



ISSN 2251-7480

نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال پنجم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹۵

## پیش بینی اثر تغییر اقلیم بر روند دبی ماهانه رودخانه با بکار بردن مدل هیدرولوژیکی IHACRES (مطالعه موردی: حوضه آبریز گالیکش)

خلیل قربانی<sup>۱\*</sup>، الهه سهرابیان<sup>۲</sup>، میثم سالاری جزی<sup>۳</sup> و محمد عبدالحسینی<sup>۳</sup>

\*<sup>۱</sup> استادیار؛ گروه مهندسی آب؛ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان؛ گرگان؛ ایران

<sup>۲</sup> نویسنده مسئول مکاتبات: [ghorbani.khalil@yahoo.com](mailto:ghorbani.khalil@yahoo.com)

<sup>۳</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد منابع آب؛ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان؛ گرگان؛ ایران

<sup>۳</sup> استادیار؛ گروه مهندسی آب؛ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان؛ گرگان؛ ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۱۶

### چکیده

تغییر اقلیم موجب تغییراتی در میزان دما و بارش می‌شود و در نتیجه دبی رودخانه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تغییرات بارش ناشی از تغییر اقلیم می‌تواند به کمک مدل‌های گردش عمومی جو تحت سناریوهای مختلف اقلیمی شبیه‌سازی شود اما بررسی تغییرات دبی رودخانه نیازمند کاربرد مدل‌های بارش - رواناب است. به منظور تشخیص روند تغییرات دبی ناشی از تغییر اقلیم، حوضه آبریز گالیکش از حوضه‌های سیل‌خیز در استان گلستان به عنوان منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شد. دما و بارش برای دوره اقلیمی آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) براساس مدل گردش عمومی جو HADCM3 توسط مدل مولد داده LARS-WG تحت سناریوهای مختلف اقلیمی تولید و به‌عنوان ورودی به مدل واسنجی شده IHACRES وارد شد تا دبی دوره‌های اقلیمی آینده شبیه‌سازی شود. نتایج تحلیل تغییر اقلیم نشان می‌دهد در منطقه مورد مطالعه تحت سناریوهای مختلف، دمای هوا در ماه‌های مختلف سال افزایش پیدا کند اما متوسط مجموع بارش سالانه کاهش می‌یابد. از آزمون من-کندال برای تشخیص روند سری‌های زمانی فصلی و نیمه‌سالانه دبی استفاده شد. نتایج نشان داد تحت سناریوهای مختلف اقلیمی، دبی در فصل بهار و نیمه اول سال در سطح ۵ درصد بدون روند، ولی در دیگر فصل‌های سال و نیمه دوم سال دارای روندی کاهشی می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** آزمون سن؛ آزمون من-کندال؛ تغییر اقلیم؛ تحلیل روند؛ حوضه آبریز گالیکش؛ دبی رودخانه

### مقدمه

نژاد، ۲۰۰۵). در اثر تغییر اقلیم متوسط متغیرهای آب و هوایی مانند دما و بارش ثابت نمانده و در مناطق مختلف تغییر می‌کند. یکی از دلایل اصلی تغییر اقلیم، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو بدلیل صنعتی شدن و افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشد (قربانی، ۱۳۹۴؛ خزائی، ۱۳۹۵). تغییر اقلیم منجر به تغییر در مقادیر و الگوی بارش و دما در سطح حوضه می‌شود که هرگونه

اقلیم شرایط متوسط آب و هوایی است که در سال‌های اخیر با افزایش گازهای گلخانه‌ای در جو و برهم خوردن توازن تابشی در حال تغییر است و پدیده‌ای با عنوان تغییر اقلیم را شکل می‌دهد. تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که بخش‌های مختلف زندگی انسان را در روی زمین تحت تأثیر قرار خواهد داد (کارآموز و عراقی

مصنوعی در ریزمقیاس نمایی داده‌های بیشینه و کمینه دمایی روزانه و همچنین بارش روزانه نسبت به روش SDSM که از روش رگرسیون چند متغیره بهره می‌گیرد کارایی بهتری دارد. Chen و همکاران (۲۰۱۲)، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی را در ریزمقیاس نمایی داده‌های بارش مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند ماشین بردار پشتیبان با تابع کرنل پایه شعاعی روش بهتری برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در هیدرولوژی می‌باشد. Sajjad Khan و همکاران (۲۰۰۵) سه روش ریزمقیاس‌نمایی شامل مدل آماری SDSM، مدل تولید داده LARS-WG و شبکه عصبی مصنوعی را برای ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای بارش روزانه و دماهای حداقل و حداکثر روزانه به کار بردند. آن‌ها از داده‌های ۴۰ ساله مشاهده شده و داده‌های مدل گردش عمومی NCEP<sup>۲</sup> برای مدل‌سازی استفاده کردند. مدل SDSM بهترین نتایج را در بازسازی خصوصیات داده‌های مشاهده شده به دست داد و مدل شبکه عصبی مصنوعی از این نظر کمترین کارایی را داشت. سهرابیان و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر آبدهی حوضه با دخالت مدل هیدرولوژی IHACRES پرداختند. در این پژوهش ابتدا مدل IHACRES برای منطقه مورد مطالعه واسنجی گردید. سپس بر اساس نتایج خروجی مدل HADCM3 تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 مقادیر دما و بارش برای دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس شده و به منظور شبیه‌سازی رواناب به مدل IHACRES معرفی گردید. نتایج مطالعه ضمن تایید کارایی مدل LARS-WG نشان داد که در شرایط اقلیمی آینده دما و بارش نسبت به دوره مشاهداتی به ترتیب افزایش و کاهش خواهد یافت. در نهایت نتایج مدل IHACRES نشان داد رواناب در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی در هر سه سناریو کاهش پیدا کرده که نشان از تاثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه در دوره آتی دارد. قربانی (۱۳۹۳) به ارزیابی مدل‌های داده‌کاوی در

تغییر در مقادیر و الگوی هر یک از این دو عامل و نیز تغییر در ارتباط زمانی بین عوامل مذکور در کمیت تولید رواناب و نیز الگوی زمانی آن بسیار مؤثر است. مطالعاتی که در زمینه تغییر اقلیم انجام شده است را می‌توان به دو گروه عمده دسته‌بندی کرد. گروه اول به مدل‌سازی تغییر اقلیم می‌پردازند و گروه دیگر اثر تغییر اقلیم را بر جنبه‌های مختلف مانند کشاورزی و منابع آب بررسی می‌کنند. یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو، بزرگ مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی آن نسبت به منطقه مطالعاتی است. دو نوع تکنیک برای بدست آوردن متغیرها در مقیاس محلی (ریزمقیاس‌نمایی) از روی مقیاس جهانی وجود دارد، یکی روش دینامیکی که شامل حل صریح معادلات دینامیکی سیستم است و دیگری روش آماری که از رابطه‌های استخراج شده از داده‌های مشاهده شده استفاده می‌کند. روش دینامیکی به علت پرهزینه بودن و دشواری اجرا به طور معمول در بررسی‌ها و مطالعات دانشگاهی استفاده می‌شوند (Crane and Hewitson, 1996). همچنین این روش‌ها امکان تولید داده برای انواع سناریوهای مختلف را ندارند، در مقابل روش‌های آماری با محاسبات ساده آماری، صرف زمان و هزینه کم امکان بررسی انواع سناریوهای اقلیمی و تحلیل عدم قطعیت آن‌ها را دارند. از معروف‌ترین مدل‌های آماری که برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی استفاده می‌شود مدل‌های LARS-WG و SDSM<sup>۱</sup> هستند که به صورت بسته‌های نرم‌افزاری و رایگان در اختیار هستند. قابلیت این مدل‌ها در ریزمقیاس‌نمایی پارامترهای دما و بارش توسط پژوهشگران مختلف ارزیابی شده است (قربانی، ۱۳۹۴). در این زمینه می‌توان به مطالعات Coulibal و Dibike (۲۰۰۶) اشاره کرد که دو روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و SDSM را در کوچک مقیاس کردن داده‌های بارش و دمای هوای روزانه در حوضه ساگونوی در شمال ایالت کبک کانادا مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند شبکه عصبی

