزانه بر تغییرات جریان و سایر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی پرداختند. نتایج آن‌ها، تحت چهار مدل از نه مدل گردش A2 سناریو انتشار عمومی، نشانگر کاهش معنادار جریان سالانه در بازه ۲۰۸۰ بود.

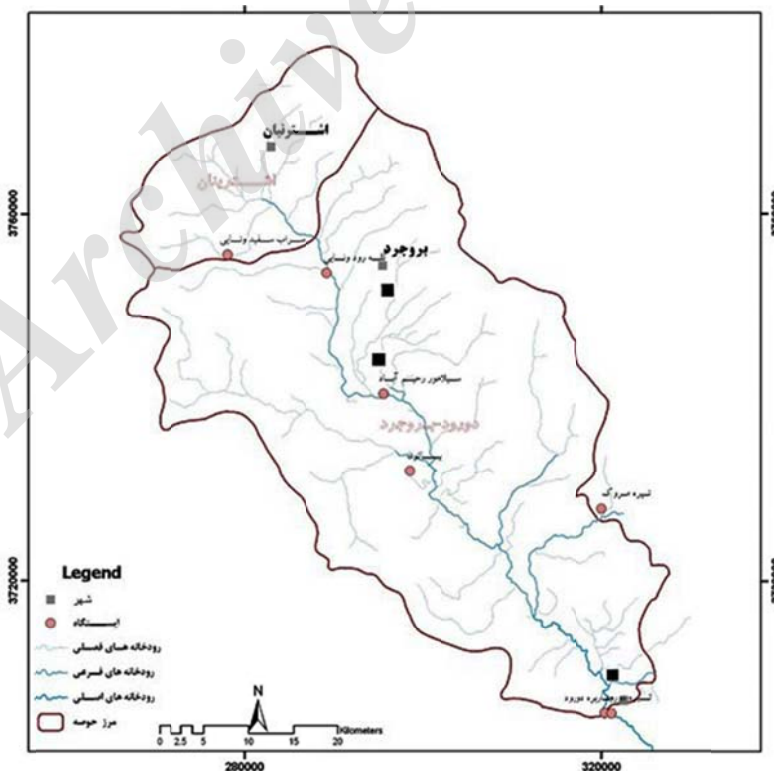
لیو و کولیالی (۲۰۱۱) توانایی-زمانی سه مدل مبتنی بر داده ریزمقیاس آماری، شبکه عصبی پیش‌خور تأخیری و رگرسیون چندگانه تکاملی را در ریزمقیاس نمودن دما و بارش روزانه در دو ایستگاه شمال کانادا بررسی کردند و خروجی بهترین مدل را به منظور بهبود پیش‌بینی دوهفته‌ای متغیرهای هیدرولوژیکی به دو مدل HBV و BNN وارد نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از داده‌های ریزمقیاس، پیش‌بینی دبی متوسط و دبی پیک جریان

مشاهداتی دما، بارش و رواناب در دوره ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ میلادی از ایستگاه‌های منتخب منطقه است. به علت تضمین کیفیت و سازگاری بهتر با کاراکترهای واقعی تغییرپذیر در اقلیم، در این آنالیز از داده‌های روزانه استفاده می‌شود. برای متغیر دما داده‌های روزانه ایستگاه سینوپتیک بروجرد، به دلیل دارا بودن داده‌های کامل، به عنوان مبنا انتخاب گردید. برای متغیر بارش از داده‌های روزانه ایستگاه باران‌سنجی بروجرد استفاده شد. همچنین ایستگاه هیدرومتری تیره درود واقع در خروجی حوضه دز علیا به عنوان ایستگاه مبنا برای مشاهده تغییرات رواناب حوضه انتخاب گردید. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. متوسط آبدهی رودخانه سزار در محل ایستگاه هیدرومتری تیره درود در حدود ۵۰۰ میلیون متر مکعب در سال بوده و حداکثر و حداقل دبی سالانه این ایستگاه در طول دوره آماری یادشده به ترتیب ۳۵ و ۴ متر مکعب بر ثانیه مشاهده شده است.

حداکثری این مدل‌ها باعث می‌شود حجم محاسبات به طور فزاینده‌ای زیاد شود؛ بنابراین در این تحقیق از ده مدل تحت سه سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده شده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق بخشی از حوضه آبریز رودخانه سزار است که زیر حوضه تیره درود خوانده می‌شود. رودخانه سزار یکی از دو شاخه عمده و تشکیل‌دهنده رودخانه دز می‌باشد که آب‌های مناطق وسیعی از شهرهای الیگودرز، بروجرد و بخش‌های شرقی خرم‌آباد را جمع‌آوری می‌کند و به رودخانه دز ملحق می‌گردد. موقعیت جغرافیایی حوضه در طول جغرافیایی  $33^{\circ}$  و  $52'$ ،  $04''$  و عرض جغرافیایی  $28'$ ،  $22''$  و مساحت آن  $9206$  کیلومتر مربع است. شکل ۱ جانمایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه را نشان می‌دهد. در این تحقیق داده‌های پایه مورد استفاده شامل داده‌های



شکل ۱. حوضه جانمایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه.

جدول ۱. ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه.

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	داده مورد استفاده روزانه	طول دوره آماری ایستگاه
بروجرد	سینوپتیک	۴۸/۳۶	۳۳/۵۵	دمای روزانه	۱۹۶۱-۲۰۱۱
بروجرد	باران‌سنجی	۴۸/۴۰	۳۴/۰۱	بارش روزانه	۱۹۷۰-۲۰۱۱
تیره درود	هیدرومتری	۴۸/۴۵	۳۲/۴۹	آب‌سنجی روزانه	۱۹۶۶-۲۰۱۱

سری‌های تاریخی به دست می‌آید. ابتدا سناریوهای تغییر اقلیم برای دما و بارش تولید می‌شود. بنابراین برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل مقدار «نسبت» برای بارندگی (رابطه ۱) برای متوسط درازمدت هر ماه در دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و دوره شبیه‌سازی شده پایه توسط همان مدل (۱۹۷۱-۲۰۰۰) برای هر سلول از شبکه محاسباتی محاسبه می‌گردد (جونز و هولم، ۱۹۹۶):

$$\Delta P_i = \left( \frac{\bar{P}_{GCM, fut, i}}{\bar{P}_{GCM, base, i}} \right) \quad (1)$$

