

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوزه آبخیز سد ایلام

محسن توکلی^{۱*}، حاجی کریمی^۲ و هادی نورالهی^۳

^۱ استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ^۲ دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام و ^۳ کارشناس ارشد بیابانزدایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۳

چکیده

یکی از موضوعات مهم روز دنیا، تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین است که به عنوان موضوعی چالشی در نشست‌های عمومی و تخصصی مطرح می‌باشد. اقلیم شکننده کشور ما باعث شده تا پیش‌بینی درازمدت تغییرات اقلیمی از اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب برخوردار باشد. تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرات پدیده تغییرات اقلیم بر تغییرات دبی حوزه آبخیز گل‌گل به عنوان یکی از زیرحوضه‌های سد ایلام انجام گرفته است. در این تحقیق، ابتدا داده‌های دما، بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل به صورت کوچک مقیاس در آمده و سپس وضعیت هیدرولوژیکی حوضه شبیه‌سازی شده و در نهایت برای تولید سری‌های زمانی پیش‌بینی جریان رودخانه در آینده مورد استفاده قرار گرفته اند. به این منظور، نتایج مدل اقلیمی HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 با استفاده از نرم‌افزار SDSM کوچک مقیاس شد. سپس، به وسیله مدل SWAT جریان رودخانه در سه دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ (2020s)، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ (2050s)، ۲۰۷۰-۲۰۹۹ (2080s) و دوره پایه ۱۹۶۱-۱۹۹۰ (Baseline)، تحت دو سناریوی A2 و B2 شبیه‌سازی شده و در نهایت، اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب این حوضه تا اواخر قرن حاضر میلادی ارزیابی شد. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده کاهش متوسط دبی سالانه به مقدار ۶/۳، ۱۶/۹ و ۲۴/۱ درصد در دوره‌های 2020s، 2050s و 2080s در سناریوی A2 و به ترتیب ۱۰/۹، ۸/۸ و ۱۳/۲ درصد تحت سناریوی B2 می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که تغییر اقلیم می‌تواند به عنوان یکی از پدیده‌هایی که مقدار آب ورودی به حوضه سد ایلام را تحت تأثیر قرار دهد، مورد نظر مدیران و برنامه‌ریزان قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز گل‌گل، گرم شدن کره زمین، SWAT، SDSM، HadCM3

مقدمه

کنون، این مسئله مورد توجه دانشمندان جهان قرار گرفته است و هر روز هم بر اهمیت این موضوع تأکید بیشتری می‌شود. بسیار مطرح می‌شود که به علت گرم شدن کره زمین، یخ‌های قطبی در حال ذوب شدن هستند و سطح آب‌های اقیانوس‌های جهان در حال بالا آمدن است. این نگرانی زمانی به اوج خود رسیده

یکی از بحث‌های روز دنیا، تغییر اقلیم و گرم شدن جهانی است که به عنوان یک موضوع چالشی در محافل عمومی و تخصصی مطرح است. در سال‌های پایانی قرن بیستم، دانشمندان علوم زمین اعلام کردند که کره زمین در حال گرم شدن است و از آن زمان تا

است که تغییر اقلیم با بحران آب و بیابان‌زایی بهم پیچیده‌اند.

از این‌رو، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حائز اهمیت می‌باشد. امروزه دلایل متعددی برای گرم شدن کره زمین بیان می‌شود که از جمله این دلایل که به‌عنوان علت شدت گرفتن افزایش دمای کره زمین یاد می‌شود، انتشار بیش از حد گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین است. افزایش گازهای گلخانه‌ای و مخصوصاً گاز CO₂ در نتیجه مصرف سوخت‌های فسیلی در چند دهه اخیر موجب شده که غلظت این گاز از ppm ۲۸۰ در سال ۱۷۵۰ به ppm ۳۷۹ در سال ۲۰۰۵ افزایش یابد (IPCC, ۲۰۰۷). هیات بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) در گزارشی اعلام کرده است که در دوره زمانی ۲۰۱۲-۲۰۰۳ افزایشی حدود ۰/۷۸ (۰/۷۲-۰/۸۵) درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره ۱۹۰۰-۱۸۵۰ مشاهده شده است و بر اساس مدل‌های RCP2.6, RCP4.5, RCP6 و RCP8.5 پیش‌بینی شده است به ترتیب ۱/۷-۰/۳، ۲/۶-۱/۱، ۳/۱-۱/۴ و ۴/۸-۲/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش برای ۲۱۰۰-۲۰۸۱ نسبت به ۲۰۰۵-۱۹۸۶ به‌وقوع پیوندد (IPCC, ۲۰۱۳).

طبق گزارش‌های IPCC تغییر اقلیم باعث ایجاد تغییر در رژیم هیدرولوژی حوضه‌ها در چند دهه اخیر در سطح جهان شده است، به‌طوری که احتمال مواجهه با رخداد‌های حداکثر اقلیمی مانند سیلاب و خشکسالی افزایش یافته است (IPCC, ۲۰۰۷). شواهد علمی حاکی از آن است که تغییرات اقلیم موجب تغییرات فیزیکی، بیولوژیکی و بیوشیمیایی در آب‌ها شده، خطرات جهانی بسیار جدی را فراهم ساخته و مقابله با آن نیازمند واکنش‌ها و اقدامات سریع و فوری جهانی است (IPCC, ۲۰۱۴).

اثرات این پدیده در کشورهای در حال توسعه بارزتر است و همچنین، افزایش دمای هوا اثرات عمیقی را بر پدیده‌های اقلیمی به‌خصوص میزان و الگوهای بارندگی در سراسر جهان خواهد داشت (IPCC, ۲۰۱۳). بر اساس دومین گزارش ارزیابی تغییر اقلیم که در سال ۱۹۹۵ ارائه شده، تغییر در اقلیم منجر به تغییر در چرخه هیدرولوژیکی شده و می‌تواند بازتاب‌های شدیدی در منابع آب منطقه‌ای

داشته باشد. از طرف دیگر، شواهد و مدارک نشان می‌دهد که تغییر اقلیم در آینده فرکانس و شدت وقایع حدی را افزایش خواهد داد که این خود نیازمند بررسی اثر این وقایع (مانند بارش‌های حداکثری) بر جریان‌های حدی هیدرولوژیکی برای طراحی بهینه سازه‌های آبی می‌باشد (IPCC, ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳).

ارتباط تنگاتنگی بین چرخه هیدرولوژی و سیستم اقلیمی وجود دارد و هر تغییری در اقلیم، بر پارامترهای هیدرولوژیکی اثر می‌گذارد. رواناب، آبدهی رودخانه‌ها، آب‌های زیرزمینی، شدت سیلاب و خشکسالی، همگی متأثر از بارش و دما که از مهمترین عناصر اقلیمی هستند، می‌باشند. با توجه به افزایش میزان CO₂ و به تبع آن وقوع گرمایش جهانی و تأثیر آن بر منابع آبی ملی و منطقه‌ای، لحاظ کردن تأثیر تغییرات فوق بر برنامه‌ریزی‌های منابع آب ضروری به نظر می‌رسد (Azaranfar و همکاران، ۲۰۰۶). تغییرات هیدرولوژیک در یک منطقه در اثر تغییر اقلیم می‌تواند منجر به تغییر در پارامترهای هیدرولوژیک حوضه شامل الگوی جریان، تغذیه آب‌های زیرزمینی، تغییر برف‌پشته‌ها، افزایش تبخیر از دریاچه‌ها، مخازن و همچنین، افزایش وقوع سیل‌ها و خشکسالی‌های شدید و تغییر کیفیت آب شود (Henderson و همکاران، ۲۰۰۷). اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران باعث شده تا پیش‌بینی درازمدت تغییرات اقلیمی از اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب برخوردار باشد و در این راستا تحقیقات مختلف و مطالعات متعددی به‌عمل آمده است. تحقیقات و مطالعات مختلفی در این راستا در مناطق مختلف دنیا از جمله ایران انجام شده است.

Azaranfar و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیقی به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بارش و دمای حوزه آبخیز زاینده‌رود در دو دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ تحت دو سناریو A2 و B2 پرداختند و پیش‌بینی نمودند که مقدار بارش در ماه ژانویه و دسامبر افزایش خواهد یافت ولی شرایط برای بقیه ماه‌ها متفاوت است و برحسب نوع سناریو و دوره ممکن است تغییرات به‌صورت افزایش یا کاهش باشد، از طرف دیگر، تحت هر دو سناریوی A2 و B2 در هر سه دوره نسبت به دوره پایه افزایش دما را تا پایان قرن حاضر پیش‌بینی

نتایج شبیه‌سازی نشان داد که جریان آبراه‌های به‌خصوص در تابستان به‌دلیل بارش کمتر و افزایش تبخیر و تفرق بیشتر کاهش می‌یابد. پیش‌بینی‌ها همچنین، نشان داد که کاهش بارش در تابستان منجر به کمبود رطوبت خاک در پاییز خواهد شد که می‌تواند تاثیر منفی بر پوشش گیاهی طبیعی و رشد محصول دیم بگذارد.

