

## ارزیابی واکنش هیدرولوژیکی حوضه آبریز کیوی چای به تغییرات اقلیمی آتی با

## مدل SWAT

شیرین مهدویان<sup>۱</sup>، بتول زینالی<sup>۲\*</sup>، برومند صلاحی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری آب و هوا شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. دانشیار آب و هوا شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳. استاد آب و هوا شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۱۹

## چکیده

تغییر اقلیم به صورت مستقیم بر روی مؤلفه‌های هیدرولوژیک و منابع آبی تأثیرگذار است و نقش مهمی در تشدید خطرات احتمالی همچون خشکسالی و سیلاب دارد. لذا بررسی اثرات تغییر اقلیم بر مؤلفه‌های آبی همچون رواناب امری ضروری است. این مطالعه به ارزیابی چگونگی تأثیر تغییرات اقلیمی بر پارامترهای اقلیمی (دما و بارش) و میزان رواناب در حوضه کیوی چای از نظر زیست‌محیطی می‌پردازد. مدل هیدرولوژیکی ابزار ارزیابی آب‌و‌خاک (SWAT) برای تجزیه و تحلیل اثرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب حوضه کیوی چای که یکی از زیرحوضه‌های سفیدرود است استفاده شد. شبیه‌سازی رواناب با اعمال شرایط تغییر اقلیم برای مدل‌های (MCI-ESM، MIROC5، HadGEM2-ES، EC-EARTH) تحت دو سناریو (RCP 8.5 و RCP 4.5) در سه دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱)، (۲۰۶۰-۲۰۴۱)، (۲۰۸۰-۲۰۶۱) همچنین تجزیه و تحلیل آماری برای شناسایی اینکه کدام مدل اقلیمی از نظر خوبی برازش با تغییرات در میانگین و انحراف معیار سری‌های تاریخی سازگارتر است، انجام شد. روند افزایش در بارندگی و افزایش قابل توجه در دمای متوسط سالانه در اوایل، اواسط و پایان قرن بیست و یکم پیش‌بینی شد. نتایج شبیه‌سازی میزان رواناب حوضه با مدل SWAT نیز کاهش قابل توجه میزان رواناب حوضه در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه را نشان داد. این یافته‌ها به مقامات محلی مدیریت آب اطلاعات مفیدی را در مواجهه با تغییرات آب‌وهوایی برای کمک به تصمیم‌گیری ارائه می‌دهد.

## کلمات کلیدی

"تغییر اقلیم"، "بیان آب"، "مدل‌سازی هیدرولوژیکی"، "swat"

## 1- مقدمه

ضروری است. تاکنون، مدل‌های اقلیمی ابزارهای مؤثر بسیاری برای شبیه‌سازی‌های اقلیمی در دوره‌های گذشته و آینده توسعه داده است. فاز پنجم پروژه مقایسه متقابل مدل جفت شده (CMIP5) شامل بیش از ۴۰ مدل است و در آنها از مجموعه جدیدی از سناریوهای انتشار به نام نماینده خط سیر غلظت (RCPs) استفاده شده و اطلاعات اقلیمی ارزشمندی را برای سیاست‌گذاران و جامعه علمی تولید کرده است (فلاح کلاکی و همکاران، ۱۴۰۰) سناریوهای RCPs بر اساس میزان واداشت تابشی (وات بر مترمربع) شامل ۴ سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0، RCP8.5 است که برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره آینده معرفی شده‌اند و متوسط افزایش دمای جهانی را تا سال ۲۱۰۰ نسبت به ۳۰ سال گذشته به طور میانگین ۲ درجه سلسیوس پیش‌بینی کرده‌اند (Van Vuuren et al, 2011). تحقیقات متعددی تأثیر تغییرات اقلیمی را بر چرخه هیدرولوژیکی در ایران و سایر نقاط جهان ارزیابی کرده‌اند. با این حال، هیچ مطالعه‌ای بر ارزیابی تغییرات جریان در حوضه کیوی چای متمرکز نشده

قرن گذشته شاهد افزایش چشمگیر انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده است. غلظت‌های بالای دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای گلخانه‌ای در جو زمین، اثر گلخانه‌ای را افزایش داده و مستقیماً بر دمای جهانی تأثیر می‌گذارد (Verma et al, 2015). در نتیجه، گرم‌شدن کره زمین باعث افزایش نرخ تبخیر و تعرق شده و منجر به تغییر در میزان بارش در سراسر جهان شده است. چنین تغییرات آب‌وهوایی جهانی به طور قابل توجهی بر چرخه هیدرولوژیکی و رژیم‌های جریان رودخانه، به‌ویژه در مقیاس حوضه (Zhang et al, 2016) تأثیر می‌گذارد که مستقیماً بر اکوسیستم، امنیت آب و فعالیت‌های اقتصادی، عمدتاً در بخش کشاورزی، جنگل‌داری و تولید انرژی برق‌آبی تأثیر می‌گذارد. برخی از پیامدهای تغییر اقلیم، مانند افزایش سیل‌های شدید و خشکسالی، شاید اجتناب‌ناپذیر باشد (Chattopadhyay and Jha, 2016)؛ بنابراین، تعیین کمیت تأثیر تغییر اقلیم بر موجودیت آب برای مدیریت حوضه آبریز و همچنین برای تدوین استراتژی‌های سازگاری برای کاهش اثرات منفی آن

به ۳۶ درصد و رواناب از ۳۹.۷ به ۱۰۴.۱ درصد افزایش می‌یابد. در مقایسه با دوره کنونی، افزایش رواناب موسمی به ترتیب ۱۰۰ و ۲۰۰ درصد طی سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰ پیش‌بینی می‌شود. تجزیه و تحلیل سناریوهای تحت RCP حاکی از افزایش قابل توجه حجم رواناب فصل باران‌های موسمی در طول سال‌های ۲۰۷۰ و ۲۰۸۰ و افزایش ناچیز در طول سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ است. در طول فصل موسمی، تبخیر و تعرق بالقوه (PET) و تبخیر تعرق واقعی (AET) به ترتیب ۲.۲-۱۲.۷ درصد و ۱.۰-۹.۰ درصد افزایش یافت. (Sharma et al, 2022) تأثیر هیدرولوژیکی تغییرات آب و هوا در یک حوضه گرمسیری را با مجموعه‌ای از پنج مدل گردش عمومی (GCMs) و مدل هیدرولوژیکی SWAT (ابزار ارزیابی خاک و آب) بررسی کردند. نتایج حاکی از افزایش کلی در میانگین رواناب به ترتیب ۱.۴ و ۳.۰ درصد تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP 8.5 است. در مقیاس فصلی، زمستان افزایش فوق‌العاده‌ای را در رواناب با حدود ۳۸ درصد افزایش در هر دو RCP 4.5 و RCP 8.5 نشان می‌دهد و پس از آن تابستان با ۱۷.۹ درصد و ۱۸.۶ درصد برای سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 به ترتیب افزایش می‌یابد. شایان ذکر است، مونسون در هر دو سناریو با تغییر رواناب ۱۸.۶- درصد و ۱۵.۵- درصد نسبت به دوره پایه شاهد روند منفی است. منصور و همکاران (۱۳۹۳) اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه زربینه رود با استفاده از مدل SWAT را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در دوره آبی نه تنها در مقدار بارش بلکه در الگوی بارش نیز تغییراتی رخ خواهد داد. نهایتاً نتایج نشان از کاهش ۲۸ درصدی رواناب ورودی به سد زربینه رود در دوره آبی نسبت به دوره پایه دارد. پورمحمدی و همکاران (۱۳۹۵) اثرات تغییر اقلیم حوضه آبریز تویسرکان همدان را با مدل HEC-HMS مورد مطالعه قرار دادند. به این نتیجه رسیدند که در اثر کاهش بارش ناشی از تغییرات اقلیمی حجم رواناب خروجی هر یک از زیرحوضه‌ها کاهش خواهد یافت به طوری که از ۴۰/۵ میلیون مترمکعب در دوره پایه به ۳۴/۹ و ۳۵/۸ میلیون مترمکعب در دوره آبی تحت سناریوهای A1B و B1 خواهد رسید. همچنین مشخص شد که در اثر افزایش ۱۰٪ بارش ناشی از بارورسازی ابرها، حدود ۲ میلیون مترمکعب حجم رواناب کاهش یافته در اثر تغییر اقلیم جبران خواهد شد. توکلی و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه آبخیز سد ایلام را با مدل SWAT بررسی کرده و به این نتایج دست یافتند که متوسط دبی سالانه به مقدار ۶.۳