در روابط فوق  $\Delta P_i$  بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به بارندگی برای میانگین درازمدت سی ساله برای هر ماه ( $1 \leq I \leq 12$ )،  $\bar{P}_{GCM, fut, i}$  میانگین سی ساله بارش شبیه‌سازی شده توسط GCM در دوره آتی برای هر ماه (در اینجا ۲۰۴۰-۲۰۶۹)،  $\bar{P}_{GCM, base, i}$  میانگین سی ساله بارش شبیه‌سازی شده توسط GCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی (۱۹۷۱-۲۰۰۰) برای هر ماه است. سپس از روش عامل تغییر برای کوچک‌مقیاس کردن تناسبی داده‌های طرح استفاده می‌شود. در روش عامل تغییر برای به‌دست‌آوردن سری زمانی سناریوی اقلیمی در آینده، نسبت‌های حاصل از سناریوهای تغییر بارش در مقادیر مشاهداتی (۱۹۷۱-۲۰۰۰) ضرب می‌شود:

$$P = P_{obs} \times \Delta P \quad (2)$$

در رابطه فوق  $P_{obs}$  بیانگر سری زمانی بارش مشاهداتی در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰)،  $P$  سری زمانی حاصل از سناریوی اقلیمی بارش در دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و  $\Delta P$  سناریوی تغییر بارش است. در روش آماری از نرم‌افزار LARS-WG5.5 استفاده می‌شود. مدل LARS-WG یکی

در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه‌بعدی جفت‌شده اقیانوس-اتمسفر است (ویلی و هریس، ۲۰۰۶؛ میشل، ۲۰۰۳؛ لن، ۱۹۹۹). مدل‌های GCM بر پایه قوانین فیزیکی که به وسیله روابط ریاضی ارائه می‌شود استوار هستند. این روابط در یک شبکه سه‌بعدی در سطح کره زمین حل می‌شوند. مدل‌های GCM که در این تحقیق استفاده می‌شوند زیرمجموعه‌ای از چهارمین گزارش ارزیابی IPCC هستند. جدول ۲ مشخصات ۱۰ مدل GCM استفاده‌شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. پس از شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های گذشته توسط مدل‌های GCM، به منظور شبیه‌سازی وضعیت این متغیرها در دوره‌های آتی، به معرفی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی برای این مدل‌ها نیاز است. بدین منظور از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده می‌شود. همه پیش‌بینی‌های اولیه‌ای که توسط مدل‌های GCM انجام می‌گیرد در محدوده بزرگ‌مقیاس جغرافیایی است و نمی‌تواند تغییرات مربوط به اقلیم منطقه‌ای و محلی را مورد توجه و ارزیابی قرار دهد. به همین دلیل برای برآورد چشم‌انداز منطقه‌ای و محلی از متغیرهای هواشناسی مستقیم نمی‌توان از این مدل‌ها استفاده کرد. با توجه به این مشکل، با اصلاحات روی برون‌داد مدل‌های GCM و نیز در نظر گرفتن شرایط محلی، مدل‌های کوچک‌مقیاس به نام مدل‌های منطقه‌ای ارائه گردیده است. بنابراین در این تحقیق به منظور ریزمقیاس کردن داده‌های مدل‌های GCM برای منطقه مورد مطالعه از دو روش عامل تغییر و آماری (LARS-WG) استفاده می‌شود که در روش عامل تغییر (Change factor) به‌طور معمول نسبت‌های ماهانه برای

میانگین و نیز تابش خورشیدی روزانه هستند، به ترتیب به دو بخش آموزش و آزمون تقسیم گردید. در این تحقیق نسبت این دو دسته ۸۰ به ۲۰ است؛ بدین ترتیب که ۸۰ درصد در مرحله آموزش و ۲۰ درصد باقیمانده در مرحله آزمون به کار رفت. خروجی این مدل مقادیر آبدهی روزانه ایستگاه تیره درود است. در جدول ۲ نتایج عملکرد تمامی مدل‌های مورد بررسی و میزان شاخص‌های تعریف شده ارائه شده است. در تمامی مدل‌های مورد بررسی، بهترین نتایج با کمک تابع فعالیت تاثرات هیپربولیک در لایه میانی و تابع خطی در لایه آخر حاصل شد. مناسب‌ترین شبکه، مدل شماره ۶ است که ورودی‌های آن پارامترهای دمای حدافل، دمای حداکثر، بارش و تابش خورشیدی در مقیاس روزانه است. تعداد نرون در لایه میانی این شبکه برابر ۱۲ و تعداد تأخیر در ورودی‌های شبکه برابر ۵ است. همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، جهت بررسی عملکرد مدل‌ها از سه معیار ضریب همبستگی ( $\rho$ )، میانگین قدرمطلق خطا (MAE) و معیار خطای بایس (K) استفاده شد که مقدار ضریب همبستگی این شبکه در مرحله آموزش و آزمون به ترتیب برابر ۰/۹۲ و ۰/۹۱ بوده است و در مقایسه با بقیه مدل‌های مورد بررسی، عملکرد بهتری داشته است.

جدول ۲. مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی. (\*در این مدل‌ها Q معرف آبدهی روزانه رودخانه، P معرف بارش روزانه منطقه،  $T_{avg}$  دمای میانگین روزانه منطقه،  $T_{min}$  و  $T_{max}$  به ترتیب برابر دمای حدافل و حداکثر روزانه منطقه و  $R_s$  تابش خورشیدی روزانه منطقه است. اندیس  $i$  نیز بیانگر زمان (روزانه) می‌باشد.)

مدل	رابطه*
۱	$Q_i = f(P_i)$
۲	$Q_i = f(P_i, T_{avei})$
۳	$Q_i = f(P_i, T_i, R_{si})$
۴	$Q_i = f(P_i, R_{si})$
۵	$Q_i = f(P_i, T_{min_i}, T_{max_i})$
۶	$Q_i = f(P_i, T_{min_i}, T_{max_i}, R_{si})$

از مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هواست که برای تولید بارش روزانه، تابش، ماکزیمم و مینیمم درجه حرارت‌های روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود. اجرای این مدل شامل سه گام است: واسنجی مدل، ارزیابی مدل و تولید داده‌های هواشناسی (چن و همکاران، ۲۰۱۲). جهت مطالعه بیشتر در خصوص نحوه عملکرد مدل آماری LARS-WG به منابع مراجعه شود.

