

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی جریان سطحی رودخانه حوضه آبخیز اراز کوسه

دریافت مقاله: ۹۶/۱/۱۹ پذیرش نهایی: ۹۵/۴/۲۵

صفحات: ۱۰۹-۱۳۲

معصومه بحری: دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران^۱

Email:bahri.masoumeh@yahoo.com

احسان زاهدی: دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

Email:eh_zahedi@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت هیدرولوژیکی حوضه آبخیز اراز کوسه پرداخته شده، برای این منظور پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل-LARS-WG، خروجی HadCM3 تحت سناریوی A2 در ایستگاه‌های اراز کوسه، رامیان و مینودشت برای عناصر اقلیمی بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر ریز مقیاس گردید. پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی شده دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ به مدل SWAT که در دوره گذشته واسنجی و اعتبارسنجی شده، وارد رژیم جریان سطحی دهه‌های مذکور پیش‌بینی شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش ۴/۹ و ۲/۱ در ۰/۸ و ۱۱/۲ درصدی در سالهای ابتدایی و میانی قرن با افزایش ۸/۸ در سالهای انتهایی درجه سانتی گرادی در متوسط دمای سالانه در دوره‌های نامبرده بود. همچنین بارش در منطقه مطالعاتی در آینده نزدیک و متوسط، ۱۳ و ۵ درصد افزایش و در آینده دور ۱۸ درصد کاهش خواهد یافت. میزان آبدی دهه‌های آتی رودخانه در فصل تابستان افزایش و در بهار با کاهش رو به رو خواهد بود. همچنین نتایج پیش‌بینی شده در این خصوص بیانگر جایه‌جایی دبی اوچ سالانه از ماه مارس به آوریل در منطقه مورد پژوهش بود.

کلیدواژگان: اراز کوسه، ریز مقیاس نمایی، SWAT، LARS-WG، HadCM3

^۱. نویسنده مسئول: یزد، صفائیه، بلوار دانشگاه، دانشگاه یزد، دانشکده متابع طبیعی و کویر شناسی

مقدمه

اقلیم کره زمین از زمان پیدایش جو بر روی این سیاره تغییر کرده، اما سرعت آن هیچگاه به اندازه عصر حاضر نبوده است. از نظر پژوهشگران، این مقدار شدت در تغییرات اقلیمی به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر است که غالباً منشأ انسانی دارند. غلظت این گازها رابطه مستقیمی با افزایش دمای جهانی هوا داشت. طبق نظر هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم در قرن بیستم، دمای کره زمین 0.6°C درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۱۰۰، این مقدار بین $1/4$ تا $5/8$ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم^۱، ۲۰۰۷). تغییرات اقلیمی در قرن ۲۱، احتمالاً سریع‌تر از گذشته رخ خواهد داد و موجب گرمای بیشتر کره زمین نسبت به قبل خواهد شد؛ اما نکته مهم وجود بیش از شش میلیارد جمعیت ساکن بر روی کره زمین است که در معرض قرارگرفتن آن‌ها در مقابل این افزایش گرما بیش از گذشته‌ی باشد. این مسأله، توجه به پدیده تغییر اقلیم را بیش از پیش نمایان می‌کند. به منظور جلوگیری از پیامدهای منفی این پدیده، شناسایی شرایط کنونی و پیش‌بینی وضعیت اقلیم آینده مهم است. در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت بررسی پدیده تغییر اقلیم و پیش‌بینی آن، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده گردش عمومی جو-اقیانوسی است (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۱۹۹۵). این مدل‌ها، پارامترهای جوی و اقیانوسی را با استفاده از سناریوهای تأیید شده IPCC مدل‌سازی می‌نمایند. ضعف مدل‌های مذکور، قدرت مکانی کم آن‌ها و عدم توانایی در مدل‌سازی عناصر هواشناسی در مقیاس نقطه-ای ایستگاه‌های هواشناسی است (بابائیان و کوهی، ۱۳۹۱: ۹۵۴). جهت رفع این نقیصه، خروجی مدل‌ها قبل از استفاده ریزمقیاس می‌شوند. مولدهای وضع هوا از مهم‌ترین روش‌های ریزمقیاس‌نمایی هستند. این مدل‌ها، سری‌های زمانی پارامترهای اقلیمی نظیر بارندگی، دما و تابش خورشیدی را تولید و شبیه‌سازی می‌کنند.

آب در تمام اجزای سامانه اقلیم^۱ حضور تعیین‌کننده داشت. لذا تغییرات اقلیمی، اثرات بارزی بر چرخه آب و خصوصیات هیدرولوژی حوضه‌های آبخیز دارد؛ به گونه‌ای که می‌تواند به عنوان تهدیدی بزرگ بر منابع آب در سراسر جهان قلمداد شود. سامانه هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز، سیستمی پیچیده است، بدین علت جهت شناخت یا کنترل برخی از جنبه‌های رفتاری آن‌ها، ساده‌سازی و خلاصه کردن امری ضروری است. مدل‌های هیدرولوژیکی با هدف شبیه-سازی سیستم هیدرولوژیکی و بررسی اثر هرگونه تغییر در عملکرد آن‌ها توسعه یافته‌اند.

^۱. Intergovernmental Panel On Climate Change:IPCC

محققین به وفور از این مدل‌ها جهت مطالعه پتانسیل اثر تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه‌های آبخیز بهره گرفته‌اند. ذهبيون و همکاران (۱۳۸۹)، جهت ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی حوضه آبریز قره‌سو، برونداد مدل اقلیمی HadCM3 تحت سناریوی A2 را ریزمقیاس و سپس به مدل SWAT معرفی نمودند. بدین ترتیب تغییر رواناب در دوره آتی را مورد ارزیابی قرار دادند. محققین بیان نمودند که دمای منطقه بین یک تا چهار درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه گرم‌تر خواهد شد و بارش، تغییری بین ۳۰٪ تا ۳۰٪ خواهد داشت. تغییر رواناب منطقه نیز بین ۹۰ تا ۱۲۰ درصد در ماه‌های مختلف است. عباسپور و همکاران (۲۰۰۹)، در پژوهش خود از مدل CGCM3 جهت پیش‌بینی اقلیم آتی و از مدل هیدرولوژیکی SWAT جهت مطالعه اثر آن بر منابع آب ایران استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که در آینده مناطق مرطوب کشور، بارش بیش‌تر و مناطق خشک بارش کم‌تری را دریافت خواهند نمود. در این پژوهش، تجزیه و تحلیل شدت بارش روزانه، شدت سیل بیش‌تر در مناطق مرطوب و خشکسالی طولانی مدت در مناطق خشک را نشان داد. گوسن^۱ و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از مدل SWAT، تأثیرات تغییر اقلیم بر روی ۱۲ رودخانه اصلی هند را برای دوره زمانی ۲۰۴۱-۲۰۶۰ مورد بررسی قرار دادند که نتایج، نشان‌دهنده کاهش جریان رواناب سطحی در تمام حوضه‌ها بوده است. نارسیملو^۲ و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از مدل اقلیمی PRECIS و مدل هیدرولوژیکی SWAT، افزایش ۱۶/۴ درصدی رواناب را برای اواسط قرن و افزایش ۹۳/۵ درصدی آن را برای اوخر قرن پیش‌رو در حوضه آبخیز رودخانه سند هندوستان پیش‌بینی نموده‌اند. لو^۳ و همکاران (۲۰۱۳) طی مطالعه‌ای با استفاده از مدل SWAT به بررسی اثرات تغییر اقلیم قرن ۲۱ در جبال ساحلی شمال و غرب کالیفرنیا پرداختند. نتایج به دست آمده در این پژوهش، حاکی از افزایش باران و جریان رودخانه‌ها در طول ماه‌های زمستان و کاهش آنها طی تابستان بوده است. مولینا^۴ و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب با استفاده از مدل SWAT در منطقه مدیترانه‌غربی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تمام مؤلفه‌های رژیم آبی کاهش یافته و افزایش تنش آبی و دما به علت تغییر اقلیم، باعث کاهش تولید محصول شده است.