<sup>۲</sup>-NCEP: National Centers for Environmental Prediction

<sup>۱</sup>-SDSM: Statistical Down Scaling Model

Steele و همکاران (۲۰۰۸) تاثیر تغییر اقلیم را بر رواناب برای نه حوضه در کشور ایرلند با استفاده از مدل گردش عمومی ECHAM5 و سناریوی انتشار AIB، مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور از مدل مفهومی بارش-رواناب HBV-Light برای بررسی وضعیت جریان رودخانه در دوره آتی ۲۰۶۰-۲۰۱۰ استفاده گردید. در ابتدا داده‌های بارش و دمای استخراج شده از مدل ECHAM5 با استفاده از روش ریز مقیاس کردن مکانی تناسبی، ریز مقیاس شده و به مدل بارش-رواناب معرفی گردید. نتایج در مجموع نشان داد که بارش زمستانه و بارش تابستانه به ترتیب افزایش و کاهش دارند. همچنین میزان رواناب رودخانه تحت تاثیر تغییر اقلیم تغییر خواهد کرد. Abbaspour و همکاران (۲۰۰۹) برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان دسترسی به منابع آب از مدل SWAT استفاده کردند. بدین منظور داده‌های اقلیمی آینده برای دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ از مدل کانادایی CGCM3.1 را بکار بستند. نتایج مطالعه آنها افزایش شدت بارش روزانه و فراوانی سیلاب‌های شدید در مناطق مرطوب ایران و خشکسالی-های طولانی‌تر در مناطق خشک را نشان می‌دهد.

برای تشخیص تغییر در سری زمانی داده‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها آزمون تشخیص روند می‌باشد. که بطور معمول با بکارگیری روش‌های ناپارامتری از جمله روش من-کندال انجام می‌شود. از این آزمون در مطالعات زیادی استفاده شده است که می‌توان به مطالعات Asgari و همکاران (۲۰۰۸)، Jiang و همکاران (۲۰۰۷) و Moazed و همکاران (۲۰۱۲) برای تشخیص روند بارش، Ghahraman (۲۰۰۶)، اسدی و حیدری (۱۳۹۰) و Marofi و همکاران (۲۰۱۲) برای تشخیص روند دما، سبزی‌پرور و شادمانی (۱۳۹۰) و Tabari و همکاران (۲۰۱۱) در تشخیص روند تبخیر و تعرق و Salarijazi و همکاران (۲۰۱۲) در تشخیص روند آبدی رودخانه‌ها اشاره کرد.

ریزمقیاس نمایی بارش روزانه حاصل از مدل گردش عمومی جو NCEP پرداخت و نتیجه گرفت بارش پیش‌بینی شده به کمک سه روش ماشین بردار پشتیبان (SVM)، درخت تصمیم (M5) و نزدیکترین k-همسایگی (KNN) از مدل‌های داده‌کاوی، از میانگین و انحراف معیار کمتری نسبت به بارش مشاهداتی برخوردار هستند و این مدل‌ها مقادیر حدی بارش را نمی‌توانند به خوبی پیش‌بینی کنند. با این وجود روش KNN نسبت به دیگر روش‌ها نتایج بهتری را ارائه می‌کند. یکی از روش‌هایی که می‌تواند سری داده‌های هواشناسی را شبیه‌سازی کرده و بر اساس آن داده‌های هواشناسی را تولید کند مدل مولد داده LARS-WG می‌باشد. این مدل امروزه بطور گسترده در تولید داده‌های اقلیمی براساس نتایج خروجی مدل‌های گردش عمومی جو مورد استفاده قرار می‌گیرد. دقت بالای این مدل در تولید داده‌های آب و هوایی (دما و بارش) مربوط به ۱۸ ایستگاه در کانادا (Williams, 1991) و ۲۰ ایستگاه واقع در اقلیم‌های متفاوت انگلیس (Semnov, 2008) و چند ایستگاه هواشناسی در ایران (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵) گزارش شده است.

از مهم‌ترین اثرات تغییر اقلیم می‌توان به تغییرات آبدی رودخانه‌ها اشاره کرد. برای بررسی آن می‌بایست دبی رودخانه در آینده تحت تاثیر تغییر اقلیم شبیه‌سازی شود. مدل‌های تغییر اقلیم قادرند دما و بارش را برای آینده تحت سناریوهای مختلف اقلیمی شبیه‌سازی کنند. اما برای شبیه‌سازی دبی می‌بایست از مدل‌های بارش-رواناب استفاده شود. در این زمینه می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد. Wurbs و Muttiah (۲۰۰۲) برای شبیه‌سازی اثرات روند تغییرات اقلیمی گذشته در حوضه سن جاکیتو تگزاس از مدل<sup>۱</sup> SWAT استفاده کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که افزایش جریان رودخانه می‌تواند سیلابی شدن بیشتر را به همراه داشته باشد این در حالی است که فراوانی جریان‌های نرمال و جریان‌های حداقل کاهش یافته است.

<sup>۱</sup>-SWAT: Soil And Water Assessment Tool

رودخانه اوغان از رودخانه‌های مهم این حوضه است که رواناب آن به رودخانه گرگانرود متصل شده و در نهایت در سد گلستان ذخیره می‌شود. طول شاخه اصلی رودخانه ۲۶/۲ کیلومتر و شیب خالص شاخه اصلی ۳/۵ درصد می‌باشد. زمان تمرکز برابر ۳/۹ ساعت و زمان تاخیر برابر ۲/۳ ساعت است. موقعیت ایستگاه هیدرومتری حوضه در شکل ۱ نشان داده شده است. از داده‌های ایستگاه گالیکش در یک دوره ۲۶ ساله آماری بین سال‌های ۱۹۸۵-۲۰۱۰ برای پیش‌بینی دما و بارش تحت سناریوهای مختلف اقلیمی و همچنین کالیبراسیون مدل بارش-رواناب استفاده شد.

#### مدل LARS-WG

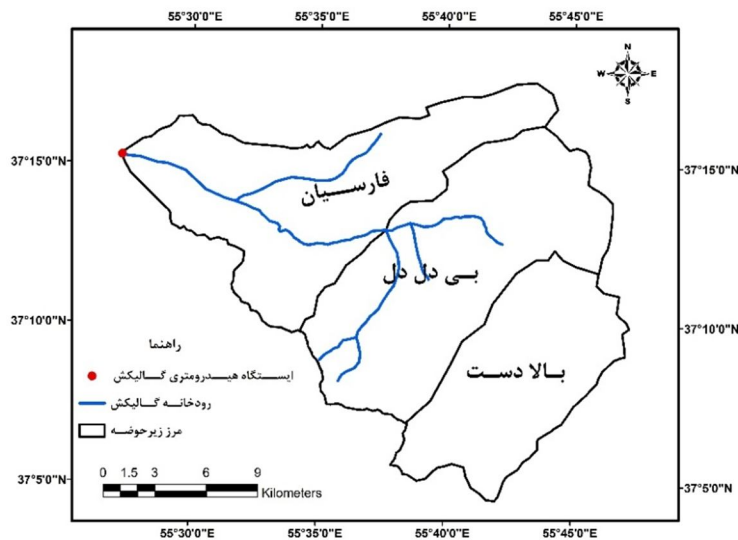
یکی از کاربردی‌ترین مدل‌هایی که در زمینه ریزمقیاس‌نمایی استفاده می‌شود مدل مولد داده LARS-WG می‌باشد. این مدل ابتدا توسط Rasco و همکاران (۱۹۹۱) ارائه و سپس توسط Semenov و همکاران (۱۹۹۸) بازنگری شد. LARS-WG برای شبیه‌سازی وضع هوا احتیاج به مقادیر روزانه بارندگی، دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش خورشید دارد. ابتدا مشخصات آماری مقادیر روزانه داده‌های مشاهده شده وضع هوا در یک مکان معین تحلیل شده و سپس از این مشخصات به همراه یک مولد اعداد شبه-تصادفی برای ساخت سری‌های درازمدت داده‌های روزانه استفاده می‌شود. فرایند ساخت