است. (Leta et al, 2016) در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر اجزای بیلان آب حوضه آبخیز هیا به این نتیجه رسیدند که کاهش بارندگی در فصل مرطوب و افزایش جزئی در فصل خشک، عوامل اصلی کاهش کلی اجزای بیلان آبی هستند و جریان آب زیرزمینی ممکن است به دلیل بارش پیش‌بینی شده و تغییرات دما تا سال ۲۱۰۰ به طور مداوم تا ۱۵ درصد کاهش یابد که می‌تواند پیامدهای جدی بر موجودیت آب زیرزمینی در حوضه داشته باشد. (Reshmidevi al, 2017) تأثیرات تغییر اقلیم بر بیلان آب حوضه مالابرابها را بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده کاهش جزئی در نسبت رواناب، جریان سالانه و تغذیه آب زیرزمینی در پایان قرن است. همچنین پیش‌بینی می‌شود که دوره‌های مرطوب کاهش، درحالی که دوره‌های خشک در آینده افزایش یابد. (Yan et al, 2018) در بررسی تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی آینده بر جریان بر اساس پیش‌بینی CMIP5 در حوضه مخزن میون، به این نتایج رسیدند که حوضه میون گرم‌تر و مرطوب‌تر خواهد بود، همچنین متوسط تغییرات میانگین سالانه دما در دوره (۲۰۲۱-۲۰۳۵) بیش از ۵/۴ درجه سانتیگراد (+۶/ درجه) و در طول دوره (۲۰۵۱-۲۰۶۵) ۱۲/۵ درصد (۱/۶) درجه سانتیگراد) خواهد بود. در ضمن جریان آبی و پیش‌بینی بارگذاری نیتروژن در دو دوره آینده افزایش می‌یابد. (Bhatta et al, 2019) به تحقیق در مورد تغییرات آب‌وهوایی بر هیدرولوژی حوضه رودخانه هیمالیا پرداختند. آن‌ها متوجه شدند که میانگین سالانه حداکثر دما (+۴ درجه سانتیگراد) و حداقل دما (+۵.۵ درجه سانتیگراد) افزایش و بارندگی (-۴.۵ درصد) تا پایان قرن بیست و یکم تحت سناریوهای RCP8.5 کاهش می‌یابد. (Ndhlovu and Woyessa, 2020) مطالعه‌ای در مورد تأثیر تغییر اقلیم بر بیلان آب رودخانه کابومپو در آفریقای جنوبی انجام دادند. بر اساس یافته‌های آن‌ها بیلان آب آینده حوضه تحت RCP4.5 تغییر ناچیزی نسبت به بیلان آب حوضه جاری خواهد داشت، زیرا آمار سالانه نشان می‌دهد که میزان بارندگی ۱ درصد کاهش می‌یابد درحالی که عملکرد آب و رواناب ۵ درصد و ۶ درصد به ترتیب افزایش می‌یابد. در همین حال، طبق RCP8.5، آمار سالانه نشان می‌دهد که میزان بارندگی ۱۹ درصد افزایش می‌یابد، درحالی که بازده آب و رواناب به ترتیب ۴۰ و ۶۵ درصد افزایش می‌یابد و منجر به افزایش قابل توجه بیلان آب حوضه می‌شود (Mandal al, 2021) به ارزیابی تغییرات اقلیمی و تأثیر آن بر رژیم‌های هیدرولوژیکی و بازده زیست‌توده در یک حوضه گرمسیری پرداختند. نتایج نشان داد بارندگی از ۱۴

کیوی چای که در آن این نوع مطالعات کمیاب است، فراهم کند تا به مقامات محلی مدیریت آب کمک کند تا تصمیم‌گیری‌های منطقی برای غلبه بر چالش‌های آبی و برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب در حوضه در چارچوب تغییرات اقلیمی داشته باشند.

## 2- روش انجام تحقیق

- محدوده مورد مطالعه

حوضه رودخانه کیوی چای با مجموع مساحت زیر ۸۲۷ کیلومتر مربع یکی از حوضه‌های آبریز سفیدرود هست که در مختصات ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این حوضه از شمال به حوضه آبریز قره‌سو، از غرب به حوضه آبریز رودخانه قرنقو و از شرق به رشته‌کوه‌های تالش و از جنوب به حوضه آبریز رودخانه قزل‌اوزن محدود می‌شود. به‌طور کلی حوضه آبریز کیوی چای متشکل از رودخانه‌های اصلی به نام‌های هروآباد، آریچای و کیوی چای هست که با جهت جنوب شرق - شمال غرب جریان یافته و پس از دریافت جریان رودخانه‌های فرعی سنگورچای و رودخانه گزاز در ارتفاع ۸۶۰ متر از سطح دریا در بخش جنوب غربی از منطقه خارج و به رودخانه قزل‌اوزن تخلیه می‌گردد. میانگین بارندگی در این حوضه ۴۴۴ میلی‌متر بوده و ۸۶ تا ۹۴ درصد از مجموع بارندگی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت رخ می‌دهد (رجبی و فیض‌الله پور، ۱۳۹۳). مرتفع‌ترین نقطه ارتفاعی به ۳۰۰۹ متر از سطح دریا در قله عجم داغ واقع در بخش خاوری و پست‌ترین محل با ارتفاع مطلق ۱۵۱۲ متر از سطح دریا مربوط به گلوگاه حوضه در بخش غربی حوضه هست. حضور کوه‌ها و تپه‌ها در بخش‌های وسیعی از اراضی حوضه آبریز کیوی چای موجب افزایش شیب و میزان پستی‌وبلندی اراضی گردیده است (مددی و همکاران، ۱۳۹۲) شکل ۱ موقعیت حوضه کیوی چای و ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی محدوده داخل و نزدیک حوضه استفاده شده و جدول ۱ مشخصات جغرافیایی آن‌ها را نشان می‌دهد.

۱۶.۹ و ۲۴.۱ درصد در دهه‌های ۲۰۵۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۸۰ در سناریوی A2 و به ترتیب ۱۰.۹، ۸/۸ و ۱۳.۲ درصد تحت سناریوی B2 کاهش می‌یابد. احمدآبادی و صدیقی فر (۱۳۹۷) اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات هیدرو ژئومورفولوژی حوضه آبریز کن را با مدل SWAT بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان جریانات و رواناب سطحی در سطح حوضه مورد مطالعه در دوره مشاهداتی موجود برابر با ۱۰/۵۹ میلی‌متر است؛ اما این میزان برای دوره پیش‌بینی شده با توجه به افزایش روند شهرسازی و تغییرات کاربری‌ها برابر با ۲۱/۲۷ میلی‌متر برآورد شد. ملکیان و همکاران (۱۳۹۸) آثار تغییر اقلیم بر برخی ویژگی‌های هیدرولوژیک منابع آب استان اردبیل را ارزیابی کردند. در این پژوهش از مدل *CanESM2* برای پیش‌بینی دما و بارش تحت سه سناریوی *RCP8.5*، *RCP4.5*، *RCP2.5* و همچنین از مدل بیلان برای شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آب استفاده شد. نتایج بیان‌کننده تغییرات نامحسوس و غیرمعنادار جریان سطحی کل در دوره آتی در حوضه‌های بررسی شده نسبت به دوره مرجع است با این حال تغییر در پارامترهای اصلی اقلیمی نظیر بارش و دما روی اجزای جریان سطحی تأثیراتی حدود ۳۰ درصد دارد، به طوری که میزان جریان سطحی که روی زمین جاری می‌شود در تمام دوره‌ها نسبت به پایه کاهش می‌یابد. فلاح کلاکی و همکاران (۱۴۰۰) اثرات تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های اقلیمی *CMIP5* و *CMIP6* بر رواناب حوضه آبریز طشک - بختگان را با استفاده از مدل هیدرولوژیکی (*SWAT*) شبیه‌سازی کردند. بررسی وضعیت متغیرهای اقلیمی بارش و دمای حداقل و حداکثر در شرایط تغییر اقلیم، افزایش دما (۳۱/۳-۵۱/۱ درجه سلسیوس) برای تمامی مدل‌ها و سناریوها و کاهش بارش (۱۵/۱۱-۴۵/۴ درصد) را در اغلب مدل‌ها و سناریوها نشان می‌دهد. شبیه‌سازی مدل هیدرولوژیکی *SWAT* در شرایط تغییر اقلیم در هر ۴ ایستگاه تحت سناریوهای *SSP* کاهش رواناب و در ۹ ایستگاه تحت سناریوهای *RCP* افزایش رواناب را نشان داد. هدف اصلی این مقاله ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر فرایندهای هیدرولوژیکی، مانند رواناب حوضه، با استفاده از ۴ مدل پیش‌بینی اقلیمی آینده (*GCMs*) با پیش‌بینی‌های اقلیمی دما و بارش تحت سناریوهای مختلف انتشار است که برای استفاده به‌عنوان ورودی مدل *SWAT* ریزمقیاس شده‌اند. همچنین اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر خشکسالی در این حوضه مورد ارزیابی قرار گرفت. انتظار می‌رود نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه، بینش بیشتری را در مورد موجودیت آب در آینده در حوضه

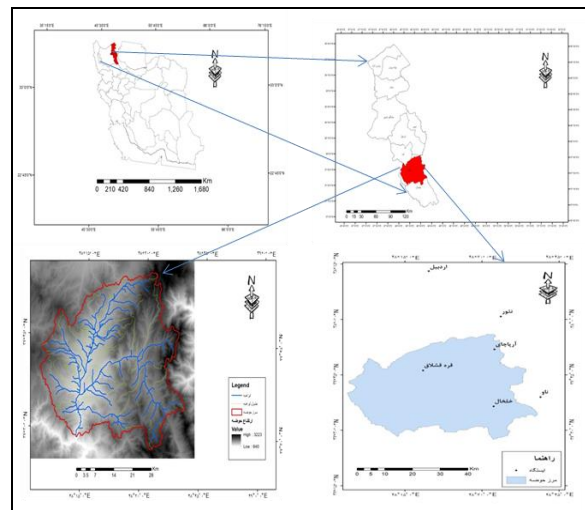
کاربری زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و طبقه‌بندی شیء‌گرا در محیط نرم‌افزار Ecognition به دست آمد. دما و بارش از سازمان هواشناسی و داده‌های دبی از اداره منابع طبیعی اردبیل به دست آمد. داده‌های جریان رودخانه، داده‌های ماهانه از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۷ برای دو ایستگاه به نام آبگرم و فیروزآباد است که در داخل حوضه قرار دارد. داده‌های خاک از پایگاه داده‌های جهانی خاک هماهنگ FAO گرفته شد.

