



اثر تغییر اقلیم بر نوسانات رواناب سطحی حوضه آبریز رودخانه ارس

رضا آقایی سامیان^۱، علی محمد خورشید دوست^{۲*}، سعید جهانبخش اصل^۳، آیدا حسینی بقانام^۴

۱- دانشجوی دکتری تغییرات آب و هوایی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- استاد گروه آب و هواشناسی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- استاد گروه آب و هواشناسی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۴- استادیار گروه آب، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۵

چکیده

یکی از مهم‌ترین اثرات تغییر اقلیم تشدید چرخه هیدرولوژیکی می‌باشد که موجب تغییر میزان دما، تبخیر و تعرق و تغییر الگوی بارش می‌شود. پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی تغییرات دما، بارش و ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم بر وضعیت رواناب‌های سطحی حوضه آبریز ارس واقع در شمال غرب ایران صورت گرفت. شبیه‌سازی شرایط اقلیمی در محیط نرم‌افزار LARS-WG تحت سناریو RCP8.5 انجام شد و در محیط نرم‌افزار اکسل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با استفاده از مدل تجربی ترنت وایت اصلاح‌شده میزان تبخیر و تعرق پتانسیل برای دو دوره مشاهداتی و شبیه‌سازی برآورد گردید. جهت اطمینان از صحت سنجی مدل از شاخص‌های خطا سنجی میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE)، و ضریب تعیین (R^2) و ضریب کارایی نش - ساتکلیف (ENS) نیز استفاده شد، همچنین مدل‌سازی تغییرات رواناب سطحی در محیط نرم‌افزار GIS و افزونه SWAT انجام شد و پس از تشکیل واحدهای هیدرولوژیکی (HRU) جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل شرایط پایه برای تغییرات رواناب‌های سطحی انتخاب گردید و برای ایستگاه‌های هیدرومتری اعتبارسنجی صورت گرفت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد با مدل‌سازی داده‌های اقلیمی طی دوره شبیه‌سازی میزان دما و تبخیر و تعرق افزایش خواهد یافت و در مقابل میزان نزولات جوی کاهش اتفاق افتاده و رواناب سطحی کاهش پیدا می‌کند. همچنین نتایج صحت‌سنجی برای داده‌های اقلیمی نشان داد که دقت مدل در ایستگاه‌های منتخب موردبررسی بالا بوده است و برای پارامتر بارش به دلیل ماهیت ناپیوسته آن، همبستگی بین داده‌ی کمتر از پارامتر دما و متفاوت می‌باشد. نتایج مدل‌سازی هیدرومتری حوضه‌ها نشان داد که مقدار نش - ساتکلیف به مقدار ۱ نزدیک بوده و ضریب همبستگی بین داده‌ها ۰/۹۹ می‌باشد که نشان‌دهنده کارایی بالایی مدل جهت شبیه‌سازی و برآورد تغییرات اقلیم و اثرات آن بر میزان رواناب‌های سطحی می‌باشد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، رواناب سطحی، SWAT، WG-LARS، حوضه آبریز ارس، شمال غرب ایران.

۱- مقدمه

تغییر اقلیم یک مسئله ضروری عصر حاضر می‌باشد (جیانگ و همکاران^۱، ۲۰۱۹: ۲). اثرگذاری بر منابع آب، از تأثیرات نمود تغییر اقلیم به شمار می‌رود. این اثرگذاری منفی با توجه به شدت و مدت، در هر قسمت متمایز از جای دیگر می‌باشد (معتد وزیر و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۰۲). شناخت دگرگونی‌های اقلیمی و رفتار آن‌ها در دوره‌های آتی و اثرات آن‌ها در حوضه‌های مختلف به خصوص در منابع آب در برنامه‌ریزی‌های کلان و استراتژیک از اهمیت خاصی برخوردار است (حاجی‌محمدی، ۲۰۱۸: ۱۴۴). تغییر اقلیم و افزایش گرمایش جهانی باعث گسترش خشک‌سالی‌ها و تداوم آن‌ها شده و این تغییر باعث توزیع غیریکنواخت بارش می‌شود و بر منابع آب تأثیر می‌گذارد (نادری و همکاران، ۱۳۹۷، ۶۳). بررسی تغییرات اقلیمی و آثار آن بر منابع آب و به‌ویژه رواناب می‌تواند زمینه‌ساز اتخاذ سیاست‌های راهبردی آینده مدیریت منابع آب باشد، بدون توجه به این واقعیت که اقلیم در حال تغییر است، نمی‌توان برنامه‌ریزی واقع‌بینانه‌ای را در زمینه بهره‌برداری از منابع آب انجام داد (হারدی^۲، ۲۰۰۳: ۱۱). مقدار رواناب سطحی، یکی از مؤلفه‌های اصلی در توسعه پایدار است؛ بنابراین پیش‌بینی میزان و روند تغییرات آن در موضوع مدیریت منابع آبی حائز اهمیت می‌باشد. مقدار رواناب، آبدهی رودخانه‌ها، شدت سیلاب و خشک‌سالی، همگی متأثر از دما و بارش‌اند که از مهم‌ترین عناصر اقلیمی هستند (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۷۶). از این‌رو با توجه به تغییرات اقلیمی و تأثیر آن بر فرایندهای هیدرولوژیکی، بررسی مطالعات منطقه‌ای تأثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای هیدرولوژیکی و تأثیر آن بر منابع آب در دسترس، ضروری می‌نماید. در حوضه‌های آبریز شمال غرب کشور به دلیل کاهش منابع سطحی و ورودی آن به حوضه‌های پائین‌دست موجب افت آب‌های سطحی شده و با افزایش دما و تبخیر و تعرق، مشکلات عدیده‌ای به وجود آمده فعالیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار داده است. بنابراین با توجه به اهمیت و ضرورت موضوع، تأثیرات تغییرات آب و هوایی بر روی نوسانات آب‌های سطحی حوضه آبریز ارس در شمال غرب ایران مورد مطالعه قرار گرفته است. پژوهش‌های متعددی در زمینه تغییر اقلیم و اثرات آن بر رواناب حوضه صورت پذیرفته است. (فاتحی و شاهویی، ۲۰۲۰: ۲۹۴) و (ذهبیون و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۳) کاربرد مدل‌های عمومی جو HadCm3 و LARS-WG در ریزمقیاس نمایی و استفاده از روش SWAT^۳ در ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی حوضه آبریز مورد توجه بوده است. (صالح و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۰۳۹، گریزتی و همکاران^۴، ۲۰۰۳: ۲۵، سانتی و همکاران^۵، ۲۰۰۱: ۱۵۵۹). (باباییان و همکاران، ۲۰۱۴: ۹۰۷)، با مطالعه تغییر اقلیم اثراتی را بر رفتار منابع آب حوضه مشاهده نمودند. بر اساس بررسی‌های ایشان، اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدرو اقلیمی بخشی از حوضه

1- Jiang et al.

2- Hardy

3- Soil and Water Assessment Tool

4- Grizzetti et al.

5- Santhi et al.

آبریز رودخانه مهم درگز، بارش حوضه کاهش و دما افزایش می‌یابد. در این راستا (جهانبخش و خورشید دوست، ۲۰۱۶: ۱۰۷)، به‌منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش، حوضه‌ی شهرچای ارومیه را مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیده‌اند که بارش دوره‌ی آتی در این حوضه، ۹ میلی‌متر کاهش خواهد یافت. به‌منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بارندگی و منابع آب سطحی تجدیدپذیر، (سوری‌نژاد، ۲۰۲۰: ۳۷۳) سی حوضه آبریز کشورها مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج این پژوهش نشان از منفی بودن روند بارندگی در همه حوضه‌ها بوده و میانگین حجم جریان‌های سطحی تجدیدپذیر بیست سال اخیر نسبت به میانگین پنجاه سال کاهش یافته است. در مرکز اروپا (اکارت و آلبریچ^۱، ۲۰۰۳: ۲۴۴) اثرات تغییر اقلیم بر تغذیه آب‌های زیرزمینی و جریان آبراهه‌ای را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق، ضمن تأیید کارایی مدل SWAT به کاهش آب زیرزمینی اشاره داشته‌اند. به‌منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب، (ژانک و همکاران^۲، ۲۰۱۲: ۲۱۹۹)، از مدل SWAT در شمال چین استفاده نمودند. ایشان نتیجه گرفتند که تغییر اقلیم باعث افزایش منابع آب آبی و سبز شده است و فعالیت‌های انسانی اثر معنی‌داری در تغییر این منابع نداشته است.

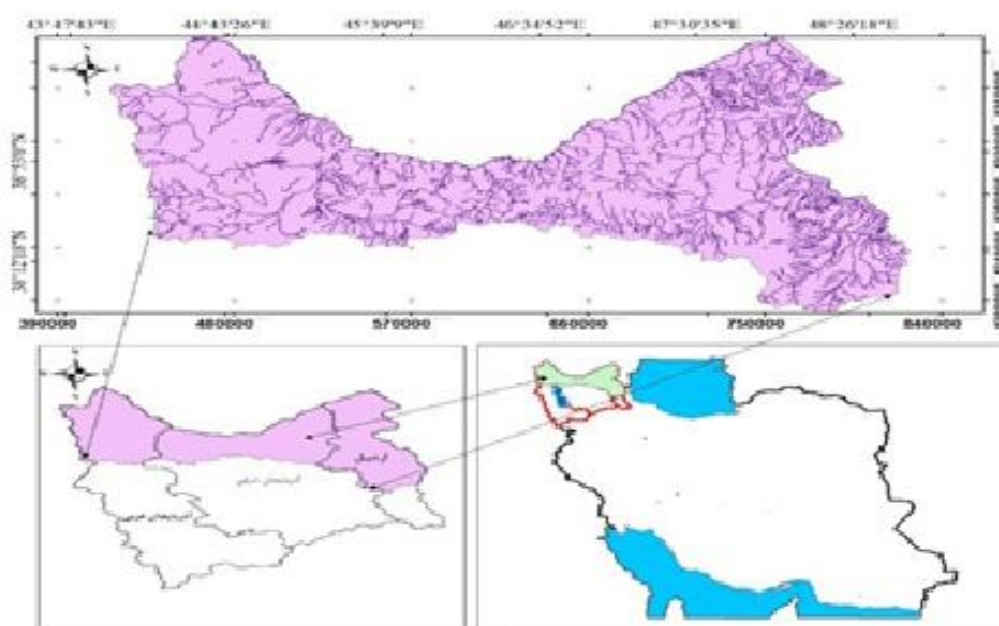
حوضه آبریز ارس در شمال غرب کشور قرار دارد و یک حوضه‌ی مرزی مشترک با کشورهای ترکیه، آذربایجان و ارمنستان است. همچنین از نظر تقسیمات سیاسی کشور بخش‌هایی از سه استان آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و اردبیل را در برمی‌گیرد. مساحت این حوضه برابر ۳۹۵۳۴ کیلومترمربع و از نظر جغرافیایی بین ۴۴ درجه و ۱ دقیقه و ۴۲ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۴۲ دقیقه و ۳۳ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۶ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۳۹ درجه و ۴۷ دقیقه و ۷ ثانیه عرض شمالی واقع گردیده است (حافظ‌پرست، ۲۰۱۵: ۶۳).