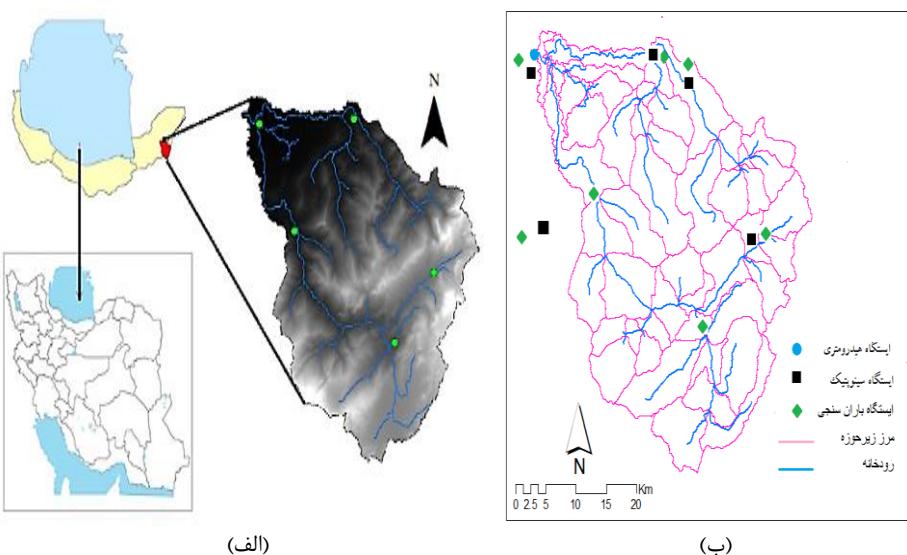
از آنجایی که کشور ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک واقع شده و با بحران آب مواجه

¹. Gosian². Narsimlu³. Lou⁴. Molina

است، بررسی تغییر اقلیم و اثرات آن بر سیستم هیدرولوژیک، می‌تواند زمینه‌ساز اتخاذ سیاست‌های آینده جهت مدیریت همه‌جانبه و بهینه‌سازی حوضه‌های آبخیز باشد. لذا هدف از تحقیق حاضر، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی دهه‌های آتی و اثرات آن بر رژیم هیدرولوژیکی حوضه آبخیز اراز کوسه است.

مواد و روش کار منطقه مورد مطالعه

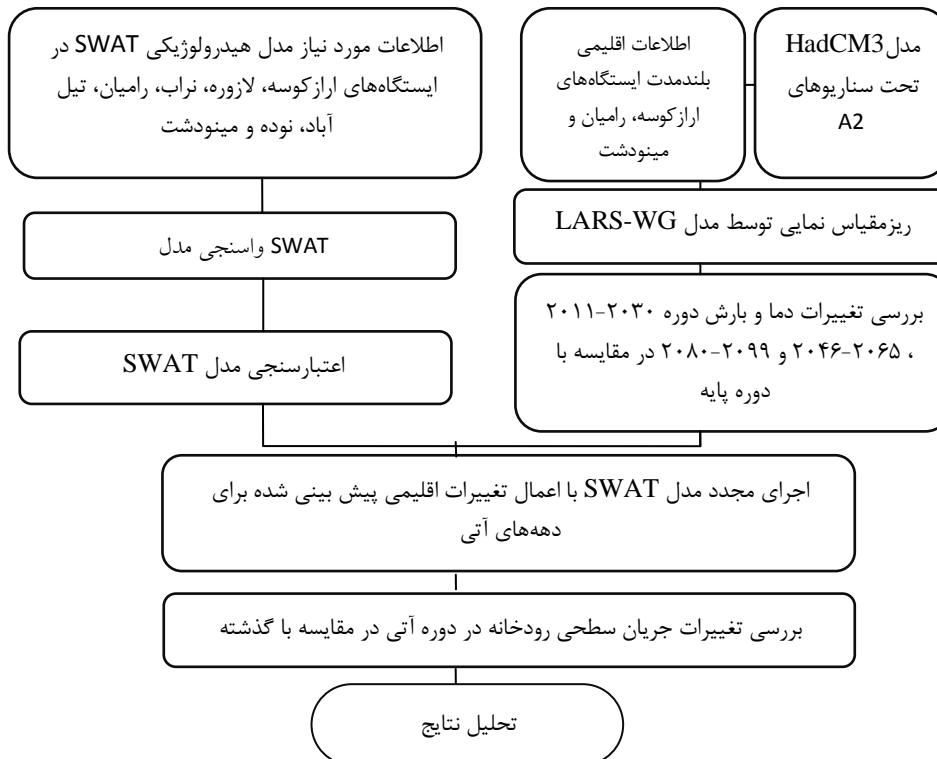
حوضه آبخیز اراز کوسه در محدوده مختصات جغرافیایی "۱۰°۰'۰" تا "۱۰°۵۵'۰" طول شرقی و "۳۷°۰'۰" تا "۳۶°۱۳'۰" عرض شمالی و در جنوب استان گلستان واقع شده است. مساحت حوضه مذکور ۳۹۰ کیلومتر مربع، حداقل ارتفاع از سطح دریا معادل ۲۲ متر (در مناطق شمالی و در محدوده شهر گنبد) و حداکثر ارتفاع آن، ۲۸۷۵ متر (در مناطق جنوبی) است. این منطقه از لحاظ تقسیمات کشوری در محدوده شهرستان گنبد قرار دارد. شکل ۱ (الف) موقعیت منطقه مطالعاتی را در سطح کشور و استان گلستان به نمایش گذاشته است.



شکل (۱). (الف) موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز اراز کوسه ب) موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده

روش پژوهش

در این پژوهش به منظور ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی حوضه آبخیز ارازکوسه پس از واسنجی مدل هیدرولوژیکی ارزیابی آب و خاک (SWAT)^۱ و مدل اقلیمی LARS-WG^۲ با شرایط منطقه مطالعاتی، کارایی آن‌ها در بازتولید داده‌های گذشته و شبیه‌سازی حوضه آبخیز مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس برondاد مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت ستاریوی A2 در سه ایستگاه ارازکوسه، رامیان و مینودشت ریزمقیاس گردید. بارش، دمای حداقل و حداکثر دهه‌های آتی شامل سه دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ با دوره گذشته مقایسه شده و تغییرات این پارامترها جهت پیش‌بینی وضعیت منابع آب منطقه مطالعاتی، وارد مدل واسنجی و اعتبارسنجی شده SWAT شد. مراحل انجام تحقیق در شکل ۲ آورده شده است.



شکل (۲). نمودار جریانی مراحل پژوهش

^۱ Soil and Water Assessment Tool

^۲ Long Ashton Research Station-Weather Generator

سناریو و مدل اقلیمی

قدرت تفکیک مدل HadCM3 در جو، شبکه‌ای با ابعاد ۲/۷۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی و در بخش اقیانوس ۱/۲۵ درجه عرض جغرافیایی و ۱/۲۵ درجه طول جغرافیایی است (هیئت بین الدول تغییراقلیم، ۲۰۰۷). این مدل، رفتار نرمال و مناسبی برای برآورد تغییر اقلیم ارائه می‌دهد و از حالت افراط و تفریط به دور است (جکسون^۱ و سن^۲، ۲۰۰۹: ۴۳). مساح بوانی (۱۳۸۸)، کمال (۱۳۸۸) و مدرسی و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعات خود با مقایسه مدل‌های مختلف GCM بیان داشته‌اند، مدل HadCM3 نسبت به سایر مدل‌ها از کارابی و عملکرد بهتری در شبیه سازی اقلیم ایران برخوردار است. سناریوی A2 به عنوان یک سناریوی حالت متوسط که نشان‌دهنده رشد سریع جهان همراه با رشد اقتصادی ناهمگن است، در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است.

مدل ریزمقیاس نمایی

مدل LARS-WG، یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است و برای تولید بارش روزانه، تابش، دمای کمینه و بیشینه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود. مدل مذکور جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در شرایط مختلف آب و هوایی ایران توانایی مناسبی دارد بذرافشان و همکاران (۱۳۸۸)، مشکوتی و همکاران (۱۳۸۹)، خلیلی اقدم و همکاران (۱۳۹۱) LARS-WG برای شبیه‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارندگی و تابش خورشیدی، از توزیع‌های نیمه‌تجربی به شکل کلی زیر استفاده می‌کند:

$$EPM = \{a_0, a_i; h_i, i = 1, \dots, 10\} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که هیستوگرامی شامل ۱۰ طبقه است و هر یک از طبقات در فاصله $(a_{i-1}, a_i]$ تعریف می‌شود، به طوری که a_i و h_i فراوانی پدیده‌های مشاهده شده در طبقه i ام است. برای تولید مقادیر متغیرهای تصادفی وضع هوا با استفاده از یک توزیع نیمه‌تجربی، ابتدا یکی از طبقات ده گانه به صورت انتخاب می‌شود. سپس با فرض تبعیت داده‌ها از توزیع یکنواخت در طبقه مورد نظر، یک مقدار در آن فاصله برای متغیر انتخاب می‌شود. فرآیند تولید داده‌های مصنوعی توسط این مدل در سه مرحله کالیبره کردن، ارزیابی و تولید داده‌های مصنوعی صورت می‌گیرد.