با توجه به اینکه تخمین روند دبی رودخانه‌ها در شرایط تغییر اقلیم برای مدیریت و برنامه ریزی منابع آب ضروری است و در این زمینه در ایران تحقیقات معدودی صورت گرفته است. هدف این تحقیق بررسی تغییرات مورد انتظار جریان رودخانه گالیکش در استان گلستان تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم می‌باشد. بدین منظور ابتدا یک مدل هیدرولوژیکی برای مدل‌سازی پیوسته بارش-رواناب در حوضه مورد بررسی و اسنچی و صحت‌سنجی می‌شود و در ادامه با در نظر گرفتن ورودی‌های آینده متغیرهای اقلیمی میزان جریان رودخانه در دوره‌های آینده تحت سناریوهای مختلف برآورد می‌گردد. در مرحله بعد با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من-کندال اصلاح شده و روش تخمین‌گر شیب خط سن تغییرات بلند مدت جریان رودخانه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### مواد و روش

##### منطقه مطالعاتی و داده‌ها

منطقه مطالعاتی این تحقیق حوضه آبریز گالیکش، واقع در استان گلستان از زیر حوضه‌های گرگانرود می‌باشد که دارای مساحتی برابر با ۴۰۴/۸ کیلومتر مربع و محیطی برابر با ۸۸/۶ کیلومتر است. دامنه تغییرات ارتفاعی حوضه بین ۳۷۸ تا ۲۴۶۱ متر و ارتفاع متوسط حوضه برابر با ۱۲۹۵ متر از سطح دریا با شیب متوسط ۲۳ درصد می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه گالیکش

برای انجام آزمون مقایسه میانگین‌ها، بطور معمول از آزمون  $t$ -استیودنت استفاده می‌شود که آماره این آزمون در شرایطی که اندازه و واریانس دو نمونه یکسان نباشد به فرم زیر است:

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (1)$$

که در آن،  $n$  اندازه نمونه،  $S^2$  واریانس نمونه و  $\bar{X}$  میانگین نمونه و اندیس‌های ۱ و ۲ معرف نمونه‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده‌اند. پس از محاسبه  $t$ ، احتمال مقادیر بزرگتر از  $|t|$  (یعنی  $p$ -value) بدست آمده از توزیع آماری  $t$  با درجه آزادی  $n_1+n_2-2$  در سطوح معنی‌داری ۵ و ۱ درصد مقایسه می‌شود. چنانچه  $p$ -value کمتر از ۵ یا ۱ درصد باشد، فرضیه تساوی میانگین‌ها رد می‌شود.

پس از ارزیابی دقت مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی مقادیر دما و بارش ماهانه، از نتایج خروجی مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سه سناریوی مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل A1B، A2 و B1 استفاده شد. جهت بررسی تغییر در میانگین داده‌ها و تغییر اقلیم، آزمون مقایسه‌های میانگین بین مقادیر مشاهداتی

داده‌های روزانه با تعیین وضعیت بارندگی در یک روز معین شروع شده و سپس مقدار بارندگی و سایر متغیرهای وضع هوا شامل دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش خورشید تولید می‌شوند (بذرافشان، ۱۳۸۸).

قبل از تولید داده توسط مدل LARS-WG، این مدل یک سری داده اقلیمی بدون بکاربردن هیچ سناریویی تولید می‌کند. در صورتی که بین سری داده‌های تولید شده و مشاهداتی، از لحاظ مقدار میانگین و واریانس اختلاف معنی‌داری وجود نداشته باشد می‌توان از داده‌های این مدل برای تولید داده‌های اقلیمی تحت سناریوهای مختلف استفاده کرد. با توجه به اینکه در این پژوهش، از داده‌های ماهانه استفاده شده است، آزمون مقایسه میانگین‌ها برای مقایسه میانگین داده‌های ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهداتی جهت ارزیابی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش مورد استفاده قرار گرفت. در این آزمون دو فرضیه به صورت زیر مطرح می‌شود:

فرضیه  $H_0$ : میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده مساوی میانگین داده‌های مشاهده شده است.

فرضیه  $H_1$ : میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده با میانگین داده‌های مشاهده شده فرق می‌کند.

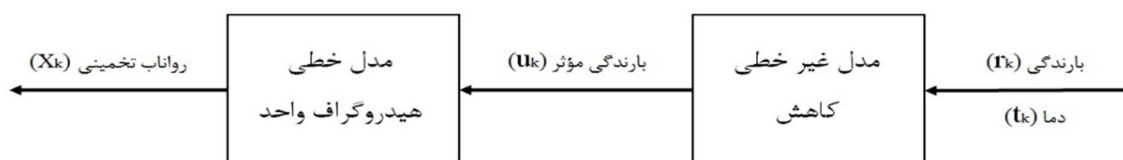
داده‌های ماهانه بارش و دما در دوره فعلی و مقادیر شبیه-سازی شده تحت سه سناریوی فوق انجام شد.

سناریوی AIB که ترسیم کننده جهانی با رشد سریع اقتصادی و بدبینانه جمعیتی است به طوری که بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن رخ داده و پس از آن روند افزایش جمعیت، کاهش خواهد بود. همچنین، رشد سریع فناوری های نوین و مؤثر بر اساس این سناریو در دوره‌های آتی رخ خواهد داد. سناریوی A2 که مبین رشد سریع جمعیت جهان اما همراه با رشد اقتصادی ناهمگن در مناطق مختلف بوده و بنابراین تغییر اقلیم متوسطی برای دوره های پیش رو را ترسیم می کند. بر طبق سناریوی خوشبینانه B1 نیز در دهه های آتی همگرایی جمعیت در سطح جهان رخ خواهد داد و تغییر در ساختار اقتصادی با کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و مؤثر، صورت خواهد گرفت (IPCC, 2007).

#### مدل هیدرولوژیکی IHACRES

به منظور بررسی اثر تغییرات متغیرهای اقلیمی بر رواناب و منابع آبی استفاده از مدل‌های بارش-رواناب ضروری می‌باشد. بدلیل نیاز به محاسبات در شرایط مختلف توزیع‌های احتمالی به عنوان توزیع پیشین و همچنین آنالیز حساسیت متغیرهای ورودی، به تکرارهای بسیار زیادی احتیاج می‌باشد که استفاده تنها از بسته‌های نرم‌افزاری را ممکن نمی‌ساخت، لذا تصمیم به توسعه مدلی با این ویژگی شد که براساس بررسی‌های عمل آمده الگوریتمی که توسط Hornberger و Jakeman (۱۹۹۳) برای شبیه‌سازی بارش-رواناب ارائه شده، با توجه به ورودی‌های مورد نیاز و قوام علمی لازم، مناسب تشخیص داده شد.