#### • روش تحقیق

هدف از این مطالعه تعیین تأثیر تغییرات اقلیمی آینده بر جریان رودخانه حوضه کیوی چای است. مدل SWAT برای توسعه سناریوهای مختلف استفاده شد. تحت شرایط مختلف اقلیمی در آینده، به‌ویژه با توجه به بارندگی و دما، پاسخ حوضه مورد ارزیابی قرار گرفت. تأثیر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی در سه بازه زمانی مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت: (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، (۲۰۶۰-۲۰۸۰) و (۲۰۸۰-۲۰۹۹). دوره ۲۴ ساله از ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۷ به‌عنوان دوره پایه استفاده شد. روش مورد استفاده در این مطالعه شامل مراحل زیر است: (۱) پیکربندی، کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل هیدرولوژیکی با استفاده از SWAT (۲) استخراج مکانی و زمانی داده‌های GCMs، ریزمقیاس‌نمایی این داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Lars-wg6 (۳) تجزیه و تحلیل و ارزیابی مقایسه‌ای پیش‌بینی‌های GCM ریزمقیاس شده با توجه به توانایی آن‌ها در بازتولید اقلیم‌شناسی تاریخی برای انتخاب GCM (۴) به دست آوردن نتایج در SWAT برای هر سناریوی در نظر گرفته شده. (۵) ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم در حوضه با شبیه‌سازی شرایط اقلیمی جدید در مدل SWAT کالیبره شده.

#### • مدل هیدرولوژیکی SWAT

مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه رودخانه کیوی چای با استفاده از SWAT انجام شد. مدل SWAT یک مدل هیدرولوژیکی مفهومی و نیمه توزیعی است که در بازه زمانی روزانه کار می‌کند و برای شبیه‌سازی طولانی مدت مداوم انواع فرآیندها استفاده می‌شود. متغیرهای اصلی هیدرولوژیکی شبیه‌سازی شده مدل SWAT شامل رواناب سطحی، نفوذ خاک و ناحیه ریشه، تبخیر و تعرق، تبخیر خاک و برف و جریان برگشتی است (Arnold et al, 1998). مدل SWAT بر اساس اصل تقسیم حوضه به زیر حوضه‌های متعدد بر اساس شبکه رودخانه و توپوگرافی کار می‌کند. متعاقباً، زیرحوضه‌ها به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) تقسیم می‌شوند که دارای



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز کیوی چای در اردبیل و ایران و ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی منطقه مورد مطالعه  
جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی منطقه مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	اردبیل	۱۳۳۵/۲	۴۸°۳۳"	۳۸.۲۱۸
۲	آرپاچای	۲۴۸۰	۴۸.۵۴۱	۳۷.۸۶۵
۳	خلخال	۱۷۹۷/۴	۴۸.۵۳۸	۳۷.۶۰۸
۴	ناو	۱۰۰۰	۴۸.۶۹	۳۷.۶۵
۵	قره قشلاق	۱۳۸۰	۴۸.۳۰۹	۳۷.۷۷
۶	نور	۲۵۰۳	۴۸.۵۶۱	۳۸.۰۱۳

خاک‌های غالب منطقه لومی رسی است و هفت نوع کاربری اراضی برای حوضه مشخص شده که بیشتر تحت سلطه کاربری مرتع است که ۶۷/۰۷ از کل مساحت حوضه را تشکیل می‌دهد.

جدول ۲. توزیع مساحت کاربری اراضی حوضه کیوی چای

کاربری اراضی	۱۹۸۷	
	کیلومتر مربع	درصد
کشاورزی دیم	۳۹۰/۴۰	۲۱/۳۹
کشاورزی آبی	۱۳۷/۸۰	۷/۵۵
باغ	۱۰/۴۸	۰/۵۷
چنگل	۴۷/۳۵	۲/۵۹
مسکونی	۳/۶۶	۰/۲۰
مرتع	۱۲۲۴/۱۸	۶۷/۰۷
آب	۱۱/۳۲	۰/۶۲

#### • منابع داده‌ها

مدل SWAT به ورودی داده‌های ارتفاعی رقومی (DEM)، کاربری زمین، خاک‌ها و داده‌های هواشناسی مانند بارش روزانه، حداکثر و حداقل دما، تابش خورشیدی، رطوبت نسبی و سرعت باد نیاز دارد. داده‌های رقومی ارتفاع از رادیومتر تابش حرارتی پیشرفته و انعکاس فضایی (ASTER) مدل ارتفاع دیجیتال جهانی (GDEM) نسخه ۲، با وضوح ۳۰ × ۳۰ متر به دست آمد. نقشه

توسعه یافته توسط Soil Conservation Service برای تخمین رواناب سطحی ناشی از بارش استفاده شد. روش هار گریوز نیز برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه اتخاذ شد.

• واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

مدل SWAT با استفاده از الگوریتم SUFI-2 نسبت به داده‌های دبی مشاهده شده از دو ایستگاه هیدرومتری واسنجی و اعتبارسنجی شد (Abbaspour et al, 2007). پارامتر واسنجی جریان مؤثر و محدوده آنها بر اساس تحقیقات موجود انتخاب شدند که شامل جنبه‌های جریان آب زیرزمینی، رواناب و داده‌های خاک است. برای رسیدن به یک واسنجی قابل قبول، سه تکرار (هر تکرار نشان دهنده ۵۰۰ شبیه‌سازی) طبق توصیه (Alemayehu et al, 2016 و Poméon et al, 2018) انجام شد. محدوده پارامترها پس از هر بار تکرار به روز می‌شوند. از میان داده‌های جریان اندازه‌گیری شده و با در نظر گرفتن دو سال به عنوان دوره وارم آپ، دوره‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۰ و ۲۰۱۱-۲۰۱۷ به ترتیب به عنوان دوره واسنجی و اعتبارسنجی انتخاب شدند. مدل در مقیاس ماهانه مورد ارزیابی قرار گرفت و کارایی نش - ساتکلیف (NSE) به عنوان تابع هدف انتخاب شد. عملکرد مدل برای جریان ماهانه با توجه به توصیه‌ها و عملکردهای پیشنهادی (2007, Moriasi et al) مورد ارزیابی قرار گرفت. دیگر معیارهای ارزیابی مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۳ تعریف شده است.

جدول ۳. معیارهای ارزیابی مدل SWAT سناریوها و پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم

نام تابع	معادله	دامنه تابع
نش - ساتکلیف (NSE)	$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (y_{t_i}^m(\theta) - y_{t_i})^2}{\sum_{t=1}^n (y_{t_i}^m(\theta) - \bar{y}_{t_i})^2}$	-∞, ۱
ضریب تعیین (R <sup>2</sup> )	$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_{i,o} - \bar{Q}_o)(Q_{i,s} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{i,o} - \bar{Q}_o)^2 \sum_{i=1}^n (Q_{i,s} - \bar{Q}_s)^2}$	۰, ۱
درصد اریبی (PBIAS)	$PBIAS = 100 * \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{i,o} - Q_{i,s})}{\sum_{i=1}^n Q_{i,o}} \right]$	-∞, ∞
مجدور میانگین مربعات خطا (RMSE)	$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (x - y)^2}{N} \right]^{1/2}$	∞
ریشه مربعات خطا (RSR)	$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_o} = \frac{\left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{i,o} - Q_{i,s})^2}{N} \right]^{1/2}}{\left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{i,o} - Q_m)^2}{N} \right]^{1/2}}$	∞

خواص منحصر به فرد خاک، شیب و کاربری زمین هستند (Arnold et al, 2012). SWAT چرخه هیدرولوژیکی را بر اساس بیلان آب با استفاده از معادله زیر شبیه سازی می کند:

رابطه ۱

$$S_t = S_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

S<sub>t</sub> محتوای نهایی آب خاک (میلی متر)، S<sub>0</sub> محتوای اولیه آب خاک (میلی متر)، t زمان (روز)، R<sub>day</sub> مقدار بارندگی در روز i (میلی متر)، Q<sub>surf</sub> مقدار رواناب سطحی در روز i (میلی متر)، E<sub>a</sub> مقدار تبخیر و تعرق در روز i (میلی متر)، W<sub>seep</sub> مقدار آب گذری در پروفیل زیرین خاک در روز i (میلی متر)، Q<sub>gw</sub> مقدار جریان پایه در روز i (میلی متر) را نشان می دهد.