¹. Jakson

². Sen

روش مدل‌سازی اقلیمی

جهت بررسی تغییرات اقلیمی دهه‌های آتی در منطقه مطالعاتی سه ایستگاه ارزکوسه، مینودشت و رامیان به علت دارا بودن طول دوره آماری لازم جهت ساخت مدل اقلیمی انتخاب شدند. ابتدا با در نظر گرفتن دوره ۴۵ ساله (۱۹۶۷-۲۰۱۲) برای ایستگاه ارزکوسه و دوره ۲۹ ساله (۱۹۸۴-۲۰۱۲) برای ایستگاه‌های مینودشت و رامیان به عنوان دوره پایه (مشاهداتی)، پارامترهای اقلیمی مورد نیاز جهت اجرای مدل جمع‌آوری و مورد پردازش قرار گرفته شد. مدل LARS-WG به طور جداگانه برای هر سه ایستگاه در دوره پایه اجرا شده و بدین ترتیب مرحله واسنجی مدل انجام گرفت. به منظور اطمینان از کارایی مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه تدوین و مدل در دوره پایه اجرا گردید. سپس خروجی‌های مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش و همچنین انحراف معیار آن‌ها با داده‌های مشاهداتی ایستگاه مورد مطالعه مقایسه گردیدند. ارزیابی مدل از طریق مقایسه داده‌های دوره آماری و داده‌های تولیدشده توسط مدل با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای و پارامترهای خطاسنجی Bias، MAE، RMSE، NSE و همچنین از طریق آزمون‌های آماری K-S جهت مقایسه توزیع‌های فراوانی، از آزمون T.test جهت مقایسه مقادیر میانگین‌ها و آزمون F.test جهت مقایسه انحراف معیار داده‌های مشاهداتی و مدل‌سازی و مقایسه مقدار احتمالاتی P-value صورت گرفت. پس از اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در تولید داده‌های اقلیمی هر سه ایستگاه مطالعاتی، این مدل جهت ریزمقیاس نمایی بروندادهای مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوی A2 و تولید داده مصنوعی جهت پیش‌بینی اقلیم دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ (آینده نزدیک)، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ (آینده متوسط) و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ (آینده دور) اجرا شد. پس از اجرای مدل و تولید مقادیر روزانه پارامترهای بارش، دمای کمینه و بیشینه برای هر سه ایستگاه به طور جداگانه، پارامترهای مذکور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و شرایط اقلیمی دوره آینده پیش‌بینی گردید.

با توجه به هدف مطالعه جهت بررسی اثر تغییر اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی حوضه آبخیز ارزکوسه، پس از تولید مقادیر روزانه پارامترهای اقلیمی دهه‌های آتی، این مقادیر به مدل SWAT که در مرحله قبل واسنجی و اعتبارسنجی شده بود، وارد شده و وضعیت آبدی منطقه مطالعاتی در دهه‌های آتی پیش‌بینی شد. با مقایسه مقادیر دبی در دوره پایه و آینده، تغییرات هیدرولوژیکی حوضه مورد مطالعه قرار گرفت.

مدل هیدرولوژی

مدل SWAT برای شبیه‌سازی حرکت آب، رسوب و آلاینده‌های شیمیایی-کشاورزی در سطح

حوضه‌های آبخیز پیچیده و بزرگ با خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی طراحی شده است (نیتش^۱ و همکاران، ۲۰۱۱). ناهمگنی‌های مکانی در منطقه مورد مطالعه با تقسیم حوضه آبخیز به زیرحوضه‌ها بررسی می‌شود. زیرحوضه‌ها به تعدادی واحدهای کوچک‌تر (واحدهای واکنش هیدرولوژیک^۲) تقسیم می‌شوند. این واحدهای دارای ترکیبات یکسانی از خاک، پستی و بلندی و کاربری اراضی هستند. بخش‌های اصلی مدل، شامل هیدرولوژی، اقلیم، رشد گیاه، آفت‌کش‌ها، مدیریت اراضی و روندیابی جریان است. اجزاء بیلان آب و مدیریت در سطح واحدهای واکنش هیدرولوژیک محاسبه و سپس برای زیرحوضه‌ها، میانگین‌گیری وزنی می‌شود. مدل SWAT برای داده‌های اقلیمی از نزدیک‌ترین ایستگاه به مرکز ثقل زیرحوضه استفاده می‌کند. روندیابی جریان توسط روش‌های ذخیره متغیر و ماسکینگام قابل محاسبه است. رواناب سطحی از بارندگی روزانه توسط روش شماره منحنی اصلاح شده محاسبه می‌شود (آرنولد^۳، ۱۹۹۸: ۷۵). معادله بیلان آب که در مدل استفاده می‌شود به صورت رابطه شماره (۲) است (نیتش و همکاران، ۲۰۱۱):

$$SW_t = SW_0 + \sum (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن SW_t محتوای آب نهایی در خاک، t زمان (روز)، SW_0 مقدار آب اولیه موجود در خاک (mm)، R_{day} مقدار بارش در هر روز (mm)، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در هر روز (mm)، E_a مقدار تبخیر و تعرق روزانه، W_{seep} مقدار آب نفوذ کرده به منطقه زیرقشری (mm) و Q_{gw} مقدار نفوذ به سفره زیرزمینی است (mm) است.

روش مدل سازی هیدرولوژیکی

در پژوهش حاضر، از اطلاعات بارش، دمای حداقل و حداکثر روزانه شش ایستگاه ارازکوسه، لازوره، نراب، رامیان، تیل‌آباد و نوده طی دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ جهت واسنجی مدل SWAT استفاده شده است. جدول ۱ و شکل ۱ (ب) مشخصات و موقعیت ایستگاه‌های مذکور در حوضه آبخیز ارازکوسه را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که از ایستگاه هواشناسی گنبد به عنوان ایستگاه مرجع استفاده شده و ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه واقع در خروجی حوضه به عنوان ایستگاه مینا جهت مشاهده تغییرات رواناب منطقه مطالعاتی انتخاب گردید.

-
1. Neitsch
 2. HRU
 3. Arnold

سایر اطلاعات هواشناسی مورد نیاز شامل تابش، سرعت باد، رطوبت نسبی توسط مدل شبیه‌سازی شده است.

جدول(۱). مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنگی استفاده شده در این مطالعه

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی(UTM)	عرض جغرافیایی(UTM)	ارتفاع (متر)
ارازکوسه	باران‌سنگی، دماسنگی	۱۰۰۷۲۴	۱۴۶۸۲۵۸	۱۰۰
لازوره	باران‌سنگی، دماسنگی	۱۲۴۴۲۶	۱۴۶۸۵۴۳	۱۹۰
نراپ	باران‌سنگی، دماسنگی	۱۴۱۰۵۱	۱۴۴۶۵۵۴	۱۵۰۰
مینودشت	باران‌سنگی، دماسنگی	۱۴۱۰۵۱	۱۴۴۶۵۵۴	۱۵۰۰
رامیان	باران‌سنگی، دماسنگی	۱۰۰۹۶۳	۱۴۴۶۰۳۶	۲۰۰
تیلآباد	باران‌سنگی	۱۳۰۸۱۹	۱۴۳۵۲۹۵	۱۰۰۰
نوده	باران‌سنگی	۱۱۲۷۸۰	۱۴۵۱۷۲۶	۲۸۰