اساس این روش از دو مدول غیرخطی تلفات و مدول هیدروگراف واحد خطی تشکیل می‌شود. بدین شکل که در ابتدا بارش ( $r_k$ ) و دما ( $t_k$ ) در هر گام زمانی  $k$  توسط مدول غیرخطی، به بارش مؤثر ( $u_k$ ) تبدیل شده و سپس بوسیله مدول خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲. چگونگی شبیه‌سازی بارش-رواناب همراه با مدول‌های خطی و غیرخطی در روش ارائه شده توسط جکمن و هورنبرگر (۱۹۹۳)

اشاره کرد، به طوری که جهت استفاده از مدل IHACRES در حوزه‌های فاقد آمار بین خصوصیات حوزه آبخیز از قبیل تراکم زهکشی، شیب، طول دامنه و ... و پارامترهای مدل از قبیل  $f$ ،  $c$ ،  $1/c$  و غیره رابطه رگرسیونی برقرار کرده و مقادیر بهینه پارامترها تعیین می‌گردد. اما در حوزه‌های دارای آمار (نظیر حوزه آبخیز گالیکش) بر اساس سری‌های زمانی مورد استفاده و به روش آزمون و خطا مقادیر بهینه پارامترهای مدل تعیین می‌گردد (Croke et al., 2005).

مدل مذکور به سه سری زمانی داده شامل داده های بارش، درجه حرارت و داده‌های مشاهداتی دبی رودخانه نیاز دارد.

مدل IHACRES در حوزه‌های آبخیز با اندازه‌های مختلف از ۴۹۰ متر مربع (در چین) تا نزدیک ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع و همچنین برای پایه‌های زمانی ۶ دقیقه تا یک ماه با موفقیت به کار رفته است. از سایر موارد استفاده مدل IHACRES می‌توان به کاربرد آن در حوزه‌های فاقد آمار دبی و همچنین حوزه‌های دارای آمار

در این آزمون، اگر  $X_1, X_2, \dots, X_n$  مشاهدات مورد نظر باشند، آنگاه داریم:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (5)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (6)$$

در واقع در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود. در این مرحله می‌توان بجای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها، از مرتبه داده‌ها در مجموعه مورد نظر (سری زمانی) استفاده کرده و مرتبه‌ها را به همین روش مقایسه نمود. به این دلیل، این آزمون یک آزمون بر پایه مرتبه داده‌ها می‌باشد.

با فرض اینکه داده‌ها مستقل بوده و توزیع یکنواخت دارند، میانگین و واریانس  $S$  از روابط زیر بدست می‌آید:

$$E(S) = 0 \quad (7)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (8)$$

در رابطه بالا  $n$  تعداد داده‌ها،  $m$  تعداد گره‌ها و  $t$  تعداد داده در هر گره می‌باشد.

منظور از گره این است که اگر از یک مقدار داده، بیشتر از یکی وجود داشته باشد، این مقادیر مساوی، تشکیل یک گره را می‌دهند و تعداد این مقادیر مساوی در گره  $m$  برابر  $t$  می‌باشد.

آماره این آزمون ( $Z$ ) دارای توزیع نرمال بوده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (9)$$

جهت ارزیابی مدل از معیارهای ضریب همبستگی ( $r$ )، خطای مطلق ( $MBE^4$ )، ناش-ساتکلیف ( $NSE^5$ ) و جذر میانگین مربعات خطا ( $RMSE^3$ ) استفاده شد که روابط آنها در زیر ارائه شده است:

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (S_i - O_i) \quad (2)$$

$$NSE = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - O_{mean})^2} \right] \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{N}} \quad (4)$$

#### آزمون تعیین روند

برای انجام تحلیل روند سری‌های زمانی از آزمون ناپارامتری من-کندال (که توسط Mann (۱۹۴۵) ارائه و توسط Kendall (۱۹۷۵) توسعه یافت) و برای تعیین شیب خط روند از روش تخمین گر سن استفاده شد. آزمون من - کندال بر پایه مرتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است. این آزمون برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها (عدم وجود روند) در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zhang et al, 2000).

فرض مورد بررسی در این آزمون به صورت زیر می‌باشد:

$H_0$ : داده‌ها به صورت تصادفی توزیع شده‌اند (روند ندارند).

$H_1$ : داده‌ها دارای روند هستند.

- 1- Mean Of Bias Error
- 2- Nash Sutcliffe
- 3- Root Of Mean Square Error

ارائه شدروشی ناپارامتری است که با استفاده از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی، یک شیب میانه را برای سری زمانی داده‌ها از رابطه ۱۰ محاسبه می‌کند. در روش سن برای هر جفت داده متوالی یک شیب محاسبه می‌شود. شیب‌های محاسبه شده تشکیل یک سری زمانی می‌دهند که میانه آنها شیب خط روند را نشان می‌دهد.

$$\beta = \text{Median}\left(\frac{x_j - x_l}{j - l}\right) \quad \forall j > l \quad (13)$$

که در آن  $\beta$  برآوردگر شیب خط روند و  $X_j$  مقدار مشاهده  $j$ ام و  $X_l$  مقدار مشاهده  $l$ ام می‌باشد.  $j$  یک واحد زمانی بعد از  $l$  می‌باشد. مقادیر مثبت (منفی)  $\beta$  نشان‌دهنده روند افزایشی (کاهشی) در سری داده‌هاست (Sen, 1968).

در پژوهش حاضر پس از ارزیابی مدل مولد داده IHACRES و واسنجی مدل بارش-رواناب IHACRES طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۵، داده‌های دما و بارش برای دوره اقلیمی آینده (۲۰۳۰-۲۰۱۱) بر اساس مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 پیش‌بینی شدند و سپس دبی برای این دوره با استفاده از مدل بارش-رواناب شبیه‌سازی شد. با تشکیل سری‌های فصلی و نیمه‌سالانه، آزمون تشخیص روند من-کندال اصلاح شده اجرا شد.

### نتایج و بحث

#### نتایج مدل LARS-WG

برای آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم و تشخیص تغییر در داده‌ها، از آزمون مقایسه میانگین‌ها برای سری‌های زمانی بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر در مقیاس زمانی ماهانه استفاده شد. نتایج این آزمون بطور مجزا برای سری داده‌های تاریخی و سری داده‌های تولید شده برای دوره آینده تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 مطابق جدول‌های ۱ و ۲ می‌باشد. مقادیر ارائه شده در این جدول‌ها مقدار P-Value حاصل از بکارگیری آزمون  $t$  می‌باشد. در صورتی که مقدار P-Value کمتر از ۰/۰۵

این آزمون، یک آزمون دو طرفه است. بنابراین در صورتیکه  $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$  باشد، در سطح اطمینان  $\alpha$  فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد. در حالت رد فرض صفر (وجود روند)، در صورتی که  $S > 0$  باشد، سری زمانی دارای روند مثبت (صعودی) و در صورتی که  $S < 0$  باشد، سری زمانی دارای روند منفی (نزولی) خواهد بود.

Hamed and Rao (۱۹۹۸) برای حذف اثرات ضرایب خود همبستگی معنی‌دار از سری زمانی روش من‌کندال را مورد اصلاح و تعدیل قرار داده‌اند. برای اینکار ابتدا آزمون ضریب خود همبستگی مرتبه  $k$ ام ( $r_k$ ) بر اساس رابطه زیر انجام می‌شود:

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

که در آن  $k=1,2,\dots,n/4$  می‌باشد. اگر

$$\frac{1-1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k} \leq r_k \leq \frac{1+1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k}$$

باشد آنگاه داده‌ها در سطح ۱۰ درصد مستقل فرض می‌شود و روند از همان روش من-کندال تشخیص داده می‌شود اما اگر ضریب خود همبستگی مرتبه  $k$ ام غیر مستقل و معنی‌دار فرض شود در رابطه ۶ به جای  $\text{Var}(S)$  از واریانس اصلاح شده  $(\text{Var}(S))^*$  مطابق رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\text{Var}(s)^* = \text{Var}(s) \frac{n}{n^*} \quad (11)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \quad (12)$$

که در آن  $r_i$  ضرایب همبستگی با تأخیر  $i$  می‌باشد که از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود.