Fakheri Fard و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر جریان‌ات ورودی به دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج خروجی مدل SDSM افزایش میزان بارش روزانه در ماه‌های گرم سال را نشان داد و تحلیل هیدرولوژیکی جریان، متوسط سالیانه در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه تحت تاثیر تغییر روند در انتقال جریان در ماه‌های قبل از فصل بهار را نشان داد. Ghasemi (۲۰۱۲) در تحقیق ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش شهرکرد در دهه‌های آینده، نشان داد که همبستگی بالای ۸۰ درصد بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در مدل SDSM می‌باشد. نتایج موجود نشان می‌دهد که این نرم‌افزار از توانایی بالایی در شبیه‌سازی در دوره پایه برخوردار می‌باشد.

Daba و همکاران (۲۰۱۳)، در تحقیقی به ارزیابی تاثیر تغییرات آب و هوایی بر منابع آب زیرحوضه Finchaa در بالادست حوضه آبی رود نیل در اتیوپی پرداختند. در این مطالعه از سناریوهای B2a و A2a در قالب مدل HadCM3 برای پیش‌بینی‌های تغییر آب و هوا استفاده شد. برای پیش‌بینی متغیرها از مدل SDSM و برای شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای از مدل SWAT استفاده شد. نتایج نشان داد، یک روند قابل توجه افزایشی در متغیر درجه حرارت حداقل و حداکثر و روند کاهش اندکی در بارش برای هر دو سناریوی انتشار A2a و B2a در حوضه برای هر سه دوره تعریف شده در آینده وجود دارد. سری داده‌های دما و بارش هم به‌عنوان ورودی به مدل SWAT در نظر گرفته شده که روند کاهش کلی در جریان سالانه و ماهانه در منطقه مورد مطالعه، در آینده پیش‌بینی شده است.

Azari و همکاران (۲۰۱۳) به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر شرایط هیدرولوژیکی حوضه گرگان‌رود با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیکی SWAT حوضه

کرده است. Ashofteh و Masahbovani (۲۰۰۷) در تحقیقی تاثیر تغییر اقلیم بر رژیم سیلاب حوضه آیدوغموش آذربایجان شرقی در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سناریوی A2 را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج در مجموع نشان از افزایش دمای دوره آبی نسبت به دوره پایه داشت. به‌طوری که دمای ماه‌های مختلف بین ۱/۵ تا چهار درجه سانتی‌گراد افزایش را نشان داده و مقایسه مقادیر سیلاب دوره آبی و دوره مشاهداتی حاکی از تغییر رژیم سیلاب رودخانه به‌خصوص در مقادیر شدت‌های حداکثر می‌باشد.

Maurer و همکاران (۲۰۰۷) دما و بارش را به‌وسیله ۱۶ مدل گردش عمومی و با دو سناریوی A2 و B1 برای حوزه آبخیز ریولامپا در آمریکای مرکزی کوچک مقیاس و سپس مدل VIC را با این داده‌ها اجرا کردند. بر اساس نتایج تا انتهای قرن حاضر دمای حوضه در سناریوی B1، ۱/۹ و در سناریوی A2، ۳/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. این در حالی است که متوسط بارندگی در حوضه در سناریوی B1، پنج درصد و در سناریوی A2، ۱۰/۴ درصد کاهش خواهد یافت. آنان همچنین، اعلام کردند که تا پایان قرن حاضر ورودی به مخازن بین ۱۳ درصد در سناریوی B1 و ۲۴ درصد تحت سناریوی A2 کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج این تحقیق، تا پایان قرن شاهد کاهش ۳۳ تا ۵۳ درصدی در ظرفیت تولید برقابی مخازن حوضه خواهیم بود.

Choi (۲۰۰۸) اثر سناریوهای تغییر آب و هوا و استفاده از زمین بر رواناب در حوضه رودخانه Kishwaukee ایلینویز آمریکا مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که تغییرات آب و هوایی تاثیر بیشتری بر رواناب در دوره‌های آبی خواهد گذاشت و اثر تغییر کاربری کمتر می‌باشد. Tavakoli و De Smedt (۲۰۱۱) تاثیر تغییر اقلیم بر جریان آبراه‌ای و رطوبت خاک در حوزه آبخیز Vermilion در ایلینویز آمریکا را مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این مطالعه، از مدل هیدرولوژیکی WetSpa برای شبیه‌سازی جریان آبراه‌ای و میزان رطوبت خاک استفاده شده است. متغیرهای پیش‌بینی آب و هوای منطقه‌ای برای دو سناریوی آب و هوا و چهار دوره زمانی ریزمقیاس شد.

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده: حوزه آبخیز گل‌گل با مساحت ۲۴۹۵۰ هکتار در استان ایلام، به‌عنوان یکی از زیرحوضه‌های سد ایلام در شهرستان‌های ایلام و ملکشاهی قرار گرفته و از نظر موقعیت جغرافیایی بین $36^{\circ} 36' 16''$ تا $36^{\circ} 32' 32''$ طول شرقی و $33^{\circ} 23' 12''$ تا $33^{\circ} 38' 38''$ عرض شمالی واقع شده است. حداکثر ارتفاع حوضه ۲۶۰۵ و حداقل ارتفاع آن ۱۰۵۲ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط ارتفاع ۱۸۲۸ متر و شیب متوسط حوضه ۲۰ درصد می‌باشد. از نظر هیدرولوژیکی این حوضه یکی از سرشاخه‌های تأمین کننده آب سد ایلام می‌باشد. متوسط بارش حوضه ۴۱۶ میلی‌متر (۱۳۹۴-۱۳۷۳) بوده در فصول زمستان، پائیز و بهار به ترتیب ۵۲/۲، ۳۰/۱ و ۱۷/۷ درصد بارش اتفاق می‌افتد. سد ایلام منبع اصلی تأمین آب شرب شهر ایلام می‌باشد که سهم عمده‌ای از تأمین آب این سد را دارد. در این تحقیق، نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده ETM⁺ سال ۲۰۰۷ تهیه شد (شکل ۱). نقشه خاک از مطالعات آبخیزداری حوضه سد استخراج شده است. همچنین، از اطلاعات بازدیدهای میدانی و تصاویر Google Earth و از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری برای شناسایی مقدماتی منطقه استفاده شده است. از نرم‌افزارهای ENVI و ArcGIS برای پردازش اطلاعات و خروجی استفاده شده است. کاربری اراضی در این منطقه شامل کشاورزی آبی و دیم، جنگل، مرتع، مناطق مسکونی و باغ می‌باشد. نقشه مدل ارتفاعی رقومی با استفاده از خطوط تراز ۱۰ متری نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری و در نرم‌افزار ArcGIS آماده شده است. داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک ایلام از سازمان هواشناسی و داده‌های جریان اندازه‌گیری شده ایستگاه گل‌گل از شرکت آب منطقه‌ای اخذ شده است.

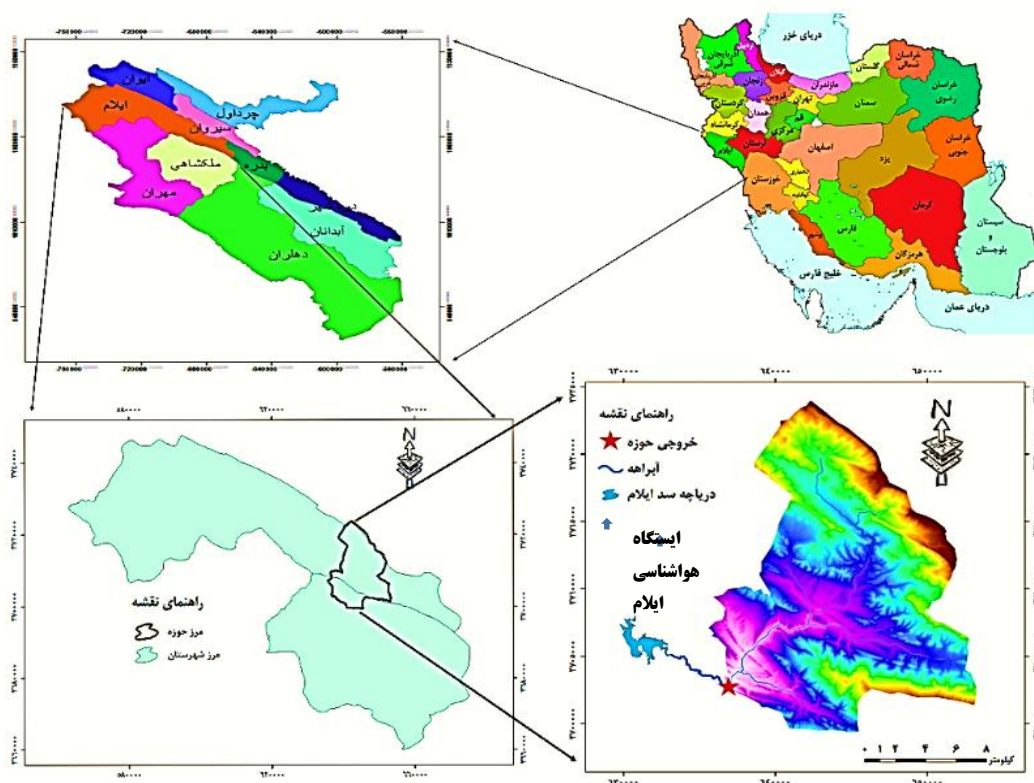
روش تحقیق: این تحقیق، شامل چهار بخش می‌باشد: (۱) مدل توزیعی هیدرولوژیکی (SWAT) برای شبیه‌سازی جریان رودخانه برای یک دوره ۱۴ ساله (۲۰۰۴-۱۹۹۱) در حوضه واسنجی شد، (۲) مدل واسنجی شده برای شبیه‌سازی جریان در یک دوره

