

تحلیل نوسانات بارش - رواناب حوضه مرزی ارس تحت شرایط تغییر اقلیم

امین صادقی^{۱*} و یعقوب دین پژوه^۲

(۱) دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: aminsadeqi95@ms.tabrizu.ac.ir

(۲) دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۳

چکیده:

در این پژوهش از آمار بارش و رواناب ایستگاه‌های منتخب حوضه مرزی ارس جهت تحلیل نوسانات بارش و رواناب و پیش‌نمایی آن برای افق ۲۰۵۰ استفاده شد. با اعمال آزمون پتیت نقطه شکست در سری زمانی بارش و رواناب مورد بررسی قرار گرفت. همچنین از آزمون مان-کندال مرسوم و اصلاح شده، روند بارش و رواناب محاسبه گردید. با روش سن شیب خط روند نیز محاسبه شد. با به کارگیری چهار مدل GCM تحت دو سناریوی انتشار RCP4.5 (انتشار پایین) و RCP8.5 (انتشار بالا) پیش‌نمایی برای دوره آبی انجام شد. از ابزار Eureka Formulize (EF) برای شبیه‌سازی فرآیند بارش - رواناب استفاده گردید. نتایج نشان داد اکثر جهش‌های ناگهانی در نیمه دوم دهه ۱۹۹۰ رخ داده است. ۸۳ درصد از جهش‌های فصلی مربوط به رواناب بوده است. همچنین ۶۷ درصد از تغییرات ناگهانی در فصول زمستان و بهار روی داده است. بیشترین افزایش بارش سالانه (طبق سناریوی RCP4.5) در ایستگاه نیر به مقدار ۹ درصد و بیشترین کاهش بارش سالانه (طبق سناریوی RCP8.5) در ایستگاه خوی به مقدار ۱۱ درصد انتظار می‌رود. همچنین در مقیاس زمانی فصلی بیشترین کاهش بارش در تابستان خواهد بود. مدل EF با ارائه NRMSE کمتر از ۰/۵ درصد در همه ایستگاه‌ها عملکرد بسیار بالایی را از خود نشان داد. نتایج نشان داد، کمترین میزان شیب خط روند رواناب (فصلی) دوره پایه به مقدار ۱/۳ - میلیون مترمکعب در تابستان و مربوط به ایستگاه بدلان بوده است. براساس نتایج این پژوهش، تغییر معنی‌داری در رواناب سالانه حوضه در دوره آبی روی نخواهد داد.

کلید واژه‌ها: بارش؛ جهش ناگهانی؛ حوضه ارس؛ رواناب؛ شبیه‌سازی؛ مدل گردش عمومی جو

مقدمه

بر چرخه هیدرولوژی تأثیر گذاشته است (Arnell and Reynard, 1996 و Młyński et al., 2018). البته برخی از محققین مثل Li و همکاران (۲۰۱۳) و Liu و همکاران (۲۰۱۹) معتقدند علاوه بر تغییرات اقلیمی باید فعالیت‌های انسانی نظیر تغییر پوشش و کاربری اراضی و اجرای پروژه‌های آبخیزداری را نیز مدنظر قرار داد، زیرا این قبیل فعالیت‌های انسانی سبب تغییر در چرخه هیدرولوژی شده و رواناب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بررسی روند و

فرآیند بارش - رواناب یکی از اجزای مهم چرخه هیدرولوژی در طبیعت است که مطالعه دقیق آن جهت مدیریت صحیح منابع آبی حوضه ضروری است. سیستم اقلیمی کره زمین در اثر گرمایش جهانی دچار تغییر شده است و تأثیرات آن اغلب فراگیر است (IPCC, 2013). تغییر اقلیم با تأثیرگذاری بر عوامل هواشناسی مانند بارش، تبخیر - تعرق و افزایش رویدادهای حدی به طور مستقیم

(GCM) برای این منظور استفاده می‌کنند. از آنجایی که مدل‌های GCM قدرت تفکیک مکانی چند صد کیلومتری دارند از خروجی این مدل‌ها نمی‌توان برای یک ایستگاه استفاده کرد. برای غلبه بر این مشکل از روش‌های ریزمقیاس نمایی استفاده می‌شود. همچنین گفتنی است بیشتر مدل‌های GCM قابلیت شبیه‌سازی رواناب را ندارند و تنها پارامترهای هواشناسی مثل دما و بارش را شبیه‌سازی می‌کنند، بنابراین از روش‌های مختلفی نظیر هوش مصنوعی، مدل‌های هیدرولوژیکی یا روش‌های ترکیبی جهت برآورد رواناب استفاده می‌شود.

Huntington (۲۰۰۳) از احتمال کاهش رواناب منطقه نیوانگلند در شمال شرقی آمریکا خبر داده است. طبق یافته‌های این تحقیق، بیشترین کاهش رواناب در ماه‌های آوریل و می روی خواهد داد. Teng و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند، رواناب جنوب شرقی استرالیا در آینده کاهش خواهد یافت. نتایج تحقیق Radchenko و همکاران (۲۰۱۷) نشان می‌دهد، در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ رواناب مرکز آسیا در تابستان کاهش خواهد یافت، اما در زمستان و بهار افزایش قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت. همچنین در تحقیقی که در ایران انجام شده است مرتضوی زاده و گودرزی (۱۳۹۷) به این نتیجه رسیدند که رواناب هشتگرد تا سال ۲۰۴۰ (بر اساس سناریوی RCP8.5) حدود ۱۹ درصد کاهش خواهد یافت. یافته‌های علمی پاره‌ای از پژوهش‌ها نیز از افزایش رواناب در دهه‌های آتی حکایت دارد. به عنوان مثال، Zheng و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای که برای جنوب آسیا انجام دادند، با استفاده از مدل‌های GCM تحت سناریوی RCP8.5 به این نتیجه رسیدند که رواناب شبه‌جزیره هند تا افق ۲۰۶۰ بین ۲۰ تا ۳۰ درصد افزایش خواهد یافت. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد رواناب عمدتاً به تغییرات بارش (مخصوصاً در مناطق خشک‌تر) و افزایش دما و تبخیر حساس است. Liu و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل‌های GCM تحت سناریوی RCP4.5 نشان

تغییرات ناگهانی سری زمانی پارامترهای هیدرولوژیکی یکی از موضوعات مهمی است که در سال‌های اخیر به آن پرداخته شده است. آزمون ناپارامتری Pettitt (۱۹۷۹) یک روش کارآمد برای تعیین نقطه شکست (جهش) در سری زمانی است. Gebremicael و همکاران (۲۰۱۳) با آزمون پتیت نشان دادند در بالادست حوضه آبریز نیل (شمال غربی اتیوپی) رواناب سالانه در سال ۱۹۹۲ یک جهش ناگهانی رو به بالا را تجربه کرده است. البته ایشان اظهار کردند رواناب فصل خشک این منطقه در سال ۱۹۹۰ یک جهش رو به پایین داشته است. در بعضی از مطالعات نیز از جهش رو به پایین رواناب سخن به میان رفته است. به عنوان مثال، Liu و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند، رواناب نیمی از ایستگاه‌های جنوب غربی استرالیا در سال ۲۰۰۰ جهش ناگهانی رو به پایین را تجربه کرده‌اند. Farsi و Mahjouri (۲۰۱۹) با استفاده از آزمون پتیت به این نتیجه رسیدند که رواناب حوضه زاینده رود در سال ۲۰۰۶ یک جهش رو به پایین داشته است.