• اجرای مدل

مدل SWAT برای توصیف یک حوضه به سه ورودی مبتنی بر فیزیک نیاز دارد: نقشه خاک، نقشه کاربری زمین و نقشه راقومی ارتفاع. اولین گام در راه اندازی مدل SWAT برای یک منطقه خاص، تعیین مرزهای حوضه و تجزیه و تحلیل الگوهای زهکشی زمین با استفاده از نقشه راقومی ارتفاع 30 × 30 متری است. نقشه راقومی ارتفاع به مدل وارد شد و زیر حوضه‌های تشکیل دهنده آن نیز مشخص گردید. با در نظر گرفتن حداقل سطح زهکش ۱۰۰ هکتار برای ترسیم زیر حوضه‌ها، تعداد ۱۱۸ زیر حوضه ترسیم شد. در مرحله بعد با استفاده از نقشه‌های رستری خاک، کاربری اراضی و تعیین طبقات شیب، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی تعریف گردید. طبقات شیب نیز در همین مرحله در محیط ArcGIS تهیه شد. با توجه به کوهستانی بودن منطقه چهار طبقه شیب ۱۵-، ۳۰-، ۱۵-، ۳۰- و بالاتر از ۷۰ در مدل تعریف گردید. همچنین برای بهبود شبیه سازی در نواحی کوهستانی (Bhatta et al., 2020) تعداد ۱۰ بازه ارتفاعی در هر زیر حوضه تعیین شد. در این مطالعه ۸۲۴ گروه پاسخ هیدرولوژیکی در نهایت ساخته شد. پس از آن ورودی‌های اقلیمی مورد نیاز اصلی برای SWAT که دما و بارندگی هستند و محرک‌های اقلیمی نهایی فرایند رواناب هستند (Emami and Koch, 2019) در بازه زمانی ابتدای سال ۱۹۹۴ تا انتهای سال ۲۰۱۷ به مدل داده شد و پارامترهای رطوبت نسبی، بارندگی، دمای حداقل و حداکثر، ساعات آفتابی و سرعت باد تعریف گردید. علاوه بر آن مشخصات فنی سدهای آبخیزداری نیز به مدل معرفی گردید. در انتها مدل اجرا شد و نتایج شبیه سازی به صورت ماهانه در پوشه خروجی ذخیره گردید. لازم به ذکر است که دو سال اول به عنوان دوره دست گرمی در مدل در نظر گرفته شد. همچنین در این مطالعه، روش عدد منحنی SCS

و قابل قبول منتهی شوند. برای این منظور با در دست داشتن آمار ماهانه ایستگاه‌های آبگرم و فیروزآباد در محدوده مورد مطالعاتی و انتخاب بازه زمانی ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۵ به عنوان دوره آماده‌سازی مدل یا اصطلاحاً WARM UP اقدام به واسنجی رواناب در دو بازه زمانی (۱۹۹۹ تا ۲۰۱۰) و (۱۹۹۷ تا ۲۰۱۰) گردید، فرایند واسنجی مدل با تجزیه و تحلیل حساسیت برای انتخاب پارامترهای حاکم بر رودخانه مشاهده شده دنبال شد. در مجموع ۳۲ پارامتر مؤثر برای واسنجی مدل انتخاب شدند که در جدول ۷ نشان داده شده است. سپس بعد از استخراج پارامترهای مؤثر بر رواناب اقدام به اعتبارسنجی آن در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۷ گردید و نتایج حاصله در جدول ۸ آورده شد. مقادیر بدست آمده برای شاخص های R-Factor, P- Factor, R2, NS در دوره واسنجی به ترتیب برای ایستگاه آبگرم (۰/۶۹، ۰/۷۱، ۰/۴۷، ۰/۵۳) و برای ایستگاه فیروزآباد (۰/۶۴، ۰/۶۷، ۰/۳، ۰/۳۲) و در دوره اعتبارسنجی برای ایستگاه آبگرم به ترتیب (۰/۶۲، ۰/۵۶، ۰/۰۹، ۰/۰۹) و برای ایستگاه فیروزآباد (۰/۵۱، ۰/۵۳، ۰/۱۳، ۰) است. بر این اساس نتایج بدست آمده در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی قابل قبول ارزیابی شد. در ادامه نتایج شبیه سازی جریان در هر یک از ایستگاه های آبسنجی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

پارامتر	معرفی پارامتر	حداقل	حداکثر
_Bf Alpha	ضریب α آب زیرزمینی	.	۱
Alpha Bnk	ضریب α آب پایه برای ذخیره ساحلی کانال	.	۱
Canmx	آب نگهداشته شده توسط پوشش گیاهی یا همان برگاب (mm H2O)	.	۱۰۰
Ch_K2	هدایت هیدرولیکی مؤثر بستر رودخانه اصلی (mm/hr)	.	۱۵۰
Ch_N2	ضریب مانینگ برای رودخانه اصلی	.	۱
Cn2	شماره منحنی	۲۰	۹۰
Esco	ضریب تبخیر خاک	.	۱
Epc0	فاکتور جبران نگهداشت گیاهی	.	۱
Gw_Delay	زمان تأخیر انتقال آب از آخرین پروفیل لایه خاک به سطح آب زیرزمینی (روز)	.	۵۰۰
Gw_REV AP	ضریب تعیین نفوذ به آب زیرزمینی عمیق یا صعود مویینگی از سفره آب کم عمق	.	۱.۵

جدول ۴. واسنجی پارامترهای مدل SWAR برای حوضه کیوی چای

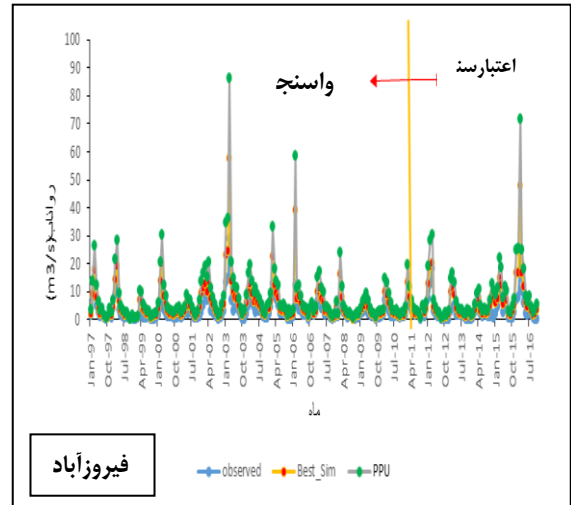
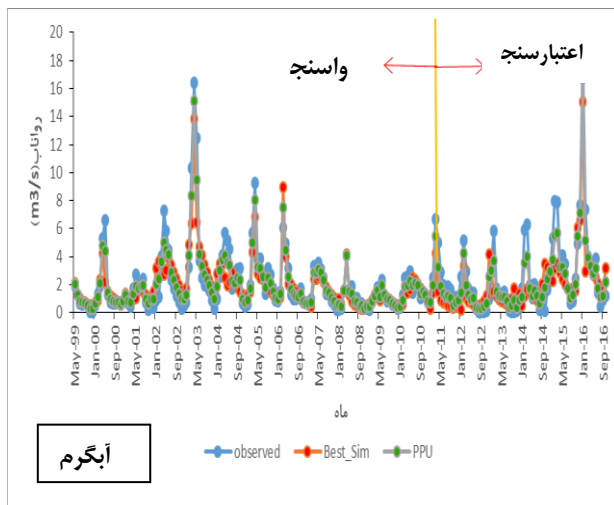
پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT در شرایط فعلی، شبیه سازی جریان متناظر با تغییرات اقلیمی آینده برای دوره های آینده در سه بازه زمانی، (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، (۲۰۶۱-۲۰۸۰) و (۲۰۴۱-۲۰۶۰) اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 انجام شد. در مرحله اول، داده های آب و هوایی GCM های تاریخی و آینده از مدل های (MIP-EC-EARTH، MIROC5، HadGEM2-ES، MPI-ESM) استخراج شد. سپس به خاطر این که خروجی مدل های GCM بزرگ مقیاس است و بایستی با استفاده از روش های ریزمقیاس نمایی به مقیاس های کوچک تر تبدیل شوند. بدین منظور نرم افزار Lars-wg6 برای ریزمقیاس نمایی مدل ها انتخاب شد. در مرحله بعد مدل های ریزمقیاس شده برای برآورد توانایی آنها در باز تولید اقلیم شناسی تاریخی منطقه مورد مطالعه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای ارزیابی میزان کارایی هر یک از مدل های اقلیمی دو معیار ارزیابی بکار گرفته شده اند که عبارتند از: مجذور میانگین مربعات خطا که معادله آن در جدول ۳ آورده شده و میانگین مطلق مربعات خطا (MAE) که با رابطه زیر محاسبه می شود:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - Y_i|}{N}$$

در نهایت، نتایج شبیه سازی از RCM های منتخب مانند بارش روزانه و داده های دمای حداکثر و حداقل هر سه سناریو به عنوان ورودی مدل SWAT برای تولید جریان های آبی استفاده شد.

### ۳. نتایج و بحث

هدف از واسنجی خروجی مدل SWAT در نرم افزار SWAT CUP به حداقل رساندن اختلاف بین مقادیر خروجی های شبیه سازی شده با آمار مشاهده ای ایستگاه است. یک مدل ابتدا از داده های ورودی اندازه گیری شده و یا پیش فرض مدل، استخراج می شود و سپس خروجی های شبیه سازی شده با داده های مشاهده ای واسنجی می شود. یکی از مسائلی که هنگام واسنجی این مدل ها پیش می آید عدم قطعیت در شبیه سازی است که به دلیل عدم قطعیت در ورودی های مدل، عدم قطعیت در مدل مفهومی (ساختار مدل) و عدم قطعیت در پارامترهای مدل ایجاد می شود. در این مدل ها همچنین، به دلیل تعدد پارامترهای مدل و اثر جبرانی یا تشدید پارامترها بر یکدیگر، اغلب چندین مجموعه پارامترهای کاملاً متفاوت می توانند به نتیجه مشابه



شکل ۲. مقایسه رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده ماهانه در دوره‌های واسنجی و صحت سنجی ایستگاه فیروزآباد و آبگرم

به تغییرات اقلیمی آتی در رودخانه کیوی چای مناسب در نظر گرفته شود.