در این تحقیق، به منظور شبیه‌سازی بارش-رواناب روزانه، شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از برنامه MATLAB به کار رفته است. شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده شبکه عصبی پیشرو با الگوریتم پس‌انتشار خطا می‌باشد. یکی از ساده‌ترین انواع شبکه‌های پیشرو با الگوریتم پس‌انتشار خطا نوع یک لایه آن است. در این شبکه وزن‌ها و بایاس‌ها می‌توانند برای تولید یک هدف مشخص آموزش داده شوند. قوانین یادگیری مورداستفاده در این راستا (قوانین آموزش) نامیده می‌شوند. شبکه‌های پیشرو با الگوریتم پس‌انتشار خطا از آن رو که، جهت تکامل یافتن به وسیله بردارهای ورودی، توانایی مناسبی دارند، بسیار شایان توجه هستند (تایفور، ۲۰۱۲). جهت مدل‌سازی بارش رواناب از شبکه عصبی پیشرو با الگوریتم پس‌انتشار خطا استفاده شده است. این شبکه دارای سه لایه است. شبکه‌ای که بهترین جواب را مطابق با شاخص‌های تعیین خطا در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی (آموزش و آزمون) به دست آورد، به عنوان مناسب‌ترین شبکه برای شبیه‌سازی جریان ورودی انتخاب گردید. به منظور شبیه‌سازی جریان براساس پارامترهای موجود، مدل‌های جدول ۲ برای تشکیل ورودی‌های شبکه عصبی بررسی شد.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳-۱. نتایج شبکه عصبی مصنوعی

ابتدا جهت واسنجی و صحت‌سنجی شبکه عصبی پیشرو با الگوریتم پس‌انتشار خطا، داده‌های موجود در دوره پایه که شامل آمار روزانه بارش، دمای حدافل، دمای حداکثر،

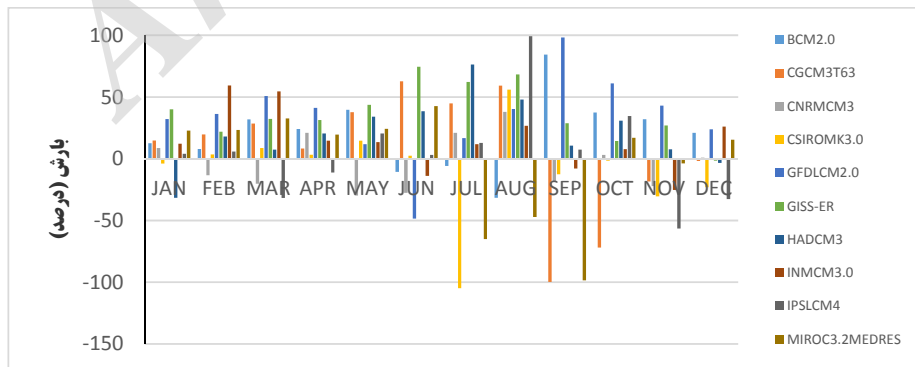
جدول ۳. نتایج مرحله آموزش و آزمون مدل‌های متفاوت از شبکه عصبی مصنوعی.

آزمون شبکه			آموزش شبکه			تعداد نرون لایه میانی	تعداد تأخیر در ورودی	مدل
K	MAE	$\rho$	K	MAE	$\rho$			
۰/۵۷	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۲۶	۰/۱۹	۰/۴۵	۲۰	۱۵	۱
۰/۲۶	۰/۴۷	۰/۵۱	۰/۳۲	۰/۲۱	۰/۷۸	۱۵	۵	۲
۰/۳۲	۰/۲۷	۰/۶۸	۰/۴۰	۰/۲۴	۰/۸۱	۱۵	۱۰	۳
۰/۳۷	۰/۲۵	۰/۶۹	۰/۳۱	۰/۲۰	۰/۷۹	۱۳	۱۲	۴
۰/۳۵	۰/۲۲	۰/۷۱	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۸۴	۷	۵	۵
۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۹۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۹۲	۱۲	۵	۶

بارش آتی را در مقایسه با پایه و مدل‌های CSIROMK3.0 در همه سناریوها دارد و مدل CNRMCM3 برای سناریوی A1B و مدل MIROC3.2MEDRES برای سناریوی A2 بیشترین کاهش را دارد. جدول ۴ درصد تغییرات بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه را برای فصل‌های مختلف تحت سه سناریو نشان می‌دهد. این جدول نشان می‌دهد که بیشترین درصد تغییرات بارش در فصل بهار و کمترین آن در فصل پاییز بوده است.

۲-۳. نتایج ریزمقیاس کردن

در این تحقیق تغییرات بارندگی، برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ نسبت به دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱، از ۱۰ مدل مختلف GCM (تحت سه سناریوی انتشار A1B و A2 و B1) محاسبه شد. شکل‌های ۲ به‌طور نمونه نتایج سناریوی انتشار B1 را نشان می‌دهد. با اضافه کردن این تغییرات به مقادیر مشاهداتی، داده‌ها به‌صورت روزانه برای دوره آتی ریزمقیاس شدند. مدل‌های GFDLCM2.0 و GISS-ER و سناریوی A1B در مقایسه با سایر مدل‌ها و سناریوها، بیشترین افزایش



شکل ۲. تغییرات بارش (برحسب درصد) منطقه در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ نسبت به دوره پایه تحت سناریوی انتشار A1B.

توزیع‌های احتمال و میانگین‌های ماهانه متغیرهای بارندگی در جدول ۵ آورده شده است. مقادیر P-value همگی در سطح معناداری ۱ درصد قابل قبول است و می‌توان گفت مدل LARS-WG توانمندی لازم را برای شبیه‌سازی متغیرهای بارندگی و دمای ایستگاه منتخب دارد.

#### ۴. بررسی عدم قطعیت‌های مختلف

در این تحقیق جهت بررسی عدم قطعیت روش‌های ریزمقیاس کردن، از دو روش آماری و عامل تغییر برای ریزمقیاس کردن متغیر بارش ۱۰ مدل مذکور در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ میلادی استفاده گردید. از آنجا که در بررسی عدم قطعیت روش‌های ریزمقیاس‌نمایی نوع روش مورد استفاده از اهمیت برخوردار است فقط از یک سناریو (A2) استفاده گردیده است (کمال و همکاران، ۱۳۸۸). در ادامه عدم قطعیت مربوط به این روش‌ها بر رواناب حوضه بررسی شد.

جدول ۴. درصد تغییرات بارش در دوره آبی نسبت به دوره پایه برای فصل‌های مختلف تحت سه سناریوی انتشار.