برای بررسی تغییرات رواناب، بررسی و تجزیه و تحلیل تغییرات بارش از اهمیت بسزایی برخوردار است؛ زیرا رواناب به بارش وابسته است و این وابستگی در مناطق نیمه خشک و خشک (همانند منطقه مورد مطالعه یعنی حوضه ارس) بیشتر نمود پیدا می‌کند. یافته‌های پژوهش Xie و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان داد، در مناطق خشک و نیمه خشک (نسبت به سایر مناطق) رواناب به تغییرات بارش حساسیت بیشتری نشان می‌دهد. در مطالعه پیش‌رو نیز علاوه بر بررسی تغییرات رواناب، تغییرات بارش نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

علاوه بر بررسی تغییرات سری زمانی پارامترهای هیدرولوژیکی در دوره تاریخی، پیش‌نگری اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای هیدرولوژیکی برای سال‌های آتی، به منظور برنامه‌ریزی صحیح و مقابله با آثار سو تغییر اقلیم ضروری است. محققان از مدل‌های گردش عمومی جو^۱

^۱ General Circulation Model (GCM)

رودخانه ارس بالغ بر ۱۰۰۰ کیلومتر طول دارد که تقریباً ۴۵۰ کیلومتر آن مرز ایران با کشورهای شمالی (ارمنستان و آذربایجان) است. همچنین قبل از ورود به مرزهای شمالی ایران قسمتی از مرز ترکیه با ارمنستان را نیز تشکیل می‌دهد. این رود از شمال استان آذربایجان غربی وارد ایران شده و در حوالی شهر پارس‌آباد مغان از ایران خارج می‌شود. مرتفع‌ترین قسمت کل حوضه، کوه آرارات با ارتفاع ۵۱۳۷ متر و مرتفع‌ترین قسمت حوضه (در داخل مرزهای ایران) قله سبلان با ارتفاع ۴۸۱۱ متر می‌باشد. پست‌ترین نقطه حوضه ارس در کشورمان محل خروجی آن از مرز ایران به سمت آذربایجان با ارتفاع ۲۰ متر از سطح آب‌های آزاد است (امانی و حسینی شمعچی، ۱۳۸۹). از لحاظ تقسیمات سیاسی کشور، حوضه ارس قسمت‌های شمالی سه استان اردبیل، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی را دربر می‌گیرد. دشت مغان که سومین دشت حاصلخیز کشور از لحاظ مساحت بعد از دشت خوزستان و گرگان است در این حوضه واقع شده است. با وجود این که تمام مناطق حوضه از لحاظ جغرافیایی تقریباً هم‌عرض هستند اما وجود دشت‌ها و ارتفاعات متعدد باعث شده آب و هوای آن متنوع باشد (ساری صراف و همکاران، ۱۳۹۰).

در این پژوهش، داده‌های دبی ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه ارس از شرکت مدیریت منابع آب ایران و داده‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردیدند. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. لازم به ذکر است که از داده‌های هیدرومتری ایستگاه‌هایی که در بالادستان سد بوده استفاده نشده است. همچنین از داده‌های رودهایی که حداقل ۹ ماه سال جریان داشتند و حداقل دارای ۲۰ سال آمار ثبت شده بودند استفاده شده است. این تحقیق برای مقیاس زمانی فصلی و سالانه انجام شده است. در این مطالعه فصل زمستان شامل ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه، فصل بهار شامل ماه‌های مارس،

دادند رواناب شهر ژانگه چین تا سال ۲۰۳۰ به میزان ۸/۸ درصد افزایش خواهد یافت. در تحقیقی مشابه، Yang و همکاران (۲۰۱۹) از افزایش رواناب حوضه لوانه در شمال چین تا سال ۲۰۳۰ خبر داده‌اند.

حوضه مرزی ارس به دلیل ویژگی‌های خاص خود مانند عبور رود بزرگ ارس و هم‌جواری با کشورهای همسایه شمالی ایران، دشت مغان، جنگل‌های ارسباران و همچنین ارتفاعات منحصر به فرد سبلان از شرایط ویژه‌ای برخوردار است؛ بنابراین، پیش‌نگری تغییرات بارش - رواناب این حوضه در آینده برای برنامه‌ریزی و حل مسائل مدیریت منابع آبی منطقه حائز اهمیت بالایی می‌باشد. دو هدف اصلی این پژوهش عبارتند از: الف) بررسی آماری نوسانات (روند و جهش سری زمانی) بارش و رواناب در دوره تاریخی در حوضه رود ارس، و ب) تخمین بارش و رواناب برای دهه‌های آتی با استفاده از مدل‌های GCM و هوش مصنوعی.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه مرزی ارس است. حوضه آبریز ارس زیرحوضه کورا محسوب می‌شود. حوضه آبریز کورا خود یکی از زیرحوضه‌های دریای خزر است.

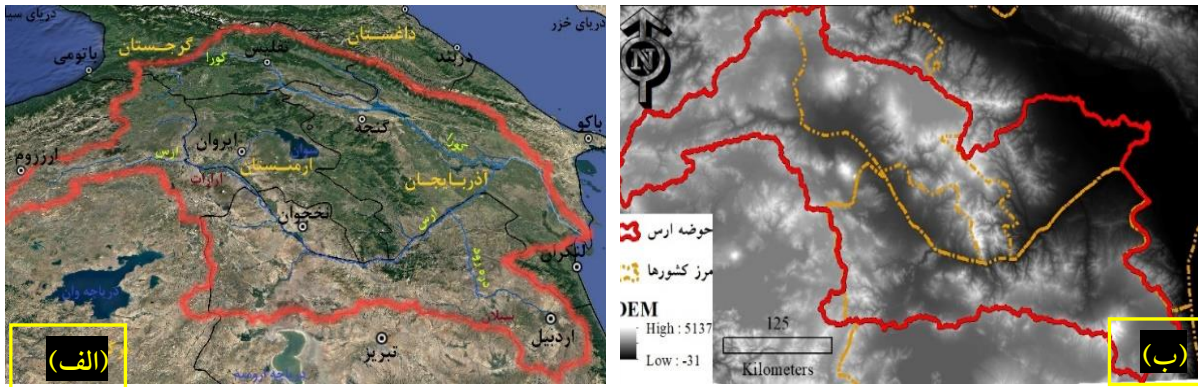
شکل ۱ تصویر ماهواره لندست از حوضه آبریز کورا و مدل رقومی ارتفاع^۱ زیرحوضه ارس را نشان می‌دهد. در حدود ۳۹ هزار کیلومتر مربع از حوضه ارس در اراضی ایران است. مابقی آن در کشورهای آذربایجان، ارمنستان و ترکیه قرار دارد. در شکل ۲ موقعیت حوضه مرزی ارس و ایستگاه‌های مورد مطالعه قابل مشاهده است. رودخانه ارس از ارتفاعات مین‌گول^۲ (هزار برکه) در جنوب شهر ارزروم ترکیه سرچشمه می‌گیرد و پس از طی مسیری طولانی در صابرآباد جمهوری آذربایجان به رودخانه کورا^۳ می‌پیوندد.

^۳ در منابع فارسی رود کُر یا کور نیز نامیده شده است.

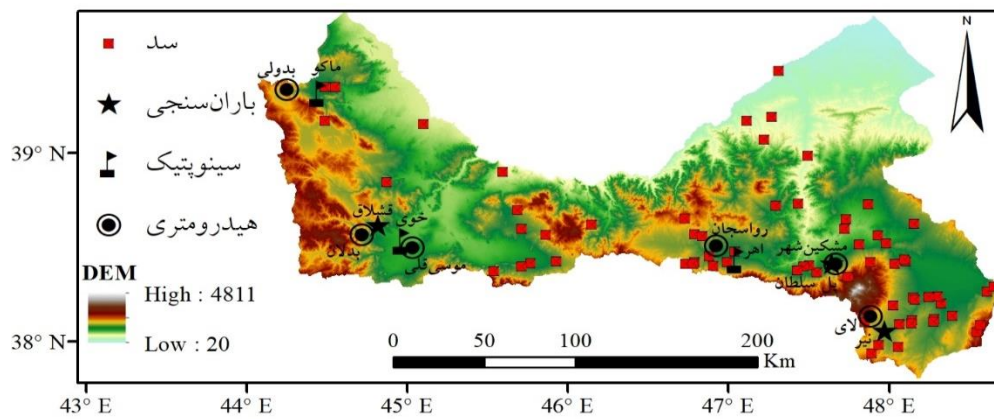
^۱ Digital Elevation Model (DEM)

^۲ Bingöl

آوریل و می، فصل تابستان شامل ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت و در آخر فصل پاییز شامل ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر در نظر گرفته شد.