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

با توجه به شکل ۱، حوضه آبریز رودخانه ارس شمالی‌ترین گستره هیدرولوژی ایران را بین عرض‌های ۳۸ تا ۴۰ درجه شمالی تشکیل می‌دهد. این حوضه از دیدگاه اقلیم‌شناسی کلان‌مقیاس، دارای ویژگی‌های مناطق معتدل عرض‌های میانی کره زمین می‌باشد. با این حال، وجود مناطق کوهستانی و مرتفعی چون دامنه‌های سبلان و آرات و دشت‌های وسیعی که در تراز پایین‌تر از ۵۰۰ متر قرار دارند، موجب تنوع اقلیمی قابل توجهی در این حوضه شده است (طالبی، ۲۰۱۹: ۲۰۰۴). رود ارس ۱۰۷۲ کیلومتر طول دارد که ۴۵۰ کیلومتر آن در مرز ایران است (قهرودی تالی، ۲۰۱۲: ۹۹۷). حوضه آبریز رودخانه ارس یکی از حوضه‌های باز ایران است که در تقسیم بندی حوضه‌های آبریز ایران، حوضه فرعی به شمار می‌رود و زیرمجموعه حوضه آبریز دریای مازندران است.

حوضه آبریز رودخانه ارس با مساحت بیش از صد هزار کیلومترمربع، قسمتهایی از خاک کشور ترکیه، آذربایجان، ارمنستان و ایران را در برمی گیرد (دستورانی، ۲۰۲۰: ۲۶).



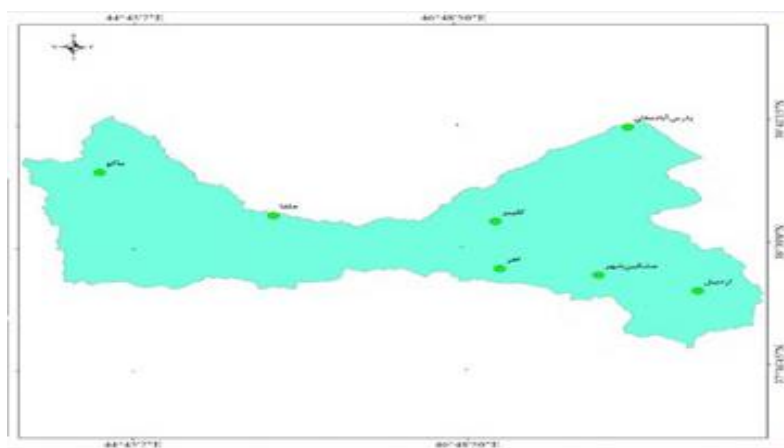
شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز ارس

Fig (1): Geographical location of Aras watershed

۲-۲- داده‌های موردنیاز

در این پژوهش، متغیرهای اقلیمی (بارش، دمای حداقل و حداکثر روزانه و ساعات آفتابی)، متغیرهای هیدرومتری (دبی و رواناب) و متغیرهای محیطی (زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و هیدرولوژیکی) در دوره مشترک آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۴) مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور ابتدا مرز منطقه مورد مطالعه شناسایی و ویژگی هیدرولوژی و زیر حوضه‌های آن تشریح گردید. ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک (شکل ۲) و هیدرومتری (جدول ۱) منطقه برای تأمین داده‌های موردنیاز مشخص گردید. سپس داده‌های موردنیاز هواشناسی برای بررسی و روند تغییرات اقلیمی و سناریوسازی شامل داده‌های مشاهداتی دمای متوسط، دمای حداقل و حداکثر و متوسط بارندگی ماهانه و سالانه در دوره مطالعاتی ۳۰ ساله برای تعداد ۷ ایستگاه منتخب سینوپتیک شامل ماکو، اهر، جلفا، پارس‌آباد، مشگین‌شهر، اردبیل و کلیبر تهیه گردید. در ادامه به منظور بررسی ویژگی‌های هیدرولوژی این حوضه و اندازه‌گیری رواناب رودخانه‌ها، از تعداد ۱۰ ایستگاه موجود بر رودخانه‌های مختلف به شرح جدول ۱ استفاده گردید. با عنایت به مطالعات میدانی کمیت داده‌های این ایستگاه‌ها مناسب ارزیابی می‌گردد. در انتخاب ایستگاه‌های هیدرومتری نزدیکی فاصله با ایستگاه‌های هواشناسی نیز مدنظر بوده

است. بررسی نمودار شکل ۳ نشان می‌دهد بیشترین و کمترین مقدار رواناب ماهانه‌ی حوضه به ترتیب در ماه‌های فروردین و شهریور برابر با ۵۷/۶۸ و ۱۸/۸۲ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. بر اساس نمودار شکل ۴ متوسط رواناب سالانه در سطح این حوضه برابر ۲/۸۱ مترمکعب در ثانیه است که بیشترین آن مربوط به ایستگاه کلیبر و کمترین آن مربوط به ایستگاه مراکند می‌باشد. جهت پیکربندی حوضه در مدل SWAT، از نقشه‌های کاربری اراضی، خاک و مدل رقومی ارتفاع استفاده گردید.



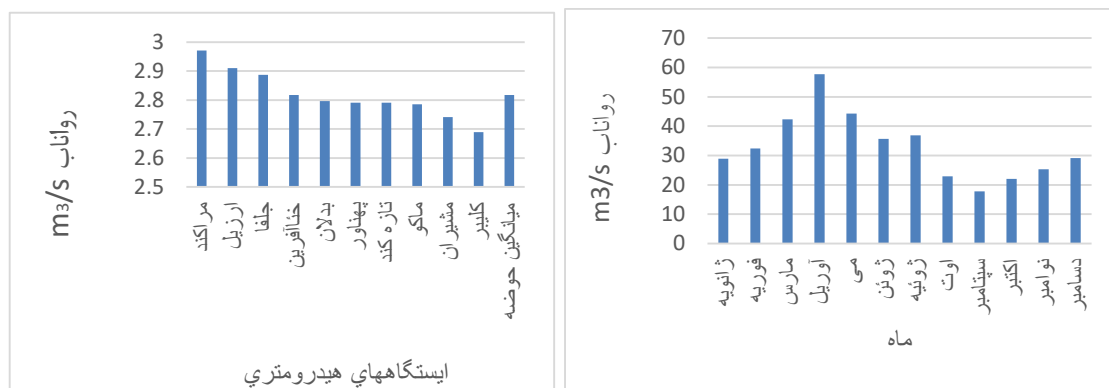
شکل (۲): موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه آبریز ارس

Fig (2): Location of the synoptic stations of Aras watershed

جدول (۱): مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری

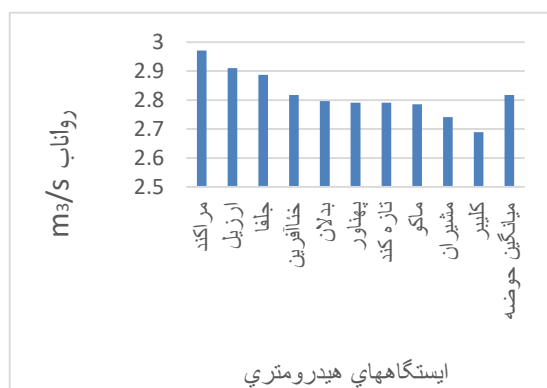
Table (1): Geographical characteristics of hydrometric stations

نام ایستگاه	نام رودخانه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
ارزیل	ارزیل	۳۸ ۳۳	۴۶ ۰۸	۱۴۴۹
پهناور	حاجیلر چای	۳۸ ۴۹	۴۶ ۱۵	۶۷۶
تازه کند	اهرچای	۳۸ ۲۵	۴۷ ۱۴	۱۲۷۲
کلیبر	کلیبرچای	۳۸ ۵۱	۴۷ ۰۲	۱۱۱۸
جلفا	ارس	۳۸ ۵۶	۴۵ ۳۸	۷۲۴
خدا افرین	ارس	۳۸ ۰۸	۴۶ ۵۷	۲۷۰
بدلان	الندچای	۳۸ ۳۵	۴۴ ۴۲	۱۵۱۳
ماکو	زنگمار	۳۹ ۱۷	۴۴ ۳۱	۱۱۸۰
مشیران	دره رود	۳۸ ۴۱	۴۷ ۳۲	۷۰۵
مراکند	آق چای	۳۸ ۵۱	۴۵ ۱۶	۹۲۳



شکل (۳): نمودار توزیع ماهانه‌ی رواناب

Fig (3): Monthly distribution diagram of runoff



شکل (۴): نمودار توزیع سالانه‌ی رواناب

Fig (4): Annual distribution diagram of runoff

۳-۲- روش تحقیق

بارندگی و دما، دو متغیر اقلیمی هستند که در بررسی تغییر اقلیم نقش تعیین کننده‌ای را ایفا می‌کنند. به‌منظور شبیه‌سازی آن‌ها برای دوره‌های آتی تحت آثار این پدیده، از مدل‌های اقلیمی مختلفی استفاده می‌شود (مساح بوانی و مرید، ۱۳۸۵: ۱۹). مدل‌های آماری و مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)، دودسته از مدل‌های اقلیمی شبیه‌سازی هستند. با توجه به کارایی مناسب مدل‌های GCM، استفاده از آن‌ها بیشتر مورد تأیید و توجه پژوهشگران بوده (خزائی و خزائی، ۲۰۱۸: ۳۳؛ کمری و همکاران، ۲۰۱۸: ۳۰؛ طاووسی و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۸۹؛ صمدی‌نقاب، ۲۰۱۱: ۵۹) و در این تحقیق از این مدل بهره گرفته شده است. در وضعیت کنونی، معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه‌بعدی جفت شده گردش عمومی اتمسفر-اقیانوس (AOGCM^۱) می‌باشد (سولومون و همکاران^۲، ۲۰۰۷؛ ویلی و هاریس^۳، ۲۰۰۶). این مدل‌ها ابزاری معتبر برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیم و تهیه ورودی‌های مدل‌های هیدرولوژیکی می‌باشند. در این تحقیق، با توجه به ضرورت شبیه‌سازی مدل‌های AOGCM در مقیاس حوضه آبریز، از خروجی مدل Hadcm3، زیرمجموعه‌ای از پنجمین (AR5) گزارش ارزیابی IPCC استفاده شده است. بر اساس این گزارش، انتخاب سناریوهای انتشار برای دریافت خروجی این مدل، به‌صورت چهار سناریو ارائه شده است. سناریوی RCP2.6 به‌عنوان سناریو خوش‌بینانه و سناریوی RCP8.5، سناریو بدبینانه یا بحرانی در نظر گرفته شده است.