پرداختند و برای تعیین سناریوهای تغییر اقلیم از خروجی‌های سه مدل چرخش عمومی جو شامل CGCM1، HadCM3 و SCIRO استفاده نمودند. نتایج مطالعه نشان داد که در شرایط اقلیمی آینده برای دوره زمانی ۲۰۹۹-۲۰۷۰ مقدار بارندگی سالانه حوضه به میزان ۳/۲ تا ۶/۷ درصد کاهش خواهد یافت. نتیجه تغییرات اقلیمی در بخش آب، کاهش مقدار رواناب سطحی به میزان ۰/۴ تا ۷/۷ درصد، کاهش آب خاک به میزان ۵/۲ تا ۱۳ درصد، افزایش آبدهی حوضه به میزان ۵/۳ تا ۱۰/۲ درصد و افزایش تبخیر و تعرق بین ۳/۶ تا ۱/۶ درصد خواهد بود. Samuel و همکاران (۲۰۱۳)، در تحقیقی اثرات تغییر اقلیم بر دما، بارش، منابع آب و کشاورزی کشور آفریقای جنوبی را مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان از افزایش جریان‌های حداکثری و کاهش منابع آب در آینده داشت.

Chung و Komozep (۲۰۱۴)، اثرات تغییر اقلیم بر رواناب و خشکسالی حوضه‌ای در کره جنوبی را ارزیابی کردند که نتایج نشان‌دهنده نه درصدی افزایش رواناب در دوره‌های آینده و افزایش بروز خشکسالی در دوره ۲۰۶۰ بوده است. Mansouri و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل‌های AOGCM و SWAT تغییرات رواناب خروجی از حوضه زرينرود در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۵ را پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که در آینده، مقدار و الگوی بارش تغییر پیدا کرده و رواناب ورودی به سد در دوره مورد نظر حدود ۲۸ درصد نسبت به دوره پایه کاهش پیدا خواهد کرد. Poormohamadi و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوزه آبخیز توپسرکان و راه‌کارهای سازگاری با آن پرداختند. نتایج نشان داد که در اثر کاهش بارش ناشی از تغییر اقلیم، حجم رواناب زیرحوضه‌ها نیز کاهش خواهد یافت. Parhizkari (۲۰۱۷) به تحلیل اثر تغییر اقلیم بر منابع آب در دسترس، افزایش ارزش اقتصادی آب آبیاری و کاهش سود ناخالص کشاورزان شده است. در تحقیق حاضر با توجه به اهمیت سد ایلام جهت تهیه آب شرب شهر ایلام، اثرات احتمالی پدیده تغییر اقلیم جهت پیش‌بینی، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در آینده مورد بررسی قرار گرفته است.

شد تا تغییر اقلیم شبیه‌سازی شود، ۴) جریان هیدرولوژیکی رودخانه به‌وسیله مدل برای دوره پایه و قرن جاری شبیه‌سازی شد تا اثرات تغییر اقلیم بر رفتار هیدرولوژیکی حوضه ارزیابی شود.

چهار ساله (۲۰۰۴-۲۰۰۸) اعتبارسنجی شد، ۳) پارامترهای اقلیمی روزانه برای یک دوره پایه در گذشته (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و سه دوره آینده (۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰) پیش‌بینی



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز مورد مطالعه در کشور و استان ایلام

خاک و نقشه کاربری اراضی است که به همراه داده مربوط به خاک که اطلاعاتی از قبیل خصوصیات خاک، ضخامت، افق‌ها، بافت خاک و غیره را شامل می‌شود، آماده سازی و به مدل معرفی می‌شود. برای شبیه‌سازی جریان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی، دوره آماری داده‌های جریان آب در خروجی حوضه به سه دوره گرم شدن مدل (۱۹۸۹-۱۹۹۱)، دوره واسنجی (۲۰۰۴-۱۹۹۱) و دوره اعتبارسنجی (۲۰۰۸-۲۰۰۴) تقسیم و مورد استفاده قرار گرفت. جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل از داده‌های روزانه جریان اندازه‌گیری شده در محل ایستگاه آب‌سنجی گل‌گل استفاده شده است. جهت ارزیابی کارایی مدل در شبیه‌سازی جریان در حوضه، نتایج واسنجی و اعتبارسنجی از روش‌های آماری و ترسیمی استفاده شده است.

۱- مدل هیدرولوژیکی SWAT: یکی از معروفترین و به روزترین مدل‌هایی است که امروزه در بسیاری از مطالعات و تحقیقات با اهداف متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرد. جزئیات، روش کار و معادلات مورد استفاده در این مدل در سایت مدل SWAT (<http://swat.tamu.edu>) قابل دسترسی است. نرم‌افزار ArcGIS واسطه پردازش مناسبی برای ورود داده‌های اولیه به مدل SWAT می‌باشد. تلفیق این نرم‌افزار با مدل باعث شده مدیریت داده‌ها سهولت یافته و امکان انتقال داده‌ها از دیگر نرم‌افزارهای مربوط به سیستم اطلاعات جغرافیایی تسهیل شود. ورودی‌های مدل SWAT شامل دو دسته داده‌های هواشناسی و خصوصیات حوضه می‌باشد. ورودی‌های هواشناسی شامل داده‌های بارش و دمای حداکثر و حداقل روزانه است. داده‌های حوزه آبخیز شامل نقشه DEM، نقشه

از سال ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۷ جهت واسنجی و از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ جهت اعتبارسنجی در ایستگاه مورد مطالعه استفاده شد.

نتایج و بحث

الف - شبیه‌سازی جریان: نتایج حاصل از خروجی مدل پس از آنالیز حساسیت در بخشی از بازه زمانی ۱۹۹۱ الی ۲۰۰۴ دوره واسنجی نشان از کارایی مناسب مدل در شبیه‌سازی جریان دارد. پس از پایان واسنجی مدل، اعتبارسنجی برای بازه چهار ساله ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ انجام شده است. بخشی از نتایج شبیه‌سازی در دوره واسنجی و اعتبارسنجی در شکل ۲، نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، واسنجی مناسب مدل باعث شده است که SWAT بتواند جریان‌های حداقل و حداکثر در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی را در حد قابل قبولی شبیه‌سازی کند. علاوه بر آن، توانایی مدل در استفاده از روابط مناسب هیدرولوژی برای شبیه‌سازی جریان سبب کارایی بالای مدل در این تحقیق و تحقیقات مشابه شده است.

کارایی مدل به‌وسیله پارامترهای مرتبط آماری نیز آنالیز شده که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است. در این تحقیق، از چهار پارامتر r ، P -factor، r -factor، ضریب تبیین و شاخص نش-ساتکلیف (Nash) و (Sutcliffe، ۱۹۷۰) استفاده شده است که مقدار این پارامترها کارایی مدل در شبیه‌سازی جریان را نشان می‌دهند. از نظر آماری ارزش این پارامترها بین صفر و یک بوده که صفر کمترین تطابق و یک بیشترین تطابق بین مشاهدات و محاسبات را نشان می‌دهد. مقدار بالا و قابل قبول این پارامترها نشان‌دهنده تطابق حداکثری داده‌های مشاهده شده جریان در ایستگاه گل‌گل و مقادیر شبیه‌سازی شده آن‌ها به‌وسیله مدل است.

جدول ۱- دقت مدل در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی

شاخص‌های آماری	p-factor	r-factor	R ²	NS
دوره واسنجی	۰/۷۰	۰/۴۱	۰/۸۳	۰/۸۲
دوره اعتبارسنجی	۰/۶۴	۰/۳۸	۰/۸۲	۰/۸۲

۲- مدل گردش عمومی جو: در این تحقیق از متغیرهای بزرگ مقیاس منطقه NCEP^۱ جهت واسنجی و اعتبارسنجی (۲۰۰۱-۱۹۶۱) و خروجی-های مدل HadCM3 مرکز هادلی انگلستان تحت دو سناریو A2 و B2 برای پیش‌بینی دوره‌های آتی (۲۰۹۹-۱۹۶۱) استفاده شده است.