شکل ۱. الف) تصویر ماهواره لندست از حوضه آبریز کورا و ب) مدل رقومی ارتفاع (DEM) زیرحوضه ارس



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی حوضه مرزی ارس واقع در ایران و ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

دوره آماری	استان	کد ایستگاه	نوع ایستگاه	ایستگاه
۱۹۷۸-۲۰۱۶	آذربایجان غربی	۴۰۷۰۳	سینوپتیک	خوی
		۱۹۰۳۱	هیدرومتری	موسی قلی
۱۹۸۵-۲۰۱۶	آذربایجان غربی	۴۰۷۰۱	سینوپتیک	ماکو
		۱۹۰۷۵	هیدرومتری	بدولی
۱۹۸۶-۲۰۱۶	آذربایجان شرقی	۴۰۷۰۴	سینوپتیک	اهر
		۱۹۱۲۷	هیدرومتری	رواسجان
۱۹۸۵-۲۰۰۵	آذربایجان غربی	۴۴۱۰۳۹	باران‌سنجی	قشلاق
		۱۹۰۸۱	هیدرومتری	بدلان
۱۹۷۰-۲۰۰۱	اردبیل	۴۵۱۰۴۸	باران‌سنجی	مشکین شهر
		۱۹۰۶۳	هیدرومتری	پل سلطان
۱۹۸۰-۲۰۱۰	اردبیل	۴۵۱۰۴۷	باران‌سنجی	نیر
		۱۹۰۴۹	هیدرومتری	لای

در این پژوهش از ابزار مولد آب و هوایی LARS-WG برای ریزمقیاس کردن مدل‌های GCM استفاده شده است. با توجه به این مهم که LARS-WG قادر به پیش‌نمایی^۱ دبی نیست، از نرم‌افزار Eureka Formulize (EF) جهت مدل‌سازی فرآیند بارش - رواناب در مقیاس سالانه استفاده شد. این ابزار نخستین بار توسط Schmidt و Lipson (۲۰۰۹) توسعه داده شد که تاکنون در زمینه‌های مختلف علمی به کرات از آن استفاده شده است. نرم‌افزار EF که بر پایه الگوریتم ژنتیک است با کشف روابط موجود بین پارامترها اقدام به مدل‌سازی می‌کند. در سال‌های اخیر از این نرم‌افزار در موضوعات مربوط به هیدرولوژی به عنوان ابزاری مطمئن و دقیق توسط دانشمندان مختلف استفاده شده است. Sfyraakis (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای مفصل با به‌کارگیری نرم‌افزار EF رواناب رودخانه اوراوا در اسلوواکی را مدل‌سازی کرد. Demirhan و Atilgan (۲۰۱۵) نیز به تخمین تابش خورشیدی ترکیه با استفاده از این ابزار پرداختند. Xu و همکاران (۲۰۱۶) تبخیر - تعرق روزانه مناطق خشک چین را مدل‌سازی کردند. Azmi و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای که به بررسی خشکسالی استرالیا پرداخته بودند از این نرم‌افزار بهره جستند.

در پژوهش پیش‌رو، مدل‌سازی فرآیند بارش - رواناب سالانه هر ایستگاه در دوره پایه با ۷۰ درصد از داده‌ها برای آموزش مدل و ۳۰ درصد جهت اعتبارسنجی آن انجام شد. به منظور ارزیابی دقت مدل از معیارهای ارزیابی خطا شامل ضریب تعیین (R^2)، خطای جذر میانگین مربعات نرمال شده^۲ (NRMSE) و میانگین خطای مطلق^۳ (MAE) استفاده شد و مدلی که کمترین خطا را داشت انتخاب گردید. سپس با در دست داشتن مقادیر بارش دوره آتی (که از خروجی مدل‌های GCM) به دست آمده بود و با به‌کارگیری مدل منتخب هر ایستگاه (با استفاده از EF) مقادیر دبی دوره آتی

جهت تشخیص تغییرات ناگهانی در سری زمانی بارش و رواناب از آزمون ناپارامتری Pettitt (۱۹۷۹) استفاده به عمل آمد. آزمون پتیت در اصل همگن بودن سری زمانی را مشخص می‌کند. چنانچه سری همگن نباشد، زمان دقیق تغییر ناگهانی آن مشخص می‌شود. در این آزمون نبود نقطه شکست در سری زمانی به عنوان فرض صفر تلقی می‌شود. فرض مقابل آن هم وجود تغییر ناگهانی (نقطه شکست) معنی‌دار در سری زمانی است.

به منظور تشخیص روند در سری زمانی بارش و رواناب هر ایستگاه از آزمون مان-کندال استفاده شد (Mann, 1945 و Kendall, 1975). برای سری‌هایی که خودهمبستگی معنی‌داری داشتند، روش اصلاح شده Hamed و Rao (۱۹۹۸) به کار گرفته شد تا اثر ضرایب خودهمبستگی در سری زمانی حذف شود. شیب خط روند نیز از روش تخمین گر Sen (۱۹۶۸) به دست آمد.

در این مطالعه سطح معنی‌داری آزمون پتیت و آزمون مان-کندال پنج درصد در نظر گرفته شده است.

پیش‌نمایی تغییرات بارش و رواناب در افق ۲۰۵۰

پس از بررسی تغییرات بارش و رواناب در دوره پایه، اقدام به پیش‌نمایی مقادیر بارش و رواناب دوره آتی (۲۰۴۱-۲۰۶۰) گردید. جهت تحقق این امر از میانگین خروجی چهار مدل گردش عمومی جو (GCM) تحت دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای RCP4.5 (نماینده انتشار پایین گازهای گلخانه‌ای) و RCP8.5 (نماینده انتشار بالای گازهای گلخانه‌ای) بهره گرفته شد. مشخصات مدل‌های استفاده شده در این تحقیق در آمده است.

با توجه به وضوح مکانی مدل‌های GCM مورد استفاده که در جدول ۲ آمده است، می‌توان دریافت که این مدل‌ها بزرگ مقیاس هستند؛ بنابراین نمی‌توان از خروجی آن‌ها برای یک نقطه یا یک ایستگاه خاص استفاده کرد. برای حل این مشکل، از ابزارهای ریزمقیاس‌نمایی استفاده می‌شود.

³ Mean Absolute Error

¹ Projection

² Normalized Root Mean Square Error

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |F_t - A_t| \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{\left((F_t - \bar{F}_t) \times (A_t - \bar{A}_t) \right)^2}{\sum_{t=1}^n (F_t - \bar{F}_t)^2 \times \sum_{t=1}^n (A_t - \bar{A}_t)^2} \quad (4)$$

نیز به دست آمد. در نهایت مقادیر بارش و رواناب دوره آتی با دوره پایه مقایسه و تجزیه و تحلیل گردید.