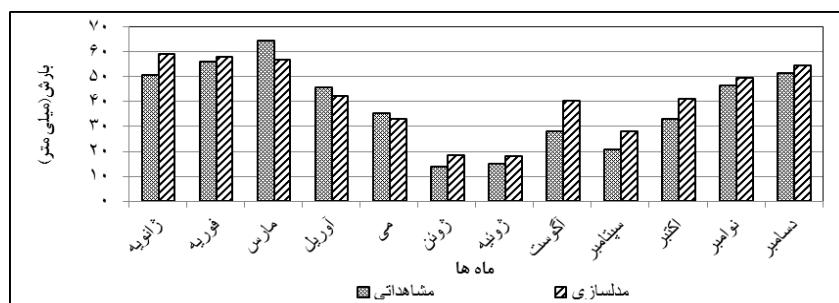
در این تحقیق از روش 2 SUFI جهت واسنجی مدل SWAT استفاده شده است. الگوریتم بهینه‌سازی 2 SUFI به این صورت است که در گام نخست، تابع هدف تعريف شده و در گام بعد، محدوده‌های مجاز یا دامنه اولیه برای هر پارامتر تعیین می‌شود. در تعیین حدود اولیه بهتر است که تا حد امکان بزرگ و در عین حال معنی‌دار باشند. سپس با در نظر گرفتن حدود اولیه عدم قطعیت پارامترها، نمونه‌برداری به روش لاتین هایپرکیوب به تعداد زیاد انجام می‌شود. در هر بار نمونه‌گیری از حدود پارامترها، مقادیر انتخاب شده به مدل معرفی و اجرا می‌شود و متعاقباً مقدار تابع هدف محاسبه می‌گردد. بعد از هر بار نمونه‌گیری، اجرای مدل و محاسبه مقدار تابع هدف، دامنه هر پارامتر کاهش می‌یابد، تا زمانی که دو شرط برآورده شوند : (الف) اکثر داده‌های مشاهده‌ای در محدوده PPU ۹۵ (پیش‌بینی عدم قطعیت ۹۵ درصد) واقع شوند و (ب) متوسط حد بالا و پایین باند عدم قطعیت PPU ۹۵ کوچک شود. نتایج آنالیز عدم قطعیت در این تحقیق، نشان‌دهنده این است که ۷۵ درصد داده‌های دبی مشاهداتی در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵٪ واقع شده‌اند (فرامرزی، ۴۸۸:۲۰۰۹). با استفاده از نرم‌افزار SWAT_CUP سیزده پارامتر (پارامترهای حاصل از آنالیز حساسیت مدل SWAT) در تولید رواناب حوضه آبخیز ارزکوسه مؤثر شناخته شد که این پارامترها به همراه محدوده مجاز تغییرات آن‌ها در مدل وارد شد. در مراحل مختلف اقدام به نزدیک کردن مقادیر پارامترها به مقادیر واقعی آنها در حوضه شده و در نهایت مقادیر بهینه این پارامترها جهت شبیه‌سازی رواناب ماهانه حوضه مورد مطالعه تعیین شد. ارزیابی کارایی مدل با استفاده از ضرایب R^2 ، bR^2 و NS بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی صورت گرفت. پس از اطمینان از توانایی مدل در شبیه‌سازی سیستم

هیدرولوژیکی منطقه مطالعاتی، از آن بهمنظور پیش‌بینی رواناب دهه‌های آتی استفاده شد.

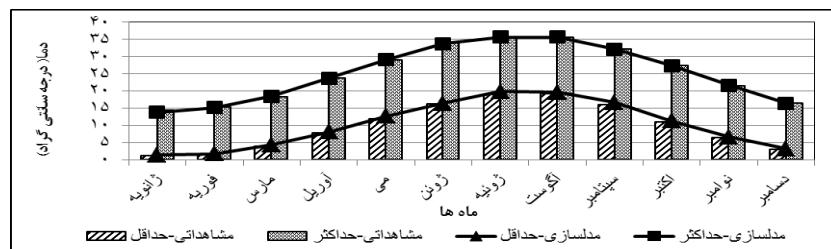
نتایج

ارزیابی مدل LARS-WG

در تحلیل فراوانی وقوع بارش روزانه سه ایستگاه رامیان، ارازکوسه و مینودشت با استفاده از آزمون K-S، اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مشاهداتی (۱۹۶۷-۲۰۱۲) و داده‌های تولید شده توسط مدل در تمامی ماه‌ها، به جز ماه ژوئن وجود نداشت و مقادیر همبستگی در سطح اعتماد ۵٪ در هر سه ایستگاه قابل قبول است، بنابراین عدم اطمینان به فراوانی بارش فقط در ماه مذکور وجود دارد. در بررسی بارش متوسط ماهانه با استفاده از آزمون T-test، تنها عدم اطمینان به مدل‌سازی بارش ماه ژوئیه وجود دارد. با توجه به قرارگیری ماه‌های ژوئن و ژوئیه در فصل تابستان و کمبود بارش در این فصل می‌توان از این خطا چشم‌پوشی نمود. ارزیابی مدل از احتمال فراوانی وقوع متغیرهای دمای حداقل و حداکثر روزانه با استفاده از آزمون K-S عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل را در همه ماه‌های سال و قابل قبول بودن مقادیر همبستگی در سطح اعتماد ۵٪ را در هر سه ایستگاه نشان می‌دهد. ارزیابی مدل از بررسی داده‌های متوسط دمای حداقل و حداکثر ماهانه با استفاده از آزمون T-test، وجود اطمینان بالا به مدل‌سازی این پارامترها و عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دارد.



شکل (۳). مقادیر مشاهداتی و مدل‌سازی بارش ارازکوسه



شکل (۴). مقادیر مشاهداتی و مدل سازی دمای حداقل و حداکثر ارز کوسه

شکل ۳، مقایسه بین مقادیر مشاهداتی و مدل سازی شده بارش را نشان می‌دهد و شکل ۴، این مقایسه را برای مقادیر دمای حداقل و دمای حداکثر به نمایش می‌گذارد. چنانچه ملاحظه می‌شود، دمای حداقل و حداکثر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برازش بسیار مناسبی با یکدیگر داشته و بارش شبیه‌سازی شده در ماههای ژوئن و آگوست بیشترین درصد اختلاف را با مقادیر مشاهدهای دارند. جهت اطمینان به کارایی مدل LARS-WG، آماره‌های خطاستنجی در هر سه ایستگاه مورد بررسی قرار گرفته و در جدول شماره (۲)، نتایج آن صرفا برای ایستگاه ارز کوسه (به علت تشابه اعداد در هر سه ایستگاه) آورده شده است.

جدول (۲). آماره‌های خطاستنجی متغیرهای هواشناسی مشاهداتی و مدل سازی در دوره مشاهداتی

میانگین دمای حداقل ماهانه				میانگین دمای حداکثر ماهانه				میانگین بارش ماهانه			
Bias	NSE	MAE	RMSE	Bias	NSE	MAE	RMSE	Bias	NSE	MAE	RMSE
۰/۳۱	۱	۰/۳۱	۰/۴	-۰/۱۲	۱	۰/۱۲	۰/۲۴	۳/۱۵	۰/۸۲	۱/۱۵	۳/۱۴

با توجه به این که مقدار آماره NSE برای پارامتر اقلیمی دمای حداقل و حداکثر، عدد یک و برای پارامتر بارش نزدیک به عدد یک است و همچنین کوچک بودن خطای BIAS و RMSE، می‌توان بیان داشت که مدل LARS-WG دارای دقت مدل سازی بالایی است. مقدار آماره RMSE برای دمای کمینه و بیشینه، کمتر از مقدار آن برای بارش متوسط است. این مسئله بیانگر قدرت بالای LARS-WG در مدل کردن داده‌های دیدبانی شده دما نسبت به بارش است که این امر به علت ماهیت پارامتر دما است که عنصری پیوسته است. با بررسی شکل‌های ۵ و ۶، نمودارهای دمای کمینه و بیشینه مشاهداتی و مدل سازی شده مطابقت بیشتری با هم داشته که مؤید مطالب بیان شده است. چنین به نظر می‌رسد که تغییرپذیری زیاد بارش در افزایش خطای مدل سازی این پارامتر تأثیرگذار است. لذا می‌توان داشت که هرچه پارامتر حالت پیوستگی داشته باشد، میزان خطای مدل سازی کاهش می‌یابد.

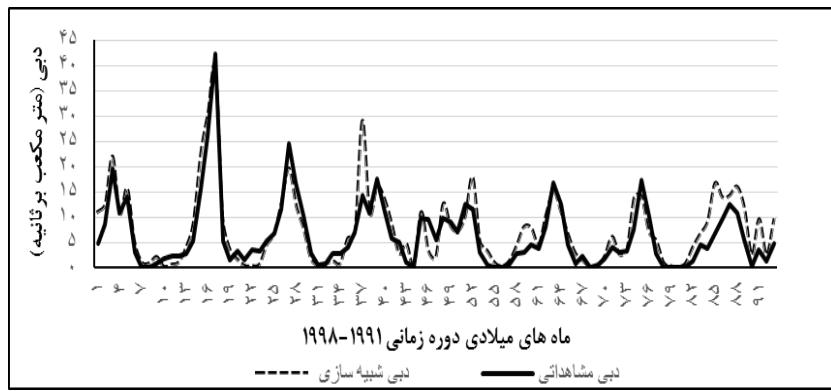
ارزیابی مدل SWAT

سیزده پارامتر مؤثر در آبده‌ی حوضه آبخیز ارازکوشه و محدوده مجاز آن‌ها که در شبیه‌سازی رواناب ماهانه منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفت، در جدول ۲ آورده شده است. جدول ۳، مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل را در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد. براساس نتایج، مقادیر ضرایب R^2 , bR² و NS برای مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۸۱، ۰/۸۲ و ۰/۷۳ و برای مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۸۱، ۰/۷۸ و ۰/۶۴ برآورد شدند. مقایسه این شاخص‌ها در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد که مدل در مرحله واسنجی موفق‌تر عمل کرده است. نتایج به دست آمده قابل قبول و کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوضه آبخیز رودخانه ارازکوشه رضایت‌بخش است.