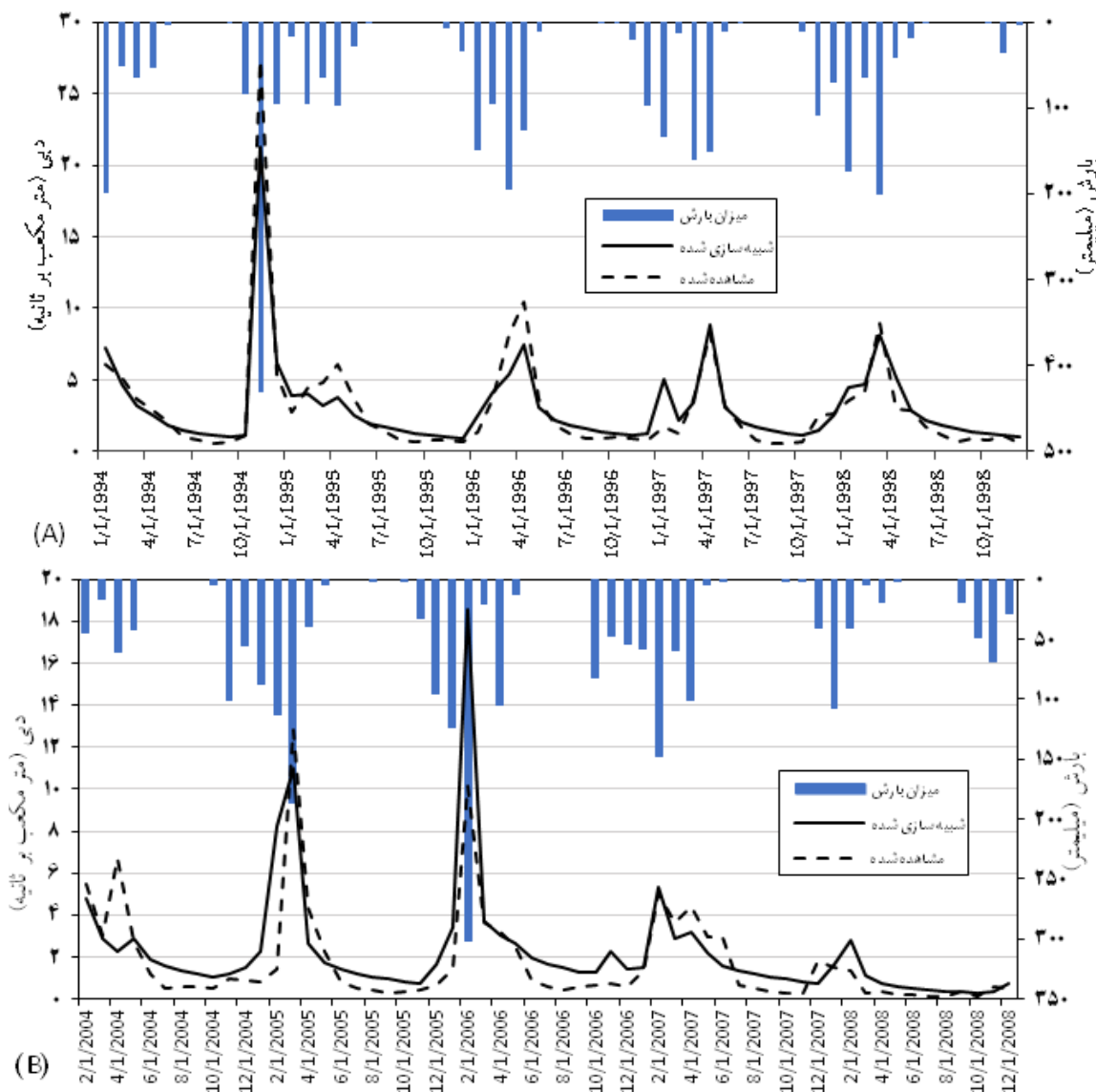
۳- کوچک مقیاس کردن داده‌ها: برای این کار از مدل SDSM^۲ استفاده شده است که یک مدل کوچک مقیاس کننده آماری است و قابلیت توسعه سریع و کم هزینه داده‌های کوچک مقیاس شده در مقیاس ایستگاهی به‌صورت روزانه، ماهانه، فصلی و یا سالیانه را دارا می‌باشد (Wilby و همکاران، ۲۰۰۲). در داخل حوضه سه ایستگاه باران‌سنجی ساده (میشخاص، طولاب و گل‌گل) وجود دارد که طول دوره آماری آن‌ها کافی نبوده و از آنجایی که استفاده از مدل‌های اقلیمی به داده‌های با دقت بالا و طولانی نیاز دارد، جهت واسنجی و اعتبارسنجی این مدل از داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه هواشناسی ایلام به‌دلیل سینوپتیک بودن، اندازه‌گیری تمامی پارامترهای هواشناسی، مجاورت با حوضه و دارا بودن طولانی‌ترین دوره آماری استفاده شده است. مدل SDSM بین سری‌های زمانی بارش مشاهداتی روزانه منطقه و متغیرهای بزرگ مقیاس مشاهداتی منطقه (NCEP) رابطه‌ای با حداکثر مقدار ضریب همبستگی برقرار نموده و سپس با استفاده از پارامترهای به‌دست آمده از این رابطه، با به‌کارگیری متغیرهای بزرگ مقیاس حاصل از مدل HadCM3 سری زمانی پارامترهای اقلیمی روزانه منطقه را تولید می‌کند. مهم‌ترین مرحله کوچک مقیاس کردن آماری، مرحله انتخاب پارامترهای موثر و واسنجی مدل می‌باشد که برای واسنجی در مدل SDSM از بین ۲۶ متغیر بزرگ مقیاس، متغیرهایی که بیشترین ارتباط و همبستگی آماری را با پارامترهای پیش‌بینی شونده دارند، انتخاب می‌شوند. به‌منظور بررسی عملکرد مدل HadCM3 و SDSM جهت بازسازی و پیش‌بینی مقادیر بارش، دما و تبخیر و تعرق پتانسیل، مقادیر محاسبه شده مدل با مقادیر مشاهداتی مقایسه شد. برای تمامی متغیرها

^۱ National Centers for Environmental Prediction

^۲ Statistical DownScaling Model

و واسنجی مدل، شبیه‌سازی حوضه وضعیت بهتری پیدا نمود. در این تحقیق، P-factor برابر با ۰/۷۰ و r-factor برابر با ۰/۴۰ و همچنین ضرایب R^2 و NS با مقادیر ۰/۸۳ و ۰/۸۲ به دست آمد که نشان‌دهنده شبیه‌سازی مطلوب دبی حوضه به وسیله مدل SWAT در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی می‌باشد.

با هدف بهبود نتایج جریان رودخانه، مدل SWAT پس از آنالیز حساسیت پارامترها، واسنجی و اعتبارسنجی شد. از بین پارامترهایی که بیشترین تأثیر را بر جریان دارند ۲۳ پارامتر انتخاب و در جهت بهینه‌سازی خروجی مدل، بیش از ۵۰۰۰ شبیه‌سازی انجام گرفت که پس از انجام عملیات آنالیز حساسیت



شکل ۲- هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی (A) و اعتبارسنجی (B)

کوچک مقیاس شده بارش، دمای حداکثر، حداقل و تبخیر و تعرق پتانسیل به ترتیب در شکل‌های ۴ الی ۷ در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی ارائه شده است. نتایج ارزیابی خروجی‌های مدل SDSM نشان از کارایی مناسب مدل در کوچک مقیاس کردن داده‌های اقلیمی دارد. به طور کلی، نتایج واسنجی مدل کارایی

ب- نتایج مدل‌سازی تغییر اقلیم: مدل SDSM پس از وارد کردن داده‌های مشاهداتی و مقادیر متناظر NCEP بین آن‌ها پارامترهایی که بالاترین تأثیر را بر شبیه‌سازی دارند را انتخاب و مشخص می‌نماید که مهمترین پارامترهای موثر بر پیش‌بینی شونده‌ها در این تحقیق در جدول ۳ آمده است. نمودار نتایج

در دوره 2080s در ماه‌های آوریل، می و ژوئن به ترتیب ۴/۰۶، ۵/۰۵ و ۴/۹۲ درجه سانتی‌گراد و تحت سناریو B2، بیشترین افزایش در ماه‌های می، ژوئن و اکتبر به ترتیب ۳/۴، ۳/۱ و ۳/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و به‌طور کلی پیش‌بینی شده است که بیشتر افزایش در فصل بهار باشد. شکل ۱۰ و جدول ۶ نشان می‌دهد که تحت سناریوی A2 بیشترین افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل مربوط به ماه‌های می، ژوئن و اوت به ترتیب ۰/۹۹، ۱/۰۴ و ۰/۸۶ میلی‌متر در روز و تحت سناریو B2 بیشترین افزایش مربوط به ماه‌های می، ژوئن، ژوئیه و اوت به ترتیب ۰/۶۲، ۰/۷، ۰/۴ و ۰/۶۷ میلی‌متر در روز پیش‌بینی شده است.

بر اساس پیش‌بینی‌های انجام شده، بارش تا پایان قرن حاضر تحت هر دو سناریوی A2 و B2 رو به کاهش است، اگرچه روند ثابتی در طول سال نداشته، ولی این تغییرات بیشتر در بهار و تابستان به دلیل افزایش درجه حرارت و کاهش بارش خود را نشان داده است. بیشترین میانگین تغییرات ماهانه بارش نسبت به دوره پایه تحت سناریو A2، از ۱/۱۲- تا ۰/۸۲ میلی‌متر در روز و تحت سناریو B2، از ۰/۸۲- تا ۰/۵ میلی‌متر در روز می‌باشد، به طوری که برای دوره‌های 2020s، 2050s و 2080s مقادیر ۱۲/۶۳، ۴۹/۱۳ و ۶۳/۴۲ میلی‌متر در سال تحت سناریو A2 و ۴۷/۰۲، ۴۸/۵۱ و ۷۰/۲۶ میلی‌متر در سال تحت سناریو B2 کاهش پیش‌بینی شده است. در صورت کاهش بارش به اندازه مقادیر پیش‌بینی شده، امکان رشد بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری با خطر مواجه شده و از طرف دیگر میزان آب ورودی به سد ایلام با مشکل مواجه و ممکن است تأمین آب شهر ایلام با مشکل مواجه شود.