برای به دست آوردن RMSE از رابطه زیر استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (F_t - A_t)^2} \quad (1)$$

که در آن A_t مقادیر مشاهداتی و F_t مقادیر محاسباتی می باشد. n نیز تعداد داده ها است. پس از محاسبه RMSE از رابطه زیر NRMSE محاسبه گردید.

$$NRMSE = \frac{RMSE}{A_t} \times 100 \quad (2)$$

برای به دست آوردن MAE و R2 نیز از روابط زیر

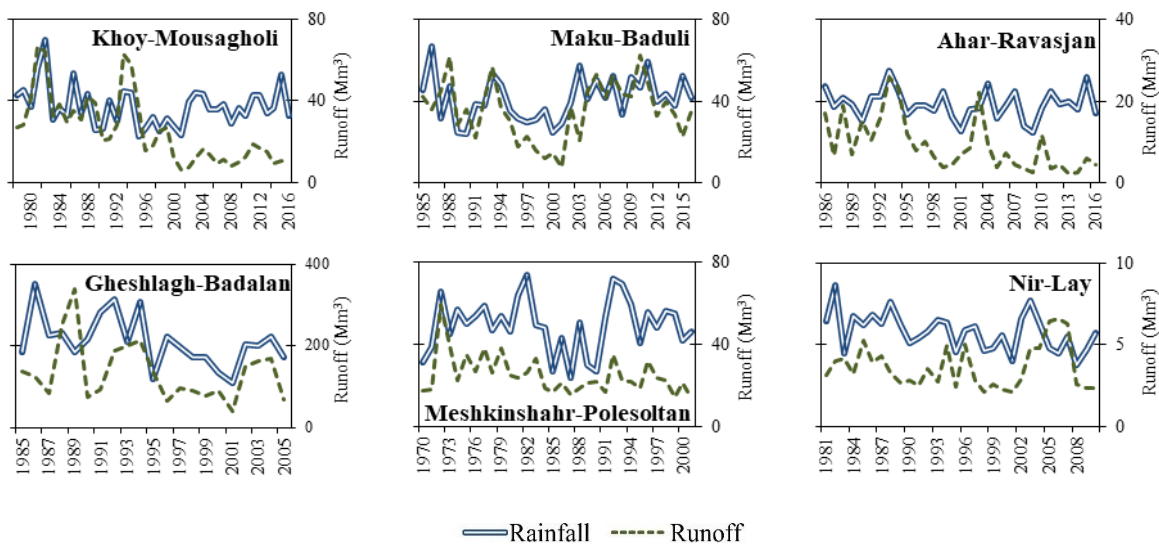
استفاده به عمل آمد.

نتایج و بحث

براساس داده های اخذ شده از دفتر مطالعات پایه شرکت مدیریت منابع آب ایران، بالاترین دبی ثبت شده در حوضه ارس در تاریخ ۲۶ شهریور سال ۱۳۸۸ در ایستگاه مظفر آباد (زیلرچای) به مقدار ۹۵/۷ مترمکعب در ثانیه بوده است. در شکل ۳ نمودار بارش و آورد سالانه ایستگاه های منتخب حوضه ارس قابل مشاهده است.

جدول ۲. مشخصات مدل های GCM استفاده شده

مکانی	نام مدل	کشور/ منطقه	مرکز تحقیقاتی ارائه کننده مدل
۱/۱۲۵°×۱/۱۲۵°	EC-EARTH	اروپا	اتحادیه زمین EC-Earth Consortium
۱/۲۵°×۱/۸۷°	HadGEM2-ES	بریتانیا	اداره هواشناسی بریتانیا، مرکز هادلی UK Meteorological Office, Hadley Centre
۱/۳۹°×۱/۴۱°	MIROC5	ژاپن	دانشگاه توکیو، موسسه ملی مطالعات محیط زیست University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies
۱/۸۵°×۱/۸۸°	MPI-ESM-MR	آلمان	موسسه هواشناسی ماکس پلانک UK Meteorological Office, Hadley Centre



شکل ۳. سری زمانی سالانه بارش و آورد رودخانه حوضه مرزی ارس

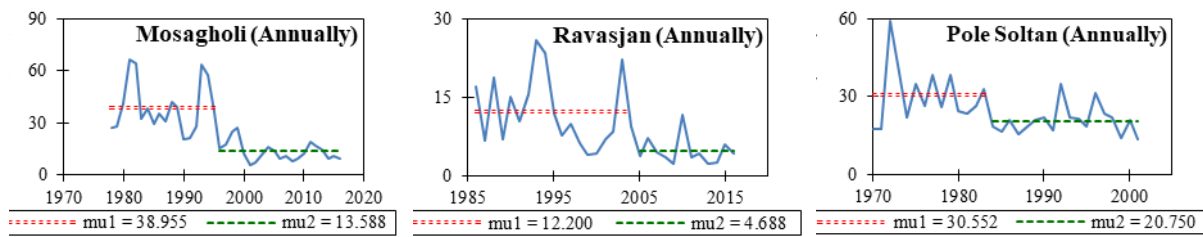
می‌رسد در موارد متعدد علی‌رغم عدم وجود جهش در مقادیر بارش، رواناب آن جهش رو به پایین داشته است که این امر می‌تواند در اثر برداشت بی‌رویه از آب‌های سطحی توسط کشاورزان و مردم منطقه روی داده باشد. البته در ایستگاه قشلاق- بدلان در سال ۱۹۹۴ مقادیر بارش جهش رو به پایین داشته اما در مقادیر رواناب جهشی روی نداده است. نتایج نشان می‌دهد بیشترین جهش‌ها (۶۷ درصد) در فصول زمستان و بهار اتفاق افتاده است. تابستان و پاییز کمترین تغییرات ناگهانی را داشته‌اند. شکل ۴ و شکل ۵ تغییرات ناگهانی بارش و رواناب سالانه را نشان می‌دهند. برای نمایش تغییرات ناگهانی در مقیاس زمانی فصلی تنها نمودارهایی نمایش داده شد که حاوی تغییرات ناگهانی شدید بودند. در شکل ۶ تغییرات ناگهانی ایستگاه‌های با p-value صفر قابل مشاهده است.

جدول ۳ مقادیر p-value آزمون پتیت و زمان دقیق نقطه شکست در مواردی که p-value آن معنی‌دار بوده است، قابل مشاهده است. طبق نتایج این جدول، در ایستگاه‌های موسی قلی و رواسجان در تمام چهار فصل سال و مقادیر سالانه آن‌ها، آورد رودخانه جهش (رو به پایین) معنی‌داری داشته است. همچنین در ایستگاه ماکو- بدولی بارش فصل بهار در سال ۲۰۰۰ جهش رو به بالا داشته است که با تأخیر سه فصله در سال ۲۰۰۱ در فصل زمستان رواناب آن نیز جهش رو به بالا را تجربه کرده است. بارش ایستگاه‌های خوی، اهر، مشکین‌شهر و نیر در هیچ یک از مقیاس‌های زمانی فصلی و سالانه جهشی نداشته‌اند. بیش از نیمی از تغییرات ناگهانی صورت گرفته مابین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ رخ داده است. همچنین ۸۳ درصد از جهش‌های فصلی روی داده مربوط به رواناب بوده است. به نظر