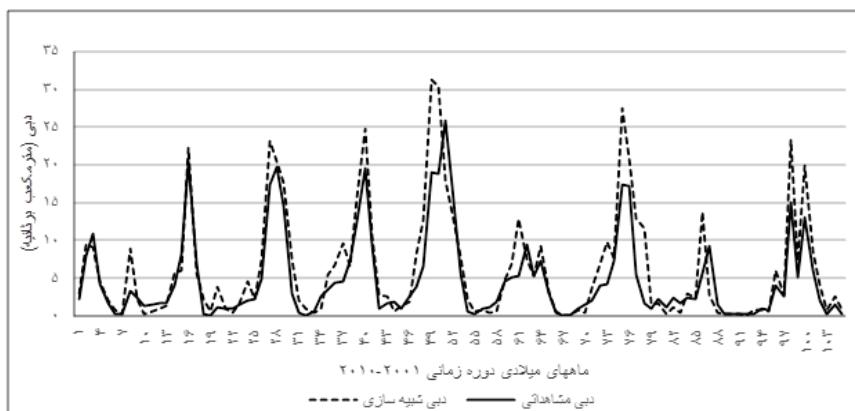
به منظور ارزیابی کارایی مدل در شبیه‌سازی دبی پایه و دبی اوج و همچنین بررسی انطباق زمانی آن‌ها با داده‌های واقعی، نمودارهای مربوط به مقادیر دبی ماهانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده، در طی دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی رسم گردید که در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.

جدول (۳). پارامترهای مؤثر در دبی رواناب و مقادیر بهینه، t-stat و p-value آن‌ها

P-Value	t-Stat	حداکثر	حداقل	مقدار بهینه	توضیح و واحد
۰/۶۲	۰/۴۸	۰/۱	-۰/۰۴	۰/۰۶۱	شماره منحنی در شرایط رطوبتی ۲
۰/۴۳	۰/۷۸	۰/۴۲	۰/۱۶۸	۰/۲۷۶	ضریب α آب پایه
۰/۲۳	۱/۱۷	-۱۲/۸	-۲۱۱	-۸۱/۶	زمان تأخیر انتقال آب از آخرین پروفیل خاک به سطح آب زیر زمینی (روز)
۰/۶۶	۰/۴۳	۱/۰۸	-۰/۰۸	۰/۱۹	حداکثر مقدار ذخیره آب لازم در سفره برای رویداد جریان پایه H ₂ O)
۰/۱۲	۱/۵۲	۰/۱	۰/۰۵۳	۰/۰۶۹	ضریب تعیین نفوذ به سفره آب عمیق یا صعود موئینگی از سفره کم عمق.
۰/۷۷	-۰/۲۸	۱/۰۹	۱/۰۰۳	۱/۰۷۷	ضریب تبخیر خاک
۰/۶۲	۰/۴۸	۰/۳۵	۰/۲۰۹	۰/۳۴۵	هدایت هیدرولیکی مؤثر بستر رودخانه اصلی (mm/hr)
۰	-۷/۰۴	۳۷/۹	-۵/۰۹	۱۷/۶۴۶	هدایت هیدرولیکی مؤثر بستر رودخانه اصلی (mm/hr)
۰	۱۷/۵	۰/۳	۰	۰/۱۴۳	ضریب α آب پایه برای ذخیره ساحلی کانال
۰/۷۷	۰/۲۹	۰/۶۱	۰/۳۸	۰/۵۷۱	ظرفیت آب قابل دسترس خاک mm H ₂ O/mm Soil
۰/۶۴	-۰/۴۶	۰/۰۷	-۰/۴۸	-۰/۴۴۲	هدایت هیدرولیکی خاک (mm/hr)
۰/۶۳	-۰/۴۷	۰/۲	-۰/۳۷	-۰/۱۳۸	چگالی خاک در حالت مرطوب (mg/m ³)
۰/۲۵	-۱/۱۳	۴/۳	۱/۱۵۲	۱/۸۹۱	متوسط دمای هوا برای بارش برف (درجه سلسیوس)



شکل (۵). مقادیر ماهانه رواناب مشاهداتی و شبیه سازی پس از واسنجی مدل SWAT



شکل (۶). مقادیر ماهانه رواناب مشاهداتی و شبیه سازی دوره اعتبارسنجی مدل SWAT

تغییرات اقلیم و رژیم هیدرولوژیکی دهه های آلتی

تغییرات پارامترهای اقلیمی دهه های آلتی شامل آینده نزدیک (دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰)، آینده متوسط (دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵) و آینده دور (دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹) در سه ایستگاه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت. این نتایج برای دو ایستگاه مینودشت و رامیان به طور خلاصه در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج مربوط به ایستگاه اراز کوسه در شکل های ۷ تا ۹ همراه با شرح کامل ارائه شده است.

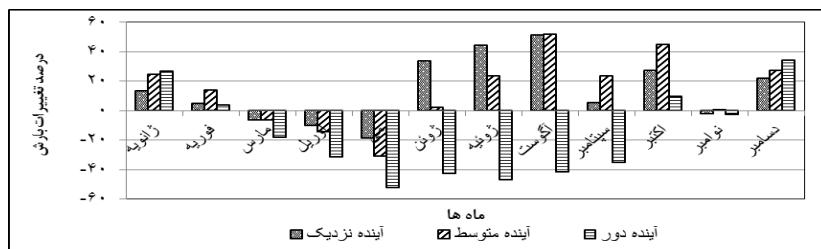
جدول (۴). تغییرات پارامترهای اقلیمی دهه‌های آتی ایستگاه‌های مینودشت و رامیان

سیستگاه	پارامتر	تغییرات پارامترهای اقلیمی دهه‌های آتی											
		دسامبر	نومبر	اکتبر	سپتامبر	اگوست	ژوئن	ژوئیه	مای	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه
بارش	-۱۴/۰	-۰/۶	-۱۶/۶	-۱/۷	-۹/۵	-۰/۲	۱۹/۱	۴/۱	-۰/۷	۵/۰	۵/۶	-	
دماه حداقل	۰/۲	۰/۷	۰/۳	۰/۶	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۵	۰/۵	۰/۷	۰/۴	-	
دماه حداکثر	۰/۲	۰/۷	۰/۲	۰/۵	۰/۷	۰/۷	۰/۴	۰/۲	۰/۴	۰/۳	۰/۳	-	
بارش	-۶/۱	۲/۹	-۶/۳	۱۳/۸	-۵/۱	-۱۱/۳	-۰/۵	-۹/۰	-۳/۵	۷/۲	۱۳/۱	-	
دماه حداقل	۱/۱	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۲/۰	۲/۳	۲/۵	۲/۳	۲/۰	۱/۹	۱/۸	۱/۲	-
دماه حداکثر	۱/۱	۱/۷	۱/۴	۱/۳	۲/۰	۲/۲	۲/۴	۲/۰	۱/۷	۱/۸	۱/۴	۱/۲	-
بارش	-۲/۵	-۰/۱	-۲/۲	-۲۶/۵	-۳۷/۰	-۶۱/۹	-۶۰/۲	-۴۶/۰	-۳۱/۰	-۲۲/۱	-۶/۷	۴/۰	-۲/۵
دماه حداقل	۲/۳	۳/۲	۳/۵	۳/۴	۴/۳	۵/۰	۵/۳	۵/۱	۴/۵	۳/۸	۳/۳	۲/۵	۲/۳
دماه حداکثر	۲/۳	۳/۴	۳/۵	۳/۴	۴/۳	۵/۰	۵/۲	۴/۸	۴/۲	۳/۷	۲/۸	۲/۵	۲/۳
بارش	۲/۴	۲/۹	۳/۴	۱۹/۴	-۱۵/۶	-۱۱/۱	۴۵/۳	۱۷/۷	۳/۵	۱۶/۱	۳/۸	-۱۰/۸	
دماه حداقل	۰/۴	۰/۵	۰/۹	۰/۶	۰/۷	۱/۰	۰/۴	۰/۴	۰/۶	۰/۶	۰/۷	۰/۶	-
دماه حداکثر	-۰/۱	۰/۲	۰/۵	۰/۳	۰/۶	۰/۶	۰/۵	۰/۱	۰/۸	۱/۰	۰/۴	۰/۴	-۰/۱
بارش	۱۰/۷	۷/۷	۸/۰	۳۴/۲	-۴/۴	-۹/۷	۳۰/۲	۰/۹	-۹/۸	۱۳/۲	۶/۳	-۴/۲	
دماه حداقل	۱/۳	۱/۲	۱/۶	۱/۷	۲/۲	۲/۶	۲/۱	۲/۰	۲/۱	۲/۰	۱/۸	۱/۵	-
دماه حداکثر	۰/۸	۰/۹	۱/۲	۱/۴	۲/۰	۲/۲	۲/۲	۱/۷	۲/۳	۲/۴	۱/۵	۱/۴	-۰/۸
بارش	۱۲/۲	۱۶/۰	۵/۶	۵/۹	-۴۰/۸	-۵۷/۱	-۳۶/۵	-۳۹/۵	-۳۴/۹	-۶/۴	-۵/۶	-۱۴/۳	
دماه حداقل	۲/۵	۲/۹	۳/۷	۳/۸	۴/۴	۵/۳	۴/۸	۴/۶	۴/۴	۳/۸	۳/۳	۲/۷	۲/۵
دماه حداکثر	۲/۱	۲/۶	۳/۳	۳/۴	۴/۳	۴/۹	۴/۹	۴/۳	۴/۷	۴/۲	۲/۹	۲/۷	۲/۱