1- Atmosphere-Ocean General Circulation Model
2- Solomon et al.

3- Wilby & Harris

۱-۳-۲- شبیه‌سازی اقلیم و ریزمقیاس نمایی داده‌ها:

به‌منظور شبیه‌سازی اقلیم آینده، اطلاعات آماری داده‌های اقلیمی تعداد هفت ایستگاه هواشناسی سینوپتیک منتخب در حوضه آبریز ارس در بازه زمانی سی‌ساله ۲۰۱۴-۱۹۸۵ مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش، خروجی مدل Hadcm3 از زیرمجموعه مدل AOGCM مربوط به پنجمین گزارش ارزیابی در بازه‌ی زمانی (۲۰۵۰-۲۰۲۱) به‌عنوان دوره آینده و (۲۰۱۴-۱۹۸۵) به‌عنوان دوره پایه تحت سناریو انتشار RCP8.5 استخراج گردید. در مطالعاتی که برای مقایسه کارایی مدل‌های گردش عمومی جو انجام شده است، مدل‌های مرکز هدلی به‌ویژه Hadcm3 برای برازش دما و بارش ایران مناسب شناخته شده‌اند و در مقایسه با مدل‌های دیگر، دارای نزدیک‌ترین نتایج نسبت به داده‌های مشاهداتی هستند (صمدی و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۵۳، فرزانه و همکاران، ۲۰۱۲: ۳۷ و احمدی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۸۰). در این پژوهش، به‌منظور تصحیح خطای مدل‌های اقلیمی مورد استفاده در مقیاس حوضه آبریز ارس، روش ریزمقیاس نمایی آماری را انتخاب و از داده‌های مدل Hadcm3 و مولد آب‌وهوایی استفاده شده است. مدل‌های اقلیمی با توجه به عوامل مختلف مانند بزرگ‌مقیاس بودن سلول محاسباتی، نواقصات و کمبود داده‌ها، عدم تولید متغیرها در مقیاس‌های کوچک، خطای اندازه‌گیری داده‌های مشاهداتی و تفکیک‌پذیری پایین زمانی و مکانی، با عدم قطعیت همراه بوده و استفاده از خروجی آن‌ها در مقیاس حوضه امکان‌پذیر نبوده (توولر و همکاران^۱، ۲۰۱۷: ۸۸۳، فوولر و همکاران^۲، ۲۰۰۷: ۱۵۴۸، رسولی و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۲ و تمی و همکاران^۳، ۲۰۱۲: ۴۵۶) و به‌منظور پیش‌بینی‌های دقیق و مناسب و افزایش دقت و صحت خروجی مدل‌های اقلیمی، ضروری است روش‌های ریزمقیاس نمایی در مقیاس محلی معمول گردد (دی‌آموریم و همکاران^۴، ۲۰۱۴: ۴۸۱۹، فرمانبر و همکاران، ۲۰۱۸: ۷۷، فولور و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۵۴۸، و سو و همکاران^۵، ۲۰۱۳: ۳۲۰۸). این روش‌ها با تصحیح خطای مدل‌های اقلیمی در مقیاس محلی بوده و به دو گروه دینامیکی و آماری تقسیم می‌شوند. روش‌های دینامیکی با استفاده از حل عددی معاملات حاکم بر اتمسفر و روش‌های آماری با مقایسه میانگین و واریانس دوره مشترک و برقراری یک رابطه تجربی بین داده‌های مدل و مقادیر مشاهداتی، دقت مدل‌های اقلیمی در مقیاس محلی را افزایش می‌دهند (دهقانی و همکاران، ۱۴۰۰: ۴۴). روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری، کاربرپسند بوده و در عین سادگی، با دقت و صحت بیشتری کاهش خطاها را اعمال می‌کنند (چن و همکاران^۶، ۲۰۱۲: ۳۶ و چی‌سانگا و همکاران^۷، ۲۰۱۷: ۱۶۷). مدل‌های مولد آب و هوایی و SDSM جز این دسته از روش‌ها می‌باشند (گودرزی، ۱۳۹۸: ۶۵).

1- Towler et al.

2- Fowler et al.

3- Theme et al.

4- De Amorim et al.

5- Su et al.

6- Chen et al.

7- Chisanga et al.

۱-۳-۲- معرفی مدل مولد آب و هوایی LARS-WG

مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG توسط راسکو و همکاران^۲ (۱۹۹۷: ۲۷) و سمنوف و بارو^۳ (۱۹۹۸: ۱۹۵) ارائه گردید. LARS-WG، یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هواست و برای تولید دمای حداقل و حداکثر، بارش و تابش به صورت روزانه در شرایط تغییر اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۳۸). این مدل به دلیل تکرار محاسبات، نیاز کمتر به داده‌های ورودی و سادگی و کارایی، نسبت به دیگر برنامه‌ها دارای کاربرد بیشتری است (کیلربی و همکاران^۴، ۲۰۰۷: ۱۷۰۵). این مدل، در عین پیچیدگی کمتر فرآیند شبیه‌سازی و داده‌های ورودی و خروجی، توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییر اقلیم دارد (سمنوف و استراتونویچ^۵، ۲۰۱۰: ۲). در حال حاضر این مدل به دو منظور، تولید داده‌های روزانه آینده به صورت مصنوعی و داده‌سازی در بازه‌های زمانی در ایستگاه‌های فاقد آمار به کار می‌رود (کونانی، ۲۰۲۱: ۲). این مدل قادر به تولید یک سری داده‌های هواشناسی با مشخص‌های آماری مشابه دوره اقلیمی بوده و از سه بخش اصلی تشکیل شده است: واسنجی یا کالیبراسیون، ارزیابی و شبیه‌سازی داده‌ها. اجرای این مدل بر اساس داده‌های تهیه‌شده، شامل دمای حداقل و حداکثر، بارش روزانه و ساعات آفتابی ایستگاه‌های منتخب با در نظر گرفتن یک دوره ۳۰ ساله به عنوان دوره پایه بوده و مدل بر اساس آن اجرا می‌گردد. در مرحله بعد، به منظور ارزیابی داده‌ها از آماره‌های ضریب تعیین^۶ (R^2)، میانگین مربعات خطا^۷ (RMSE)، و ضریب کارایی نش - ساتکلیف^۸ (ENS) استفاده گردید. سپس با حصول اطمینان از صحت نتایج ارزیابی و قابلیت این مدل در شبیه‌سازی داده‌های مشاهده‌ای هواشناسی، اقدام به اجرای مرحله سوم شبیه‌سازی برای دوره‌های آتی گردید. سپس، در مرحله نهایی اطلاعات اقلیمی کوچک‌مقیاس شده به یک مدل هیدرولوژیکی معرفی می‌شود. در این مرحله عدم قطعیت ناشی از مدل‌های مختلف هیدرولوژیکی مطرح می‌شود (گسلینگ و همکاران^۹، ۲۰۱۱: ۲۸۱). انتخاب یک مدل از بین مدل‌های هیدرولوژیکی مختلف که بتواند تأثیرات تغییر اقلیم را با توجه به شرایط مختلف مدیریت کشاورزی و منابع آبی بر روی سیستم منابع آب یک منطقه شبیه‌سازی کند، تأثیر بسزایی در ارزیابی اثرات این پدیده و تصمیم‌گیری بهتر سازمان‌ها و ذینفعان مربوط دارد. بررسی تحقیقات انجام‌شده نشان داده است که مدل SWAT به دلایلی مانند قابلیت شبیه‌سازی و بدون هزینه بودن هم‌زمان اثرات متقابل متغیرهای هیدرولوژیکی و مدیریت کشاورزی (مانند رواناب، تبخیر و تعرق و آب‌های سطحی و زیرزمینی) و متغیرهای گیاهی (مانند عملکرد) در حوضه‌های پیچیده با شرایط کاربری اراضی و نوع خاک متنوع مناسبی می‌باشد (نیچ

1- Weather Generator

2- Racsko

3- Semenov and Barrow

4- Kilsby et al.

5- Semenov & Stratonovitch

6- R-squared correlation

7- Root of Mean Square Error

8- Nash-Sutcliffe coefficient

9- Gosling et al.

و همکاران^۱، ۲۰۱۱). این مدل با دارا بودن این امکانات، می‌تواند تحلیل‌های لازم را در محیط GIS به‌طور مکانی انجام دهد (منصوری و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۱۹۲).

۳-۲-۲- معرفی مدل SWAT

مدل SWAT، یک مدل جامع و کامل در مقیاس حوضه می‌باشد که توسط سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا برای پیش‌بینی تأثیر شیوه‌های مدیریتی متفاوت بر جریان، رسوب، عناصر غذایی و بیلان مواد شیمیایی در حوضه‌هایی با خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی ارائه شده است (نیچ و همکاران، ۲۰۰۲: ۸۸). این مدل، یک مدل هیدرولوژیکی، پیوسته زمانی، نیمه توزیعی و با پایه فیزیکی است که توسط USDA-ARS توسعه یافته است (آرنولد و همکاران^۲، ۱۹۹۸: ۷۳). در این مدل، تعریف واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) جهت اجرای مدل و شبیه‌سازی متغیرهای مورد نظر (متغیرهای هیدرولوژیکی، عملکرد و غیره) بسیار اهمیت دارد. این واحدها با ترکیب لایه‌های DEM، کاربری اراضی و نوع خاک به وجود می‌آیند. بطوریکه در هریک از این واحدها نوع خاک و کاربری اراضی یکسان می‌باشند و مدل فرض می‌کند که رفتار هیدرولوژیکی آن‌ها یکسان خواهد بود (منصوری و همکاران، ۱۳۹۳، ۱۱۹۷). داده‌های ورودی به این مدل را می‌توان به دودسته کلی، نقطه‌ای و لایه‌ای (مکانی) تقسیم‌بندی کرد.

۳-۲-۲-۱- اطلاعات موردنیاز جهت اجرای مدل SWAT

نقشه‌های اصلی مورد استفاده این مدل در حوضه آبریز ارس، شامل نقشه‌های کاربری اراضی، خاک و مدل رقومی ارتفاعی می‌باشد. برای این منظور، نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست 5 و اطلاعات میدانی حوضه، تهیه گردید. نقشه خاک تهیه شده توسط سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی ملل متحد (FAO) مورد استفاده قرار گرفت. با معرفی ایستگاه‌های حوضه، متغیرهای بارندگی، دمای حداقل و حداکثر در مقیاس روزانه به مدل معرفی گردید. داده‌های مربوط به دبی موردنیاز از تعداد ۱۰ ایستگاه منتخب گردآوری شد.

