

## پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر روی دبی حوضه آبریز رودخانه کشف‌رود با استفاده از مدل SWAT

ایمان کاظمی رشخواری<sup>۱</sup>، امیر اسدی وایقان<sup>۱\*</sup> و محمود آذری<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲)

### چکیده

کیفیت و کمیت آب به دلیل تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی به مهم‌ترین نگرانی کشورهای جهان تبدیل شده است. علاوه بر این تغییرات پوشش و کاربری اراضی و اقلیم به عنوان دو عامل مهم و تأثیرگذار بر دبی شناخته شده‌اند. در این پژوهش از چهار مدل تغییر اقلیم HADGEM2-ES، GISS-E-R، CSIRO-M-K-3-6-0، CNRM-CM5.0 تحت دو سناریوی حدی RCP2.6 و RCP8.5 به عنوان سناریوهای تغییر اقلیم در دوره آینده ۲۰۲۰-۲۰۵۰ استفاده شد. سناریوی کاربری اراضی آینده (۲۰۵۰) با استفاده از الگوریتم CA-Markov در نرم‌افزار IDRISI با استفاده از نقشه‌های کاربری زمین در سال‌های ۱۹۸۳ و ۲۰۲۰ تهیه شد. مدل SWAT به منظور شبیه‌سازی بهتر فرایندهای هیدرولوژیک در دوره ۲۰۱۲-۱۹۸۴ واسنجی و برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۱۳ اعتبارسنجی شد و برای ارزیابی اثرات جداگانه و ترکیبی تغییر اقلیم و کاربری اراضی روی دبی مورد استفاده قرار گرفت. پیش‌بینی نتایج تأثیرات تغییر اقلیم بر دبی نشان‌دهنده کاهش دبی در بیشتر مدل‌ها تحت دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 است. متوسط بیشترین میزان کاهش و افزایش تحت سناریوی RCP2.6 به ترتیب ۶۰ و ۳۰ درصد است. این کاهش چشمگیر پیش‌بینی شده تحت سناریوی RCP8.5 بیشتر است. بررسی اثرات توأم تغییر اقلیم و کاربری اراضی نشان داد، متوسط کاهش دبی در ماه‌های اکتبر، نوامبر، دسامبر و ژانویه تحت دو سناریو به ترتیب ۴۶/۲ و ۵۸ درصد است. متوسط افزایش دبی تحت سناریوی RCP8.5 ماه‌های آپریل و می در مدل HadGEM2ES ۴۷ درصد پیش‌بینی شده است.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی، SWAT، هیدرولوژی، کاربری اراضی، تغییر اقلیم، کشف رود

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: a.asadi@urmia.ac.ir

## مقدمه

کیفیت و کمیت آب به دلیل تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی به مهم‌ترین نگرانی کشورهای جهان تبدیل شده است (۱۰). علاوه بر این تغییرات پوشش و کاربری اراضی (Land use and cover change (LUCC)) و تغییر اقلیم به عنوان دو عامل مهم و تأثیرگذار بر دبی شناخته شده‌اند (۱۵). تغییر اقلیم دارای ارکان متعدد و بسیار گسترده‌ای بوده و در نهایت مقدار رطوبت خاک، تغذیه آب‌های زیرزمینی، فراوانی سیلاب و وقوع خشکسالی در مناطق مختلف را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳۵). برخی از پژوهشگران بیان کرده‌اند که پدیده تغییر اقلیم با افزایش همزمان تبخیر و تعرق و بارش به تسریع چشمگیر در تغییرات منابع آب کمک کرده که خود منشأ بسیاری از تغییرات دیگر خواهد بود (۱۳). همچنین بر اساس پژوهش‌های دیگر، تغییرات کاربری اراضی جهانی باعث گسترش جنگل زدایی و کشاورزی در مناطق گرمسیری و تشدید توسعه زمین‌های زراعی و شهرنشینی در مناطق معتدل می‌شود (۲۶). افزایش دمای جهانی و تغییر الگوهای بارش به شدت بر پایداری منطقه‌ای منابع آب تأثیر گذاشته است (۱۶، ۲۰ و ۳۳)؛ بنابراین بررسی تغییر اقلیم و کاربری اراضی دهه‌های آتی و اثرات آن‌ها بر سیستم هیدرولوژیک حوضه آبریز می‌تواند زمینه‌ساز اتخاذ سیاست‌های مؤثر بر شرایط حال و آینده در جهت بهینه‌سازی روش‌های مدیریت همه جانبه حوزه آبریز باشد.