* در جدول بارش به درصد و دما به درجه سانتی گراد آورده شده است

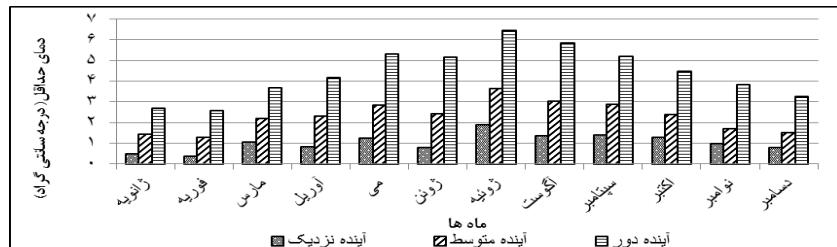
شکل (۷)، میزان اختلاف بارش ماهانه دوره مشاهداتی و دهه‌های آتی را در ایستگاه ارازکوسه نشان می‌دهد. ماههای ژانویه، فوریه، اکتبر و دسامبر با افزایش بارش و ماههای مارس، آوریل و می با کاهش بارش رو به رو خواهند بود. در سایر ماهها، ایستگاه ارازکوسه در سال‌های ابتدایی و میانی قرن پیش رو با افزایش بارش و در آینده دور با کاهش بارش رو به رو خواهد بود. در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ بیشترین افزایش بارش در ماه آگوست به میزان ۵۱/۶ و ۵۲ درصد و بیشترین کاهش در ماه می به میزان ۱۸/۵ و ۳۰/۵ درصد رخواهد داد. در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بیشترین افزایش بارش در ماه دسامبر به میزان ۳۴/۵ و بیشترین کاهش در ماه می به میزان ۵۲ درصد خواهد بود. در آینده نزدیک، فصل بهار با کاهش ۱۰/۴ درصدی بارش رو به رو خواهد بود. در سایر فصول افزایش بارش پیش‌بینی شده است، به نحوی که بیشترین افزایش در فصل تابستان و به میزان ۴۵/۳ درصد خواهد بود. از نظر مجموع بارش

سالانه، ایستگاه مطالعاتی در دوره گذشته به طور میانگین شاهد ۴۶۲ میلی‌متر بارش بوده است. مدل LARS-WG برای آینده نزدیک^{۲۰} ۵۳۰ میلی‌متر بارش پیش‌بینی نموده است، بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که در این دوره^{۲۱} افزایش ۸/۸ درصدی بارش به وقوع خواهد پیوست. الگوی تغییرات بارش فصلی و سالانه در آینده متوسط، همانند سال‌های ابتدایی قرن خواهد بود، به طوری که فصل تابستان با افزایش ۳۲/۳ درصدی و فصل بهار با کاهش ۱۴/۷ درصدی رو به رو خواهد بود. این تغییر در میانگین بارش سالانه^{۲۲} افزایش ۱۱/۲ درصدی خواهد بود. در فصول بهار، تابستان و پاییز، شاهد کاهش بارش بود و بیشترین کاهش در فصل تابستان و به میزان ۴۳/۱ درصد خواهد بود. تغییرات اقلیمی در این دوره به صورت کاهش ۸/۷ درصدی بارش سالانه وجود دارد.



شکل (۷). درصد تغییرات میانگین بارش ماهانه دوره مشاهداتی و آینده ایستگاه اراز کوسه

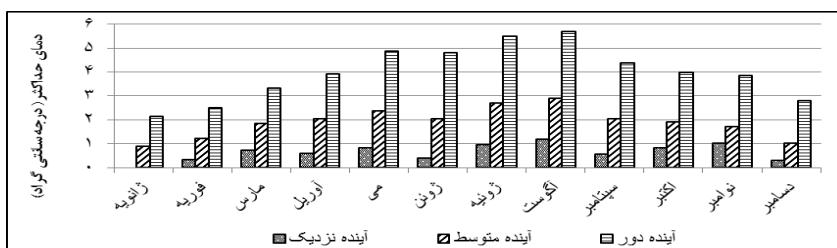
همان‌طور که در شکل ۸ ملاحظه می‌شود، دمای حداقل دهه‌های آتی در تمامی ماه‌ها با افزایش روبه‌رو خواهد بود. دمای حداقل در آینده نزدیک با افزایش ۰/۳ تا ۱/۹ درجه سانتی‌گراد و در آینده متوسط و دور به ترتیب با افزایش ۱/۲ تا ۳/۶ و ۲/۵ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد روبرو خواهد بود. بیشترین افزایش دما در ماه ژوئیه به میزان ۱/۹ درجه سانتی‌گراد در سال‌های ابتدایی قرن و ۶/۴ درجه سانتی‌گراد در سال‌های انتهایی قرن و کمترین آن در ماه فوریه به میزان ۰/۳ تا ۰/۵ درجه سانتی‌گراد در طول قرن خواهد بود. از نظر تغییرات فصلی، بیشترین افزایش دمای حداقل در فصل تابستان است. در سال‌های ابتدایی قرن^{۲۳} ۱/۳ درجه سانتی‌گراد و در سال‌های میانی و انتهایی، ۳ و ۵/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش در دمای حداقل فصل تابستان مورد انتظار می‌باشد. دمای حداقل سالانه نیز به ترتیب ۱، ۲/۳ و ۴/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.



شکل (۸). تغییرات میانگین دمای حداقل ماهانه دوره مشاهداتی و آینده ایستگاه ارزکوشه

شکل ۹، درصد تغییرات دمای حداقل ماهانه دهه‌های آتی ایستگاه ارزکوشه را نسبت به دوره پایه نمایش می‌دهد. مطابق با پیش‌بینی مدل اقلیمی، دمای حداکثر در تمامی ماه‌ها افزایش خواهد یافت. کمترین افزایش دمای حداکثر در ماه ژانویه به میزان $0/9$ و $2/1$ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در آینده نزدیک، متوسط و دور به ترتیب $1/2$ ، $2/9$ و $5/7$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. دمای حداکثر در فصل تابستان، بیشترین افزایش را خواهد داشت. این افزایش به میزان $0/8$ درجه سانتی‌گراد در سال‌های ابتدایی قرن و $2/5$ درجه سانتی‌گراد در سال‌های میانی و $5/3$ درجه در اواخر قرن خواهد بود. میانگین دمای حداکثر سالانه ایستگاه ارزکوشه، شاهد افزایش $0/6$ تا $3/9$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود.

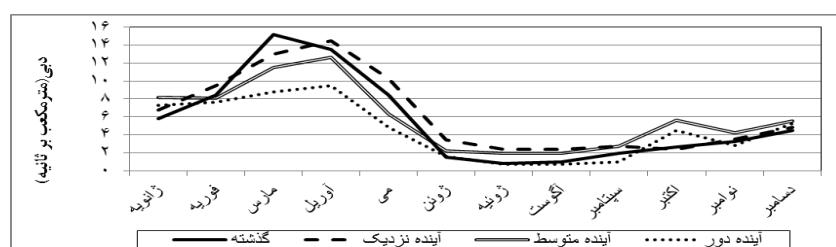
با افزایش تؤامان دمای حداکثر و حداقل انتظار می‌رود، ایستگاه ارزکوشه شاهد افزایش دمای متوسط سالانه قابل توجهی باشد. این افزایش در دهه‌های آتی نسبت به دوره پایه به ترتیب $0/8$ ، $2/1$ و $4/9$ درجه سانتی‌گراد در دوره‌های $2030-2046$ ، $2046-2065$ و $2065-2080$ است.