۳-۲-۲-۲- واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

برای شروع کار و اجرای مدل، مرز حوضه و زیر حوضه‌ها و شبکه آبراهه بر اساس نقشه رقومی ارتفاعی تهیه گردید. سپس نقشه DEM^۳ و نقشه‌های زیر حوضه‌ها و شبکه آبراهه‌ای از پیش آماده شده، به محیط نرم‌افزار مدل فراخوانده شد. در این مرحله محدوده آبخیز و زیر حوضه‌ها و خصوصیات فیزیکی آبخیز توسط مدل محاسبه می‌شود. در مرحله بعد با استفاده از نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و طبقات شیب، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی

1- Neitsch et al.

2- Aarnold et al.

3- Digital elevation model

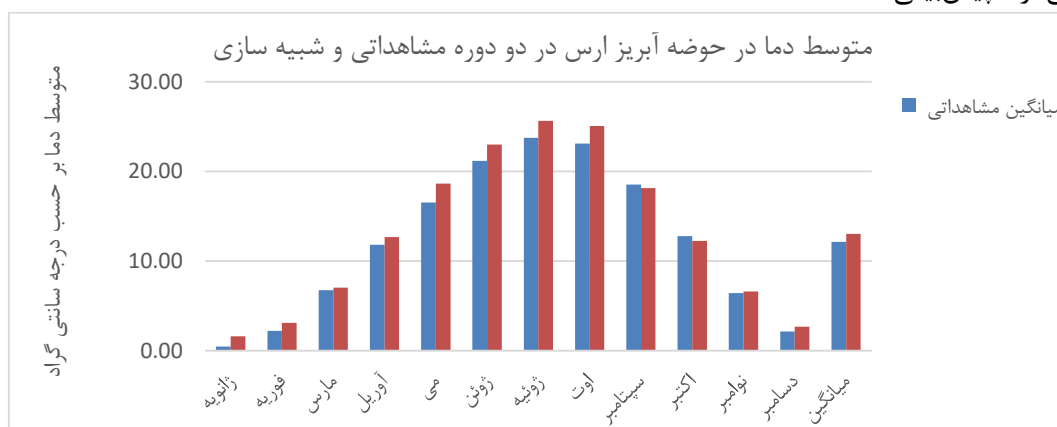
(HRU) تعریف شدند. برای این کار دو نقشه اول از قبل آماده بودند و نقشه طبقات شیب نیز در همین مرحله با استفاده از نقشه DEM و در شش طبقه شیب ۵-۱۰، ۱۰-۵، ۳۰-۶۵، ۶۵-۳۰، و بیشتر از ۶۵٪ با استفاده از مدل SWAT و در محیط ArcGIS تهیه شدند. سپس هر سه نقشه باهم و در محیط نرم افزار مدل ترکیب شدند. حاصل کار این مرحله، تشکیل ۱۹ واحد پاسخ هیدرولوژیک بود. پس از تهیه نقشه HRU ها، داده های هواشناسی ریزمقیاس شده وارد مدل گردید. پس از این مرحله، دستور اجرای مدل داده شد و نتایج استخراج گردید. برای شناخت کامل مدل و انجام موفق مرحله واسنجی، لازم است برای پارامترهای مدل، آنالیز حساسیت انجام شود. در تحقیق حاضر، واسنجی و عدم قطعیت این مدل جهت بررسی مطالعات حوضه آبریز ارس در نرم افزار SWAT-CUP^۱ الگوریتم SUFI2 انجام گردید. آنالیز حساسیت مدل برای انتخاب پارامترهای حساس در واسنجی نیز با استفاده از روش One- At-A Time انجام گرفت. به منظور واسنجی مدل، ۱۴ پارامتر اصلی مؤثر بر رواناب بعد از حساسیت سنجی انتخاب گردید. برای ارزیابی نکویی برازش مدل از دو تابع هدف ضریب تعیین (R^2) و نش ساتکلیف (NS) استفاده گردید (رجائی، ۲۰۲۱: ۸).

۳- یافته ها و بحث

۳-۱- ریزمقیاس نمایی و تولید داده های شبیه سازی

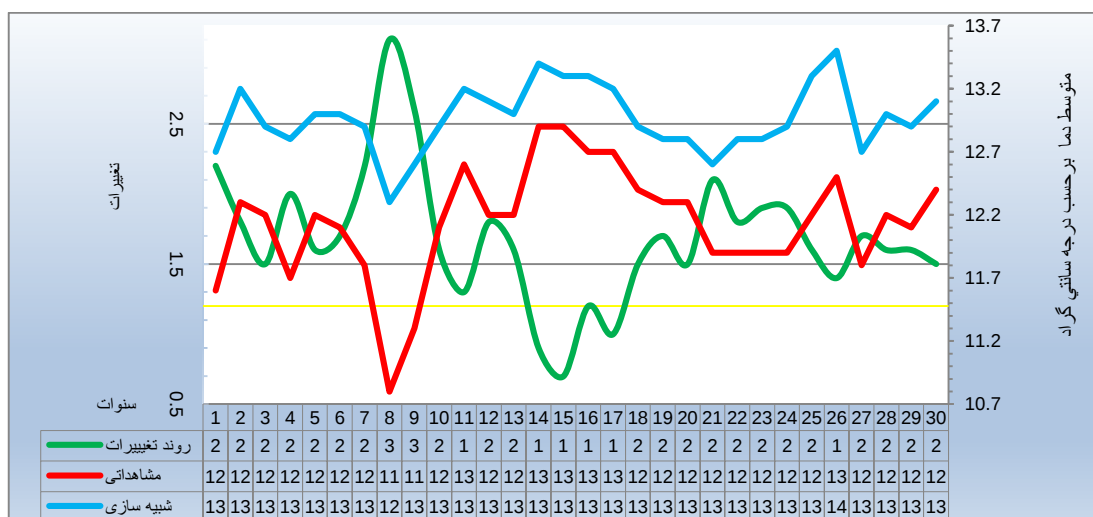
پس از انتخاب مدل اقلیمی Hadcm3 و تعیین سناریو RCP8.5، تولید داده های شبیه سازی شده برای دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) انجام و به منظور مقایسه با داده های مشاهداتی؛ از خروجی های مدل برای هر تغییر اقلیمی به صورت ماهانه، میانگین گیری به عمل آمد. نمودار شکل ۵، تغییرات میانگین متوسط دما و روند تغییرات آن را در دوره شبیه سازی نسبت به دوره پایه را نشان می دهد. بر اساس این نمودار، متوسط دمای ایستگاه در بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۸۵ در کل حوضه به میزان ۱۲/۱ درجه سانتی گراد بوده که کمینه دما در ماه ژانویه به میزان ۰/۴۶ درجه سانتی گراد و بیشینه متوسط دما در ماه ژوئیه به میزان ۲۳/۷ درجه سانتی گراد می باشد. در طی دوره سناریو سازی سال های ۲۰۵۰-۲۰۲۰، حداکثر دما به میزان ۲۵/۶ درجه سانتی گراد در ماه ژوئیه و حداقل آن به میزان ۱/۶ درجه سانتی گراد در ماه ژانویه می باشد. در کل حوضه، طی سی سال سناریو سازی پیش بینی می شود، متوسط دما در کل حوضه به میزان ۱۳ درجه سانتی گراد برسد. همچنین بررسی نمودار شکل ۶ نشان می دهد که متوسط دما، روند افزایشی بسیار ملایم را داشته و روند تغییرات دوره شبیه سازی تقریباً منطبق با روند تغییرات طی سی سال مشاهداتی بوده است. کاهش میانگین متوسط دما در سال ۱۹۹۲ مطابق با کاهش دما در سال ۲۰۲۸ بوده و همچنین افزایش میانگین متوسط دما در سال ۲۰۱۰ موجب شده

که در سال ۲۰۴۶ نیز افزایش دما برآورد گردد. به طور میانگین میزان تغییرات متوسط دما افزایش ۰/۹ درجه سانتی گراد پیش بینی شده است.



شکل (۵): نمودار میانگین متوسط دما در دو دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴ و ۲۰۲۱-۲۰۵۰

Fig (5): Average temperature graph in two periods: 1985-2014 and 2021-2050



شکل (۶): نمودار روند تغییرات متوسط دما در دوره سی ساله مشاهداتی و پیش بینی شده

Fig (6): The graph of average temperature changes in the observed and predicted thirty-year period

میزان انحراف معیار واریانس داده های مشاهداتی به ترتیب به میزان (۰/۴) و (۰/۲) بوده و با توجه به جدول شماره ۲، داده ها از پراکنش مناسبی جهت انجام تحلیل و شبیه سازی برخوردار می باشند. همچنین مقادیر مربوط به انحراف معیار واریانس داده های شبیه سازی شده که به ترتیب به میزان (۰/۳) و (۰/۱) می باشند، نشان می دهد

بین میزان واریانس داده‌های پایه و داده‌های برآوردی ارتباطی معنی‌داری وجود دارد و میزان انحراف معیار داده‌های شبیه‌سازی‌شده، نشان‌دهنده‌ی کارایی مدل در برآورد میزان متوسط دمای حوضه آبریز ارس می‌باشد. میزان چولگی منفی نشان می‌دهد تابع توزیع به سمت مقادیر کوچک‌تر میل کرده و حالت نامتقارن دارد و میزان چولگی داده‌های مشاهده‌ای بیشتر از میزان چولگی داده‌های شبیه‌سازی‌شده می‌باشد. بررسی ضریب تغییرات در داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده نشان می‌دهد، ضریب مذکور کمتر از یک بوده و نشان‌دهنده پراکنش مناسب داده‌ها می‌باشد.