روش تخمین‌گر شیب سن که توسط Sen (۱۹۶۸) برای تعیین شیب خط روند در یک سری زمانی داده‌ها



در ماه‌ها و در سناریوهای مختلف اقلیمی منظم نیست (شکل ۳) بطوری که در برخی از ماه‌ها برخی از سناریوها افزایش و برخی دیگر کاهش بارش را نشان می‌دهند. تغییرات بارش مورد بررسی قرار گرفته در تمام ماه‌های سال معنی‌دار نیست (جدول ۲). ولی در نهایت متوسط مجموع بارش سالانه برای هر سه سناریو کاهش می‌یابد.

#### نتایج اجرای مدل بارش-رواناب

شکل ۶ و جدول ۳ وضعیت عملکرد مدل IHACRES را در دوره واسنجی (۲۰۰۲-۱۹۸۵) و صحت‌سنجی (۲۰۰۲-۲۰۰۸) نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بدست آمده مدل IHACRES با ضریب همبستگی  $r=0/82$  در دوره واسنجی و  $r=0/74$  در دوره صحت-سنجی بخوبی توانسته است الگوی تغییرات رواناب منطقه مورد مطالعه را شبیه‌سازی کند. همچنین با توجه به مقادیر خطای NSE بدست آمده از مدل که در محدوده خطای قابل قبول ( $0/36 < NSE < 0/75$ ) واقع شده است، نتایج مدل رضایت‌بخش به‌شمار می‌رود. همچنین باید توجه داشت که با توجه به شکل ۶، مدل دبی‌های حداکثر را تا حدی کمتر از مقادیر مشاهداتی شبیه‌سازی کرده است.

باشد فرض صفر رد شده و بدان معناست که در سطح ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری بین میانگین‌های داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وجود دارد. نتایج جدول ۱ نشان داد که بین میانگین داده‌های دما و بارش تولید شده توسط مدل LARS-WG و داده‌های مشاهداتی، هیچ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و مدل LARS-WG توانسته است با دقت قابل قبولی، میانگین‌های دما و بارش را شبیه‌سازی کند.

میانگین ماهانه حداقل و حداکثر دماهای روزانه در تمام ماه‌های سال تغییر (مقادیر P-Value بزرگتر از ۰/۰۵) افزایشی را نشان می‌دهد (جدول ۲ و شکل ۳). البته افزایش در ماه‌های گرم سال بیشتر از دیگر ماه‌های سال و همچنین افزایش دمای حداقل بیشتر از دمای حداکثر می‌باشد. در بین سناریوهای اقلیمی، سناریوی A2 نسبت به دیگر سناریوها افزایش دمای بیشتری را نشان می‌دهد. معنی‌دار نبودن اختلاف بین میانگین ماهانه داده‌های دمای حداقل و حداکثر در دوره آتی بدون در نظر گرفتن سناریو با داده‌های دوره مشاهداتی، توانایی مدل Lars-WG را در شبیه‌سازی دمای هوا و بارش نشان می‌دهد. میانگین ماهانه بارش نیز در بیشتر ماه‌های سال در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی تغییر را نشان می‌دهد. البته این تغییرات

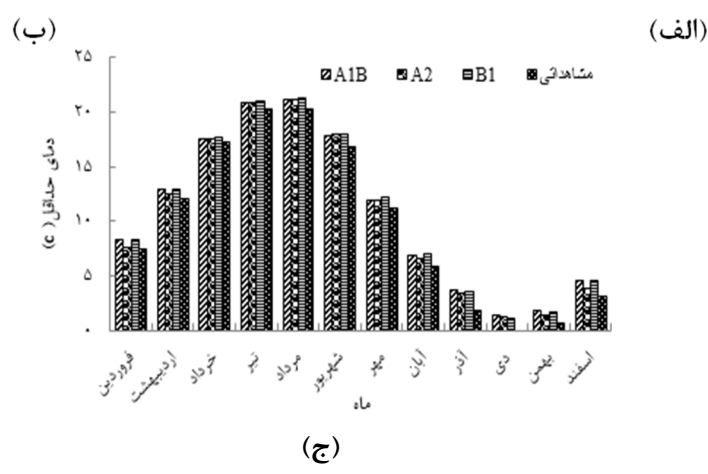
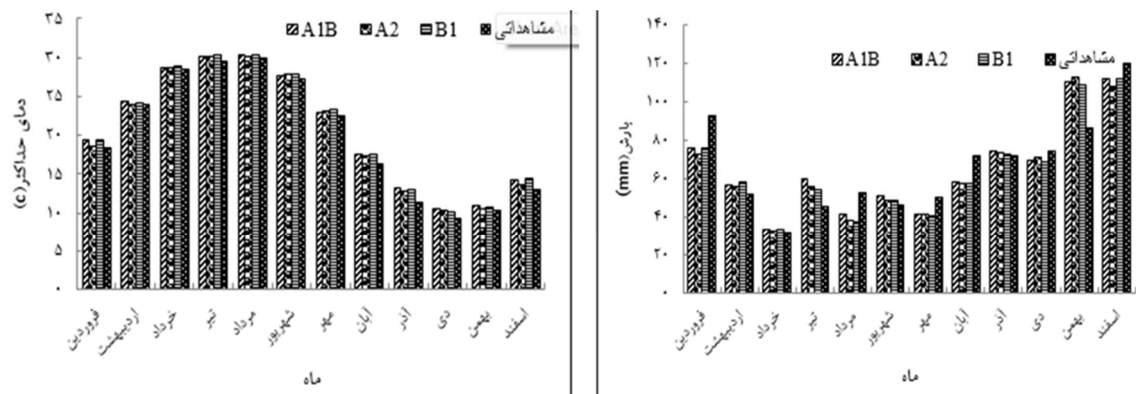
جدول ۱. مقادیر P-Value حاصل از آزمون t برای مقایسه میانگین‌های ماهانه حداقل و حداکثر دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-

WG با داده‌های دوره مشاهداتی

ماه	بارش (mm)	حداکثر دما (°C)	حداقل دما (°C)
فروردین	۰/۱۹۴	۰/۵۳۰	۰/۹۹۷
اردیبهشت	۰/۶۸۹	۰/۵۴۳	۰/۶۷۲
خرداد	۰/۶۰۸	۰/۳۰۶	۰/۴۲۰
تیر	۰/۲۵۸	۰/۶۷۱	۰/۶۲۴
مرداد	۰/۳۲۶	۰/۲۰۳	۰/۹۲۵
شهریور	۰/۲۴۲	۰/۱۴۹	۰/۶۹۰
مهر	۰/۷۱۴	۰/۴۲۳	۰/۷۹۱
آبان	۰/۱۸۱	۰/۸۵۷	۰/۷۴۱
آذر	۰/۸۰۷	۰/۴۴۸	۰/۱۵۷
دی	۰/۹۴۳	۰/۶۱۸	۰/۶۵۱
بهمن	۰/۳۵۸	۰/۱۷۵	۰/۶۵۰
اسفند	۰/۷۷۳	۰/۷۱۱	۰/۲۵۷

جدول ۲. مقادیر P-Value حاصل نتایج آزمون t برای مقایسه میانگین‌های داده‌های تولید شده دما و بارش تحت سناریوهای مختلف در دوره اقلیمی آینده (۲۰۱۱-۲۰۳۰) با دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۱۰)