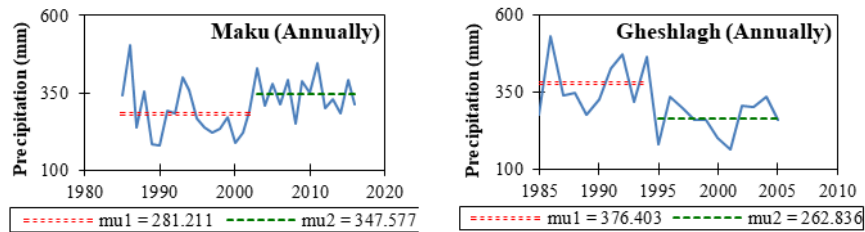
جدول ۳. مقادیر p-value و زمان نقطه شکست (t) در سری زمانی بارش و رواناب ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	زمستان		بهار		تابستان		پاییز		سالانه	
	t	p-value	t	p-value	t	p-value	t	p-value	t	p-value
خوی- موسی قلی	-	۰/۰۷	-	۰/۲۷	-	۰/۶۱	-	۰/۱۸	-	۰/۱۸
	۱۹۹۶	۰/۰۰	۱۹۹۹	۰/۰۰	۱۹۹۹	۰/۰۱	۱۹۹۵	۰/۰۰	۱۹۹۵	۰/۰۰
ماکو- بدولی	-	۰/۳۲	۲۰۰۰	۰/۰۴	-	۰/۴۵	-	۰/۰۸	-	۰/۰۳
	۲۰۰۱	۰/۰۰	-	۰/۱۷	-	۰/۸۳	-	۰/۱۶	-	۰/۰۹
اهر- رواسجان	-	۰/۶۶	-	۰/۹۵	-	۰/۳۷	-	۰/۳۶	-	۰/۲۸
	۱۹۹۸	۰/۰۰	۱۹۹۶	۰/۰۰	۲۰۰۶	۰/۰۳	۱۹۹۵	۰/۰۰	۲۰۰۴	۰/۰۰
قشلاق- بدلان	-	۰/۳۴	-	۰/۳۴	-	۰/۱۳	-	۰/۰۶	-	۰/۰۱
	۱۹۹۷	۰/۰۵	-	۰/۴۹	-	۰/۱۶	-	۰/۵۶	-	۰/۱۳
مشکین‌شهر- پل سلطان	-	۰/۴۷	-	۰/۱۳	-	۰/۹۶	-	۰/۰۸	-	۰/۶۱
	۱۹۸۳	۰/۰۰	۱۹۸۳	۰/۰۰	-	۰/۲۱	-	۰/۱۳	-	۰/۰۰
نیر- لای	-	۰/۱۷	-	۰/۶۲	-	۰/۹۹	-	۰/۵۳	-	۰/۰۵
	-	۰/۳۲	-	۰/۱۴	-	۰/۰۶	-	۰/۱۲	-	۰/۵۷

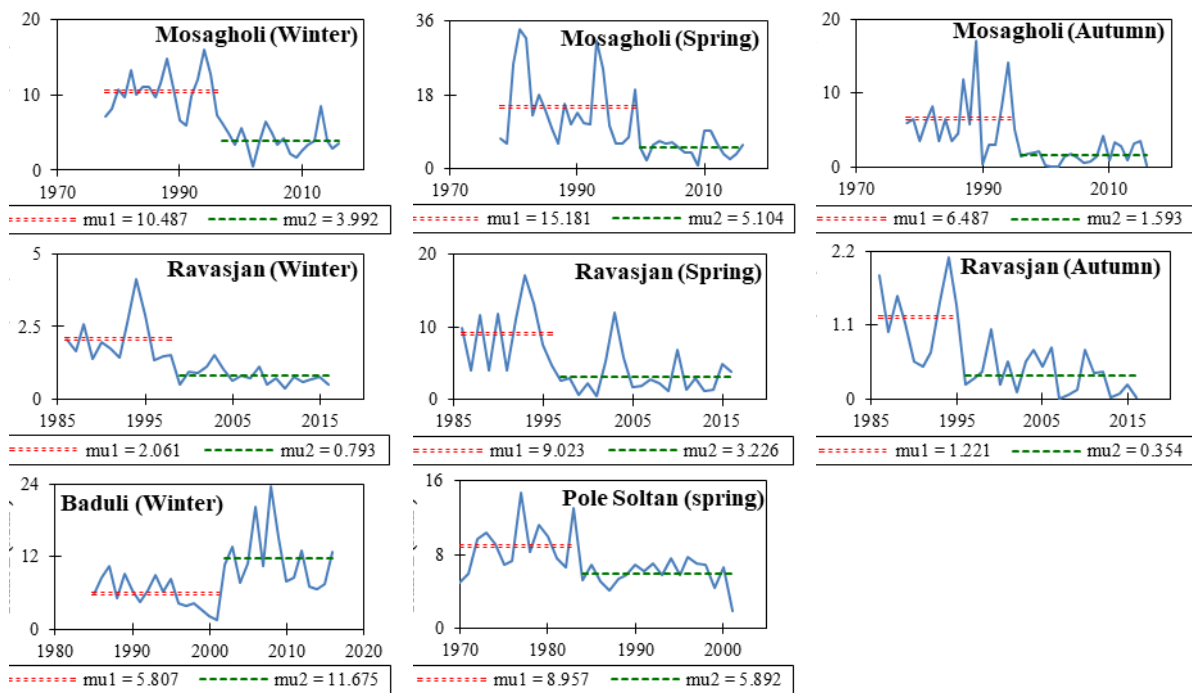
توجه: مقادیر پررنگ در سطح ۵ درصد معنی‌دار هستند. مقادیر قرار گرفته در خانه‌های خاکستری رنگ نشان دهنده جهش رو به بالا می‌باشد.



شکل ۴. تغییر ناگهانی رواناب سالانه ایستگاه‌های موسی قلی، رواسجان و پل سلطان



شکل ۵. تغییر ناگهانی بارش سالانه ایستگاه‌های ماکو و قشلاق



شکل ۶. تغییر ناگهانی رواناب فصلی در ایستگاه‌های با p-value صفر

داشته‌اند که فقط در ایستگاه بدلان روند صعودی معنی‌دار بوده است. روند بارش سالانه (به غیر ایستگاه‌های ماکو و مشکین‌شهر) در بقیه ایستگاه‌ها نزولی بوده که تنها در ایستگاه‌های قشلاق و نیر روند نزولی آن معنی‌دار به دست آمد. براساس نتایج به دست آمده، بیشترین شیب خط روند بارش سالانه مربوط به ایستگاه ماکو به مقدار ۲/۱ میلی‌متر

جدول ۴ مقادیر آماره Z مان-کندال بارش، رواناب و دبی اوج را نشان می‌دهد. طبق ارقام این جدول، دبی اوج ایستگاه‌های موسی قلی، رواسجان و پل سلطان روند نزولی داشته‌اند که از این تعداد تنها ایستگاه پل سلطان روند نزولی‌اش در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. همچنین مقادیر دبی اوج ایستگاه‌های بدولی، بدلان و لای روند صعودی

دیگر نزولی بوده است. بیشترین و کمترین مقدار شیب خط روند بارش مربوط به ایستگاه بدلان بوده که به ترتیب، ۲/۲ میلی‌متر در فصل بهار و ۲/۷- میلی‌متر در فصل پاییز به دست آمد.

رواناب فصلی ایستگاه‌های موسی قلی و رواسجان در همه فصول سال روند نزولی معنی‌داری را تجربه کرده‌اند. ایستگاه‌های بدولی، بدلان و لای نیز در هیچ یک از فصول سال روند معنی‌داری نداشته‌اند. رواناب ایستگاه پل سلطان هم فقط در فصول زمستان و بهار روند نزولی معنی‌داری داشته است. در فصول بهار و تابستان در همه ایستگاه‌ها شیب خط روند رواناب نزولی به دست آمد (به غیر از ایستگاه لای که شیب خط روند رواناب آن در فصول بهار و تابستان تقریباً صفر بود). کمترین میزان شیب خط روند رواناب (فصلی) مربوط به ایستگاه بدلان در فصل تابستان بود که ۱/۳- میلیون مترمکعب به دست آمد. همچنین ایستگاه بدلان در مقیاس زمانی سالانه با ۲/۹- میلیون متر مکعب در سال کمترین شیب خط روند رواناب سالانه را در بین همه ایستگاه‌ها داشته است.

در سال و کمترین آن در ایستگاه قشلاق به میزان ۵/۲- میلی‌متر در سال محاسبه شد.

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد، شیب تغییرات رواناب سالانه در همه ایستگاه‌ها (به غیر از دو ایستگاه نیر و بدولی که شیب خط روند آن‌ها تقریباً صفر بود) منفی بوده است. همچنین روند نزولی رواناب سالانه در ایستگاه‌های موسی قلی، رواسجان و پل سلطان در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است.