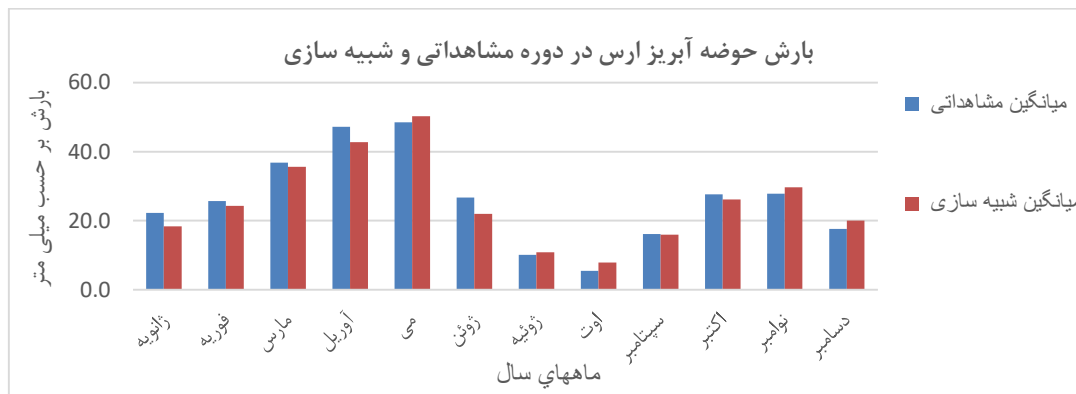
جدول (۲): آماره‌های متوسط دما در دوره سی‌ساله مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده

Table (2): Average temperature statistics in the 30-year observation and forecast period

معیار	مشاهداتی	سناریوسازی	روند تغییرات
aver	۱۲/۱	۱۳	۱/۷
max	۱۲/۹	۱۳/۵	۳/۱
min	۱۰/۸	۱۲/۳	۰/۷
R	۳/۱	۲/۲	۳/۴
k	۵/۹	۵/۹	۵/۹
c	۰/۵	۰/۴	۰/۶
v	۰/۲	۰/۱	۰/۲
sd	۰/۴	۰/۳	۰/۵
sk	۰/۸-	۰/۱-	۰/۷
kurtosis	۱/۷	۰/۲	۲/۲
t-test	۱/۲-	۱/۹-	۱/۱-
cv	.	.	۰/۳

بر اساس نمودار شکل ۷، بیشترین میزان بارش در حوضه، در ماه می با میزان ۴۸/۵ میلی‌متر بوده و کمترین میزان بارش در ماه اوت به میزان ۵/۵ میلی‌متر می‌باشد. مجموع بارش حوضه در این دوره به میزان ۳۱۱/۷ میلی‌متر بوده و روند تغییرات بارش طی ماه‌های سال بیانگر بیشترین نزولات جوی در بهار و پسا‌زان در پائیز می‌باشد. همچنین بررسی تحلیل نتایج داده‌های ایستگاه هواشناسی دوره‌ی سی‌ساله سناریوسازی (۲۰۵۰-۲۰۲۱) بیش‌ترین میانگین میزان بارش ماهانه در ماه می حدود ۵۰/۴ میلی‌متر و کم‌ترین میزان بارش در ماه اوت حدود ۷/۹ میلی‌متر اتفاق خواهد افتاد. در اکثر ایستگاه‌ها بیشترین میزان بارش در ماه‌های مارس، آوریل و می اتفاق افتاده است. همچنین روند تغییرات بارش در حوضه ۷/۹ میلی‌متر را نشان می‌دهد. در دوره‌ی ۲۰۵۰-۲۰۲۱ بیشترین میزان بارندگی در سال ۲۰۴۷ حدود ۳۴۲ میلی‌متر می‌باشد و کمترین میزان بارندگی در سال

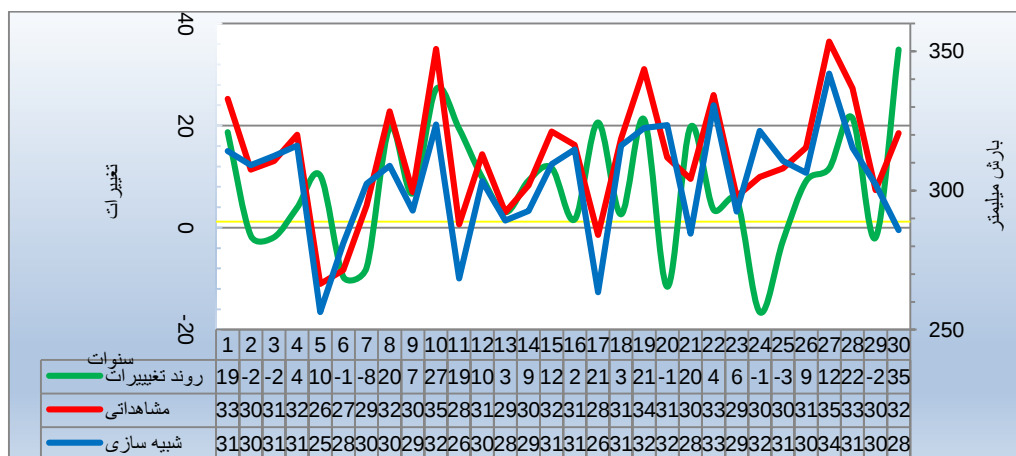
۲۰۲۵ حدود ۲۵۶/۳ میلی‌متر برآورد گردیده و میانگین دوره سی‌ساله در کل حوضه به میزان ۳۰۳/۸ میلی‌متر پیش‌بینی می‌گردد. همچنین در روند کلی حوضه، بارش کاهشی خواهد بود.



شکل (۷): نمودار میانگین بارش ماهانه در دو دوره مشاهداتی ۱۹۸۵-۲۰۱۴ و شبیه‌سازی ۲۰۲۱-۲۰۵۰

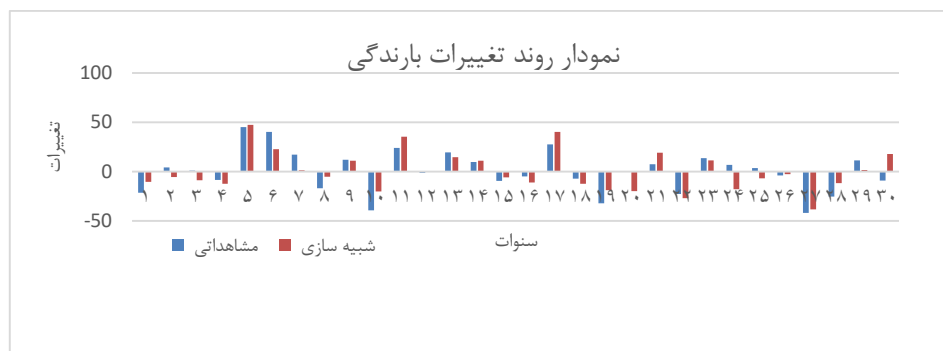
Fig (7): Graph of average monthly rainfall in two periods of observation 1985-2014 and simulation 2021-2050

مطابق نمودار شکل ۸، روند تغییرات میانگین بارش در این حوضه، دارای نوسان محسوس در سال‌های مختلف بوده است که حداکثر متوسط سالانه میزان بارندگی ۳۵۳/۶ میلی‌متر و حداقل میزان بارندگی ۲۶۶/۵ میلی‌متر بوده است با بررسی نمودار شکل ۹، مشخص می‌گردد که در ابتدای دوره موردبررسی دوره ترسالی بوده و در انتهای دوره، خشک‌سالی‌های متناوب رخ داده است و این روند در داده‌های برآورد شده نیز مشهود می‌باشد.



شکل (۸): نمودار روند تغییرات در میانگین بارندگی ایستگاه هواشناسی در دو دوره مشاهداتی ۱۹۸۵-۲۰۱۴ و شبیه‌سازی ۲۰۲۱-۲۰۵۰

Fig (8): Graph of average monthly rainfall in two periods of observation 1985-2014 and simulation 2021-2050



شکل (۹): نمودار روند تغییرات بارش در دوره سی ساله مشاهداتی و پیش‌بینی شده

Fig (9): The graph of precipitation changes in the observed and predicted thirty-year period

بررسی و تحلیل جدول ۳ نشان می‌دهد انحراف معیار دوره‌ی مشاهداتی ۲۰/۷ و میزان انحراف معیار داده‌های سناریوسازی ۱۹/۵ می‌باشد. انحراف معیار بالای صفر نشان از پراکندگی داده‌ها در طول فصول متعدد بوده و بررسی متغیرهای موجود واریانس در هر دو حالت مثبت می‌باشد. واریانس‌های با مقدار بیشتر، نشان‌دهنده فاصله دورتر نقاط داده‌ها از میانگین هست. بررسی حداقل و حداکثر واریانس و تعداد متغیرهای مورد مطالعه (۳۰ سال) نشان می‌دهد توزیع و پراکندگی داده‌ها دارای اختلاف زیاد بوده و پراکنش داده‌ها قابل قبول است. همچنین ضریب تغییرات در داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نشان‌دهنده‌ی توزیع نرمال و پراکنش مناسب داده‌ها هست.

جدول (۳): روند تغییرات دوره‌های بارش در دوره سی ساله مشاهداتی و پیش‌بینی شده

Table (3): Changes in precipitation periods in the thirty-year observation and forecast period

معیار	مشاهداتی	سناریوسازی	روند تغییرات
aver	۳۱۱/۷	۳۰۳/۸	۷/۹
max	۳۵۳/۶	۳۴۲	۳۴/۹
min	۲۶۶/۵	۲۵۶/۳	-۱۶/۶
R	۸۸/۱	۸۶/۷	۵۲/۵
k	۵/۹	۵/۹	۵/۹
c	۱۴/۸	۱۴/۶	۸/۸
v	۴۴۴/۶	۳۹۴/۹	۱۴۶/۷
sd	۲۰/۷	۱۹/۵	۱۱/۹
sk	.	-۰/۶	۰/۱
kurtosis	.	۰/۲	-۰/۳
t-test	.	.	-۰/۱
cv	۰/۱	۰/۱	۱/۵

۳-۲- اعتبارسنجی و واسنجی مدل پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی در حوضه آبریز ارس

بررسی معیارهای ارزیابی آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب نش-ساتکلیف (ENS)، ضریب تورش یا اریبی (Bias) و ضریب تعیین (R^2) داده‌های اقلیمی دوره‌ی پایه و مشاهداتی با داده‌های حاصل از شبیه‌سازی، جهت ارزیابی مدل در این حوضه، طبق جدول ۴، نشان می‌دهد مقدار RMSE برای بارش بیشتر است که این عامل را می‌توان به ماهیت پارامتر بارندگی نسبت داد و میزان خطای داده‌های حداکثر، حداقل و متوسط دما بیشتر از ۰/۸ می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی حداقل خطا در داده‌های پیش‌بینی شده می‌باشد. ضریب همبستگی داده نیز نزدیک یک بوده که بیانگر همبستگی مناسب داده‌ها می‌باشد.