فصل	سناریو		
	A1B	A2	B1
بهار	۱۷,۲۹	۱۹,۵۵	۱۹,۲۴
تابستان	۱۵,۹۱	۹,۰۸	۱۸,۳۳
پاییز	۰,۶۹	-۸,۸۸	۲,۵۸
زمستان	۴,۷۱	۴,۹۹	۱۰,۶۳
میانگین	۹,۶۵	۶,۱۹	۱۲,۷۹

پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، نتایج آزمون‌ها برای داده‌های بارندگی نشان می‌دهد که مدل LARS-WG توانمندی لازم را برای شبیه‌سازی متغیرهای بارندگی و دمای ایستگاه منتخب دارد. برای این منظور مشخصه‌های آماری داده‌های هواشناسی مشاهده‌شده و ساختگی برای تعیین اینکه آیا اختلافات معناداری وجود دارد یا نه، از طریق مقایسه دو فایل آماری تحلیل شد. نتایج مقایسه

جدول ۵. نتایج آزمون کای-اسکور و آزمون t برای توزیع‌های احتمال داده‌های بارندگی مشاهده‌شده و تولیدشده توسط LARS-WG

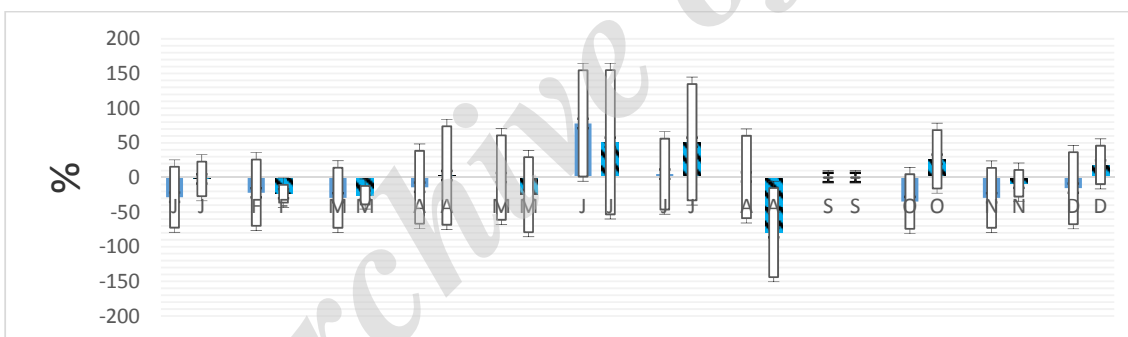
ماه	میانگین داده‌های مشاهده‌شده	میانگین داده‌های تولیدشده	آزمون t	p-value	$\chi^2$	p-value
Jan	۷۰,۹۹	۸۲,۵۶	-۰,۷۲۸	۰,۴۶۹	۰,۰۷۶	۱
Feb	۶۰,۳۴	۶۸,۸۹	-۰,۴۸۴	۰,۶۳	۰,۰۶۲	۱
Mar	۹۶,۷۸	۹۹,۹۸	-۱,۵۹۹	۰,۱۱۴	۰,۰۶۱	۱
Apr	۸۲,۸۷	۷۹,۹۰	-۰,۳۰۸	۰,۷۵۹	۰,۰۶۲	۱
May	۵۷,۶۵	۴۹,۸۷	۰,۴۴۶	۰,۶۵۷	۰,۰۶۹	۱
Jun	۱۰,۶۰	۱۱,۲۴	-۰,۶۷	۰,۵۰۵	۰,۲۰۱	۰,۹۹۰۷
July	۰,۶۷	۱,۴۳	-۰,۳۰	۰,۷۶۵	۰,۱۳۲	۰,۹۸۰۹
Aug	۰,۹۸	۱,۰۸	-۱,۱۳۴	۰,۸۹۴	۰,۱۳۱	۰,۹۸۲۴
Sep	۱,۷۸	۱,۹۰	-۰,۷۶۸	۰,۴۴۵	۰,۱۳۳	۰,۹۷۹۴
Oct	۳۸,۵۶	۴۲,۳۴	-۰,۳۴۲	۰,۷۳۳	۰,۰۹۷	۰,۹۹۹۸
Nov	۶۸,۳۴	۷۲,۱۲	-۰,۴۴۵	۰,۶۵۸	۰,۰۶۴	۱
Dec	۷۵,۵۰	۸۸,۴۹	-۱,۵۲۸	۰,۱۳۱	۰,۰۵۶	۱



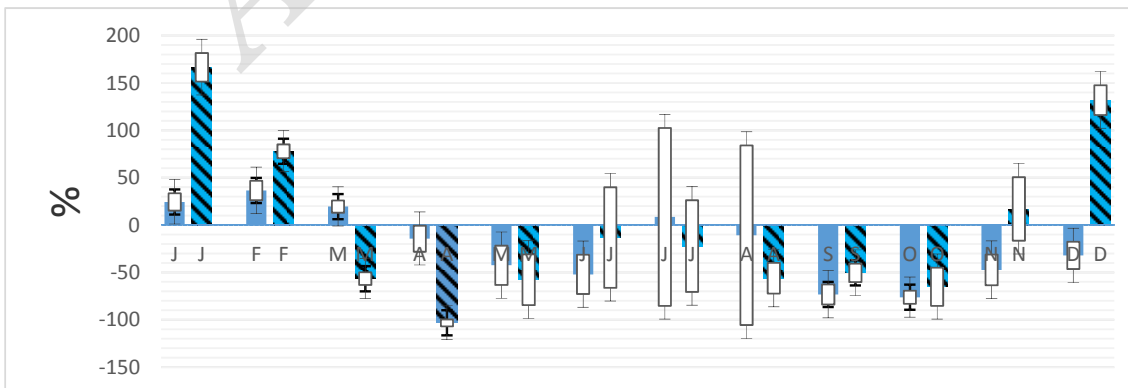
معرفی شدند. شکل ۴ درصد تغییرات رواناب ریزمقیاس شده از رواناب مشاهداتی تحت دو روش ریزمقیاس شده را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل اختلاف درصد تغییرات در رواناب بلندمدت ماهانه شبیه‌سازی شده طی دو روش ریزمقیاس ۵/۱۱ درصد است. همچنین بیشترین اختلاف در فصل تابستان با ۳۰/۵۸ درصد و در ماه آگوست با ۷۸/۵۵ درصد می‌باشد. به‌طور کلی دبی میانگین ماهانه حاصل از داده‌های ریزمقیاس شده از روش آماری کاهش ۲/۶۳ درصدی را دارند و برای روش تناسبی این مقدار ۲۱/۶۶ درصد است. در این روش مقادیر نوسانات مربوط به متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی برابر با دوره پایه در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین رواناب حاصل از این روش نمی‌تواند معرف واقعی رواناب دوره آتی منطقه مطالعاتی باشد. این در حالی است که در روش آماری این نوسانات به‌خوبی مدل می‌شود.