• انتخاب مدل‌های تغییر اقلیم

بعد از اینکه چهار مدل اقلیمی سری cmip5 توسط نرم‌افزار Lars-wg6 ریزمقیاس شد و داده‌های تاریخی مدل‌ها با دوره آماری ایستگاه خلخال (منتخب حوضه) مقایسه شد. مدلی که به بهترین وجه تغییرات میانگین سال را برای آمار اصلی ماهانه باز تولید می‌کرد انتخاب شد. برای انجام این انتخاب معیارهای ارزیابی مجذور میانگین مربع خطاها (RMSE) و میانگین مطلق خطاها (MAE) محاسبه شد که مقادیر آن در جدول ۶ آورده شده است. مدل HadGEM2-ES با مقادیر پایین‌تر خطاها از بین چهار مدل اقلیمی، مناسب‌تر تشخیص داده شد.

جدول ۵. نتایج حاصل از واسنجی و صحت سنجی ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	معیار ارزیابی	واسنجی	اعتبارسنجی
آبگرم	NSE	۰/۶۹	۰/۵۶
	R <sup>2</sup>	۰/۷۱	۰/۶۲
	PBIAS	۶/۴	۲۴/۹
	RMSE	۱/۳	۱/۸
	RSR	۰/۵۵	۰/۶۶
فیروزآباد	NSE	۰/۶۴	۰/۵۱
	R <sup>2</sup>	۰/۶۷	۰/۵۳
	PBIAS	۱۰/۶	۱۱/۲
	RMSE	۲/۱	۲/۸
	RSR	۰/۶۰	۰/۷۰

جدول ۶. معیارهای ارزیابی مدل اقلیمی مناسب

مدل‌ها	RMSE	MAE
EC-EARTH	۳/۱	۲/۵
HadGEM2-ES	۱/۸۲	۱/۹۲
MIROC5	۱/۹	۲/۵
MPI-ESM	۳/۵	۴/۲۵

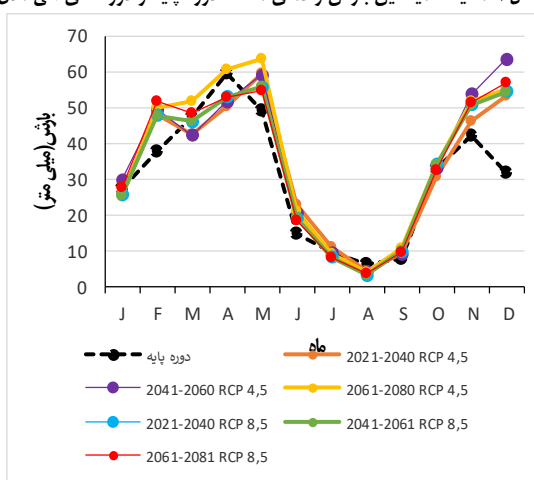
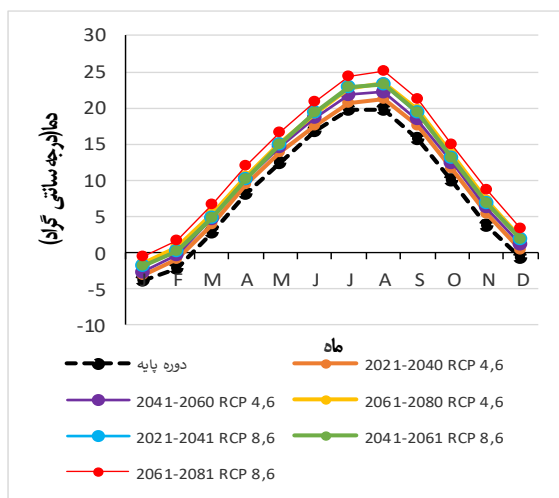
با استفاده از این رویکرد مبتنی بر اعتبارسنجی، فرض می‌کنیم که توانایی یک مدل برای شبیه‌سازی آب‌وهوای پایه مشاهده شده، نماینده توانایی همان مدل برای پیش‌بینی اقلیم آینده خواهد بود. انتخاب GCMها در تعدادی از مطالعات مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است

عملکرد مدل برای شبیه‌سازی جریان ماهانه در جدول ۵ خلاصه شده است. نتایج مدل SWAT برای دوره واسنجی خوب و برای دوره اعتبارسنجی رضایت‌بخش بود. برای هر دو دوره، NSE بیشتر از ۰.۵، PBIAS کمتر از ۲۵ درصد و RSR کمتر از ۰.۷، نشان‌دهنده واسنجی و اعتبارسنجی مناسب باتوجه به بیلان آب است (Moriasi et al, 2007). مقادیر R2 بیشتر از ۰.۶ نیز برازش مدل قابل قبولی را نشان داد. این نتایج معقول در شبیه‌سازی ماهانه رودخانه، با در نظر گرفتن داده‌های کمیاب موجود در منطقه، به مدل SWAT اجازه داد تا برای ارزیابی پاسخ‌های هیدرولوژیکی

شناسایی مدل‌های نامطلوب و رابطه بین عملکرد ظاهراً ضعیف و قابل قبول بودن پیش‌بینی‌های آینده وجود ندارد.

به‌عنوان مثال، ( McSweeney et al,2015., Ahmed et al,2019) با این حال، هنوز اجماع علمی کافی در مورد

شکل ۳. مقایسه میانگین بارش و دمای ماهانه دوره پایه و دوره های آتی مدل



جدول ۷. تغییر میانگین متغیرهای اقلیمی

مدل	سناریو	دوره زمانی	بارش (میلی متر)		دما (درجه سانتی گراد)	
			مقدار	تغییر نسبت به دوره پایه	مقدار	تغییر نسبت به دوره پایه
HadGEM2-ES	دوره پایه	۱۹۸۷-۲۰۱۹	۳۰/۶۷	-	۸/۵	-
	۴.۵ RCP	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۳۳/۸۳	۳/۱۶(%۱۵)	۹/۸	۱/۳(%۱۵)
		۲۰۴۱-۲۰۶۰	۳۵/۶۱	۴/۹۴(%۱۶)	۱۰/۶	۲/۱(%۲۵)
		۲۰۶۱-۲۰۸۰	۳۶/۵۶	۵/۸۹(%۱۹)	۱۱/۵	۳(%۳۵)
	۸.۵ RCP	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۳۴/۱۸	۳/۵۱(%۱۱)	۱۱/۳	۲/۸(%۳۳)
		۲۰۴۱-۲۰۶۰	۳۴/۱۷	۳/۵(%۱۱)	۱۱/۳	۲/۸(%۳۳)
۲۰۶۱-۲۰۸۰		۳۴/۸۷	۴/۲(%۱۴)	۱۲/۹	۴/۴(%۵۲)	

دسامبر افزایش یابد. این نتایج با نتایج پژوهش (ملکیان و همکاران، ۱۳۹۸) که بیان داشتند در ایستگاه خلخال (ایستگاه منتخب حوضه) میزان بارش در دوره آتی در فصول زمستان و بهار افزایشی خواهد بود تطابق دارد.

تغییرات در متغیرهای آب‌وهوا تحت سناریوهای RCP تغییرات متوسط جریان ماهانه متناسب به تغییرات اقلیمی، مانند تغییرات دما و بارندگی، در دوره‌های (۲۰۴۰-۲۰۲۱)، (۲۰۶۰-۲۰۴۱) و (۲۰۸۰-۲۰۶۱) در مقایسه با دوره پایه برای حوضه رودخانه کیوی چای برای مدل HadGEM2-ES، در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج مدل LARS-WG برای بازه زمانی (۲۰۸۰-۲۰۶۱، ۲۰۴۰-۲۰۲۱) بیانگر افزایش دما در تمام دوره‌ها و افزایش بارش سالانه است. شکل ۲ توزیع ماهانه بارش را برای دوره‌های پایه و آینده، با حداکثر مقادیر در ماه‌های آوریل، می و دسامبر و حداقل‌های نسبی در آگوست، ژوئیه و سپتامبر نشان می‌دهد. در مقیاس ماهانه، باتوجه به فصل خشک، پیش‌بینی می‌شود بارش در هر سه سناریو و در هر سه دوره آینده برای اکتبر، نوامبر و



پایان قرن، به ترتیب با دمای ۳۵ درصد و ۵۲ درصد بالاتر از دمای پایه تحت RCP4.5 و RCP 8.5 پیش‌بینی می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های ثانی خانی و همکاران (۱۳۹۲)، عابدی و همکاران (۱۳۹۳) و منصور و همکاران (۱۳۹۵) در شمال غرب و مسماریان و همکاران (۱۳۹۵) در شهرکرد مطابقت دارد

جدول ۷ میانگین متغیرهای اقلیمی سالانه را برای دوره پایه و سه دوره آینده تحت RCP4.5 و RCP8.5 در مدل HadGEM2-ES خلاصه می‌کند.