جدول (۴): نتایج حاصل از ارزیابی آماری داده‌های اقلیمی در حوضه آبریز ارس

Table (4): The results of the statistical evaluation of climatic data in Aras watershed

معیار	بارندگی (mm)	دمای حداکثر ($^{\circ}\text{C}$)	دمای حداقل ($^{\circ}\text{C}$)	متوسط دما ($^{\circ}\text{C}$)
حوضه	RMSE	۰/۹۶	۰/۸۱	۰/۸۹
آبریز	bias	۰/۳۲	۰/۰۲۷	۰/۰۲
ارس	R^2	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹۹
	E_{ns}	۰/۸۹	۰/۳۸	۰/۷۰

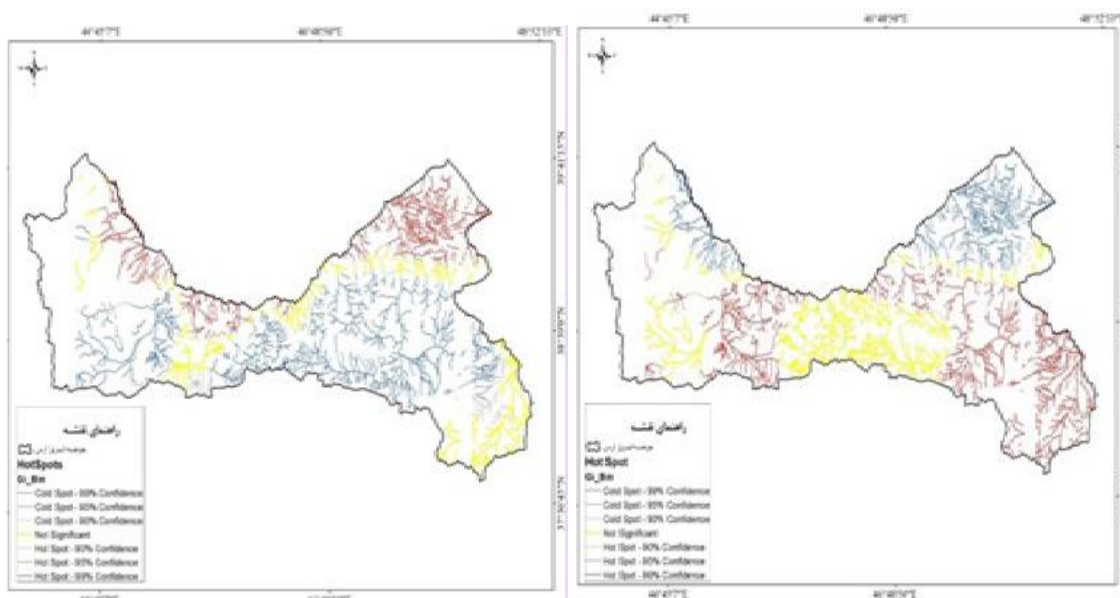
۳-۳- نتایج اعتبارسنجی مدل جهت برآورد رواناب حوضه آبریز ارس

بررسی نمودار موران جدول ۵ نشان می‌دهد، توزیع وضعیت دبی‌های مشاهداتی و ثبت‌شده ایستگاه هیدرومتری حوضه آبریز ارس به یک نزدیک‌تر بوده و نشان‌دهنده‌ی توزیع خوشه‌ای (Clustered) در دبی ایستگاه‌ها می‌باشد. بررسی نقشه ۱۰ آنالیز موران در وضعیت مشاهداتی حوضه آبریز رودخانه ارس نشان می‌دهد در مصب‌های رودخانه اصلی زیر حوضه‌ها وضعیت High-High Cluster خوشه‌ها مقدار زیاد و همبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۹ درصد اطمینان بوده و در حوضه رودخانه‌ی ارس خوشه با وضعیت بحرانی Low-High Outlier مشاهده نمی‌شود. بررسی نقشه ۱۱ آنالیز نقاط داغ حوضه آبریز رودخانه ارس در وضعیت شبیه‌سازی نشان می‌دهد در رودخانه‌های رده ۱ و ۲ با وضعیت Cold Spot-99%Confidence خوشه‌های مقدار کم و همبستگی فضایی منفی در سطح ۹۹ درصد اطمینان می‌باشد. هرچند دبی رودخانه‌ی ارس موجب توسعه‌ی کانال‌های آبرسانی در مغان، پل دشت و حاشیه رودخانه نشان از بهبود دبی می‌دهد ولی اکثر این رودخانه‌ها فصلی بوده و با افزایش دما و کاهش باران بیشترین آسیب را خواهند دید و در دبی رودخانه‌های فصلی اکثراً همبستگی معنی‌دار وجود ندارد.

جدول (۵): شاخص موران دبی مشاهداتی حوزه آبریز ارس

Table (4): Moran's index of observation discharge of Aras catchment basin

Input Feature Class:	دبی مشاهداتی رودخانه ارس	Moran's Index:	0.709238
Input Field:	Q	Expected Index:	-0.016129
Conceptualization:	INVERSE_DISTANCE	Variance:	0.007469
Distance Method:	EUCLIDEAN	z-score:	8.392965
Row Standardization:	True	p-value:	0.000000
Distance Threshold:	38911.2859 Meters	Dataset Information	
Weights Matrix File:	None		
Selection Set:	False		



شکل (۱۱): آنالیز موران حوضه در وضعیت شبیه سازی

شکل (۱۰): آنالیز موران حوضه در وضعیت مشاهداتی

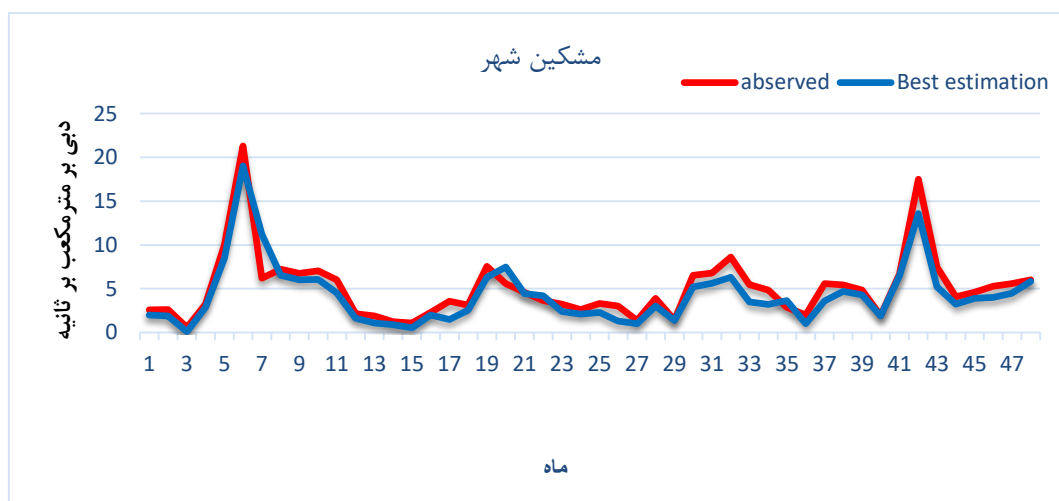
Fig (11): Moran's analysis in simulation mode

Fig (10): Moran's analysis in the observational situation

۴-۳- نتایج واسنجی مدل SWAT جهت برآورد رواناب

در طی انجام تحلیل حساسیت، ۸ پارامتر به کار برده شد. این پارامترها در مرحله نهایی شبیه سازی وارد مدل شدند. واسنجی رواناب حوضه با استفاده از آمار سال های (۲۰۰۳-۲۰۰۶) و بر پایه زمانی ماهانه انجام گرفت. در مراحل مختلف به واقعی کردن پارامترها پرداخته شده و در نهایت مقادیر بهینه پارامترها جهت شبیه سازی رواناب ماهانه حوضه آبریز تعیین شد. جهت ارزیابی دبی شبیه سازی شده توسط مدل، در دوره ی اعتبارسنجی حوضه

آبریز ارس این مقادیر با دبی مشاهداتی، بررسی برای همه ایستگاه‌های خدا آفرین، ارزیل، پهنور، مراکند، جلفا، بدلان، کلیبر، تازه‌کند، ماکو و مشیران مورد مقایسه قرار گرفت که عملیات شبیه‌سازی برای دوره‌ی ۴ ساله اعتبارسنجی با خطای قابل قبول انجام پذیرفت. تحلیل نمودار شکل ۱۲ مربوطه به ایستگاه مشگین‌شهر نشان می‌دهد به‌طور کلی دبی مشاهداتی از دبی شبیه‌سازی‌شده در محیط SWAT-CUP کمتر می‌باشد اما در ماه‌های هفتم و بیستم و سی و پنجم به دبی مشاهده‌ای نزدیک شده و حتی بیشتر برآورد شده است. ایستگاه مشگین‌شهر به علت اینکه در اقلیم مرطوب قرار دارد و با توجه به اختلاف میزان بارندگی بین دوره مشاهداتی و دوره‌ی شبیه‌سازی آن اختلاف چندانی بین دبی مشاهداتی و دبی شبیه‌سازی‌شده مشاهده نمی‌شود.



شکل (۱۲): نمودار مقایسه مقادیر رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در مرحله اعتبارسنجی ایستگاه
 Fig (12): Comparison chart of observed and simulated runoff values in the station validation stage

۴- نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم تأثیرات مهمی بر منابع آب حوضه‌ها داشته (USEPA^۱, 2004; IPCC, 2007) و در اختیار داشتن اطلاعات با ملحوظ کردن اثر گرم شدن جهانی بسیار محدود بوده و ارزیابی ناحیه‌ای این اثر برای درک تغییرات هیدرولوژی بسیار مهم و ضروری می‌باشد (سلیمانی‌پور و صراف، ۱۳۹۹: ۷۶). در این پژوهش، تغییرات احتمالی روی میانگین پارامترهای اقلیمی و همچنین رواناب سطحی به‌عنوان مشخصه آماری که بیشترین اتکا در مدیریت منابع آب به آن هست، ارزیابی گردید. اهداف علمی آن پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در این منطقه و ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم بر وضعیت منابع آب‌های سطحی حوضه آبریز می‌باشد. اهداف کاربردی این پژوهش، بسط

1- U.S. Environmental Protection Agency

علمی چارچوب مدل مفهومی بارش - رواناب (SWAT)، نحوه اثرگذاری تغییر اقلیم بر نوسانات منابع آب سطحی، بررسی تغییرات روان آب‌های سطحی در مقاطع مختلف با استفاده از پارامترهای جهانی تأییدشده، استفاده از مدل LARS- WG و ریزمقیاس کردن متغیرهای موردبررسی و پیش‌بینی روند تغییرات اقلیمی و تغییرات آب‌های سطحی در بازه‌ی زمانی بلندمدت بوده است. بدین منظور از بین مدل‌های جهانی اقلیم، مدل HadCM3 و از بین مدل‌های ریزمقیاس گردانی مدل‌های ریز گردانی آماری LARS-WG انتخاب و روش‌های تکمیلی در این زمینه، مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اهداف مطالعه برای بررسی روند جریان آب‌های سطحی از داده‌های هیدرومتری استفاده شده و پس از شناسایی عوامل مؤثر در شبیه‌سازی روند تغییرات دبی رودخانه در محیط نرم‌افزار ARCGIS و افزونه SWAT داده‌های موردنیاز برای مقایسه دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده تهیه گردید.