در مقیاس زمانی فصلی نیز، پارامتر بارش تنها در فصل پاییز و آن هم در دو ایستگاه قشلاق و مشکین‌شهر روند معنی‌داری داشته است، به طوری که در قشلاق روند آن نزولی و در مشکین‌شهر صعودی معنی‌داری بود. شیب خط روند بارش زمستانه در همه ایستگاه منفی بوده است (به غیر از ایستگاه مشکین‌شهر که شیب خط روند آن تقریباً صفر به دست آمد). همچنین در فصل تابستان در همه ایستگاه‌ها (به غیر از ایستگاه‌های موسی قلی و بدولی) شیب خط روند بارش منفی بوده است. در فصول بهار و پاییز شیب خط روند بارش نیمی از ایستگاه‌ها صعودی و نیمی

جدول ۴. مقادیر آماره Z مان- کندال و شیب سن بارش، رواناب و دبی اوج ایستگاه‌های مورد مطالعه

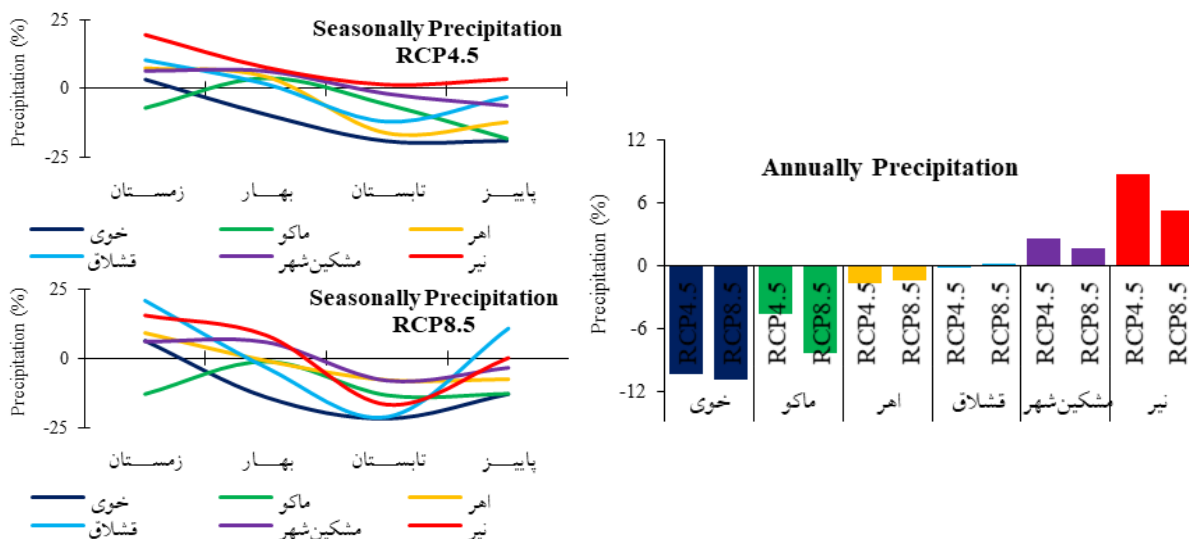
ایستگاه	زمستان		بهار		تابستان		پاییز		سالانه		دبی اوج سالانه (m ³ s ⁻¹)
	Z	شیب سن	Z	شیب سن	Z	شیب سن	Z	شیب سن	Z	شیب سن	
بارش (mm)	-۱/۳	-۰/۵	-۰/۹	-۰/۷	۰/۶	۰/۳	۰/۰	۰/۰	-۰/۷	-۰/۶	
رواناب (Mm ³)	-	-۰/۲	-	-۰/۳	-	۳/۰	-۲/۹	-۰/۱	-	-۰/۹	-۰/۴
بارش (mm)	-۰/۲	-۰/۱	۱/۹	۱/۵	۰/۸	۰/۹	۱/۶	۰/۹	۲/۱	۰/۶	۱/۷
رواناب (Mm ³)	۱/۱	۰/۱	-۰/۸	-۰/۱	-۰/۵	-۰/۱	۰/۲	۰/۰	۰/۰	۰/۰	
بارش (mm)	-۰/۶	-۰/۱	۰/۲	۰/۱	-۰/۵	-۰/۳	-۰/۶	-۰/۳	-۰/۸	-۰/۸	-۰/۱
رواناب (Mm ³)	-	-۰/۱	-	-۰/۲	-	۲/۱	-	۱/۸/۸	-	-۰/۴	-۰/۴
بارش (mm)	-۱/۹	-۲/۵	۱/۲	۲/۲	-۱/۲	-۱/۹	-۲/۰	-۲/۷	-	-۵/۲	۱/۲
رواناب (Mm ³)	-۰/۳	۰/۰	-۰/۸	-۰/۹	-۱/۳	-۱/۳	-۰/۸	-۰/۲	-۱/۱	-۲/۹	۳/۴
بارش (mm)	۰/۰	۰/۰	-۱/۰	-۱/۵	-۰/۱	-۰/۱	۲/۱	۱/۵	۰/۰	۰/۱	-۰/۹
رواناب (Mm ³)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
پل سلطان	۲/۲	-۰/۱	۲/۱	-۰/۱	-۱/۵	-۰/۱	-۰/۹	۰/۰	۲/۴	-۰/۳	-۰/۹

۰/۱	۱/۳	-۳/۷	۲/۵	-۱/۰	-۱/۰	-۰/۲	-۰/۲	-۱/۴	-۱/۰	-۱/۰	-۱/۸	بارش (mm)	نیر- لای
		۰/۰	-۰/۹	۰/۰	۱/۰	۰/۰	۱/۰	۰/۰	-۱/۳	۰/۰	-۰/۷	رواناب (Mm ³)	

توجه: مقادیر پررنگ در سطح ۵ درصد معنی دار بودند. همچنین ارقامی که در داخل خانه‌های خاکستری رنگ است از روش مان-کندال اصلاح شده به دست آمده است.

پس از بررسی نوسانات بارش-رواناب در دوره تاریخی، با استفاده از ابزار ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG اقدام به تولید داده بارش برای افق ۲۰۵۰ شد. شکل ۷ درصد تغییرات بارش سالانه و فصلی در افق ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این شکل، به طور کلی بارش در فصل زمستان افزایش و در فصول تابستان و پاییز کاهش خواهد یافت. در فصل بهار نیز طبق سناریوی RCP4.5 در بیشتر ایستگاه‌ها افزایش بارش مشاهده می‌شود اما طبق سناریوی RCP8.5 در بعضی ایستگاه‌ها افزایش و در بعضی دیگر کاهش بارش روی خواهد داد. عساکره و اکبرزاده (۱۳۹۶) نیز از افزایش بارش زمستان تبریز تا افق ۲۰۵۰ خبر داده‌اند. بر اساس نتایج تحقیق پیش‌رو، افزایش بارش در شرق حوضه ارس (ایستگاه‌های نیر و مشکین‌شهر) دور از انتظار نیست؛ در حالی که در غرب حوضه کاهش بارش رخ خواهد داد (ایستگاه‌های خوی و ماکو). به طور میانگین در کل حوضه طبق سناریوی RCP4.5 یک درصد و طبق سناریوی RCP8.5 دو درصد کاهش بارش سالانه به دست آمد.

پس از پیش‌نمایی مقادیر بارش برای افق ۲۰۵۰، با استفاده از ابزار EF اقدام به تخمین مقادیر دبی گردید. در جدول ۵ مقادیر معیارهای ارزیابی خطای شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب (۳۰ درصد داده‌های مرحله اعتبار سنجی مدل) قابل مشاهده است. براساس ارقام این جدول، مقادیر NRMSE در همه ایستگاه‌ها زیر ۰/۵ درصد است که نشان دهنده دقت بسیار بالای مدل است. همچنین مقادیر میانگین شبیه‌سازی بسیار نزدیک به مقادیر واقعی است که این موضوع نیز از دقت بسیار بالای مدل EF در شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب حکایت دارد.