از طرف دیگر بر اساس ارزیابی‌های انجام شده، افزایش دما تحت هر دو سناریوی A2 و B2 در هر سه دوره نسبت به دوره پایه تا پایان قرن حاضر پیش‌بینی شده است. بر اساس پیش‌بینی‌ها سناریوی A2 افزایش دما را بیشتر از سناریوی B2 پیش‌بینی می‌کند. تحت سناریو A2 افزایش ۱/۰۹، ۲/۰۳ و ۳/۶۲ درجه سانتی‌گراد و تحت سناریو B2 افزایش ۱/۱۸، ۱/۸۴ و ۲/۵۵ درجه سانتی‌گراد طی سه دوره پیش‌بینی شده است. به‌طور کلی بیشتر افزایش در فصل بهار به‌وقوع

مناسب را به‌خصوص در شبیه‌سازی دما و تبخیر و تعرق در مقایسه با بارش را نشان می‌دهد. از نظر هواشناسی، بارش پارامتری شرطی (Conditional) نسبت به پارامترهای دیگر مانند دما غیرشرطی (Unconditional) می‌باشد، بدین معنی که پارامتر بارش به پارامترهای دیگر مانند دما وابسته است در حالی که سایر پارامترها تا حدودی مستقل بوده و آسان‌تر قابل شبیه‌سازی می‌باشد.

جدول ۳- مهمترین متغیرهای پیش‌بینی کننده ایستگاه مورد مطالعه

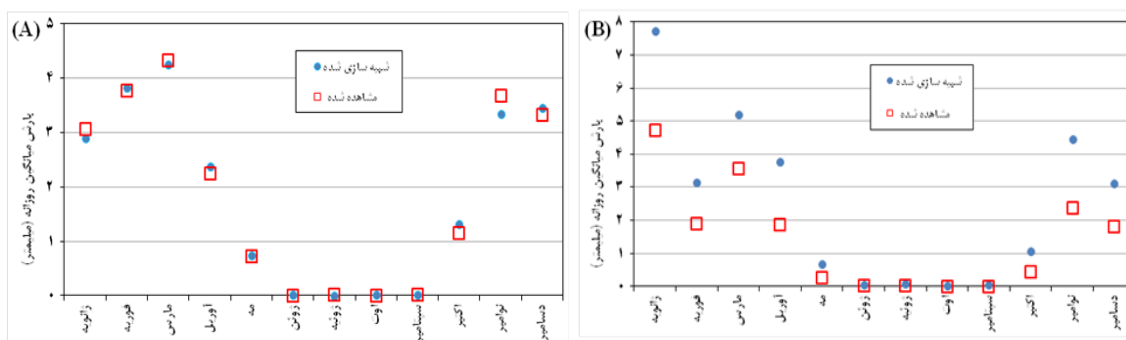
پارامتر	بارش	دمای حداکثر	دمای حداقل	تبخیر و تعرق پتانسیل
<i>ncepp_faf</i>		*	*	
<i>ncepp_vaf</i>		*	*	
<i>ncepp5_faf</i>		*	*	*
<i>ncepp5_uaf</i>		*	*	*
<i>ncepp5_vaf</i>	*			
<i>ncepp5_zhaf</i>	*			
<i>ncepp500af</i>		*	*	*
<i>ncepr500af</i>	*			
<i>Ncepshumaf</i>	*			
<i>Nceptempaf</i>		*	*	*

پس از ارزیابی مدل، با توجه به متغیرهای انتخاب شده، سری‌های زمانی پارامترهای اقلیمی تولید شده است. شکل‌های ۸ الی ۱۰ سری‌های زمانی بارش، دمای میانگین و تبخیر و تعرق پتانسیل در سه دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ (2020s)، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ (2050s)، ۲۰۷۰-۲۰۹۹ (2080s) و دوره پایه ۱۹۶۱-۱۹۹۰ (Baseline)، با استفاده از سناریوهای اقلیمی A2 و B2 را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۸ و جدول ۴ ملاحظه می‌شود، بیشترین کاهش حجم بارش در دوره 2080s تحت سناریو A2 مربوط به ماه نوامبر با ۱/۱۲ میلی‌متر در روز و کاهش بارش در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس (فصل زمستان) به مقدار ۰/۴۸، ۰/۸۵ و ۰/۵۴ میلی‌متر در روز و بیشترین میزان کاهش حجم بارش تحت سناریو B2 مربوط به ماه‌های فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر به ترتیب به مقدار ۰/۴۳، ۰/۸۲، ۰/۶۶ و ۰/۴۳ میلی‌متر در روز می‌باشد. در شکل ۹ و جدول ۵ ملاحظه می‌شود، تحت سناریو A2 بیشترین افزایش

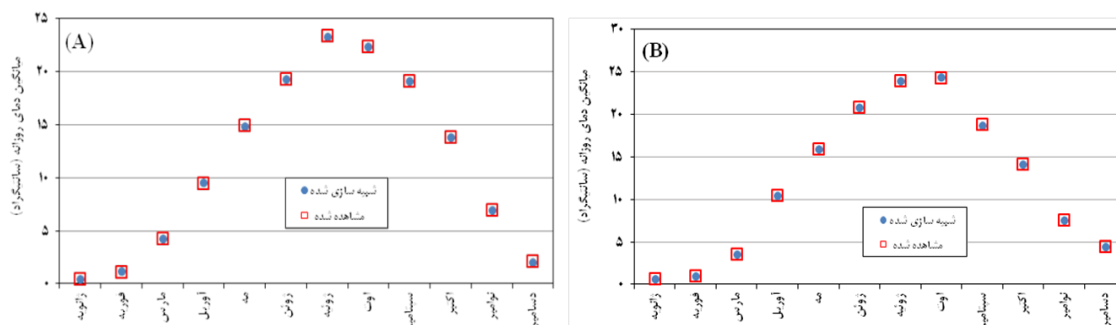
استراتژی خاص خود را می‌طلبد. در حوضه مورد مطالعه به دلیل فرار گرفتن در منطقه نیمه‌خشک از حساسیت بالاتری برخوردار است.

ج- نتایج ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب: پس از معرفی سری‌های زمانی ریزمقیاس شده روزانه دما، بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه در دوره‌های زمانی پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱، ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ به مدل واسنجی شده SWAT، سری زمانی رواناب حوضه در دوره‌های مذکور شبیه‌سازی شد که شکل‌های ۱۱ و ۱۲ و جدول ۷ میزان تغییرات ماهانه رواناب در دوره‌های آبی را نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد.

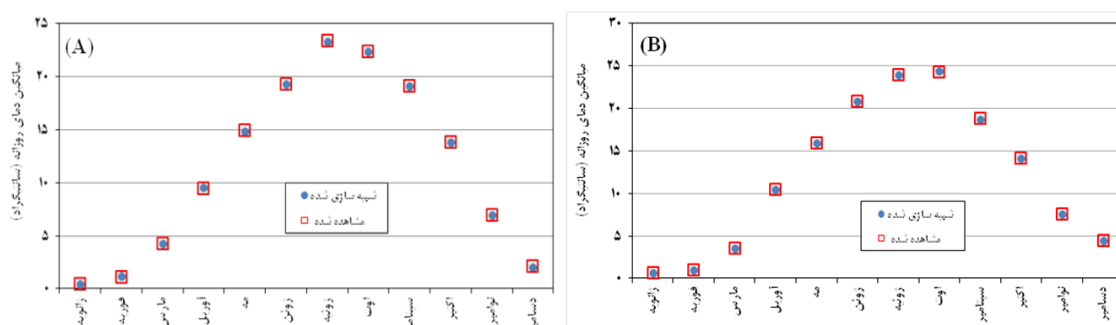
می‌پيوندند و افزایش دما در انتهای قرن شدیدتر از ابتدای آن می‌باشد. همچنین، بر اساس پیش‌بینی انجام گرفته میزان تبخیر و تعرق پتانسیل تا پایان قرن حاضر تحت هر دو سناریو A2 و B2 افزایش خواهد یافت که این افزایش تحت سناریو A2، به مقدار ۵۱/۱۸، ۱۰۱/۴۷ و ۱۸۰/۷۱ میلی‌متر در سال و تحت سناریو B2، به مقدار ۶۰/۰۹، ۸۹/۸۶ و ۱۲۴/۳۲ میلی‌متر در سال خواهد بود که این افزایش بیشتر در فصول تابستان و بهار پیش‌بینی شده است. اگرچه افزایش دما و تبخیر و تعرق تحت انواع سناریوها و در نقاط مختلف دنیا پیش‌بینی می‌شود، اما بدون شک این مقدار به موقعیت جغرافیایی و بسیاری دیگر پارامترها مرتبط است که مقابله با آن در هر موقعیتی،