در مقیاس سالانه، نتایج نشان می‌دهد که میانگین بارش و دما در شرایط آبی روند افزایشی را دنبال خواهد کرد، میزان بارندگی در حوضه کیوی چای بین ۱۱ تا ۱۹ درصد افزایش خواهد یافت. به‌علاوه، بالاترین میانگین دما در

جدول ۸. مقایسه رواناب دوره پایه و دوره های زمانی آبی در حوضه کیوی چای

### اثر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه

ایستگاه	بازه زمانی	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
رواناب ایستگاه آبگرم	دوره پایه	۴/۸۵	۲/۱۱	۲/۰۷	۲/۱۴	۱/۳۷	۰/۴۹	۰/۳۷	۱/۳۸	۰/۹۹	۲/۴۹	۸/۵۴	۱۰/۱۵
	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۱
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۰۱
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲
رواناب ایستگاه فیروزآباد	دوره پایه	۳/۰۴	۱/۳۳	۱/۲۴	۱/۱۹	۱/۳۶	۰/۴۷	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۹۱	۱/۹۳	۵/۱۰	۶/۲۰
	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۳
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	۰/۱۲	۰/۲۰	۰/۲۷	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۳۰
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	۰/۱۸	۰/۲۴	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۲

ایستگاه آبگرم ۳/۰۸ و در ایستگاه فیروزآباد ۱/۹۵ مترمکعب در ثانیه بوده است در صورتی که در بازه‌های زمانی (۲۰۸۰-۲۰۶۰، ۲۰۶۰-۲۰۴۰، ۲۰۴۰-۲۰۲۱) در ایستگاه آبگرم به ترتیب (۰/۰۲، ۰/۰۳، ۰/۰۲) و در ایستگاه فیروزآباد (۰/۰۴، ۰/۰۵، ۰/۰۴) است. 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 نشان داده است. در مطالعه (قضاوی و همکاران، ۱۳۹۶) در رودخانه هر و چای افزایش دبی تحت سناریوهای A2 و B1 و کاهش دبی تحت سناریوی A1B نشان داده شده است. نتایج این پژوهش در سناریوهای A1B با آن مطالعه مطابقت دارد؛ ولی با سناریوهای دیگر تطابق ندارد همچنین با نتایج پژوهشی با عنوان بررسی آثار تغییر اقلیم بر برخی ویژگی‌های هیدرولوژیک منابع آب استان اردبیل توسط (ملکیان و همکاران، ۱۳۹۸) که نشان می‌دهد میزان رواناب سطحی در دوره‌های آبی کاهش می‌یابد تطابق دارد.

برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه‌ای در حوضه، متوسط ماهانه جریان رودخانه در دو ایستگاه آب‌سنجی آبگرم و فیروزآباد که در شاخه اصلی رودخانه قرار گرفته‌اند، تحت اثر مدل‌ها و سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۴ و جدول ۸ مقادیر متوسط ماهانه جریان شبیه‌سازی حوضه کیوی چای را نسبت به دوره پایه توسط مدل HadGEM2-ES در سه بازه زمانی در ایستگاه‌های آب‌سنجی آبگرم و فیروزآباد نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود دبی شبیه‌سازی شده توسط مدل HadGEM2-ES در هر سه بازه زمانی نسبت به دوره پایه روند کاهشی را نشان می‌دهد. بیشترین میزان کاهش در ماه‌های گرم سال که میزان دبی پایه نیز در آنها کم هست، رخ می‌دهد که علت آن را می‌توان کاهش بارش و افزایش دما و به دنبال آن افزایش تبخیر و تعرق دانست. میانگین درازمدت دبی مشاهداتی حوضه مورد مطالعه در

## نتیجه‌گیری

و ۱۹ درصد (RCP 4.5) و ۱۴ درصد (RCP 8.5) در پایان قرن با توجه به دوره پایه (۲۰۱۷-۱۹۹۴) است. میانگین دمای سالانه برای اوایل قرن ۱۵ و ۳۳ درصد افزایش و ۲۵ و ۳۳ درصد افزایش برای اواسط قرن و ۳۵ و ۵۲ درصد افزایش برای پایان قرن تحت سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 به ترتیب نشان داد. دبی شبیه‌سازی شده توسط مدل HadGEM2-ES در هر سه بازه زمانی نسبت به دوره پایه روند کاهشی را نشان

می‌دهد. بیشترین میزان کاهش در ماه‌های گرم سال که میزان دبی پایه نیز در آنها کم هست، رخ می‌دهد که علت آن را می‌توان کاهش بارش و افزایش دما و به دنبال آن افزایش تبخیر و تعرق دانست. میانگین درازمدت دبی مشاهداتی حوزه مورد مطالعه در ایستگاه آبگرم ۳/۰۸ و در ایستگاه فیروزآباد ۱/۹۵ مترمکعب در ثانیه بوده است در صورتی که در بازه‌های زمانی (۲۰۸۰-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۲۱) در ایستگاه آبگرم به ترتیب (۰/۰۲، ۰/۰۳، ۰/۰۲) و در ایستگاه فیروزآباد (۰/۰۴، ۰/۰۵، ۰/۰۴) است. نتایج نشان می‌دهد که موجودیت آب در میان مدت و بلندمدت به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و بنابراین باید سیاست‌هایی برای انطباق با تغییرات اقلیمی تدوین کرد تا پایداری زیست‌محیطی و اقتصادی این منطقه تضمین شود.

حوضه رودخانه کیوی چای از نظر زیست محیطی در منطقه ای قرار دارد که تامین آب برای جوامع محلی را تضمین می‌کند و همچنین در توسعه منطقه‌ای از طریق گردشگری، کشاورزی و باغداری مهم است. در مطالعه حاضر، اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی (یعنی بارش و دما) و همچنین بر روی متغیرهای اصلی هیدرولوژیکی (رواناب سطحی) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. پیش بینی های آبی بارش و دمای چهار (GCM-EC، MIROC، HadGEM2-ES، EARTH، MPI-ESM) در نظر گرفته شد. پس از تجزیه و تحلیل و ارزیابی مقایسه ای این پیش بینی ها، بهترین مدل بر اساس توانایی آن در بازتولید اقلیم تاریخی انتخاب شد. مدل SWAT مدلی مفهومی و توزیعی است که برای تعیین کمیت اثرات تغییرات آب و هوایی آینده بر فرآیندهای هیدرولوژیکی که توسط HadGEM2-ES منطقه‌ای شده برای سناریوهای اقلیمی RCP 4.5 و RCP 8.5 به کار گرفته شد. SWAT به طور قابل قبولی جریان ماهانه را با وجود کمبود داده شبیه سازی کرد و نتایج در حوضه بر اساس داده های دوره پایه برای دوره های آینده (۲۰۸۰-۲۰۶۱، ۲۰۶۱-۲۰۴۱، ۲۰۴۰-۲۰۲۱) مقایسه شد.

نتایج این تحلیل حاکی از کاهش سالانه ۱۵ درصد (RCP 4.5) و ۱۱ درصد (RCP 8.5) بارش در اوایل قرن و ۱۶ درصد (RCP 4.5) و ۱۱ درصد (RCP 8.5) در اواسط قرن

## منابع

- احمدآبادی، ع.، صدیقی فر، ز.، ۲۰۱۸. پیش بینی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز کن بر اساس مدل ریز مقیاس نمایی آماری. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۱(۵۱)، ۱۱۴-۱۰۳.
- پورمحمدی، س.، دستورانی، م. ح.، مساح بوانی، ع.، گودرزی، م.، جعفری، م.، ۲۰۱۷. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه و ارائه راهکارهای سازگاری با اثرات آن (مطالعه موردی: حوزه آبریز تویسرکان همدان)، *مجله علوم ومهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۱-۱، ۱۲(۳۷).
- توکلی، م.، کریمی، ح.، نورالهی، ه.، ۱۳۹۶. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوزه آبخیز سد ایلام، *نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز*، صفحات ۱۷۰-۱۵۷، شماره ۲، ج ۱۰.
- ثانی خانی، ه.، دین پژوه، ی.، یوریوسف، س.، زمان دادقویدل، س.، صولتی، ب.، ۱۳۹۲. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه های آبریز (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی چای در استان آذربایجان شرقی)، *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، جلد ۲۷، شماره ۶، بهمن - اسفند ۱۳۹۲، ص. ۱۲۳۴-۱۲۲۲.
- عابدی، ز.، ارزیابی تغییر اقلیم بر دبی جریان ماهانه با کاربرد مدل SWAT در حوضه ی آبخیز هروی چای استان اردبیل، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، دانشکده ی منابع طبیعی دریا، ۵۴۴ صفحه.
- فلاح کلاکی، م.،، شکری کوچک، و.، رضانی اعتدالی، ه.، ۱۴۰۰. شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های اقلیمی CMIP5 و CMIP6 بر رواناب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی (SWAT) مطالعه موردی: حوضه آبریز طشک - بختگان، تحقیقات منابع آب ایران، سال هفدهم، شماره ۳، پاییز ۰۷.