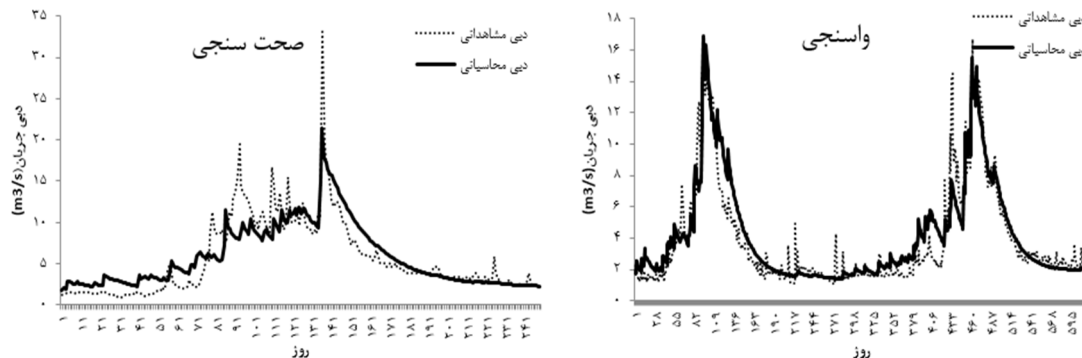
ماه	بارش (mm)			حداکثر دما (°C)			حداقل دما (°C)		
	B1	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1	A2	A1B
فروردین	۰/۹۷۱	۱/۲۲۷	۱/۰۲۹	-۰/۰۶۶	-۱/۰۵۷	-۱/۹۵۷	-۲/۰۵۴	-۳/۰۵۷	-۳/۵۷۱
اردیبهشت	-۰/۲۴۴	-۰/۰۴۲	-۰/۱۳۷	-۰/۰۷۴	-۱/۲۰۴	-۱/۷۰۱	-۲/۶۸۲	-۵/۰۱۵	-۴/۷۰۱
خرداد	-۱/۶۵۷	-۱/۴۹	-۱/۶۵۲	-۱/۲۱۹	-۱/۶۱۵	-۳/۰۳۸	-۲/۶۹۸	-۳/۴۰۴	-۳/۴۰۴
تیر	۰/۲۱۷	۰/۲۷۴	۰/۴	-۲/۵۵۱	-۳/۱۵۵	-۴/۴۸۳	-۴/۲۶	-۵/۳۰۱	-۵/۳۰۱
مرداد	۲/۰۰۳	۱/۹۰۴	۱/۵۴۱	-۱/۳۳۶	-۱/۶۷۴	-۳/۵۱۳	-۳/۳۵۷	-۳/۸۳۸	-۳/۸۳۸
شهریور	-۰/۰۰۴	-۰/۰۴۱	-۰/۲۳۱	-۲/۶۲۴	-۲/۷۴۳	-۴/۸۴۶	-۵/۳۶۵	-۵/۳۶۳	-۵/۳۶۳
مهر	۱/۹۰۸	۱/۸۴۶	۱/۸۱۵	-۱/۹۱۳	-۲/۳۱۴	-۳/۲۸۳	-۳/۳۹۳	-۳/۹۱۶	-۳/۹۱۶
آبان	۱/۳۸۱	۱/۴۰۵	۱/۳۴۰	-۲/۲۸۳	-۳/۲۰۳	-۴/۱۳۶	-۲/۵۷۲	-۴/۱۳۶	-۴/۱۳۶
آذر	-۰/۳۶۱	-۰/۴۴	-۰/۵۱۱	-۴/۴۰۹	-۴/۹۰۹	-۶/۶۰۷	-۵/۵۱۰	-۶/۱۱۶	-۶/۱۱۶
دی	۰/۷۲۸	۰/۴۴۶	۰/۵۸۴	-۲/۷۰۸	-۲/۱۷۷	-۳/۷۲۹	-۳/۲۶۶	-۲/۷۳۲	-۲/۷۳۲
بهمن	-۲/۹۳۳	-۳/۱۹۳	-۳/۰۵	-۱/۲۵۶	-۰/۵۷۹	-۱/۰۱۳	-۲/۴۷۱	-۳/۰۷۴	-۳/۰۷۴
اسفند	۱/۲۱۱	۱/۵۳۴	۱/۲۱۶	-۲/۰۵۴	-۳/۴۷۶	-۴/۷۴۱	-۲/۷۵۶	-۴/۸۹۸	-۴/۸۹۸



شکل ۳. میانگین‌های ماهانه مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۱۰) و شبیه‌سازی شده (الف) بارش، (ب) دمای حداکثر و (ج) دمای حداقل در دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) تحت سناریوهای مختلف

جدول ۳. معیارهای سنجش خطا بین مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بوسیله مدل IHACRES

MBE	NSE	RMSE	r	
-۰/۱۸	۰/۶۷	۱/۵	۰/۸۲	واسنجی
۰/۰۱۷	۰/۵۲	۱/۴	۰/۷۴	صحت سنجی



شکل ۶. سری زمانی رواناب مشاهداتی و مدل شده توسط IHACRES در دوره واسنجی و صحت سنجی

می‌دهد که در نیمه اول سال هیچ گونه روند معنی‌داری وجود ندارد در حالی که در نیمه دوم سال شاهد روند کاهشی هستیم. با توجه به اینکه در فصل تابستان رودخانه در حالت کم‌آبی قرار دارد بنابراین عدم وجود روند در فصل بهار، وضعیت روند در نیمه اول سال را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در بین سناریوهای مختلف اقلیمی نیز بترتیب سناریوهای A1B، A2 و B1 شیب کاهشی بیشتری را نشان می‌دهد بطوری که می‌توان بیان کرد در بین سناریوهای اقلیمی، سناریوی A2 حالت بدبینانه‌تری را برای منطقه مطالعاتی در نظر می‌گیرد.

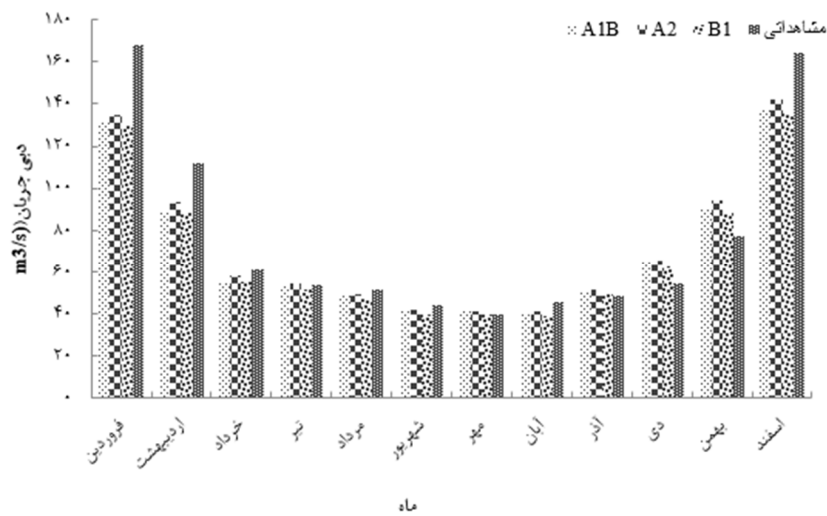
آزمون مقایسه میانگین‌ها بین سری داده‌های دبی مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل هیدرولوژیکی IHACRES براساس خروجی مدل LARS-WG (جدول ۷) نشان داد که در فصل بهار همچنین نیمسال اول، برای هر سه سناریو قدر مطلق مقدار  $t$  محاسبه شده بزرگتر از مقدار  $t$  بحرانی (۲/۰۹۳) در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد، پس فرض برابری میانگین‌ها به احتمال ۹۵ درصد مورد تأیید است. اما در دیگر فصل‌ها و نیمه دوم سال این اختلاف معنی‌دار است که نشان دهنده تغییر اقلیم در منطقه می‌باشد. با توجه روند کاهشی در منطقه،

پس از واسنجی مدل هیدرولوژیکی، سری زمانی رواناب ماهانه حوضه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ بر اساس مقادیر دما و بارش تولید شده توسط مدل LARS-WG برای هر سه سناریوی A1B، A2 و B1 شبیه‌سازی شد. شکل ۷ میانگین ماهانه رواناب شبیه‌سازی شده در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوهای مختلف را در مقایسه با میانگین مقادیر مشاهداتی در دوره فعلی (۲۰۱۰-۱۹۸۵) را نشان می‌دهد. برای انجام تحلیل روند و بررسی تغییرات در میانگین دبی، سری‌های زمانی فصلی و نیم‌سالانه رواناب نیز تشکیل شد.