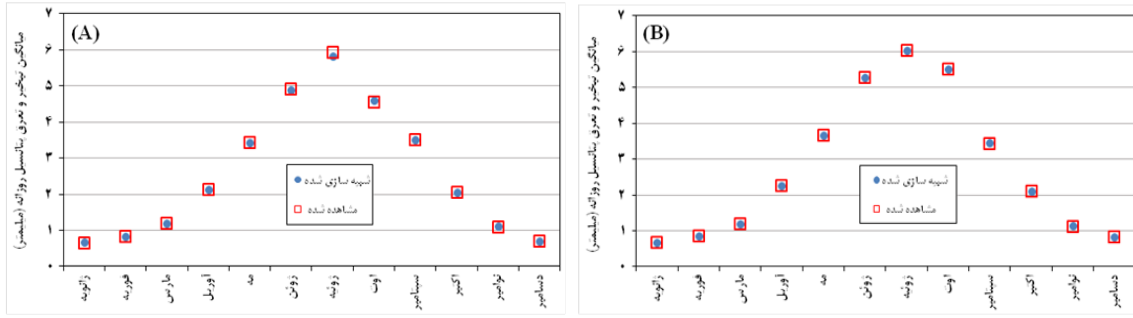
شکل ۴- نمودار مقایسه میانگین روزانه بارش مشاهده شده و شبیه‌سازی شده دوره واسنجی (A) و اعتبارسنجی (B)



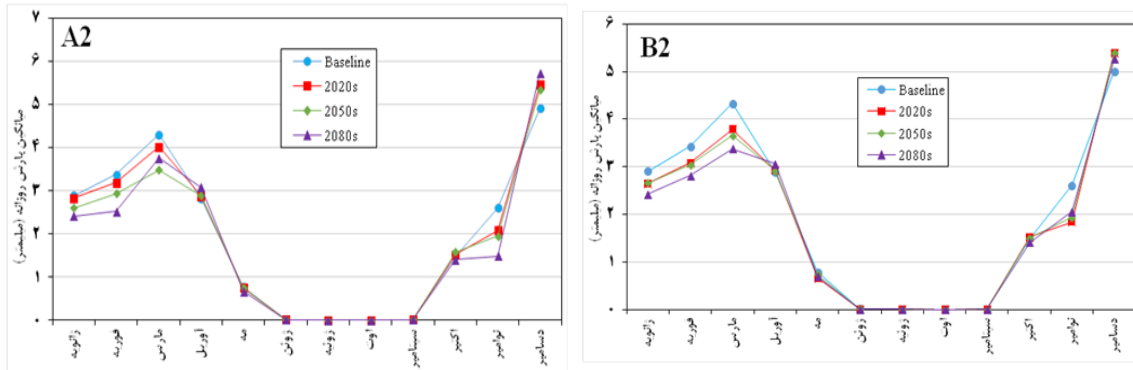
شکل ۵- نمودار مقایسه میانگین روزانه حداکثر دمای مشاهده شده و شبیه‌سازی شده دوره واسنجی (A) و اعتبارسنجی (B)



شکل ۶- نمودار مقایسه میانگین روزانه حداقل دمای مشاهده شده و شبیه‌سازی شده دوره واسنجی (A) و اعتبارسنجی (B)



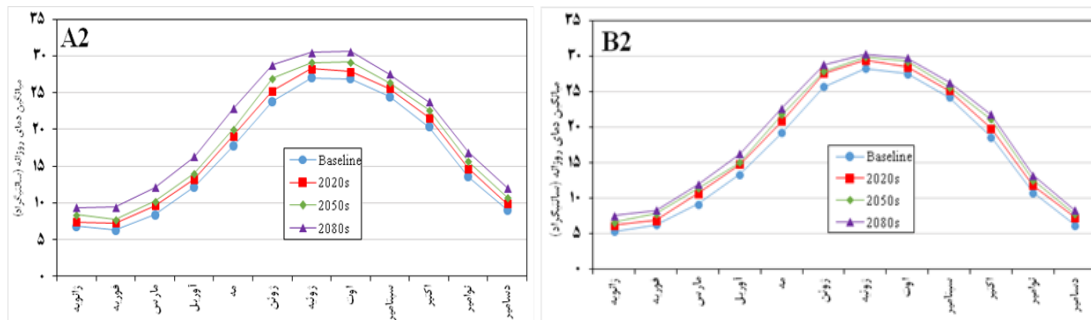
شکل ۷- نمودار میانگین روزانه تبخیر و تعرق پتانسیل مشاهده شده و شبیه‌سازی شده دوره واسنجی (A) و اعتبارسنجی (B)



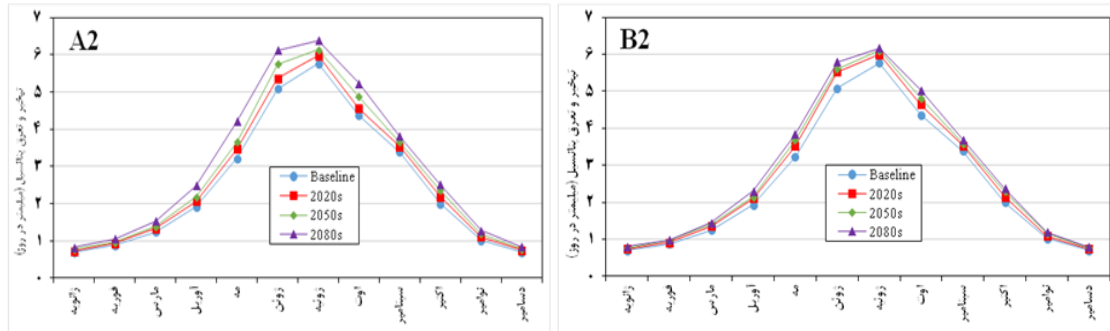
شکل ۸- تغییرات بارش دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه، تحت دو سناریو A2 و B2

جدول ۴- اختلاف میانگین درازمدت بارش نسبت به دوره پایه تحت دو سناریو A2 و B2 (میلی‌متر در روز)

سناریو	دوره	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
A2	2020s	-۰/۰۶	-۰/۱۸	-۰/۲۹	۰/۰۶	-۰/۰۲	۰	۰	۰	۰	۰/۰۴	-۰/۵۲	۰/۵۵
	2050s	-۰/۲۹	-۰/۴۳	-۰/۸۲	۰/۰۶	-۰/۰۳	۰	۰	۰	۰	۰/۰۹	-۰/۶۶	۰/۴۳
	2080s	-۰/۴۸	-۰/۸۵	-۰/۵۴	۰/۲۵	-۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰/۰۹	-۱/۱۲	۰/۸۲
B2	2020s	-۰/۲۴	-۰/۲۲	-۰/۲۸	۰/۱۴	-۰/۰۴	۰	۰	۰	۰	۰/۰۹	-۰/۱۳	-۰/۱۲
	2050s	-۰/۰۶	-۰/۱۸	-۰/۲۹	۰/۰۶	-۰/۰۲	۰	۰	۰	۰	۰/۰۴	-۰/۵۲	۰/۵۵
	2080s	-۰/۲۹	-۰/۴۳	-۰/۸۲	۰/۰۶	-۰/۰۳	۰	۰	۰	۰	۰/۰۹	-۰/۶۶	۰/۴۳



شکل ۹- تغییرات دمای متوسط دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه، تحت دو سناریو A2 و B2



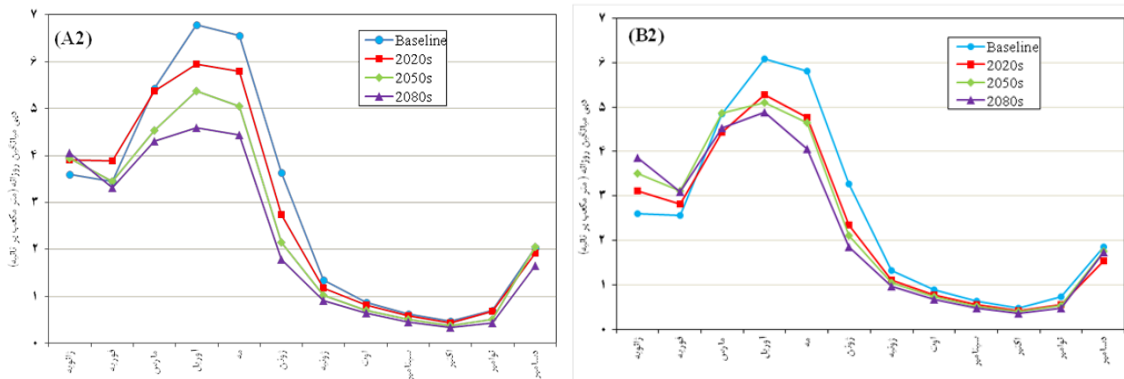
شکل ۱۰- تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه، تحت دو سناریو A2 و B2