شکل ۳ درصد تغییرات درازمدت ماهانه بارش کوچک‌مقیاس شده دوره آتی نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، درصد تغییرات درازمدت بارش منطقه طی دو روش ریزمقیاس اختلافی حدود ۴/۴ درصد دارند و در اکثر ماه‌ها درصد میانگین درازمدت بارش حاصل از روش آماری (۱/۲۷- درصد) در مقایسه با روش ریزمقیاس عامل تغییر (۷/۵۲- درصد) کاهش کمتری دارد. به‌طوری‌که بیشترین اختلاف در فصل زمستان ۲۶/۰۴ درصد و در ماه فوریه ۳۴/۹۹ درصد است.

برای بررسی وضعیت رواناب منطقه ابتدا مدل شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از مقادیر دما، بارش و دبی و تابش خورشیدی روزانه مشاهداتی در دوره پایه برای منطقه مورد واسنجی و صحت‌یابی قرار گرفت. سپس نتایج مقادیر دما و بارش ریزمقیاس شده حاصل از دو روش برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ جداگانه به شبکه عصبی مصنوعی



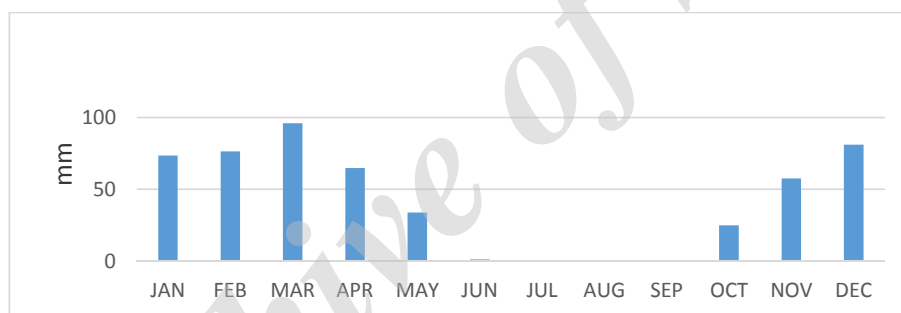
شکل ۳. مقایسه درصد تغییرات متوسط درازمدت ماهانه میانگین بارش ۱۰ مدل تحت دو روش کوچک‌مقیاس در دوره آتی با مقادیر دوره مشاهداتی (سمت چپ Change factor و سمت راست آماری) تحت سناریو A2.



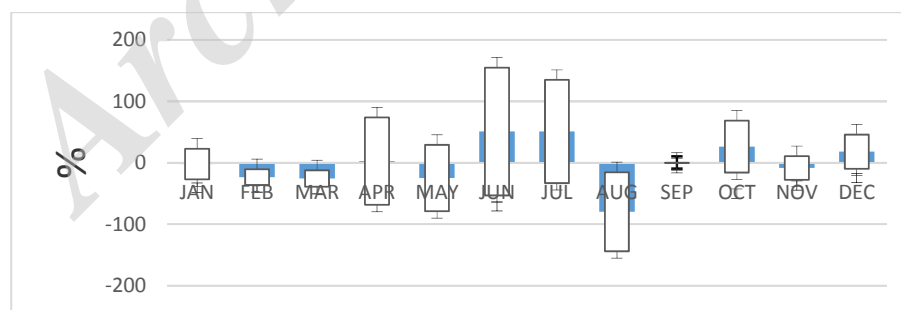
شکل ۴. مقایسه درصد تغییرات متوسط درازمدت ماهانه میانگین رواناب ۱۰ مدل تحت دو روش کوچک‌مقیاس در دوره آتی با مقادیر دوره مشاهداتی (سمت چپ Change factor و سمت راست آماری) تحت سناریو A2.

کلی افزایش بارش در فصل تابستان و به مقدار  $\pm 84\%$  و  $+7/36\%$  و مدل GISS-ER (۲۷۹/۰۵ درصد) است و سپس روند کاهشی در زمستان و بهار و سپس در پاییز، نشان از دگرگونی توزیع بارش در منطقه دارد که می‌تواند در ذخیره آب‌های زیرزمینی، جریان‌های بهاری، رواناب حوضه، خشکسالی‌های دوره‌ای و وقایع حدی اثرگذار باشد. با معرفی سری‌های زمانی دما و بارش حاصل از ۱۰ مدل GCM به مدل شبکه عصبی، سری زمانی رواناب حوضه دزعلیا در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ تولید گردید. شکل ۶ تغییرات بلندمدت ماهانه رواناب در دوره آبی را نسبت به دوره مشاهداتی با چهار معیار میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل تغییرات نشان می‌دهد.

شکل ۵ محدوده تغییرات بارش منطقه را در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، هرچند ۱۰ مدل GCM بیشترین درصد افزایش بارش را در فصل تابستان نشان می‌دهند ولی، به علت کم‌بودن بارش در این فصل که نزدیک به صفر است، اثر چندانی در متوسط بارش بلندمدت این فصل نخواهد داشت. از طرف دیگر نتایج نشان می‌دهد که بارش متوسط در بقیه فصول کاهش می‌یابد. بیشترین درصد کاهش بارش در پاییز با  $\pm 20\%$  و  $-17/79\%$  و مدل INMCM3.0 (۵۰/۲۶- درصد) و سپس در بهار با کاهش  $\pm 46\%$  و  $-15/89\%$  و مدل GFDLCM2.0 (۶۹- درصد) و در نهایت در زمستان با کاهش  $\pm 21\%$  و  $-2/52\%$  و باز هم مدل GFDLCM2.0 (۴۰/۵۲- درصد) خواهد بود. به‌طور

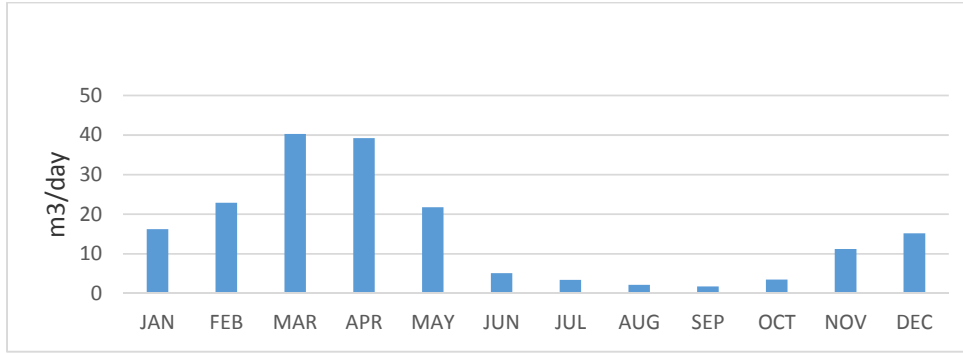


(الف)