شکل ۷. درصد تغییرات بارش فصلی و سالانه در افق ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه

جدول ۵. معیارهای ارزیابی خطای شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب ایستگاه‌های مورد مطالعه (دوره اعتبار سنجی)

ایستگاه	(بی‌بعد) R ²	MAE (Mm ³)	NRMSE (%)	میانگین مشاهدات (Mm ³)	میانگین شبیه‌سازی (Mm ³)
خوی- موسی قلی	۰/۸۹	۴/۳۵	۰/۲۲	۲۵/۲۹۶	۲۵/۱۱۹
ماکو- بدولی	۰/۹۳	۲/۸۶	۰/۱۰	۳۵/۵۱۶	۳۵/۲۶۷
اهر- رواسجان	۰/۹۵	۱/۰۴	۰/۱۵	۹/۲۹۲	۹/۳۰۷

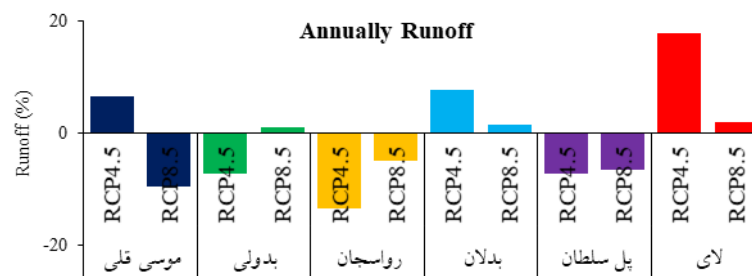
۱۳۵/۸۱۴	۱۳۵/۸۶۱	۰/۱۳	۱۴/۰۸	۰/۹۴	قشلاق- بدلان
۲۵/۰۳۸	۲۵/۰۳۸	۰/۱۲	۲/۱۵	۰/۹۰	مشکین شهر- پل سلطان
۳/۶۳۵	۳/۶۳۵	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۹۵	نیر- لای

تغییر اقلیم بر منابع آب از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

تولید بیش از حد گازهای گلخانه‌ای پس از انقلاب صنعتی منجر به تغییرات اقلیمی شده که جنبه‌های مختلفی از زندگی بشر را تحت تأثیر قرار داده است. در نظر گرفتن شرایط تغییر اقلیم در مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح سامانه‌های منابع آب امری اجتناب ناپذیر است. در این پژوهش به تحلیل بارش- رواناب حوضه مرزی ارس پرداخته شد. جریان رود ارس از چند کشور و قرار گرفتن آن به عنوان مرز بعضی از کشورها، باعث شده این حوضه از موقعیت ژئوپلیتیکی ویژه‌ای برخوردار باشد. بر اساس نتایج این تحقیق، بیش از ۵۰ درصد جهش‌های ناگهانی رخ داده در سری‌های زمانی بارش و رواناب مربوط به نیمه دوم دهه ۱۹۹۰ بوده است. بخش اعظمی از جهش‌های فصلی رخ داده مربوط به رواناب بوده به طوری که حدود ۸۳ درصد از این تغییرات ناگهانی در سری زمانی رواناب روی داده است. همچنین بیشترین تغییرات ناگهانی در فصول زمستان و بهار روی داده است. واکاوی روند بارش- رواناب نشان داد که روند نزولی رواناب سالانه در ایستگاه‌های موسی قلی، رواسجان و پل سلطان در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است. همچنین رواناب فصلی ایستگاه‌های موسی قلی و رواسجان در همه فصول سال روند نزولی معنی‌داری را تجربه کرده‌اند. آورد

جدول ۸ درصد تغییرات آورد سالانه ایستگاه‌های منتخب حوضه ارس در افق ۲۰۵۰ را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. طبق نتایج این شکل الگوی مشخصی برای تغییرات رواناب این حوضه به دست نیامد. در ایستگاه‌های لای و بدلان طبق هر دو سناریوی RCP افزایش آورد سالانه مورد انتظار است. در ایستگاه‌های رواسجان و پل سلطان نیز طبق هر دو سناریو کاهش آورد سالانه پیش‌بینی می‌شود. به طور متوسط در کل حوضه تغییرات رواناب قابل توجه نیست به طوری که بر اساس سناریوی RCP4.5 به میزان ۱ درصد افزایش آورد سالانه و بر اساس سناریوی RCP8.5 به مقدار ۳ درصد کاهش آورد سالانه پیش‌بینی می‌شود. Mallakpour و همکاران (۲۰۱۸) که در مطالعه‌ای به پیش‌نمایی جریان کالیفرنیا با استفاده از مدل‌های GCM پرداختند به این نتیجه رسیدند که تغییر معنی‌داری در جریان سالانه کالیفرنیا روی نخواهد داد. نتایج تابان و همکاران (۱۳۹۸) که با استفاده از مدل‌های GCM و شبکه عصبی به پیش‌نمایی تغییرات رواناب حوضه دز علیا پرداختند، نشان می‌دهد که رواناب در افق ۲۰۵۰ نسبت به دوره تاریخی تغییر محسوسی نخواهد کرد. در بعضی از ایستگاه‌ها نظیر مشکین شهر- پل سلطان علی‌رغم افزایش ۲ الی ۳ درصدی بارش، نتایج مدل حاکی از کاهش ۷ درصدی رواناب است. Reshmidevi و همکاران (۲۰۱۸) نیز به نتیجه‌ای مشابه با نتایج این پژوهش دست یافتند. همچنین آذری و همکاران (۱۳۹۲) گزارش دادند که شدت و خصوصیات اثرات منفی



شکل ۸. درصد تغییرات آورد سالانه در افق ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه

نیست. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد در دوره آتی (۲۰۴۱-۲۰۶۰) تغییر معنی‌داری در جریان سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه روی نخواهد داد. امید است نتایج این پژوهش بتواند در حل معضلات آبی حوضه ارس مؤثر واقع شود.

سپاس‌گزاری

از سازمان هواشناسی کشور و شرکت مدیریت منابع آب ایران به دلیل در اختیار گذاردن آمار و اطلاعات لازم برای انجام این پژوهش سپاس‌گزاری می‌شود.

سالانه ایستگاه بدلان با شیب ۲/۹- میلیون متر مکعب در سال کمترین شیب خط روند را در بین همه ایستگاه‌ها داشته است. در مورد بارش نیز، روند بارش سالانه (به غیر از ایستگاه‌های ماکو و مشکین‌شهر) در بقیه ایستگاه‌ها نزولی بوده که تنها در ایستگاه‌های قشلاق و نیر روند نزولی آن معنی‌دار به دست آمد. پیش‌نمایی تغییرات بارش برای افق ۲۰۵۰ بیانگر کاهش بارش تابستان طبق هر دو سناریو در همه ایستگاه‌ها است که به طور متوسط در کل حوضه طبق سناریوی RCP4.5 به مقدار ۹ درصد و طبق سناریوی RCP8.5 به میزان ۱۵ درصد کاهش بارش مورد انتظار است. همچنین افزایش بارش در زمستان دور از انتظار

منابع مورد استفاده

- امانی، ا. و حسینی شمعی، ع. ۱۳۸۹. بررسی پتانسیل انرژی باد در ایستگاه‌های حوضه آبریز رودخانه ارس جنوبی. مجله علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال ۱۰، شماره ۲۹، ۲۶-۱.
- آذری، م.، مرادی، ح.، تقیان، ب. و فرامرزی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در حوضه آبخیز گرگانرود. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۷، شماره ۳، ۵۴۷-۵۳۷.
- تابان، ح. و ظهراپی، ن. و نیکبخت شهبازی، ع. ۱۳۹۸. شبیه‌سازی متغیرهای هیدرواقلمی AOGCMs و بررسی دامنه تغییرات متغیرها تحت تأثیر تغییر اقلیم در حوضه دز علیا. علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۴۲، شماره ۳، ۱۶۱-۱۴۷.
- ساری صراف، ب.، قلی نژاد، ن. و کمانی، ا. ۱۳۹۰. بررسی خشکسالی و ترسالی حوضه ارس با استفاده از نمایه‌های مبتنی بر بارش. فصل‌نامه جغرافیای طبیعی لار، سال ۴، شماره ۱۲، ۱۵-۱.
- عساکره، ح. و اکبرزاده، ی. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره (۲۰۱۰-۲۱۰۰) با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) و خروجی CanESM2. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۱، ۱۷۴-۱۵۳.
- مرتضوی زاده، ف. و گودرزی، م. ۱۳۹۷. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روی رواناب سطحی و آب زیرزمینی با استفاده از مدل اقلیمی HadGEM2 (مطالعه موردی هشتگرد). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۳۲، شماره ۲، ۴۴۶-۴۳۳.