میانگین دمای سالانه حوضه آبریز ارس به لحاظ قرارگرفتن در عرض جغرافیایی بالا و ارتفاع زیاد، نسبت به میانگین دمای سالانه اکثر مناطق کشور کمتر بوده و جزء مناطق سردسیر کشور محسوب می‌شود. این منطقه یکی از مناطق سردسیر ایران بوده و بین پنج تا هشت ماه از سال سرد است. ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه آبریز ارس واقع در سه استان آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و اردبیل شامل (ماکو، اهر، جلفا، پارس‌آباد، مشکین‌شهر، اردبیل، کلیبر) موردبررسی قرارگرفته است. در بین ایستگاه‌های موردبررسی ایستگاه مشکین‌شهر با ارتفاع ۱۸۳۰ متر و ایستگاه پارس‌آباد با ارتفاع ۳۱۰۶ متر از سطح دریا دارای بیشترین و کمترین ارتفاع در سطح حوضه می‌باشند. بیشترین میانگین بارش ماهانه در این حوضه برابر با ۸۲/۴ میلی‌متر و در ماه اوت نازل می‌گردد و کمترین میانگین بارش به مقدار ۲۱/۴ میلی‌متر در ماه می است. در بین ایستگاه‌های منتخب، ایستگاه جلفا با کمترین بارندگی و ایستگاه مشکین‌شهر دارای بیشترین بارندگی می‌باشد. متوسط میزان بارندگی سالانه حوضه به میزان ۳۰۷/۴۲ میلی‌متر می‌باشد. مهم‌ترین رودهای حوضه‌ی آبریز رودخانه ارس شامل کلیبرچای، ایلگنه چای، حاجیلر چای، زنگمار، قطور چای و رودخانه دره رود (قره‌سو، بالخلوچای، اهر چای، مشکین‌چای) می‌باشد که رودخانه کلیبرچای، رودخانه ایلگنه‌چای و رودخانه حاجیلرچای از رودخانه‌های اصلی در حوضه رود ارس در استان آذربایجان شرقی محسوب می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد بیشترین رواناب ماهانه‌ی حوضه ارس برابر با ۵۷/۶۸ مترمکعب در ثانیه در ماه آوریل (فروردین) جریان پیدا می‌کند و کمترین مقدار آن با ۱۸/۸۲ مترمکعب در ثانیه در ماه سپتامبر (شهریور) روی می‌دهد و متوسط رواناب سالانه در سطح حوضه‌ی آبریز ارس ۲/۸۱ مترمکعب در ثانیه است که کمترین و بیشترین مقدار آبدهی نیز به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های کلیبر و مراکند می‌باشد.

نظر به حساسیت مدل شبیه‌سازی SWAT-CUP به شاخص‌های مؤثر در شبیه‌سازی داده‌های هیدرومتری پس از ۶۵ بار تکرار پارامترهای شماره منحنی (CN)، حداقل ارتفاع سطح ایستابی (GWQMN)، کاربری اراضی (HRU-SLP)، چگالی و رطوبت خاک (SOL-AWC)، جریان پایه آب برای ذخیره کناری (ALPHA-BNK) و متوسط دمای هوای برای تبدیل باران به برف (SFTMP) به عنوان شاخص‌های مهم شناخته شد که ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده برای این حوضه بین ۶۷ تا ۹۹ درصد بوده است که نشان می‌دهد مدل شبیه‌سازی SWAT-CUP کارایی مناسبی برای شبیه‌سازی و برآورد تغییرات اقلیم و اثرات آن برخوردار است.

نتیجه ارزیابی دبی شبیه‌سازی شده در حوضه آبریز ارس برای دوره‌ی ۴ ساله نشان می‌دهد دبی مشاهداتی با دبی شبیه‌سازی همخوانی داشته و بررسی نمودار موران نیز نشان می‌دهد در توزیع وضعیت دبی‌های مشاهداتی و ثبت شده ایستگاه هیدرومتری حوضه آبریز ارس، میزان 0.709238 بوده که نشان‌دهنده‌ی توزیع خوشه‌ای (Clustered) در دبی ایستگاه‌ها می‌باشد. با توجه به اینکه دبی رودخانه ارس از کشورهای ترکیه (۱۵ درصد)، ارمنستان (۱۵ درصد)، گرجستان (۱۸ درصد)، جمهوری آذربایجان (۳۱ درصد) و ایران (۲۱ درصد) تأمین می‌گردد ولی سایر ایستگاه‌های این حوضه فقط از زیر حوضه خود تغذیه می‌گردد. همچنین با توجه به میزان p-value به میزان صفر و نظر به میزان z-score به میزان 8.39297 ، احتمال کمتر از یک درصد وجود دارد که این الگوی خوشه‌ای می‌تواند نتیجه شانس تصادفی باشد.

نتایج حاصل از این پژوهش، نشان‌دهنده‌ی تغییرات قابل توجه متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژی حوضه ارس در دوره پیش‌بینی آینده می‌باشد. مقایسه مؤلفه‌های اقلیمی مشاهداتی و شبیه‌سازی توسط این مدل اقلیمی در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ نشان می‌دهد دمای منطقه در ماه‌های مختلف به میزان 0.9 درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه گرم‌تر می‌شود. بارش نیز به جز در ماه‌های بدون بارش، $7/9$ میلی‌متر کاهش می‌یابد. این افزایش دما و افزایش تبخیر و تعرق و به تبع آن کاهش بارش می‌تواند بر مقدار آب قابل‌دسترس، زمان پیک و وقایع حدی تأثیر بگذارد. نظر به تحلیل آماری داده‌های ثبت شده و شبیه‌سازی شده اقلیم‌شناسی و هیدرولوژی محدوده مورد مطالعه، تغییر اقلیم و افزایش دما در منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده و اراضی کوهستانی هرچند هنوز دبی رودخانه‌های موجود را تا دامنه کوه‌ها تأمین می‌نمایند، ولی در اراضی دشتی امکان تأمین و تغذیه رودخانه‌های دائمی وجود ندارد. هرچند به دلیل ویژگی توپوگرافیکی و ژئوپلتیک حوضه رودخانه ارس هنوز اثرات خشک‌سالی در دبی آن کمتر مشاهده می‌گردد. با توجه به نتایج حاصل از تحقیق، میزان دما در سطح حوضه افزایش پیدا خواهد کرد که این موضوع می‌تواند افزایش تبخیر و تعرق، کاهش بارش‌های برفی و افزایش بارش‌های رگباری و سیل‌آسا را به دنبال داشته باشد؛ که این امر هم می‌تواند موجب کاهش ذخیره و تأمین منابع آبی حوضه و

نیز افزایش خسارات ناشی از وقوع بارش‌های رگباری و نیز شسته شدن خاک‌های حاصلخیز را به دنبال داشته باشد، لذا تأکید و توجه به منابع طبیعی، آبخیزداری و آبخوان‌داری و تقویت مراتع برای کاهش اثرات ناشی بارش‌های سیل‌آسا مفید می‌باشد. بنابراین لازم است مسئولین و برنامه‌ریزان استان‌های مربوطه در بخش‌های حوادث غیرمترقبه، کشاورزی و منابع آب راهکارهای لازم برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آب‌وهوایی جدید را اتخاذ نمایند. بنابراین از نظر برنامه‌ریزی منابع آب و تعیین سیاست‌های بهره‌برداری و تخصیص منابع آب حوضه، لازم است بازنگری‌هایی صورت گیرد چراکه میزان رواناب سطحی و توزیع جریان با توجه به تغییرات اقلیمی مورد انتظار، تغییر کرده است. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های تحقیق گودرزی و همکاران (۱۳۹۴) و نتایج حاصل از تحقیقات صورت گرفته توسط رجائی و قاسم‌زاده (۱۴۰۱)، ذهبیون و همکاران (۲۰۱۱)، سلیمانی‌پور و صراف (۲۰۲۰)، همخوانی دارد.

۵- منابع

- Ahmadi, H., Falah Qalhari, G., & Bagideh, M. (2018). Forecasting the effects of climate change on seasonal precipitation in cold regions of Iran based on radiative forcing (RCP) scenarios. *Journal of Earth and Space Physics*, 45(1), 177-196.
- Arnold, J.G., Srinivasan, P., Muttiah, R.S., & Williams, J.R. (1998). Large area hydrologic modelling and assessment part I. model development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34, 73-89. doi: 10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x
- Babaian, A., NajafiNik, Z., ZabulAbbasi, F., HabibiNokhandan, M., Adab, H., & Malbousi, S. (2009). Evaluation of the country's climate change in the period of 2010-2039 using exponential microscale data of ECHO-G atmospheric general circulation model. *Journal of Geography and Development*, 16(1), 135-152.
- Babaian, I., Zarghami, M., Koohi, M., Babaian, O., Karimian, M., & Modirian, R. (2014). Investigation of water resources behavior of Qaraqoom basin under climate change conditions (Case study: Dargaz sub-basin). *Journal of water and soil*, 27(5), 907-918.
- Barrow, E., Hulme, M., & Semenov, M. (1996). Effect of using different methods in the construction of climate change scenarios: examples from Europe. *Journal of Climate Research*, 7(3), 195-211. doi: 10.3354/cr007195
- Chen, H., Xu, C.Y., & Guo, S. (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, 36-45. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.02.040
- Chisanga, C.B., Phiri, E., & Chinene, V.R. (2017). Climate change impact on maize (*Zea mays* L.) yield using crop simulation and statistical downscaling models: A review. *Journal of Scientific Research and Essays*, 12(18), 167-187. doi: 10.5897/SRE2017.6521
- Conani, Z., Ildermi, A., Zinivand, H., & Nouri, H. (2021). Impact of climate change on runoff of Silakhor-Rahimabad Basin in Lorestan. *Journal of Hydrogeomorphology*, 7(25), 1-17.
- Dastorani, M., & Yazdan Panah Gharaei, F. (2020). Investigation of rainfall and discharge trends in Aras catchment. *Journal of Rainwater catchment systems*, 8(24), 25-34.
- De Amorim, P., Barfus, K., Weissand, H., & Bernhofer, C. (2014). Trend analysis and uncertainties of mean surface air temperature, precipitation and extreme indices in CMIP3 GCMs in Distrito Federal, Brazil. *Journal of Environmental earth sciences*, 72(12), 4817-4833. doi: 10.1007/s12665-014-3301-y
- Dehghani, M., Kavian, A., Habibnejad Roshan, M., Ghorbani, M., & Jafarian Jolodar, Z. (2021). Uncertainty assessment of regional models of climate change and methods of error correction and forecasting of climate changes in Birjand city. *Journal of Watershed Management*, 12(10), 42-53.