- مددی، ع.، نوعی، ب.، اسمعیلی، ا.، ۱۳۹۲. ارزیابی خطر زمین لغزش و پهنه‌بندی آن با استفاده از مدل LIM و به‌کارگیری تکنیک GIS در حوزه آبخیز گیوی چای، اردبیل، نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۳۰۷-۳۲۶، ۱۷(۴۳).
  - مسماریان، ز.، مساح بوانی، ع.، جوادی پیر بازاری، س.، ۲۰۱۶. تأثیر تغییر اقلیم بر بیلان آب زیرزمینی دشت شهرکرد در دوره‌های آتی، اکوهیدرولوژی، ۲۳۳-۲۴۲، ۳(۲).
  - رجیبی، م.، فیض‌الله پور، م.، ۱۳۹۳. پهنه‌بندی زمین لغزش‌های حوضه رودخانه کیوی چای با استفاده از مدل پرسپترون چندلایه از نوع پیش‌خور پس انتشار (BP)، مجله جغرافیا و توسعه، ۱۸۰-۱۶۱، ۳۶(۱۲).
  - ملکیان، آ.، میردشتوان، م.، قدیمی، م.، ۲۰۱۹. بررسی آثار تغییر اقلیم بر برخی ویژگی‌های هیدرولوژیک منابع آب استان اردبیل. اکوهیدرولوژی، ۶۹۵-۷۰۵، ۶(۳).
  - منصور، ب.، احمدزاده، حجت.، مساح بوانی، ع.، مرید، س.، دلاور، م.، لطفی، س.، ۱۳۹۳. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه زرينه رود با استفاده از مدل SWAT، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۸، شماره ۶، بهمن - اسفند ۱۳۹۳، ص. ۱-۱۲۰۳.
- Arnold, J.G.; Srinivasan, R.; Muttiah, R.S.; Williams, J.R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment Part I: Model development. J. Am. Water Resour. Assoc, 34, 73–89.
- Abbaspour, K.C.; Vejdani, M.; Haghghat, S. 2007. SWAT–CUP calibration and uncertainty programs for SWAT. In Proceedings of the Modsim: International Congress on Modelling and Simulation, Christchurch, New Zealand, 3–8 December 2007; pp. 1603–1609.
- Ahmed, K.; Sachindra, D.A.; Shahid, S.; Demirel, M.C.; 2019. Chung, E.S. Selection of multi-model ensemble of GCMs for the simulation of precipitation based on spatial assessment metrics. Hydrol. Earth Syst. Sci.. Discuss, in review.
- Alemayehu, T.; van Griensven, A.; Bauwens, W. 2016. Evaluating CFSR and WATCH data as input to swat for the estimation of the potential evapotranspiration in a data–scarce Eastern–African catchment. J. Hydrol. Eng., 21, 16.
- Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Srinivasan, R.; Williams, J.R.; Haney, E.B.; Neitsch, S.L. 2012. Soil & Water Assessment Tool—Input/Output Documentation; Version 2012; Texas Water Resources Institute: College Station, TX, USA.; p. 650. Available online: <https://swat.tamu.edu/docs/> (accessed on 20 May 2019)
- Bhatta B., Shrestha S., Shrestha PK., and Talchabhadel R. 2020. Modelling the impact of past and future climate scenarios on streamflow in a highly mountainous watershed: A case study in the West Seti River Basin, Nepal. Science of the Total Environment. Elsevier B.V 740: 140156. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140156>.
- Chattopadhyay, S.; Jha, M.K. 2016. Hydrological response due to projected climate variability in Haw River watershed, North Carolina, USA. Hydrol. Sci. J., 61, 495–506.
- Emami, F.; Koch, M. 2019. Modeling the impact of climate change on water availability in the Zarrine River Basin and inflow to the Boukan Dam, Iran. Climate, 7, 51.
- Leta, O. T., El-Kadi, A.I., Dulai, H., Ghazal, K.A. 2016. Assessment of climate change impacts on water balance components of Heeia watershed in Hawaii. Journal of Hydrology: Regional Studies. Volume 8, December, Pages 182-197. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.09.006>.
- Mandal, U., Sena, D. R., Dhar, A., Panda, S. N., Adhikary, P. P., & Mishra, P. K. 2021. Assessment of climate change and its impact on hydrological regimes and biomass yield of a tropical river basin. Ecological Indicators, 126, 107646.
- McSweeney, C.F.; Jones, R.G.; Lee, R.W.; Rowell, D.P. 2015. Selecting CMIP5 GCMs for downscaling over multiple regions. Clim. Dyn., 44, 3237–3260

- Moriyasi, D.N.; Arnold, J.G.; van Liew, M.W.; Bingner, R.L.; Harmel, R.D.; Veith, T.L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE*, 50, 885–900.
- Ndhlovu, G. Z., & Woyessa, Y. E. 2020. Modelling impact of climate change on catchment water balance, Kabompo River in Zambezi River Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27, 100650.
- Partal, T.; Kahya, E. 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrol. Process*, 20, 2011–2026.
- Poméon, T.; Diekkrüger, B.; Springer, A.; Kusche, J.; Eicker, A. 2018. Multi-objective validation of SWAT for sparsely-gauged West African River basins—A remote sensing approach. *Water*, 10, 451.
- Reshmidevi, T. V., Nagesh Kumar, D., Mehrotra, R., Sharma, A. 2017. Estimation of the climate change impact on a catchment water balance using an ensemble of GCMs. *Journal of Hydrology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.02.016>
- Sen, P.K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J. Am. Stat. Assoc.*, 63, 1379–1389.
- Sharma, S. K., Sinha, R. K., & Eldho, T. I. 2022. Hydrological Impact Assessment of Climate Change on a Tropical River Basin in Southern India (No. EGU22-7263). Copernicus Meetings.
- Senent-Aparicio, J.; Liu, S.; Pérez-Sánchez, J.; López-Ballesteros, A.; Jimeno-Sáez, P. 2018. Assessing impacts of climate variability and reforestation activities on water resources in the headwaters of the Segura River Basin (SE Spain). *Sustainability*, 10, 3277
- Van Vuuren DP, Edmonds J, Kainuma M, Riahi K, Thomson A, Hibbard K, Hurtt GC, Kram T, Krey V, Lamarque JF, Masui T, Meinshausen M, Nakicenovic N, Smith SJ, Rose SK .2011. The representative concentration pathways: An overview. *Climatic Change* 109(1):5-31
- Verma, S.; Bhattarai, R.; Bosch, N.S.; Cooke, R.C.; Kalita, P.K.; Markus, M. 2015. Climate change impacts on flow, sediment and nutrient export in a Great Lakes watershed using SWAT. *Clean Soil Air Water*, 43, 1464–1474.
- Yan, T., Bai, J., Toloza, A., Liu, J., Shen, Z., 2018. Future climate change impacts on streamflow and nitrogen exports based on CMIP5 projection in the Miyun Reservoir Basin, China. *Ecohydrology & Hydrobiology*. 205.1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.09.001>
- Zhang, Y.; You, Q.; Chen, C.; Ge, J. 2016. Impacts of climate change on streamflows under RCP scenarios: A case study in Xin River Basin, China. *Atmos. Res*, 178, 521–534.

## Evaluation of the hydrological response of the Kiwi Chai catchment area to future climate changes with the SWAT model

Shirin Mahdavian<sup>1\*</sup>, Batol Zeynali<sup>2</sup>, Bromand Salahi<sup>3</sup>

1. phd. of climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2. Professor, of climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3. Professor, of climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

### Abstract

Climate change has a direct impact on hydrological components and water resources and plays an important role in aggravating possible risks such as drought and floods. Therefore, it is necessary to investigate the effects of climate change on water components such as runoff. This study evaluates the effect of climate change on climatic parameters (temperature and precipitation) and the amount of runoff in Kiwi Chai basin from an environmental point of view. The hydrological model of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) was used to analyze the effects of climate change on the water resources of the Kiwi Chai basin, which is one of the Sefidroud sub-basins. Runoff simulation by applying climate change conditions for models (EC-EARTH, HadGEM2-ES, MIROC5, MPI-ESM) under two scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5) in three periods (2040-2021), (2041-2060), (2061-2080) and statistical analysis was performed to identify which climate model is more consistent with the changes in the mean and standard deviation of the historical series. An increasing trend in precipitation and a significant increase in average annual temperature were predicted in the early, middle, and late 21st century. The results of simulation of basin runoff with SWAT model also showed a significant decrease in basin runoff in future periods compared to the base period. These findings provide local water management authorities with useful information to aid decision-making in the face of climate change.

### Introduction

The last century has seen a significant increase in greenhouse gas emissions. High concentrations of carbon dioxide and other greenhouse gases in the atmosphere increase the greenhouse effect and directly affect the global temperature (Verma et al, 2015). As a result, global warming has increased evaporation and transpiration rates and has led to changes in precipitation worldwide. Such global climate changes significantly affect the hydrological cycle and river flow regimes, especially at the basin scale (Zhang et al, 2016), which directly affect the ecosystem, water security and economic activities, mainly in agriculture, forestry and hydropower generation. Some consequences of climate change, such as increased extreme floods and droughts, may be inevitable (Chattopadhyay and Jha, 2016); Therefore, quantifying the impact of climate change on water availability is necessary for watershed management and also for formulating adaptation strategies to reduce its negative effects. So far, climate models have developed many effective tools for climate simulations in past and future periods. The fifth phase of the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5) includes more than 40 models and in them, a new set of release scenarios called Concentration Trajectory Representative (CCP) has been used and has produced valuable climate information for policymakers and the scientific community. (Falah Kalaki et al., 1400) RCP scenarios based on the amount of radiative forcing (watts per square meter) include 4 greenhouse gas emission scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5, which are introduced to simulate climate variables in the future period and have predicted an average increase in global temperature by 2100 compared to the last 30 years by an average of 2 degrees Celsius (Van Vuuren et al, 2011). Several researches have evaluated the impact of climate change on the hydrological cycle in Iran and other parts of the world. However, no studies have focused on the evaluation of flow changes in Kiwi Chai watershed. (Leta et al, 2016) in the study of the effects of climate change on the components of the water balance of the Hiya watershed, they concluded that the decrease in rainfall in the wet season and a slight increase in the dry season are the main factors of the overall decrease in the components of the water balance, and the flow of underground water is possible. Due to the predicted precipitation and temperature changes, it will continuously decrease by 15% by the year 2100, which can have serious consequences on the