جدول ۵- اختلاف میانگین ماهانه دمای متوسط نسبت به دوره پایه تحت دو سناریو A2 و B2

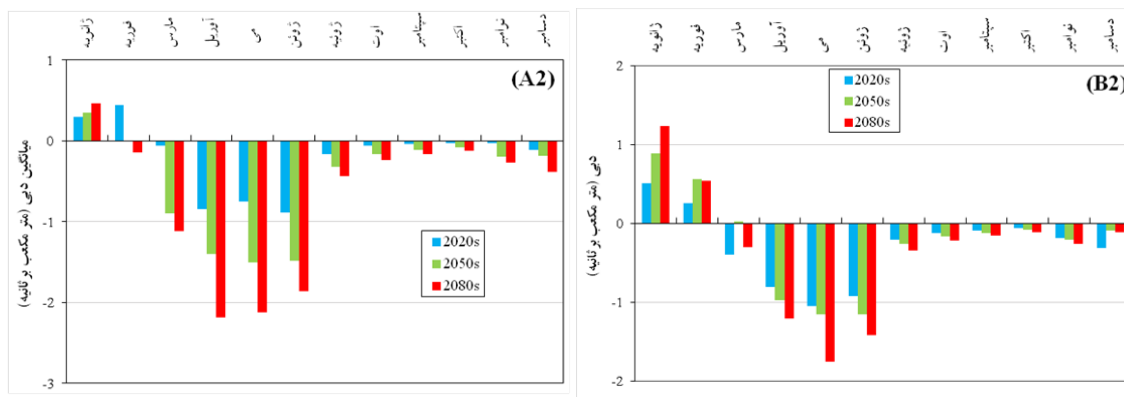
سناریو	دوره	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
A2	2020s	۰/۵۴	۰/۹۸	۱/۲۳	۱/۰۲	۱/۳۶	۱/۴۱	۱/۲۵	۰/۹۶	۱/۱	۱/۲۶	۱/۱۳	۰/۸۹
	2050s	۱/۵۲	۱/۴۵	۱/۸۵	۱/۸۲	۲/۲۸	۳/۰۸	۲/۱	۲/۲۹	۱/۸۹	۲/۳۳	۲/۱۱	۱/۷۱
	2080s	۲/۵۱	۳/۱۲	۳/۷۲	۴/۰۶	۵/۰۵	۴/۹۲	۳/۴۸	۳/۷۱	۳/۰۲	۳/۴۵	۳/۳۴	۳
B2	2020s	۰/۹	۰/۶۱	۱/۴۸	۱/۳۶	۱/۶۱	۱/۸۸	۱/۱۱	۰/۹۸	۰/۹۵	۱/۲۵	۱	۳
	2050s	۱/۳	۱/۶	۲/۲	۱/۶۶	۲/۵۱	۲/۱۹	۱/۶	۱/۷۶	۱/۴۱	۲/۵۳	۱/۷۳	۱/۵۶
	2080s	۲/۲۶	۲/۰۷	۲/۷۸	۲/۹	۳/۴	۳/۱	۱/۹۹	۲/۲۶	۲/۰۷	۳/۲	۲/۴۶	۲/۰۹

جدول ۶- اختلاف میانگین درازمدت تبخیر و تعرق پتانسیل نسبت به دوره پایه تحت دو سناریو A2 و B2

سناریو	دوره	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
A2	2020s	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۲۹	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۰۵
	2050s	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۲۶	۰/۴۴	۰/۶۷	۰/۳۷	۰/۵۱	۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۱۶	۰/۰۹
	2080s	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۲۸	۰/۵۸	۰/۹۹	۱/۰۴	۰/۶۲	۰/۸۶	۰/۴۲	۰/۵۲	۰/۲۶	۰/۱۵
B2	2020s	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۲۹	۰/۴۴	۰/۲۳	۰/۲۸	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۰۵
	2050s	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۴۶	۰/۵۲	۰/۳۴	۰/۴۶	۰/۲	۰/۲۹	۰/۱۲	۰/۰۷
	2080s	۰/۱	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۳۸	۰/۶۲	۰/۷	۰/۴	۰/۶۷	۰/۳	۰/۳۷	۰/۱۷	۰/۱



شکل ۱۱- نمودار تغییرات میانگین درازمدت ماهانه جریان رودخانه در دوره‌های آتی و پایه تحت دو سناریو A2 و B2



شکل ۱۲- نمودار میزان اختلاف جریان رودخانه دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه تحت دو سناریو A2 و B2

جدول ۷- میزان تغییرات بلند مدت جریان (درصد) در دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای A2 و B2

سناریو	دوره	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	میانگین سالانه
A2	2020s	۸/۳	۱۲/۷	-۱/۰	-۱۲/۵	-۱۱/۴	-۲۴/۵	-۱۲/۱	-۶/۲	-۶/۱	-۶/۵	-۴/۰	-۵/۴	-۶/۳
	2050s	۹/۷	۰/۰	-۱۶/۵	-۲۰/۶	-۲۳/۰	-۴۰/۹	-۲۳/۹	-۱۸/۸	-۱۸/۸	-۱۷/۳	-۲۷/۴	-۹/۰	-۱۶/۹
	2080s	۱۲/۹	-۴/۰	-۲۰/۶	-۳۲/۳	-۳۲/۳	-۵۱/۱	-۳۲/۲	-۲۷/۰	-۲۷/۰	-۲۶/۵	-۳۷/۷	-۱۸/۸	-۲۴/۱
B2	2020s	۱۹/۲	۹/۸	-۸/۳	-۱۳/۲	-۱۸/۰	-۲۸/۲	-۱۵/۴	-۱۳/۷	-۱۳/۷	-۱۳/۴	-۲۵/۶	-۱۷/۰	-۱۰/۹
	2050s	۳۴/۱	۲۱/۶	۰/۴	-۱۶/۰	-۱۹/۹	-۳۵/۵	-۲۰/۰	-۱۸/۷	-۱۸/۷	-۱۷/۵	-۲۷/۵	-۴/۸	-۸/۸
	2080s	۴۷/۴	۲۰/۸	-۶/۲	-۱۹/۹	-۳۰/۱	-۴۳/۳	-۲۶/۰	-۲۴/۶	-۲۴/۷	-۲۳/۹	-۲۴/۶	-۶/۲	-۱۳/۲

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرات پدیده تغییرات اقلیم در زیرحوضه گل‌گل در حوضه سد ایلام انجام شده است. رویکرد اصلی این مطالعه تولید داده‌های کوچک مقیاس شده برای دما، بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل و همچنین، تولید سری‌های زمانی پیش‌بینی جریان رودخانه بوده است. به‌منظور کوچک مقیاس کردن داده‌های مدل گردش عمومی از یک مدل آماری به‌وسیله نرم‌افزار SDSM استفاده شده است و داده‌های بزرگ مقیاس مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت دو سناریو A2 و B2 کوچک مقیاس شدند. مدل هیدرولوژیکی SWAT نیز برای شبیه‌سازی جریان رودخانه برای حوضه گل‌گل در سه دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ (2020s)، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ (2050s)، ۲۰۷۰-۲۰۹۹ (2080s) و دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱، با استفاده از سناریوهای A2 و B2 استفاده

همان‌گونه که در اشکال و جداول آمده است، متوسط دبی سالانه درازمدت در دوره‌های 2020s، 2050s و 2080s در سناریو A2 به‌ترتیب ۶/۳، ۱۶/۹ و ۲۴/۱ درصد و تحت سناریو B2 به‌ترتیب ۱۰/۹، ۸/۸ و ۱۳/۲ درصد کاهش نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. کاهش جریان در نتیجه کاهش باران و افزایش دما امری بدیهی است که در این حوضه شبیه‌سازی‌ها افزایش دما و تبخیر و تعرق و کاهش بارش در آینده را منتظره نشان داده است. کاهش میزان جریان در آینده در این حوضه به‌دلیل کاهش بارش و افزایش دما و تبخیر و تعرق نشان از صحت انجام مدل‌سازی در حوضه دارد. آنگونه که در جداول و شکل‌ها نشان داده شده است، بیشترین کاهش در فصل تابستان پیش‌بینی شده است که خود به‌دلیل کاهش بارش و افزایش درجه حرارت و در نتیجه افزایش تبخیر و تعرق می‌باشد.

فصول تابستان و بهار پیش‌بینی شده است که چون با تغییرات دما ارتباط مستقیم دارد، روند مشابهی را نشان می‌دهد. این افزایش باعث می‌شود که آبی که ممکن است به مخزن سد ایلام رسیده و برای استفاده ذخیره شود، بدین ترتیب از دسترس خارج می‌شود. این نتیجه نیز با نتایج تحقیق تحقیقات چویی Choi (۲۰۰۸)، Tavakoli و De Smedt (۲۰۱۱) مطابقت دارد. پس از شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در آینده، مدل واسنجی شده SWAT برای شبیه‌سازی تغییرات هیدرولوژیک حوضه در آینده مورد استفاده و بررسی قرار گرفت. شبیه‌سازی جریان در این دوره‌ها که با تغییر در افزایش دما و تبخیر و تعرق و همچنین، کاهش مقدار بارش‌ها در حوضه همراه است، انتظار تغییر در هیدروگراف جریان رودخانه را ایجاد می‌کند. نتایج متوسط دبی سالانه درازمدت در دوره‌های مورد بررسی نشان از کاهش جریان با نسبت‌های متفاوت در آینده را دارد که مقدار کاهش در سناریو A2 بیشتر از B2 بوده و از طرف دیگر میزان کاهش در انتهای قرن بیشتر از ابتدای قرن، پیش‌بینی شده است. کاهش جریان در نتیجه کاهش باران و افزایش دما امری بدیهی است که در سایر مطالعات انجام گرفته نیز به آن اشاره شده است. این مقدار کاهش در حوضه‌های مختلف و در عرض‌های جغرافیایی مختلف متفاوت پیش‌بینی شده است. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که بر اساس پیش‌بینی‌ها، در آینده درجه حرارت و تبخیر و تعرق افزایش و از طرفی بارش و میزان آب خروجی از حوضه کاهش خواهند داشت، لذا، با توجه به این‌که این حوضه یکی از زیرحوضه‌های تأمین کننده آب دریاچه سد ایلام به-عنوان مهمترین منبع تأمین آب شرب شهر ایلام می‌باشد، توجه به کاهش این منبع تأمین کاملاً ضروری به نظر می‌رسد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت‌های مالی شرکت آب منطقه‌ای استان ایلام انجام شده است، نگارندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از تمامی مدیران و کارشناسان آن شرکت محترم ابراز می‌نمایند.