- Eckhardt, K., & Ulbrich, U. (2003). Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. *Journal of Hydrology*, 284, 244–252. doi: 0.1016/j.jhydrol.2003.08.005
- Farmanbar, Z., Delavar, M., & Imani Amirabadi, S. (2018). The Effects of Climate Change on Water Resources and Agricultural Systems in the Context of Regional Risk Assessment (Case Study: Lake Zarebar Basin). *Journal of Iran-Water Resources Research*, 13(4), 74-88.
- Fatehi, Z., & Shahoui, S. (2020). Application of SWAT model in simulation of monthly runoff, Lake Urmia watershed in Kurdistan province. *Journal of Environment and Water Engineering*, 6 (3), 294-304.
- Farzaneh, M.R., Eslamian, S., Samadi, S.Z., & Akbarpour, A. (2012). An appropriate general circulation model (GCM) to investigate climate change impac. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 2(1), 34-47.
- Fowler, H.J., Blenkinsop, S., & Tebaldi, C. (2007). Linking climate change modeling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling. *International journal of climatology*, 27(12), 1547-1578. doi: 10.1002/joc.1556
- Ghahrodi Tali, M. (2012). Necessity of Monitoring Border River Changes Case Study: Aras River (Dozal Basin). National Conference on Border Cities and Security; Challenges and Approaches. University of Sistan and Baluchestan. 996-1006.
- Grizzetti, B., Bouraoui, F., Granlund, K., Rekolainen, S., & Bidoglio, G. (2003). Modeling diffuse emission and retention of nutrients in the Vantaanjoki watershed (Finland) using the SWAT model. *Journal of Ecological Modelling*, 169(1), 25-38. doi: S0304-3800(03)00198-4
- Goodarzi, M., Salahi, B., & Hosseini, S.A. (2015). Investigating the effect of climate change on changes in surface runoff (case study: Lake Urmia catchment). *Journal of Ecohydrology*, 2(2), 175-189.
- Goodarzi, M., Salahi, B., & Hosseini, S.A. (2019). Evaluation of IHACRES model in simulation of river flow in Urmia Lake watershed. *Journal of Water and Wastewater*, 12(43), 1- 10.
- Goodarzi, M., & Chouba, S. (2019). Evaluation of exponential microscale methods in forecasting weather parameters under climate change conditions: A case study of Ardabil synoptic station. *Journal of Watershed Science and Engineering*, 13(45), 63-69.
- Gosling, S.N., Taylor, R.G., Arnell, N.W., & Todd, M.C. (2011). A comparative analysis of projected impacts of climate change on river runoff from global and catchment-scale hydrological models. *Hydrol. Earth Syst. Sc.* 15, 279-294. doi: 10.5194/hess-15-279-2011
- Hafezparast, M., Iraqi Nejad, S.H., & SharifAzari, S. (2015). Sustainability Criteria in Assessment of Integrated Water Resources Management In The Aras Basin Based on DPSIR Approach. *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(2), 61-77.

- Hajimohammadi, M., Azizian, A., & Ghermezcheshmeh, B. (2018). Evaluation of the impact of climate change on runoff in Kan Watershed. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 10(2), 144-156.
- Hardy, J.T. (2003). *Climate Change: Causes, Effects, and Solutions*. John Wiley & Sons, Ltd. 247 P.
- IPCC (2007). Summary for Policymakers, in: *Climate Change 2007*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.) (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, 1-18
- Jahanbakhsh Asl, S., Khorshiddoust, A.M., Alinejad, M.H., & Pourasghar, F. (2016). Impact of climate change on precipitation and temperature by taking the uncertainty of models and climate scenarios (case study: Shahrchay basin in Urmia). *Journal of Hydrogeomorphology*, 3(7), 107-122.
- Jiang, F., Li, C.W., & Qian, Y. (2019). Can firms run away from climate-change risk? Evidence from the pricing of bank loans. Unpublished manuscript.
- Kamari, H., Zainali, E., Soltani, A., & Qadrifar, F. (2021). Evaluation of LARS-WG model in predicting meteorological parameters of climatic regions under cotton cultivation in Iran. *Journal of Crop Production*, 13(4), 27-40.
- Khazaei, M.R., & Khazaei, H. (2018). Uncertainty analysis of GCM models and emission scenarios in assessing the effect of climate change on monthly runoff in Bashar basin: *Journal of Environmental Science and Technology Quarterly*, 20(1), 29-40.
- Kilsby, C.G., Jones, P.D., Burton, A., Ford, A.C., Fowler, H.J., Harpham, C., James, P., Smith, A., & Wilby, R.L. (2007). A daily weather generator for use in climate change studies. *The Journal of Environmental Modeling & Software*, 22(12), 1705-1719. doi: 10.1016/j.envsoft.2007.02.005
- Mansouri, B., Ahmadzadeh, H., MasahBowani, A., Merid, S., Delawar, M., & Lotfi, S. (2016). Investigating the effects of climate change on the water resources of Zarinneh Rood basin using the SWAT model. *Journal of Water and Soil*, 28(6), 1191-1203.
- Masah-Bovani, A., & Morid, S. (2005). The effects of climate change on the flow of the Zaindeh Roud in Isfahan. *Journal of Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources*, 9(4), 17-27.
- Motamedvaziri, B., Ahmadi, M., Ahmadi, H., Moeini, A., & Zehtabian, G.R. (2020). Evaluation of the impact of climate change on extreme flows in Kan watershed. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 9(2), 101-121.

- Naderi, M., Ilderami, A., Nouri, H., Aghabeigi Amin, S., & Zainivand, H. (2018). Investigating the impact of land use change and climate on watershed runoff using the SWAT model (case study: Green Basin). *Journal of Hydrogeomorphology*, 16(3), 61-79.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G. Kiniry, J.R., Williams, J.R., King, K.W. (2002). Soil and water assessment tool, user's manual: version 2000. USDA Agricultural Research Service and Texas A & M Black land Research Center, Temple, Texas. 506p.
- Rasuli, A.R., RezaeiBanafsheh, M., Massah K., Khorshiddoust, A.M., & Ghermezcheshmeh, B. (2014). Investigation Impact of Morpho-Climatic Parameters on Accuracy of LARS-WG Model. *Journal of Watershed Management Science*, 8(24), 8-18.
- Rajaei, F., DahmardehBehrooz, R., Ahmadisharaf, E., Galalizadeh, S., Dudic, B., Spalevic, V., & Novicevic, R. (2021). Application of Integrated Watershed Management Measures to Minimize the Land Use Change Impacts. *Water*, 13, 2039. doi: 10.3390/w13152039
- Rajaei, F., & Ghasemzadeh, S. (2022). Future climate assessment on the hydrology of the Gharenu watershed. *Journal of Soil and water*, 53(3), 501-511.
- Racsko, P., Szeidl, L., & Semenov, M.A. (1991). A Serial approach to local Stochastic Weather Models. *The Journal of Ecological Modeling*. (57): 27-41. doi: 10.1016/0304-3800(91)90053-4
- Saleh, A., & Du, B. (2002). Evaluation of SWAT and HSPF within BASINS program for the upper North Bosque River watershed in central Texas. *Transactions of the ASAE*, 47(4), 1039-1049. doi:10.13031/2013.10387
- Santhi, C., Arnold, J.G., Williams, J.R., Hauck, L.M., & Dugas, W.A. (2001). Application of a watershed model to evaluate management effects on point and nonpoint source pollution. *Transactions of the ASAE*, 44(6), 1559-1570.
- Samadi Naqab, S., Habibi Nokhandan, A., & Zabul Abbasi, R. (2011). Using the SDSM model for the microscale representation of GCM data of precipitation and temperature, a case study: station climate forecasts in Iran. *Journal of Climatology Research*, 1390(5), 57-68.
- Samadi, S.Z., Sagaraswar, G., & Tajiki, M. (2010). Comparison of general circulation models: methodology for selecting the best GCM in Kermanshah Synoptic Station, Iran. *International Journal of Global Warming*, 2(4), 347-365.
- Semenov, M.A. (2007). Development of high-resolution UKCIP02-based climate change scenarios in the UK. *The Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 144(1-2), 127-138. doi: 10.1016/j.agrformet.2007.02.003
- Semenov, M.A., & Stratonovitch, P. (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Journal of Climate research*, 41(1), 1-14. doi: 10.3354/cr00836

- Soori Nejad, A. (2020). Assessing the effects of climate change on renewable surface water resources in 30 catchments: *Journal of Natural Geography Research*, 52(3), 351-373.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Averyt, K., & Marquis, M. (2007). Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC (Vol. 4). Cambridge university press.
- Soleimanipour, M. & Saraf, A. (2020). Evaluating the effects of climate change on the water resources of Lar watershed using the SWAT model and comparing its results with Bayesian networks and hybrid intelligent models. *Journal of Natural Geography*, 12(50), 61-79.
- Su, F., Duan, X., Chen, D., Hao, Z., & Cuo, L. (2013). Evaluation of the global climate models in the CMIP5 over the Tibetan Plateau. *Journal of Climate*, 26(10), 3187-3208. doi: 10.1175/JCLI-D-12-00321.1
- Talebi, S. & Parvishi, A. (2019). Qualitative assessment of Aras River using IRWQIsc index upstream of Aras Dam Lake. *Journal of Environmental Science Studies*, 4(4), 2003-2010.
- Tavousi, T., Zahraei, A., & Khosravi, M. (2015). Simulating the climate changes of Sistan and Baluchistan province by using the data of the General Circulation Model (GCM) for the climate period (2009-2040). *Journal of Geographical Research*, 30(118), 185-206.
- Theme, M.J., Gobiet, A., & Heinrich, G. (2012). Empirical-statistical downscaling and error correction of regional climate models and its impact on the climate change signal. *Journal of Climatic Change*, 112(2), 449-468.
- Towler, E., Pai Mazumder, D., & Holland, G. (2017). A framework for investigating large-scale patterns as an alternative to precipitation for downscaling to local drought. *Journal of Climate Dynamics*, 48(3- 4), 881-892. doi: 10.1007/s00382-016-3116-5
- USEPA. (2004). Our Built and Natural Environments: A Technical Review of the Interactions between Land Use, Transportation and Environmental Quality, p.4.
- Wilby, R.L., & Harris, I. (2006). A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Journal of Water resources research*, 42(2).
- Zahabiun, B., Goodarzi, M, R., & Massah Bovani, A.R. (2011). Application of SWAT model in estimating basin runoff in future periods under the influence of climate change. *Journal of Climatological Research*, 1(3, 4), 43-58.
- Zhang, A., Zhang, C., Fu, G., Wang, B., Bao, Z., & Zheng, H. (2012). Assessments of impacts of climate change and human activities on runoff with SWAT for the Huifa River Basin, Northeast China: *Journal of Water resources management*, 26(8), 2199-2217. doi: 10.1007/s11269-012-0010-8