شکل (۹). تغییرات میانگین دمای حداکثر ماهانه دوره مشاهداتی و آینده ایستگاه ارزکوشه

با تغییر در پارامترهای بارش و دما، سیستم هیدرولوژیکی منطقه مطالعاتی دستخوش تغییرات قابل توجهی خواهد شد. میانگین دبی ماهانه در ژوئن، دسامبر و ژانویه افزایش و در

ماه مارس کاهش خواهد یافت. کاهش دبی ماه مارس، تغییرات ۱۴ تا ۴۱ درصدی خواهد داشت^۱ به نحوی که در آینده کاهش بیشتر دبی این ماه مورد انتظار خواهد بود. بیشترین افزایش دبی ماهانه در ژوئن رخ خواهد داد. با بررسی تغییرات دبی فصلی منطقه مطالعاتی ملاحظه می شود که آبدهی منطقه مطالعاتی در فصل تابستان با افزایش و در فصل بهار با کاهش روبرو خواهد بود که با افزایش دبی ماه ژوئن مطابقت دارد. شکل ۱۰، میانگین دبی ماهانه حوضه آبخیز ارازکوسه در دهه های آتی را در مقایسه با دوره گذشته نشان می دهد. چنانچه در شکل ملاحظه می شود دبی اوج در دهه های آتی با یک ماه تأخیر در ماه آوریل و با کاهشی ۴ تا ۳۷ درصدی به وقوع خواهد پیوست. به طوری که کاهش دبی پیک سالانه در اواخر قرن با شدت بیشتری همراه است. آبدهی سالانه منطقه مطالعاتی در ابتدا و اواسط قرن به ترتیب با افزایش ۱۳ و ۵ درصدی رو به رو خواهد بود. اما تغییر اقلیم در آینده با کاهش ۱۸ درصدی، رواناب سالانه حوضه آبخیز ارازکوسه را تحت تأثیر قرار خواهد داد.



شکل (۱۰). میانگین دبی ماهانه دوره مشاهداتی و آینده حوضه

نتیجه‌گیری

بررسی شاخص‌ها و نمودارهای به دست آمده در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای شبیه‌سازی دبی رواناب ماهانه، نشان می‌دهد که مدل در مرحله اعتبارسنجی موفق‌تر عمل کرده است. به دلیل به دست آمدن مقادیر بالای شاخص‌های ارزیابی، مدل سازی بسیار خوب زمان وقوع دبی‌های اوج و دبی‌های پایه و علی‌رغم بیشتر برآورد نمودن مقادیر دبی‌های اوج، نتایج مدل سازی مطلوب است. به طور کلی نتایج به دست آمده، نشان‌دهنده توانایی و دقیق قابل قبول مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی رواناب ماهانه حوضه آبخیز ارازکوسه است. یافته‌های این تحقیق مشابه با نتایج مطالعات چانگ بین^۱ و همکاران (۲۰۱۰)، شملیس^۲ و همکاران

^۱. Changbin

^۲. Shimelis

(۲۰۱۰) و زو^۱ و همکاران (۲۰۰۹) می‌باشد که تماماً توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی جریان رودخانه را رضایت‌بخش اعلام کرده‌اند.

با توجه به آزمون‌های آماری و آماره‌های خطاسنجی، مدل LARS-WG کارایی مناسبی در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دارد. این مدل، توانایی بیشتری در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی پیوسته همانند دما نسبت به پارامترهایی با تغییرپذیری بیشتر مانند بارش دارد. نتیجه به دست آمده با نتایج تحقیقات مشابهی نظری بابائیان و نجفی‌نیک (۱۳۸۵) و آبابایی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد.

در این پژوهش، افزایش دمای حداقل در تمامی ماه‌های سال پیش‌بینی شده است. در فصل تابستان، افزایش پارامتر مذکور به میزان $1/3$ ، $3/8$ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در آینده نزدیک، متوسط و دور مشاهده خواهد شد. همچنین افزایش میانگین دمای حداقل سالانه نیز به میزان $1/4$ ، $2/3$ و $4/4$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. دمای حداکثر نیز در تمامی ماه‌ها افزایش خواهد یافت، به نحوی که این افزایش در فصل تابستان بیشتر از سایر فصول خواهد بود. افزایش متوسط دمای حداکثر سالانه $0/6$ تا $3/9$ درجه سانتی‌گراد در طول قرن خواهد بود. دمای متوسط سالانه منطقه مطالعاتی در آینده نزدیک، متوسط و دور به ترتیب $0/8$ ، $2/1$ و $4/1$ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. در آینده نزدیک هنوز انتشار گازهای گلخانه‌ای زیاد نبوده، پس تغییر اقلیم شدید نیست؛ در حالی که در آینده دور، اثر سیگنال‌های مربوط به افزایش گازهای گلخانه‌ای در سال‌های آتی قوی‌تر است. تغییر اقلیم با اثر بیشتری نمود می‌یابد. چنان‌چه ملاحظه می‌شود حوضه آبخیز اراز کوسه در سال‌های ابتدایی قرن، شاهد افزایش دمای کمتری نسبت به سال‌های انتهایی قرن خواهد بود و به طور کلی، پارامترهای دمای حداقل، حداکثر و میانگین دما روند صعودی خواهند داشت.

بارش‌های دهه‌های آتی در فصل بهار با کاهش $10/4$ ، $14/7$ و $30/4$ درصدی روبرو خواهد بود. از آنجا که در این فصل نیاز به منابع آب جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی زیاد بوده و مصرف آب نسبت به سایر فصول بیشتر است، منطقه مطالعاتی در این فصل با کمبود منابع آب مواجه خواهد بود. جهت مقابله با این مشکل، مدیریت و برنامه‌ریزی جهت حفظ منابع آب در فصول پرباران و آبیاری مناسب در این فصل توصیه می‌شود. چنانچه بیان شد منطقه مطالعاتی با افزایش دما مواجه خواهد بود. با افزایش دما، نسبت بارش‌های مایع نسبت به کل بارش سالانه افزایش می‌یابد و میزان بارش‌های برف کاهش می‌یابد (عظیم ادنان، ۱۴۰۱:۲۰۱۰). بدین

¹. Xu

2. Azim Adnan

ترتیب ذخایر آبی (برف) برای بهار که با کاهش بارندگی نیز رو به رو خواهد بود، نکته‌ای منفی محسوب می‌شود. نتایج مذکور با نتایج مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) و همچنین آشفته و مساح بوانی (۱۳۸۹) همخوانی دارد. سال‌های ابتدایی و میانی قرن در فصل تابستان شاهد بیشترین افزایش بارش مورد انتظار خواهد بود. چنانچه قبلًاً بیان شد بیشترین افزایش دما نیز در فصل تابستان به وقوع خواهد پیوست. افزایش بارش در این فصل به علت همراهی با افزایش دما لزوماً بهبود شرایط دسترسی به منابع آب و به دنبال آن بهبود وضعیت زیستی و معیشتی جوامع انسانی و همچنین افزایش سطح کشاورزی را به دنبال نخواهد داشت. چرا که افزایش دما موجب افزایش تبخیر و تعرق و از دسترس خارج شدن منابع آب خواهد بود. از طرف دیگر با توجه به نزولات کم جوی در فصل تابستان، افزایش آن در دهه‌های آتی ممکن است چندان محسوس نباشد. به‌طور کلی تغییر اقلیم در آینده نزدیک و متوسط به صورت افزایش ۸/۸ و ۱۱/۲ درصد بارش سالانه و در آینده دور با کاهش ۸/۷ درصدی آن نمود خواهد کرد. این نتایج با مطالعه نرسیملو^۱ و همکاران (۲۰۱۳) همخوانی دارد. در آینده دور بیشترین کاهش بارش در فصل تابستان رخ خواهد داد، از آنجا که در این دوره افزایش دمای بیشتری به وقوع خواهد پیوست، کمبود شدید منابع آب مورد انتظار خواهد بود و با عدم مدیریت صحیح به دنبال افزایش جمعیت بیشتر و صنعتی شدن جوامع شاهد فجایع انسانی گسترش بیشتری خواهد یافت. در حوضه آبخیز ارازکوسه، بارش‌ها به سمت بارش‌های فصل سرد جابه‌جا خواهند شد. به طوری که اوچ بارش از ماه مارس (فصل بهار) در دوره گذشته به ماه دسامبر (فصل زمستان) در دوره آینده جابه‌جا خواهد شد. انتظار می‌رود به علت افزایش دما، بارش‌های زمستانه از شکل بارش‌های جامد (برف) به مایع (باران) تبدیل شود.