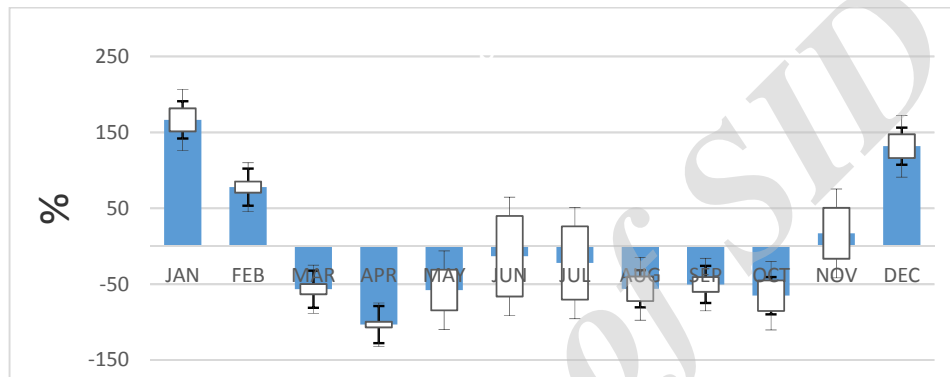


(ب)

شکل ۵. الف) میانگین بارش ماهانه در دوره مشاهداتی (۱۹۷۰-۲۰۰۰؛ ب) تغییرات بارش در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ نسبت به دوره پایه.



(الف)

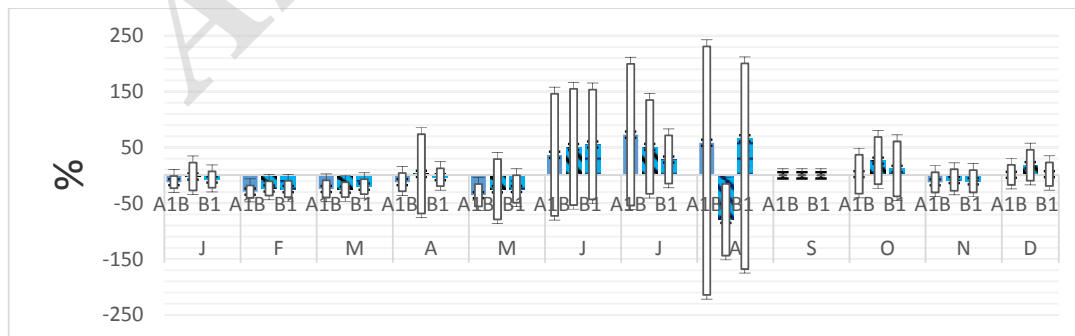


(ب)

شکل ۶. الف) متوسط رواناب در دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰؛ ب) مقایسه درصد تغییرات میانگین بلندمدت رواناب شبیه‌سازی شده تحت خروجی ۱۰ مدل GCM-A2 توسط مدل بارش- رواناب شبکه عصبی در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹.

درصد تغییرات بارش شبیه‌سازی شده توسط سناریوها نزدیک به هم هستند و برای بقیه ماه‌ها اختلاف دارند. به طوری که در ماه آگوست بیشترین اختلاف و در ماه آوریل اختلاف کمتری با هم دارند.

شکل ۷ نشان می‌دهد که محدوده درصد تغییرات بارش برای سه سناریوی انتشار متفاوت می‌باشد و این اختلاف برای ماه‌های سال روند یکسانی ندارد، به طوری که برای ماه‌های فوریه، مارس، ژوئن، سپتامبر، نوامبر محدوده



شکل ۷. محدوده درصد تغییرات سری زمانی بلندمدت بارش ماهانه در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ شبیه‌سازی شده توسط ۱۰ مدل اقلیمی تحت سه سناریوی انتشار A1B و A2 و B1 نسبت به دوره مشاهداتی.

بدون ماه‌های فاقد بارش بیش از عدم قطعیت روش‌های ریزمقیاس و سناریوهای انتشار است. بیشترین عدم قطعیت مربوط به سناریوی A1B و مدل‌های اقلیمی است. بیشترین درصد افزایش رواناب مربوط به ماه ژوئن تحت سناریوی A1B و روش آماری با مقدار ۱۹۲/۵۲ درصد است و بیشترین درصد کاهش رواناب در ماه اکتبر و تحت سناریوی B1 و روش عامل تغییر با مقدار ۸۳/۵۵- درصد رخ داده است. آبدهی حاصل از داده‌های ریزمقیاس شده از روش آماری افزایش ۱۲/۷ درصدی دارند و برای روش تناسبی کاهش ۱۴/۵۳- درصد است و اختلاف بین این دو مدل در حدود ۲۷/۲۳ درصد می‌باشد. عدم قطعیت بارش در مدل‌های اقلیمی بیشتر از عدم قطعیت مدل‌های گردش کلی و عدم قطعیت سناریوهای انتشار بیشتر از عدم قطعیت روش‌های ریزمقیاس است ولی در همه منابع عدم قطعیت برآورد رواناب، عدم قطعیت هر سه سناریوی انتشار با هم برابر هستند.

نتایج مقایسه سناریوهای انتشار در استفاده از ۱۰ مدل اقلیمی نشان می‌دهد درصد تغییرات رواناب برای هر سه سناریو در ماه‌های ژوئن و جولای بیشتر است و برای مارس و آوریل و فوریه مقدار کمتری را برای رواناب نشان داده است.

بارش و رواناب حوضه دزعلیا تحت تأثیر سه منبع عدم قطعیت (مربوط به مدل‌های GCM، روش‌های ریزمقیاس کردن و سناریوهای انتشار) یکجا بررسی و مقایسه شد. نتایج در جدول ۶ ارائه شده است. افزایش بارش در فصل تابستان به مقدار  $±۸۷\%$ ،  $۴۴/۹۶\%$  + و سپس روند کاهشی در پاییز و بهار و سپس در زمستان، نشان از دگرگونی توزیع بارش در منطقه دارد. تغییرات درازمدت بارش منطقه طی دو روش ریزمقیاس اختلاف حدود ۶/۴۷ درصد دارند و در اکثر ماه‌ها میانگین درازمدت بارش حاصل از روش عامل تغییر درصد برآورد بیشتری در مقایسه با روش ریزمقیاس آماری دارد. در مجموع عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی حتی

جدول ۶. مقایسه منابع عدم قطعیت توأم در برآورد بارش و رواناب تحت سه سناریوی انتشار.