#### نتایج حاصل از بررسی روند و تغییرات میانگین دبی

نتایج آزمون روند با استفاده از دو آزمون من-کندال اصلاح شده و آزمون شیب خط سن (Q) بر روی سری دبی‌های تشکیل شده به دو صورت فصلی و نیم‌سالانه و تحت هر سه سناریوی اقلیمی مورد تحلیل قرار گرفت (جدول ۶-۴). نتایج نشان می‌دهد که در سری‌های فصلی، در فصل بهار هیچ‌گونه روند معنی‌داری مشاهده نمی‌شود ولی دیگر فصل‌های سال شاهد روند کاهشی دبی می‌باشد. همچنین نتایج تحلیل روند نیمه‌سالانه نشان

مدل‌های تغییر اقلیم پیش‌بینی می‌کنند منطقه مطالعاتی در سال‌های آینده به سمت خشکی پیش‌رود.



شکل ۷. میانگین دراز مدت ماهانه رواناب طی دوره مشاهده شده و دوره تغییرات سناریوهای اقلیمی

جدول ۴. نتایج آزمون‌های من-کندال و شیب سن برای دبی‌های فصلی

سناریو	فصل تابستان			فصل بهار		
	p-value	Q	Z	P-value	Q	Z
A1B	۰/۰۰۳	۰/۰۲۶**	-۲/۶۲**	۰/۱۴۶	-۰/۰۷۱	-۱/۴
A2	۰/۰۰۷	-۰/۰۳۳**	-۲/۷۸**	۰/۱۴۶	-۰/۰۷۱	-۱/۴۶
B1	۰/۰۰۷	۰/۰۲۲**	-۲/۷۵**	۰/۱۴۶	-۰/۰۷۳	-۱/۴

جدول ۵. نتایج آزمون‌های من-کندال و شیب سن برای دبی‌های فصلی

سناریو	فصل زمستان			فصل پاییز		
	P-value	Q	Z	P-value	Q	Z
A1B	۰/۰۰۹	-۰/۰۱۲*	-۲/۵*	۰	-۰/۰۳۱**	-۲/۷**
A2	۰/۰۰۹	-۰/۱۲۱*	-۲/۵*	۰	-۰/۰۳۷**	-۲/۸۳**
B1	۰/۰۰۹	-۰/۱۱۷**	-۲/۵۶**	۰	-۰/۰۲۸**	-۲/۸۳**

جدول ۶. نتایج آزمون‌های من-کندال و شیب سن برای دبی‌های نیمه‌سالانه

سناریو	نیمه دوم سال			نیمه اول سال		
	p-value	Q	Z	p-value	Q	Z
A1B	۰/۰۰۲	-۰/۰۷۷**	-۲/۹۵**	۰/۰۶۴	-۰/۰۶۲	-۱/۷۲
A2	۰/۰۰۱	-۰/۰۸۱**	-۲/۹۲**	۰/۰۲۴	-۰/۰۶۸	-۱/۷۲
B1	۰/۰۰۱	-۰/۰۷۳**	-۲/۹۹**	۰/۰۲۴	-۰/۰۶۲	-۱/۶۵

جدول ۷. نتایج آزمون t برای مقایسه میانگین‌های دبی جریان شبیه سازی شده تحت سناریوهای مختلف در دوره اقلیمی آینده (۲۰۳۰-۲۰۱۱) با دوره مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۸۵)

فصل	سناریوی A1B		سناریوی A2		سناریوی B1	
	آماره t	p-value	آماره t	p-value	آماره t	p-value
بهار	۲/۶۱۳	۰/۰۱۷	۲/۳۰۶	۰/۰۳۳	۲/۶۶۶	۰/۰۱۵
تابستان	۰/۷۶۳	۰/۴۵۵	۰/۸۳۳	۰/۴۱۵	۱/۲۴۰	۰/۲۳۰
پاییز	۱/۴۸۵	۰/۱۵۴	۱/۴۳۴	۰/۱۶۸	۱/۹۸۴	۰/۰۶۲
زمستان	۰/۱۳۶	۰/۸۹۳	-۰/۲۳۶	۰/۸۱۶	۰/۳۹۳	۰/۶۹۹
نیم سال اول	۲/۳۱۰	۰/۰۳۲	۲/۱۳۰	۰/۰۴۶	۲/۵۵۹	۰/۰۱۹
نیم سال دوم	۰/۶۴۲	۰/۵۲۸	۰/۲۹۹	۰/۷۶۸	۱/۰۱۵	۰/۳۲۳

### نتیجه گیری

با توجه با اینکه اثر تغییر اقلیم در مناطق مختلف می‌تواند متفاوت باشد، بنابراین نتیجه‌ای که در یک منطقه با شرایط خاص گرفته می‌شود را نمی‌توان به منطقه‌ای دیگر تعمیم داد. برای مقایسه نتایج این پژوهش با کارهای انجام شده می‌بایست کارهایی که در این منطقه و یا مناطق اطراف آن با شرایط مشابه انجام شده مورد ارزیابی قرار گیرد. براین اساس نتایج این پژوهش با نتایج حاصل از پژوهش بختیاری و همکاران (۲۰۱۳) که نشان از کاهش چشمگیر مقدار رواناب در سرشاخه‌های گرگانرود و کاهش بارندگی در ماه‌های خشک سال می‌باشد و نیز پژوهش آذری و همکاران (۲۰۱۳) که اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم بر حوضه آبخیز گرگانرود را با استفاده از مدل SWAT مورد بررسی قرار داده و کاهش مقدار بارندگی سالانه و افزایش آبدهی را نتیجه گرفتند مطابقت دارد. در این تحقیق تغییرات دبی جریان تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم در حوضه آبریز گالیکش در استان گلستان مورد بررسی قرار گرفته است. مهم‌ترین نتایجی که از تحلیل روند دبی در ایستگاه هیدرومتری حوضه آبریزناشی از تغییر اقلیم تحت سناریوهای مختلف اقلیمی بدست آمد عبارتند از: مدل LARS-WG توانایی خوبی در شبیه‌سازی بارش و دما در منطقه مطالعاتی دارد و میانگین

بارش و دما را می‌تواند به خوبی شبیه‌سازی کند. در منطقه مطالعاتی تحت سناریوهای مختلف اقلیمی پیش‌بینی می‌شود دمای هوا در ماه‌های مختلف سال افزایش پیدا کند. اما در مورد بارش در برخی از ماه‌های سال افزایش و برخی از ماه‌های دیگر کاهش بارش پیش‌بینی می‌شود ولی در مجموع بارش در کل سال کاهش را نشان می‌دهد. مدل هیدرولوژیکی IHACRES با دقت قابل قبولی می‌تواند دبی روزانه را در بیشتر موارد شبیه سازی کند ولی وقایع حدی را کمتر از مقدار و با خطای بیشتری برآورد می‌کند. با توجه به افزایش دما و کاهش بارش تحت سناریوهای مختلف اقلیمی پیش‌بینی می‌شود دبی نیز کاهش پیدا کند. این کاهش دبی در فصل بهار و نیمه اول سال روندی را نشان نمی‌دهد ولی در دیگر فصل‌ها و به ویژه نیمه دوم سال روند کاهشی معنی‌داری را نشان می‌دهد. آزمون مقایسه میانگین‌ها نیز نتایج تحلیل روند را تایید می‌کند و نشان می‌دهد که بین سری داده‌های مشاهداتی و پیش-بینی شده دبی توسط مدل IHACRES، در فصل بهار و نیمه اول سال برای هر سه سناریو اختلاف معنی‌داری وجود ندارد در حالیکه در سایر فصول و نیمه دوم سال این اختلاف از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.