شده و با تفسیر نتایج، اثرات پدیده تغییرات اقلیم بر حوضه مورد مطالعه تا انتهای قرن جاری مورد بررسی قرار گرفته است. خروجی‌های مدل SDSM در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی نشان از کارایی مناسب مدل در کوچک مقیاس کردن داده‌های اقلیمی دارد. این دقت بالای شبیه‌سازی با تحقیقات Ashofteh و همکاران (۲۰۰۷)، Ghasemi (۲۰۱۲) و بسیاری تحقیقات دیگر که کارایی بالای مدل SDSM در کوچک مقیاس کردن داده‌های اقلیمی را تأیید می‌کنند، همخوانی دارند. پس از واسنجی و اعتبارسنجی، سری‌های زمانی پارامترهای اقلیمی تحت سناریوهای A2 و B2 در دوره‌های آبی پیش‌بینی شده که در مجموع کاهش بارش و افزایش درجه حرارت و تبخیر و تعرق را نشان می‌دهد. بسیاری دیگر از تحقیقات نیز کاهش میزان بارش را در آینده پیش‌بینی کرده‌اند، اما این موضوع در حوزه آبخیز سد ایلام زمانی بیشتر اهمیت پیدا می‌کند که بیشتر کاهش بارش در فصول تابستان و بهار پیش‌بینی شده که سازگاری و کنترل آن را با مشکل مواجه می‌کند. نتایج این بخش با نتایج تحقیق Choi (۲۰۰۸)، Tavakoli و De Smedt (۲۰۱۱)، Ghasemi (۲۰۱۲)، Fakheri Fard و همکاران (۲۰۱۱) و Azaranfar و همکاران (۲۰۰۶) مبنی بر کاهش بارش در آینده تطابق دارد.

نتایج پیش‌بینی دما در این تحقیق با مطالعات جهانی تغییر اقلیم و با نتایج تحقیقات حوضه‌ای و محلی تطابق دارد. بدین معنی که تمامی سناریوهای استفاده شده برای پیش‌بینی دما نشان‌دهنده روند منظمی در افزایش دما در ماه‌های سال می‌باشد. علاوه بر آن افزایش دما باعث افزایش تبخیر و تعرق و کاهش آب در دسترس خواهد شد. نتایج این پیش‌بینی همخوانی بالایی با سایر تحقیقات مشابه از جمله با تحقیقات Choi (۲۰۰۸) و Tavakoli و De Smedt (۲۰۱۱)، Ghasemi (۲۰۱۲) و Fakheri Fard و همکاران (۲۰۱۱) و Daba و همکاران (۲۰۱۳) دارد. بر اساس پیش‌بینی انجام گرفته، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل تا پایان قرن حاضر تحت هر دو سناریوی A2 و B2 افزایش خواهد یافت که این افزایش بیشتر در

منابع مورد استفاده

1. Ashofteh, P. and A. Masahbavani. 2007. Impact of climate change on the intensity and frequency of flooding in future periods, case study: Aidoghmoush Basin, East Azarbaijan. Technical Workshop on the Impacts of Climate Change on Water Resources Management, Tehran (in Persian).
2. Azaranfar, A., A. Abrishamchi and M. Tagrishi. 2006. Assessment effects of climate change on precipitation and temperature in zayandehrud basin using the model of the turn popular. 2nd National Conference on Water Resources Iran, Esfahan (in Persian).
3. Azari, M., H.R. Moradi, B. Saghafian and M. Framarzi. 2013. Assessment of hydrological effects of climate change in Geourganroud River. *Journal of Water and Soil*, 12: 537-547.
4. Choi, W. 2008. Catchment-scale hydrological response to climate-land use combined scenarios: a case study for the Kishwaukee River Basin, Illinois. *Progress in Physical Geography*, 29: 79-99.
5. Daba, M., G. Mamo and G.N. Rao. 2013. Evaluating potential impact of climate change on hydro-meteorological variables in upper Blue Nile Basin, case study: fincha sub-basin. *International Conference on Climate Change Effects*, 27-30.
6. Fakheri Fard, A., S. Romiyfar, H. Aboali and A. Khaki Torabi. 2011. Investigation effects of climate change on water inflow into Lake Orumiye using SDSM micro-scale model. The 4th conference on Water Resources Management, Amirkabir Technology University, Tehran (in Persian).
7. Henderson, J., C. Rodgers and R. Jones. 2015. Economic impacts of climate change on water resources in the coterminous United States. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20: 135-157.
8. IPCC. 2014. *Climate change 2014: synthesis report*. Geneva: IPCC, 151 pages.
9. IPCC. 2013. *Climate Change 2013: the physical science basis*. Contribution of Working Group I to the 5th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
10. IPCC. 2007. Summary for policymakers, in: *climate change 2007*. Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 1-18
11. Komoze, T. and O.K. Chung. 2014. The effects of climate change on the water resources of the Geumho River Basin, Republic of Korea. *Hydro Environment Research*, 8(4): 358-366.
12. Mansouri, B., H. Ahmadzadeh, A. Massah Bavani, S. Morid, M. Delavar and S. Lotfi. 2015. Assessment of climate change impacts on water resources in Zarrinehrud Basin using SWAT model. *Journal of Water and Soil*, 28(6): 1191-1203.
13. Maurer, E.P., J.C. Adam and A.W. Wood. 2007. Climate model based consensus on the hydrologic impacts of climate change to the Rio Lempa Basin of Central America. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13: 183-194
14. Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through 776 conceptual model. *Journal of Hydrology*, 10(3): 282-290.
15. Parhizkari, A., A. Mahmoodi and M. Shokat Fadaee. 2017. Investigation the effects of climate change on water resources and agricultural products in Shahrood Watershed. *Agricultural Economic Research*, 9(1): 23-49.
16. Poormohammadi, S., M.T. Dastorani, A.R. Massah Bavani, M. Gudarzi, H. Jafari and M.H. Rahimian. 2017. Effects of climate change on river runoff and compatible solutions, case study: Tuyserkan Basin, Hamedan. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 11(37): 1-13.
17. Samuel, K., L. Michele, E. Warburton, G. Archer van and P.W. Graham. 2013. Impacts of climate change on water resources in Southern Africa: A review study of Vernonia, Oregon, USA. *Applied Geography*, 46: 137-146.
18. Tabari, H., R. De Troch, O. Giot, R. Hamdi, P. Termonia, S. Saeed, E. Brisson, N. Van Lipzig and P. Willems. 2016. Local impact analysis of climate change on precipitation extremes: are high-resolution climate models needed for realistic simulations? *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 20: 3843-3857.
19. Tavakoli, M. and F. De Smedt. 2011. Impact of climate change on stream flow and soil moisture in the Vermilion Basin, Illinois, USA. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12: 229-249.
20. Wilby, R.L., C.W. Dawson and E.M. Barrow. 2002. SDSM-A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling and Software*, 17: 147-159.

Investigation the effects of climate change on water resources of Ilam Dam Watershed

Mohsen Tavakoli^{*1}, Haji Karimi² and Hadi Norollahi³

¹Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran, ² Associated Professor, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran and ³MSc, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran

Received: 21 February 2017

Accepted: 10 January 2018

Abstract

Climate change and global warming is one of the most important issues in the world that is discussed in public and professional meetings. Long term climate change forecasting has an important role on water resources planning and management, due to fragile climate of our country. The present study aimed to investigate the effects of climate change on discharge changes in Golgol Watershed as one of the Ilam dam sub-watersheds. In this research, first, temperature, precipitation and potential evapotranspiration data were downscaled and then, hydrological condition of the watershed is simulated using SWAT hydrological model. Next, the results of downscaled HadCM3 data under two scenarios of A2 and B2 were downscaled using SDSM and in the next step stream flow of three period including 2010-2039 (2020s), 2040-2069 (2050s), 2070-2099 (2080s) and base period of 1990-1961 (Baseline), simulated using SWAT model. Finally, the effects of climate change assessed until the end of the century. The results indicated that annual discharge will decrease for 2020s, 2050s and 2080s under A2 scenario by 6.3, 16.9 and 24.1percent, and will decrease under B2 scenario by 10.9, 8.8 and 13.2 percent, respectively. Results demonstrated that climate change as one of the negative phenomena that affects on the amount of water in Ilam Dam should be considered by managers and planners.

Key words: Global warming, Golgol Watershed, HadCM3, SDSM, SWAT

* Corresponding author: tmohsen2010@hotmail.com