existence of underground water in the basin. (et al, 2017 Reshmidevi) investigated the effects of climate change on the water balance of Malaprabha basin. The results show a slight decrease in the ratio of runoff, annual flow and groundwater recharge at the end of the century. It is also predicted that wet periods will decrease, while dry periods will increase in the future. Yan et al., (2018) in investigating the impacts of future climate change on the flow based on CMIP5 forecast in the Muon reservoir basin, concluded that the Muon basin will be warmer and wetter, as well as the average annual average temperature changes in the period (2035-2021). It will be more than 5.4% (0.6°C) and 12.5% (1.6°C) during the period (2065-2051). At the same time, the future flow and forecast of nitrogen loading will increase in the next two periods. (Bhatta et al. 2019) researched climate changes on the hydrology of the Himalayan river basin. They found that annual mean maximum temperature (+4°C) and minimum temperature (+5.5°C) would increase and precipitation would decrease (-4.5%) by the end of the 21st century under RCP8.5 scenarios. Ndhlovu and Woyessa, (2020) conducted a study on the impact of climate change on the water balance of Kabumpo River in South Africa. According to their findings, the future water balance of the basin under RCP4.5 will have little change compared to the current water balance of the basin, because the annual statistics show that the amount of rainfall will decrease by 1%, while the yield of water and runoff will increase by 5% and 6%, respectively. Meanwhile, according to RCP8.5, annual statistics show that rainfall increases by 19%, while water yield and runoff increase by 40% and 65%, respectively, leading to a significant increase in the basin's water balance (Mandal et al, 2021). They evaluated climate change and its impact on hydrological regimes and biomass yield in a tropical basin. The results showed that rainfall increases from 14 to 36% and runoff from 39.7 to 104.1%. Compared to the current period, monsoon runoff is predicted to increase by 100 and 200 percent during the years 2030 and 2080, respectively. The analysis of scenarios under RCP indicates a significant increase in the volume of monsoon runoff during the years 2070 and 2080 and a slight increase during the years 2030 and 2050. During the monsoon season, potential evapotranspiration (PET) and actual evapotranspiration (AET) increased by 2.2-12.7% and 1.0-9.0%, respectively. (Sharma et al, 2022) investigated the hydrological impact of climate change in a tropical basin with a set of five general circulation models (GCMs) and the SWAT (Soil and Water Assessment Tool) hydrological model. The results indicate an overall increase in average runoff of 1.4 and 3.0 percent under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, respectively. At the seasonal scale, winter shows a remarkable increase in runoff with about 38% increase in both RCP 4.5 and RCP 8.5, followed by summer with 17.9% and 18.6% increase for RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios, respectively. It is worth noting that monsoon shows a negative trend in both scenarios with runoff change of -18.6% and -15.5% compared to the base period. Mansouri et al. (2013) investigated the effects of climate change on the water resources of Zarinerood basin using the SWAT model. The results showed that in the coming period, changes will occur not only in the amount of precipitation but also in the pattern of precipitation. Finally, the results show a 28 percent reduction in the runoff entering the Zarinerood dam in the next period compared to the base period. Pourmohammadi et al. (2015) studied the effects of climate change in Tuysarkan watershed in Hamedan with HEC-HMS model. They came to the conclusion that due to the decrease in rainfall caused by climate change, the volume of runoff from each of the sub-basins will decrease from 40.5 million cubic meters in the base period to 34.9 and 35.8 million cubic meters in the future period under scenarios A1B and B1. will receive. It was also found that due to a 10% increase in precipitation due to cloud fertilization, about 2 million cubic meters of runoff volume reduced due to climate change will be compensated. In a research, Tawakli et al. (2016) investigated the effects of climate change on the water resources of the Ilam dam watershed with the SWAT model and reached the results that the average annual discharge was 6.3, 16.9 and 24.1% in the decades of 2020, 2050 and 2080. A2 scenario and 10.9, 8.8 and 13.2 percent under B2 scenario, respectively. Ahmadabadi and Sedighifar (2017) investigated the effects of climate change on the hydro-geomorphological characteristics of the Abriz-Kan basin with the SWAT model. The results showed that the amount of currents and surface runoff at the level of the studied basin in the existing observation period is equal to 10.59 mm; But this amount for the predicted period was estimated to be 21.27 mm due to the increase in the process of urbanization and changes in land use. Melkian et al. (2018) evaluated the effects of climate change on some hydrological characteristics of water sources in Ardabil province. In this research, the CanESM2 model was used to predict temperature and precipitation under three scenarios RCP8.5, RCP4.5, and RCP2.5, as well as the water balance model to simulate water balance components. The results show insignificant and insignificant changes in the total surface flow in the future period in the studied basins compared to

the reference period, however, the change in the main climatic parameters such as precipitation and temperature has an impact of about 30% on the surface flow components, so that the amount of surface flow that flows on the ground It decreases in all periods compared to the base. Falah Kalaki et al. (1400) simulated the effects of climate change using CMIP5 and CMIP6 climate models on the runoff of Tashk-Bakhtegan watershed using a hydrological model (SWAT). Investigating the climate variables of precipitation and minimum and maximum temperature in climate change conditions, temperature increase (1.51-31.3 degrees Celsius) for all models and scenarios and precipitation decrease (4.45-11.15 percent) in most models. and shows scenarios. The simulation of the SWAT hydrological model under climate change conditions showed a decrease in runoff in all 4 stations under SSP scenarios and an increase in runoff in 9 stations under RCP scenarios. The main objective of this paper is to assess the effects of climate change on hydrological processes, such as the Varnab Basin, using 4 future climate prediction models (GCMs) with climate projections of temperature and precipitation under different emission scenarios, downscaled for use as input to the SWAT model. Also, the potential effects of climate change on drought in this basin were evaluated. The results obtained in this study are expected to provide more insight into future water availability in the Kiwi Chai Basin where this type of study is rare, to help local water management authorities make rational decisions to overcome water challenges and plan. Manage water resources in the basin in the context of climate change.

## Methodology

The purpose of this study is to determine the impact of future climate changes on the river flow of Kiwi Chai basin. SWAT model was used to develop different scenarios. Under different climatic conditions in the future, especially with regard to rainfall and temperature, the response of the basin was evaluated. The impact of climate change on hydrology was analyzed in three different time frames: (2021-2040), (2041-2060) and (2061-2080). The 24-year period from 1994 to 2017 was used as the base period. The method used in this study includes the following steps: (1) configuration, calibration and validation of the hydrological model using SWAT (2) spatial and temporal data extraction of GCMs, exponential micro-scale of these data using Lars-wg6 software (3) analysis and Comparative evaluation of fine-scale GCM forecasts with respect to their ability to reproduce the historical climatology for GCM selection (4) to obtain results in SWAT for each scenario considered. (5) Assessing the impact of climate change in the basin by simulating new climate conditions in the calibrated SWAT model.

## Conclusion

The Kiwi Chai river basin is ecologically located in an area that ensures water supply for local communities and is also important in regional development through tourism, agriculture and horticulture. In the present study, the effects of climate change on meteorological variables (i.e. precipitation and temperature) and also on the main hydrological variables (surface runoff) have been analyzed. Future forecasts of precipitation and temperature of four GCMs (EC-EARTH, HadGEM2-ES, MIROC, MPI-ESM) were considered. After analyzing and comparing these predictions, the best model was selected based on its ability to reproduce the historical climate. The SWAT model is a conceptual and distributional model that was applied to quantify the impacts of future climate change on hydrological processes regionalized by HadGEM2-ES for the RCP 4.5 and RCP 8.5 climate scenarios. SWAT reasonably simulated the monthly flow despite the lack of data and the results were compared in the basin based on the base period data for future periods (2061-2080, 2041-2061, 2021-2040). The results of this analysis indicate an annual decrease of 15% (RCP 4.5) and 11% (RCP 8.5) of precipitation at the beginning of the century and 16% (RCP 4.5) and 11% (RCP 8.5) in the middle of the century and 19% (RCP 4.5) and 14 The percentage (RCP 8.5) at the end of the century is based on the base period (1994-2017). The mean annual temperature for the beginning of the century showed 15 and 33% increase, 25 and 33% increase for mid-century and 35 and 52% increase for the end of the century under RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios, respectively. The discharge simulated by the HadGEM2-ES model shows a decreasing trend in all three time periods compared to the base period. The largest decrease occurs in the hot months of the year, when the base discharge is low, which can be attributed to the decrease in precipitation and increase in temperature, followed by the increase in evaporation and transpiration. The long-term average observed discharge of the study area

at the spa station was 3.08 and at Firozabad station 1.95 cubic meters per second, while in the time periods (2061-2080, 2041-2060, 2021-2040) at the spa station, respectively (0.02 , 0.03, 0.02) and in Firozabad station (0.04, 0.05, 0.04). The results show that the availability of water in the medium and long term is significantly affected, and therefore policies should be developed to adapt to climate change to ensure the environmental and economic sustainability of this region.

### **Keywords**

climate change, water balance, hydrological modeling, swat