## فهرست منابع

- اسدی، ا. و حیدری، ا. ۱۳۹۰. تحلیل تغییرات سری‌های دما و بارش شیراز طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۱. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۴۱ (۱): ۳۹-۴۲.
- آذری، م.، مرادی، ح.ر.، ثقفیان، ب. و فرامرزی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در حوضه آبخیز گرگانرود. نشریه آب و خاک. ۲۷ (۳): ۵۴۷-۵۳۷.
- بابائیان، ا. و نجفی‌نیک، ز. ۱۳۸۵. معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان، دوره آماری (۲۰۰۳-۱۹۶۱). مجله نیوار (۶۳-۶۲)، ۳۰-۲۴.
- بختیاری، ب.، صاحبی، ح. و قادری، ک. ۱۳۹۲. کاربرد مدل WEAP و بررسی اثر تغییر اقلیم بر سیستم‌های برداشت آب حوزه آبریز گرگانرود. پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران.
- بذرافشان، ج. ۱۳۸۸. ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی و جستجوی روش مناسب برای برآورد تاثیر کمی آن بر عملکرد محصول گندم و جو. رساله دکتری هواشناسی کشاورزی. دانشگاه تهران. ۲۵۳ص.
- خزائی، م. ۱۳۹۵. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی یک حوضه آبریز کوهستانی در ایران. حفاظت منابع آب و خاک، ۵ (۳): ۵۴-۴۳.
- سبزی‌پرور، ع.ا. و شادمانی، م. ۱۳۹۰. تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من-کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران. نشریه آب و خاک. ۴ (۲۵): ۸۳۴-۸۲۳.
- سهرابیان، ا.، مفتاح هلقی، م.، قربانی، خ.، گلین، س. و ذاکری‌نیا، م. ۱۳۹۴. بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر آبدهی حوضه با دخالت مدل هیدرولوژی (مطالعه موردی: حوضه گالیکش در استان گلستان). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲ (۲۲): ۱۲۵-۱۱۱.
- قربانی، خ. ۱۳۹۴. ارزیابی مدل‌های داده‌کاوی در ریزمقیاس نمایی بارش بر اساس داده‌های مدل گردش عمومی NCEP: مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه. مجله پژوهش آب ایران. ۸ (۱۵): ۱۸۶-۱۷۷.
- Abbaspour, K.C., Faramarzi, M., Ghasemi, S.S. and Yang, H. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Resources Research*. 45(10): p. W10434.
- Asgari, A., Rahimzade, F., Mohammadian, N. and Fattahi, E. 2008. Trend analysis of extreme precipitation indices over Iran, *Iran-Water Resources Research*, 3: 42-55.
- Chen H. Yu Xu C. and Guo Sh. 2012. Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. *Journal of hydrology*, 434-435: 36-45.
- Croke, B.F.W., F. Andrews, J. Spate and S.M. Cuddy. 2005. IHACRES user guide. Technical Report 2005/19. Second Edition. iCAM, School of Resources, Environment and Society, The Australian National University, Canberra. <http://www.toolkit.net.au/ihacres>.
- Dibike B. Y. and Coulibaly P. 2006. Temporal neural networks for downscaling climate variability and extremes. *Journal. Neural Networks*, 19: 135-144.
- Ghahraman, B. 2006 Time trend in the annual temperature of Iran, *Turk J. Agric*, 30: 439-448.
- Hamed, K.H., and Rao, A.R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for auto correlated data. *Journal of hydrology*. 204: 182-196.
- Hewitson B. C. and Crane R. G. 1996. Climate downscaling: Techniques and applications. *Climate Research*. 7:85-95.
- IPCC. 2001. Climate Change: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 881 pp.
- IPCC. 2007. Summary for policy makers Climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report. Cambridge University Press, 881 PP.
- Jakeman, A.J. and Hornberger, G. M. (1993), "How Much Complexity Is Warranted in a Rainfall Model?" *Water resources research*, 29(8): 2637-2649.

- Jiang, T., Su, B. and Hartmann, H. (2007). Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze River Basin, 1961-2000, *Geomorphology*, 85, 143-154.
- Karamooz, M., and Araghinejad, Sh. 2005. *Advanced Hydrology*. Amirkabir University. Press, 464 p.
- Kendall M.G. 1975. Rank correlation measures. Charles Griffin, London.
- Mann H.B. 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13, *MathSci Net*, pp. 245-259.
- Marofi, S., Soleymani, S., Salarijazi, M., & Marofi, H. (2012). Watershed-wide trend analysis of temperature characteristics in Karun-Dez watershed, southwestern Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 110(1-2), 311-320.
- Moazed, H., Salarijazi, M., Moradzadeh, M., & Soleymani, S. (2012). Changes in rainfall characteristics in Southwestern Iran. *African Journal of Agricultural Research*, 7(18), 2835-2843.
- Muttiah R.S. and Wurbs R.A. 2002. Modeling the impacts of climate change on water supply reliabilities. *Water International*, 27(3): p. 407-419.
- Rasco, P. Szeidl, L. and Semenov, M.A. 1991. A serial approach to local stochastic models. *J. Ecological Modeling* 57, 27-41.
- Sajjad Khan M. Coulibaly P. and Dibike Y. 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *J. Hydrology*, 319(4): 357-382.
- Salarijazi, M., Akhond-Ali, A. M., Adib, A., & Daneshkhah, A. (2012). Trend and change-point detection for the annual stream-flow series of the Karun River at the Ahvaz hydrometric station. *African Journal of Agricultural Research*, 7(32), 4540-4552.
- Semenov, M.A., 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Climate Research* 35, 203-212.
- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., and Richardson, C.W. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Res.* 10: 95-107.
- Sen, P.K. 1968. Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*. 63: 1379-1389.
- Steele- Dunne, S., Lynch, P., McGrath, R., Semmler, T., Wang, Sh., Hanafin, J. and Nolan, P. (2008): The impact of climate change on hydrology in Ireland. *Journal of Hydrology*, 356: 28-45.
- Tabari H., Marofi S., Aeni A., Hosseinzadeh Talaei P., and Mohammadi K. 2011. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran, *Agr. Forest Meteorol*, 151 (2): 128-136.
- Williams, J.R., 1991. Runoff and soil erosion. In: Hanks, R.J., Ritchie, J.T. (Eds.) *Modeling Plant and Soil Systems*. Agronomy Monograph No. 31, pp. 439-456.
- Zhang, X., Vincent, L. A., Hogg, W.D., and Niitsoo, A. 2000. Temperature and rainfall trends in Canada during the 20th century. *Atmospheric Ocean*. 38: 395-429.

## Prediction of climate change impact on monthly river discharge trend using IHACRES hydrological model (case study: Galikesh watershed)

Kh. Ghorbani<sup>1\*</sup>, E. Sohrabian<sup>2</sup>, M. Salarijazi<sup>1</sup>, M. Abdolhoseini<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>) Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

\*Corresponding author Email: [ghorbani.khalil@yahoo.com](mailto:ghorbani.khalil@yahoo.com)

2) M.Sc. Graduated. Dept. of water Resource Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3) Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 06-01-2016

Accepted: 15-05-2016

### Abstract

Climate change causes changes in temperature and rainfall and consequently affects river discharge. Changes in rainfall can be simulated by global circulation models under different climatic scenarios but investigations of changes in river discharge require rainfall-runoff models. The Galikesh basin as one of most flood-prone basins in Gloestan Province is considered for determination of changes in river discharge under climate change effect. Temperature and rainfall is produced for future climatic period (2011-2030) based on global circulation model HADCM3, using LARS-WG data generator model. The produced data under different climatic scenario are used as inputs of calibrated IHACRES model to simulate river discharge for future climatic periods. The climate change analysis shows that under different scenarios in the study area air temperature in different months increases, but the annual precipitation decreases. The Mann-Kendall test is used to detect monotonic trend of seasonal and semiannual river discharge series. The results show no trend for spring and first half of the year and a negative trend for other seasons and second half series in 5 percent significance level.

**Keywords:** climate change, Galikesh watershed, Mann-Kendall test, river discharge, Sen slope test, trend analysis