به دنبال افزایش بارش، رواناب سالانه منطقه مطالعاتی در آینده نزدیک و متوسط به ترتیب افزایش ۱۳ و ۵ و ۱۸ درصدی خواهد داشت. بدین ترتیب در اواخر قرن پیش رو کمبود منابع آب مورد انتظار خواهد بود. رشد جمعیت، صنعتی شدن جوامع و به دنبال آن افزایش تقاضای آب جهت تأمین مصارف شرب، کشاورزی و صنعت، مسئله کمبود آب در منطقه مطالعاتی را شدت خواهد بخشید. برنامه‌ریزی مدیریتی جهت استحصال و ذخیره‌سازی آب در فصول پر باران، توسعه روش‌های جدید تأمین آب، به کارگیری شیوه‌های کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آن می‌تواند در کاهش اثرات پدیده تغییر اقلیم کمک شایانی نماید. دبی پیک سالانه در حوضه آبخیز ارازکوسه با یک ماه جابه‌جایی و با کاهش ۴ تا ۳۸ درصدی رخ خواهد داد.

1. Narsimlu

مطلوب بیان شده جهت کاهش اثرات تغییر اقلیم و مدیریت منابع آب کمک شایانی می‌نماید. اما باید توجه نمود که عدم قطعیت، نتایج مطالعات ارزیابی اثرات اقلیم بر سامانه‌های مختلف را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به دلیل نامشخص بودن وضعیت اقتصادی، اجتماعی و فن‌آوری آینده جامعه بشری نمی‌توان به صراحت میزان مشخصی برای انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفت. همچنین وجود تفاوت در منطق مدل‌های مختلف شبیه‌سازی منابع آب، باعث ایجاد تفاوت در خروجی‌ها تحت شرایط یکسان ورودی‌ها می‌شود که نشان از عدم قطعیت در کاربرد مدل‌های شبیه‌ساز منابع آب می‌شود. بدین ترتیب هنگامی می‌توان بیان داشت که خروجی مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی تحت تأثیر تغییر اقلیم، دارای دقت کافی برای تصمیم‌گیری هستند که محدوده‌های عدم قطعیت مربوط به موارد ذکر شده در محاسبات مربوطه اعمال شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. در نظر گرفتن منابع عدم قطعیت در مطالعات آتی پیشنهاد می‌گردد.

منابع و مأخذ

۱. آبابایی، بهنام، میرزابی، فرهاد، سهرابی، تیمور. (۱۳۹۰). ارزیابی عملکرد LARS-WG در ایستگاه هواشناسی ساحلی ایران. پژوهش آب ایران، سال پنجم، شماره نهم، ۲۲۲-۲۱۷.
۲. آشفته، پریسا سادات، مساح بوانی، علیرضا. (۱۳۸۹). تأثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداقل: مطالعه موردی حوضه آبدوغموش آذربایجان شرقی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۴، شماره ۵۳.
۳. باباییان، ایمان، کوهی، منصوره. (۱۳۹۱). ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۴، ۹۶۷-۹۵۳.
۴. باباییان، ایمان، نجفی‌نیک، زهرا. (۱۳۸۵). معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان، دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۶۱. مجله نیوار، شماره ۶۲، ۶۵-۴۹.
۵. بذرافشان، جواد، خلیلی، علی، هورفر، عبدالحسین، ترابی، صدیقه، و حجام، سهراب. (۱۳۸۸). بررسی و مقایسه عملکرد دو مدل LARS-WG و ClimGen در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در شرایط مختلف اقلیمی ایران، مجله تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۱۳، ۵۷-۴۴.
۶. خلیلی اقدم، نبی، مساعدي، ابوالفضل، سلطانی، افشین، کامکار، بهنام. (۱۳۹۱). ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سندنج. مجله پژوهش‌های حفاظت

- آب و خاک، جلد ۱۹، شماره ۴.
۷. ذهبيون، باقر، گودرزی، محمدرضا، مساح بوانی، عليرضا. (۱۳۸۹). کاربرد مدل SWAT در تخمین رواناب حوضه در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال اول، شماره ۳ و ۴.
۸. - کمال، عليرضا. (۱۳۸۸). ارزیابی تغییر اقلیم بر رواناب تحت تأثیر عدم قطعیت مدل‌های AOGCM-AR4 و روش‌های کوچک‌مقیاس کردن، مطالعه موردی زیرحوضه قره‌سو. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع آب، دانشگاه تهران.
۹. مدرسی، فرشته، عراقی‌نژاد، شهاب، ابراهیمی، کیومرث، خلقی، مجید. (۱۳۹۰). بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان آبدی سالانه رودخانه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۶، ۱۳۶۵-۱۳۷۷.
۱۰. مساح بوانی، عليرضا. (۱۳۸۵). ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب، مطالعه موردی: حوضه زاینده‌رود استان اصفهان. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران.
۱۱. مساح بوانی، عليرضا، مرید، سعید. (۱۳۸۴). اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال نهم، شماره چهارم، ۱۷-۲۷.
۱۲. مشکوکاتی، امیرحسین، کردجزی، محمد، بابائیان، ایمان. (۱۳۸۹). بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان در دوره ۱۹۹۳-۲۰۰۷. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۶، شماره ۱۹.

Abbaspour, K., Faramarzi, C., Seyed Ghasemi, S., & Yang, H. (2009). *Assessing the impact of climate change on water resource in Iran*. Water resource research, 1-16.

Abbaspour, K., Faramarzi, C., Seyed Ghasemi, S., & Yang, H. (2013). *Impact of climate change on hydrology in the Srepok Watershed Vietnam. Climate and Land Surface Changes in Hydrology Proceedings of H01, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly*, Gothenburg, Sweden, 111-117.

Alizadeh, A., Izadi, A., Davari, k., Ziae, A, N., Akhavan, S., Hamidi, Z. (2013). *Estimation of Actual Evapotranspiration at Regional – Annual scale using SWAT*. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 2(7), 243-258.

Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S. and Williams, J.R., (1998). *Large area hydrologic modeling and assessment, part I: model development*. Journal of American Water Resources Association, 34 (1), 73-89.

Azim adnan, N. (2010). *Quantifying the impact of climate change and*

land use change on the hydrological response of a Monsoonal catchment.
 Thesis for the degree of doctor of philosophy, University of South Ampton,
 Faculty of social and human sciences, School of geography.

Changbin, Li., Jiaguo, Qi., Zhaodong, Feng., Runsheng, Yin., Songbing, Zou
 and Feng, Zhang. (2010). **Parameters optimization based on the
 combination of localization and auto-calibration of SWAT model in a
 small watershed in Chinese Loess Plateau.** Front. Earth Sci. 4(3), 296–310.

Faramarzi, M., Abbaspour, K. C., Schulin, R., and Yang, H. (2009).
Modelling blue and green water resources availability in Iran.
Hydrological processes. 23, 486–501.

Gosain, A., Rao, S., & Basuray, D. (2006). **Climate change impacts
 assessment on hydrology of Indian river basin.** Current sciences 90, 346-353.

IPCC-TGCIA. (2007). **General guidelines on the use of scenario data for
 climate impact and adaptation assessment.** ads. K.Alfson, E. Barrow, B.
 Bass. X. Dai, P. Desanker, S. R. Gaffin, F. Giorgi, M. Hulme, M. Lai, L. J.
 Mata, L. O. Mearns, J. F. B. Mitchell, T. Morita, R. Mass. task group on data
 and scenarios suport for impact and climate assessment.

IPCC. 1995. Impacts, **Adaptations and Mitigation of Climate Change:
 Scientific Technical Analyses.** Cambridge University Press, 878 PP.

Jakson, C., & Sen, M. (2009). **Stochastic model prediction of future
 climate.** Institute of geographic,university of Texas at Austin.

Luo. Y., Ficklin. L. D., Liu. X and Zhang. M. (2013). **Assessment of climate
 change impacts on hydrology and water quality with a watershed modeling
 approach.** Science of The Total Environment. 4, 72-82.

Molina-Navarro,E., Trolle, D., Martínez-Pérez, S., Sastre-Merlín, A and
 Jeppesen, E. (2014). **Hydrological and water quality impact assessment of a
 Mediterranean limno-reservoir under climate change and land use
 management scenarios.** Journal of Hydrology, 509, 354-366.

Narsimlu, B., Gosain, A.K., Chahar, B.R. (2013). **Assesment of future
 climate change impacts on water resources of Upper Sind River
 basin,India using SWAT model.** Water resource manage, 27:3647-3662.

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R., (2011). **Soil and**

waterassessment tool, theoretical documentation, version 2009. Texas Water Research Institute, Technical Report 406.

Shimelis, G., Setegn, Bijan Dargahi., Ragahavan, Srinivasan and Assefa, M. Melesse. (2010). *Modeling of sediment yield from Anjeni-Gauged watershed, Ethiopia using SWAT model.* Journal of the American water resources association, 46(3).

Xu, Z. X., Pang, J. P., Liu, C. M., and Li, J. Y. (2009). *Assessment of runoff and sediment yield in the Miyun Reservoir catchment by using SWAT model.* Hydrological Processes. *Hydrol. Process.* 23, 3619–3630.