- Arnell, N.W. and Reynard, N.S. 1996. The effects of climate change due to global warming on river flows in Great Britain. *Journal of Hydrology*, 183(3-4): 397-424.
- Azmi, M., Rüdiger, C. and Walker, J.P. 2016. A data fusion-based drought index. *Water Resources Research*, 52(3): 2222-2239.
- Demirhan, H. and Atilgan, Y.K. 2015. New horizontal global solar radiation estimation models for Turkey based on robust coplot supported genetic programming technique. *Energy Conversion and Management*, 106: 1013-1023.
- Farsi, N. and Mahjouri, N. 2019. Evaluating the contribution of the climate change and human activities to runoff change under uncertainty. *Journal of Hydrology*, 574: 872-891.
- Gebremicael, T. G., Mohamed, Y. A., Betrie, G. D., van der Zaag, P. and Teferi, E. 2013. Trend analysis of runoff and sediment fluxes in the Upper Blue Nile basin: A combined analysis of statistical tests, physically-based models and landuse maps. *Journal of Hydrology*, 482: 57-68.
- Hamed, K.H. and Rao, A.R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204(1-4):182-196.
- Huntington, T. G. 2003. Climate warming could reduce runoff significantly in New England, USA. *Agricultural and Forest Meteorology*, 117(3-4): 193-201.
- IPCC 2013. *Climate Change: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press.
- Kendall, M.G. 1975. *Rank correlation methods.* Charles Griffin, London 35.
- Li, B., Su, H., Chen, F., Li, H., Zhang, R., Tian, J., Chen, Sh., Yang, Y. and Rong, Y. 2013. Separation of the impact of climate change and human activity on streamflow in the upper and middle reaches of the Taoer River, Northeastern China. *Theoretical and Applied Climatology*, 118(1-2): 271-283.
- Liu, J., Chen, J., Xu, J., Lin, Y., Yuan, Z. and Zhou, M. 2019. Attribution of runoff variation in the headwaters of the Yangtze River Based on the Budyko Hypothesis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(14): 2506.
- Liu, N., Harper, R. J., Smettem, K. R. J., Dell, B. and Liu, S. 2019. Responses of streamflow to vegetation and climate change in southwestern Australia. *Journal of Hydrology*, 572: 761-770.
- Liu, Y., Hu, X., Wu, F., Chen, B., Liu, Y., Yang, S. and Weng, Z. 2019. Quantitative analysis of climate change impact on Zhangye City's economy based on the perspective of surface runoff. *Ecological Indicators*, 105: 645-654.
- Mallakpour, I., Sadegh, M. and AghaKouchak, A. 2018. A new normal for streamflow in California in a warming climate: Wetter wet seasons and drier dry seasons. *Journal of Hydrology*, 567: 203-211.
- Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Journal of the Econometric Society*, 13(3):245-259.
- Młyński, D., Cebulska, M. and Wałęga, A. 2018. Trends, variability, and seasonality of maximum annual daily precipitation in the upper Vistula basin, Poland. *Atmosphere*, 9(8): 313.
- Pettitt, A. N. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 28(2): 126-135.
- Radchenko, I., Dervedde, Y., Mannig, B., Frede, H. G. and Breuer, L. 2017. Climate change impacts on runoff in the Ferghana Valley (Central Asia). *Water Resources*, 44(5): 707-730.
- Reshmidevi, T.V., Kumar, D.N., Mehrotra, R. and Sharma, A. 2018. Estimation of the climate change impact on a catchment water balance using an ensemble of GCMs. *Journal of Hydrology*, 556: 1192-1204.
- Schmidt, M. and Lipson, H. 2009. Distilling free-form natural laws from experimental data. *Science*, 324(5923): 81-85.
- Sen, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324): 1379-1389.
- Sfyarakis, C. 2010. Runoff prediction from a hydrological spatio-temporal database. M.Sc. Thesis, Artificial Intelligence, School of Informatics, University of Edinburgh, (1-90).
- Teng, J., Chiew, F. H. S., Timbal, B., Wang, Y., Vaze, J. and Wang, B. 2012. Assessment of an analogue downscaling method for modelling climate change impacts on runoff. *Journal of Hydrology*, 472: 111-125.
- Xie, P., Wu, Z., Sang, Y. F., Gu, H., Zhao, Y. and Singh, V. P. 2018. Evaluation of the significance of abrupt changes in precipitation and runoff process in China. *Journal of Hydrology*, 560: 451-460.
- Xu, J., Wang, J., Wei, Q. and Wang, Y. 2016. Symbolic regression equations for calculating daily reference evapotranspiration with the same input to Hargreaves-Samani in arid China. *Water Resources Management*, 30(6): 2055-2073.
- Yang, W., Long, D. and Bai, P. 2019. Impacts of future land cover and climate changes on runoff in the mostly afforested river basin in North China. *Journal of Hydrology*, 570: 201-219.

Zheng, H., Chiew, F. H., Charles, S. and Podger, G. 2018. Future climate and runoff projections across South Asia from CMIP5 global climate models and hydrological modelling. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 18: 92-109.



ISSN 2251-7480

Fluctuations Analysis of Rainfall and Runoff in Aras Border Basin under Climate Change Conditions

Amin Sadeqi^{1*} and Yagob Dinpashoh²

1- M.Sc. Graduate in Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

* Corresponding Author: aminsadeqi95@ms.tabrizu.ac.ir

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 12-02-2020

Accepted: 01-07-2020

Abstract

In this study, rainfall and runoff data recorded of selected stations of Aras Boundary Basin were used to analyze rainfall and runoff fluctuations and they are projected for horizons, 2050. The Pettitt test was used to detect the breakpoint in rainfall and runoff time series. Trends in rainfall and runoff were also calculated using the original and modified Mann-Kendall test. The trend line slope was also obtained by Sen's estimator method. To project the future, general circulation models (GCMs) under two greenhouse gas emission scenarios i.e. RCP4.5 (low emission) and RCP8.5 (high emissions) were used. The Eureka Formulize tool was used to simulate the rainfall-runoff process. Results showed that most of the abrupt changes have occurred in the second half of the 1990s. 83% of seasonal time series breakpoints were related to runoff. Also, 67% of the abrupt changes have occurred in the winter and spring seasons. The highest increase in annual rainfall (according to RCP4.5 scenario) at Nir station is expected to be 9% and the highest decrease in annual rainfall (according to RCP8.5 scenario) at Khoy station is predicted at 11%. It is also worth mentioning that in the seasonal time scale will have the highest rainfall reduction in summer. The Eureka Formulize performed very well at all stations with NRMSE of less than 0.5%. The results indicated that the lowest slope of the base period runoff trend line (in seasonal time scale) was -1.3 million m³ in summer at Badalan station. There will be no significant change in the annual flow in the future period.

Keywords: Aras; GCM; Precipitation; Runoff; Simulation; Abrupt Change.