روش		عدم قطعیت بارش تحت سناریوهای انتشار (درصد)			عدم قطعیت رواناب تحت سناریوهای انتشار (درصد)		
		A1B	A2	B1	A1B	A2	B1
سناریوی انتشار							
مدل‌های اقلیمی	روش آماری	۴۶/۱۵	۴۳/۱۴	۳۷/۳۹	-	۲۱/۳۸	-
	روش عامل تغییر	۶۶/۷۱	۴۷/۵۴	۳۱/۶۲	-	۲۶/۴۹	-
اختلاف روش‌های ریزمقیاس‌نمایی		۲۰/۵۶	۴/۴۰	۵/۷۷	-	۵/۱۱	-

## ۵. نتیجه‌گیری

اقلیمی نشان داد که روند اختلاف محدوده درصد تغییرات در سه سناریوی انتشار، برای ماه‌های مختلف، هماهنگی نزدیکی با یکدیگر داشت. نتایج حاصل از مقایسه سه سناریو در شبیه‌سازی رواناب نشان می‌دهد که هر سه سناریو در شبیه‌سازی رواناب با همدیگر، در ماه‌های مختلف، اختلاف یکسانی دارند. در نهایت بررسی توأم عدم قطعیت مدل‌های GCM، روش‌های کوچک‌مقیاس کردن و سناریوهای انتشار نشان داد متوسط درازمدت ماهانه دمای منطقه در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ در همه ماه‌ها افزایش می‌یابد. عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی بیشتر از عدم قطعیت سناریوهای انتشار و عدم قطعیت سناریوی انتشار بیشتر از عدم قطعیت روش‌های ریزمقیاس‌نمایی است.

## مراجع

- انصاری، ح.، خدیوی، م.، صالح نیا، ن. و بابائیان، الف.، ۱۳۹۳، بررسی عدم قطعیت مدل LARS تحت سناریوهای B1، A2 و A1B در پیش‌بینی بارش و دما (مطالعه مورد: ایستگاه سینوپتیک مشهد). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۴(۸)، ۶۶۴-۶۷۲.
- پورعلی‌حسین، س. ش. و مساح‌بوانی، ع.، ۱۳۹۲، تحلیل مخاطره و ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش استان آذربایجان شرقی دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲، فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹، شماره ۴، صفحه‌های ۱۹۱-۲۰۸.
- گوکمن، ت.، ۲۰۱۲، محاسبه نرم در مهندسی منابع آب، ترجمه نیکبخت شهبازی، ع.، انتشارات سیمای دانش.
- حسینی، س. ح.، قربانی، م. و مساح‌بوانی، ع.، ۱۳۹۴، مدل‌سازی بارش-رواناب در شرایط تغییر اقلیم به منظور پیش‌بینی جریان‌ات آبی حوزه صوفی چای، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال ششم، شماره ۱۱، ۱۴-۱.
- کمال، ع. ر.، مساح‌بوانی، ع. و نجفی‌شهری، م. ر.، ۱۳۸۸، عدم قطعیت مدل‌های AOGCM-AR4 و مدل‌های هیدرولوژی در در تخمین رواناب حوضه تحت تاثیر

در این مطالعه پس از بررسی وضعیت بارش و رواناب مشاهداتی، محدوده تغییرات بارش منطقه در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ تحت عدم قطعیت‌های مختلف بررسی شد. در ادامه تأثیر محدوده تغییرات بارش بر رواناب حوضه تحت عدم قطعیت مدل‌های GCM، سناریوهای انتشار و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی در دوره آتی تعیین شد. نتایج ریزمقیاس‌نمایی به روش عامل تغییر نشان داد که مدل‌های مختلف در تخمین میزان تغییر بارش دوره آتی نسبت به دوره پایه هماهنگ نیستند و برخی از مدل‌ها بارش دوره آتی را نسبت به دوره پایه بیشتر و برخی نیز کمتر نشان می‌دهند. در ریزمقیاس‌نمایی آماری نتایج آزمون‌ها برای داده‌های بارندگی، دمای حداقل و دمای حداکثر در تمامی ماه‌های سال نشان می‌دهد که مقادیر P-value همگی در سطح معناداری یک درصد قابل قبول بوده و می‌توان گفت مدل LARS-WG توانمندی لازم را برای شبیه‌سازی متغیرهای بارندگی و دمای ایستگاه منتخب دارد. درصد تغییرات درازمدت بارش منطقه طی دو روش ریزمقیاس اختلافی حدود ۴/۴ درصد دارند و در اکثر ماه‌ها درصد میانگین درازمدت بارش حاصل از روش آماری (۱/۲۷- درصد) کاهش کمتری در مقایسه با روش ریزمقیاس عامل تغییر (۷/۵۲- درصد) دارد. اختلاف درصد تغییرات در رواناب بلندمدت ماهانه شبیه‌سازی شده طی دو روش ریزمقیاس ۵/۱۱ درصد است. همچنین بیشترین اختلاف در فصل تابستان با ۳۰/۵۸ درصد و در ماه آگوست با ۷۸/۵۵ درصد می‌باشد. به‌طورکلی دبی میانگین ماهانه حاصل از داده‌های ریزمقیاس شده از روش آماری کاهش ۲/۶۳ درصدی دارند و برای روش تناسبی این مقدار ۲۱/۶۶ درصد است. نتایج نشان داد که بارش متوسط در بقیه فصول کاهش می‌یابد. رواناب حوضه دزعلیا عدم قطعیت زیادی دارد. محدوده درصد تغییرات بارش برای سه سناریوی انتشار متفاوت است و این اختلاف برای ماه‌های سال روند یکسانی ندارد. نتایج مقایسه سناریوهای انتشار در استفاده از میانگین ۱۰ مدل

- کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران. هوشمند، د. و خرداد، م.، ۱۳۹۳، بررسی عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار در برآورد پارامترهای اقلیمی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مشهد). جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۱، صفحه‌های ۷۷-۹۲.
- یعقوبی م. و مساح‌بوانی، ع.، ۱۳۹۳، بررسی وضعیت رواناب حوزه رودخانه اعظم هرات- یزد در شرایط تغییر اقلیم تحت تأثیر منابع مختلف عدم قطعیت، دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط زیست).
- Chen, H., Guo, J., Zhang, Z. and Xu, Ch. Y., 2012, Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS-WG in future, *Theor Appl Climatol*, DOI 10.1007/s00704-012-0793-9.
- Jones, P. D. and Hulme, M., 1996, Calculating regional climatic times series for temperature and precipitation: methods and illustrations. *International journal of climatology*, 16, 361-377.
- Lane, M. E., Kirshen, P. H. and Vogel, R. M., 1999, Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources, *ASCE, Journal of Water Resource Planning and Management*, 125(4), 194-204.
- Liu, X. and Coulibaly, P., 2011, Downscaling Ensemble Weather Predictions for Improved Week-2 Hydrologic Forecasting, *Journal of Hydrometeorology*, 12, 1564-1580.
- Minville, M., Brissette, F. and Leconte, R., 2008, Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed, *Journal of Hydrology*, 358, 70-83.
- Mitchell, T. D., 2003, Pattern Scaling: An Examination of Accuracy of the Technique for Describing Future Climates. *Climatic Change* 60, 217-242.
- Steele- Dunne, S., Lynch, P., McGrath, R., Semmler, T., Wang, Sh., Hanafin, J. and Nolan, P., 2008, The impacts of climate change on hydrology in Ireland. *Journal of Hydrology*, 356, 28-45.
- Setegn, S., Rayner, D., Melesse, A. M., Dargahi, B., and Srinivasan, R., 2011, Impact of climate change on the hydro-climatology of Lake Tana basin, Ethiopia. *Water Resources Research*, 47, 1-13.
- Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y. and Kanani, R., 2011, Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, *Global and Planetary Change*, 78, 137-146.
- تغییر اقلیم، مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی منابع آب. منصور، ب.، احمدزاده، ح.، مساح‌بوانی، ع.، مرید، س.، دلاور، م. و لطفی، س.، ۱۳۹۳، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوزه زربینه رود با استفاده از مدل SWAT. نشریه آب و خاک. جلد ۲۸، شماره ۶. صفحه‌های ۱۱۹۱-۱۲۰۳.
- واتقی، ر.، مساح‌بوانی، ع.، مشکاتی، الف. و رحیم زاده، ف.، ۱۳۹۰، بررسی رواناب حوزه تحت تاثیر سناریوهای انتشار A2 و B1 با در نظر گرفتن اثر دسته جمعی ensemble مدل‌های AOGCM. چهارمین

## Uncertainty assessment of GCM models for estimating rainfall and runoff of Dez Ulya basin under climate change

Taban, H.<sup>1</sup>, Zohrabi, N.<sup>2\*</sup> and Nikbakht Shahbazi, A.<sup>2</sup>

1. M.Sc. Graduated, Department of Water Science and Engineering, Khouzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2. Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

(Received: 7 Sep 2016, Accepted: 24 Jan 2017)

### Summary

Increase greenhouse gases in the Earth's atmosphere have led to imbalances in the phenomenon of climate over the past decades, defined as Climate Change. Studies show that climate change can have negative effects on water resources, agriculture, environment, health, industry and economy. Global warming and climate change is happening and changing weather and climate volatility is associated with greater risk of damage. Since increasing the likelihood of future climate change could have devastating consequences for human societies, it is essential to examine the drought situation in the future periods in this area. For climate change effects on various resources in the future, climatic variables affected by greenhouse gases should be determined. Different techniques are available to simulate the future climatic variables under climate change effects; the most reliable data is atmospheric general circulation models. GCM models are three-dimensional models of the physical relationships that govern the atmosphere, cryosphere, biosphere and hydrosphere. One of the weaknesses of GCM models is large spatial and temporal scales of the climatic variables. Therefore variables regarding hydrological and water resources studies are not sufficiently accurate. It should be downscaled by various techniques. Since different methods are available for downscaling, the uncertainty associated with these methods must be investigated. Various uncertainties affect the final outcome runoff simulation in a basin under the impact of climate change. The credibility of the results by ignoring any of these uncertainties would be reduced.

In this study, the GCM models uncertainty, methods of downscaling climate models and the SRES emission scenarios over the period 2069-2040 on Dez Ulya basin runoff were examined. For this purpose, the simulated temperature and precipitation of 10 GCM models, including BCM2.0, CGCM3T63, CNRMCM3, CSIROCM3.0, GFDLCM2.0, GISS-ER, HADCM3, INMCM3.0, IPSLCM4, MIROC3.2MEDRES, with two downscaling methods (Change factor and statistical using LARS-WG software) and three emission scenarios (A1B and A2 and B1) and artificial neural network model were used to simulate rainfall-runoff model. LARS-WG (Long Ashton Research Station Weather Generator) is a stochastic weather generator which can be used for the simulation of weather data at a single site, under both current and future climate conditions. These data are in the form of daily time-series for suitable climate variables, namely, precipitation (mm), maximum and minimum temperature (°C) and solar radiation (MJm<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup>). Stochastic weather generators were originally developed for two main purposes: 1) To provide means of simulating synthetic weather time-series with statistical characteristics corresponding to the observed statistics at a site, but which were long enough to be used in an assessment of risk in hydrological or agricultural applications. 2) To provide means of extending the simulation of weather time-series to unobserved locations, through the interpolation of the weather generator parameters obtained from running the models at neighboring sites. It is worth noting that a stochastic weather generator is not a predictive tool that can be used in weather forecasting, but is simply a means of generating time-series of synthetic weather statistically 'identical' to the observations. New interest in local stochastic weather simulation has arisen as a result of climate change studies. At present, output from global climate models (GCMs) is of insufficient spatial and temporal resolution and reliability to be used directly in impact models. A stochastic weather generator, however, can serve as a computationally inexpensive tool to produce multiple-year climate change scenarios at the daily time scale which incorporate changes in both mean climate and in climate variability. It utilizes semi-empirical distributions for the lengths of wet and dry day series, daily precipitation and daily solar radiation. The rainfall-runoff models for the base period (2000-1971) has been calibrated and verified, then by downscaling of ten GCM-AR4 climate models for the study area and take into account each of them separately for rainfall-runoff models, changes of runoff in the period 2069-2040 under the three scenarios (A1B and A2 and B1) were determined.

Results from downscaling models showed that the rainfall for some models increase and others decrease in the future, compared to the base periods. Changing factors in downscaling method showed more decrease than statistical method. Results showed that the percentage change in long-term monthly simulated runoff for the two downscaling methods is about 5.11 percent, while a decreasing trend in the future compared to the base runoff was seen. Runoff simulation scenarios relative to each other in different months had the same difference. The results showed uncertainty in climate models used in this study is more than of uncertainty according to downscaling methods and emission scenarios.

**Keywords:** Climate change impact, Downscaling models, Uncertainty, Emission scenarios, Dez Ulya basin Runoff.

\* Corresponding author:

nargeszohrabi@gmail.com