بسیاری از مطالعه‌ها اثرات جداگانه و ترکیبی تغییر اقلیم و کاربری اراضی را بر فرایندهای هیدرولوژیک و منابع آب در حوضه‌های آبریز مختلف در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف بررسی کرده‌اند که نشان‌دهنده اثرات متفاوت تغییر کاربری اراضی و اقلیم بر روی منابع آب در مناطق مختلف است (۹، ۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۳، ۳۱ و ۳۲). برای نمونه آذری و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که در شرایط اقلیمی آینده برای دوره زمانی ۲۰۷۰-۲۰۹۹، مقدار بارندگی سالانه حوضه به میزان ۳/۲ تا ۶/۷ درصد کاهش و رواناب سطحی به میزان ۰/۴ تا ۷/۷ درصد کاهش خواهد یافت (۹). وایقان و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی

اثرات جداگانه و توأم تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر روی دبی حوضه آبریز رودخانه کر دریافتند، تحت توأم تغییر اقلیم و کاربری اراضی، دبی به میزان متوسط ۱۰ درصد در اواخر پاییز و زمستان تحت سناریوهای ترکیبی (RCP 8.5 و تغییر کاربری اراضی ۳۰ و ۶۰ درصد) افزایش و غلظت مواد مغذی متوسط ۴۰ درصد کاهش خواهد یافت (۳۱). بررسی خوش‌روش و ولاشندی (۲۰۲۰) روی اثر سناریوهای تغییر اقلیمی بر مقدار دبی در خروجی سد گلورد نشان‌دهنده تأثیرات تغییر اقلیم بر کاهش دبی خروجی سد در دوره آینده و در نتیجه کاهش ۱۳ درصدی منابع آبی این سد خواهد شد (۱۳). احمدزاده و همکاران (۲۰۲۲) در ارزیابی تأثیر توأم تغییر متغیرهای اقلیمی و کاربری اراضی بر روند تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبی‌چای به این نتیجه رسیدند که بارندگی سالانه در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی روند نزولی داشته و در ۱۰ ایستگاه، روند بارندگی به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. همچنین تبخیر و تعرق پتانسیل حوضه با شیب ۵۴/۲ میلی‌متر در سال دارای روند افزایشی معنی‌دار بوده است (۴). بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی در حوضه آبریز فتام توسط مکونن (Mekonen) و ماندرسو (Manderso) (۲۰۲۳) بیانگر تأثیر چشمگیر تغییر کاربری اراضی بر روی کاهش دبی است؛ بنابراین اثرات تغییر کاربری اراضی بر جریان رودخانه، ملاحظات مهمی برای برنامه ریزی و اجرای پروژه‌های منابع آب در منطقه است و به‌منظور مقابله با خطرات، برنامه‌ریزی مؤثر کاربری اراضی و استراتژی‌های مدیریت آب مقاوم در برابر اقلیم ضروری است (۱۹). اوگاهی و همکاران (۲۰۲۲) از مدل SWAT برای بررسی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر مؤلفه‌های بیلان آبی در حوضه آبریز رودخانه کابل افغانستان استفاده کردند. نتایج پژوهش نشان‌دهنده تفاوت زیاد کاهش در بیلان آبی پیش‌بینی شده توسط هر GCM و از ۴۱ تا ۵۶ درصد در RCP4.5 و ۴۱ تا ۶۱ درصد در RCP8.5 متغیر بوده است. همچنین تحت سناریوهای تغییر کاربری اراضی، مقدار میانگین بیلان آبی سالانه ۹ درصد افزایش

سال ۱۳۴۷ به دلیل افت سطح آب‌های زیرزمینی ممنوعه اعلام شده است و همواره در معرض تغییرات ناشی از عملکرد انسان و سایر عوامل هیدرولوژیک قرار دارد (۲)؛ به‌نحوی که افت آبخوان و فرونشست دشت مشهد همچنان ادامه دارد. از این رو در حال حاضر، آبخوان دشت مشهد یکی از بحرانی‌ترین آبخوان‌های کشور محسوب می‌شود. با توجه به نبود ایستگاه‌های هیدرومتری کافی در سطح حوضه مدنظر، وجود سیلاب‌های آبی مخرب، نبود داده‌های منظم در سطح منطقه و اعمال تغییرات گسترده طی سال‌های اخیر همواره موجب شده است تا اهمیت بررسی تغییرات هیدرولوژیک ناشی از رخداد تغییر اقلیم و کاربری اراضی در مورد حوضه آبریز کشف‌رود ضروری به نظر برسد. در این پژوهش به بررسی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر روی دبی حوضه آبریز رودخانه کشف‌رود با استفاده از مدل SWAT پرداخته شده است. اهداف این پژوهش عبارت‌اند از: (۱) بررسی اثرات جداگانه تغییر کاربری و اقلیم بر روی دبی حوضه (۲) مدل‌سازی هیدرولوژیک حوضه آبریز رودخانه کشف‌رود توسط مدل SWAT و واسنجی و اعتبارسنجی مدل (۳) بررسی اثر توأم تغییر کاربری اراضی و اقلیم بر روی دبی حوضه.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز کشف رود بخشی از حوضه آبریز قره‌قوم است که در شمال شرق کشور و در نواحی شمالی استان خراسان رضوی قرار گرفته است. حوضه آبریز کشف‌رود در میان مختصات جغرافیایی عرض ۳۴ تا ۳۸ درجه شمالی و طول ۵۸ تا ۶۱ درجه شرقی واقع شده است (۱۱). رودخانه‌ای که این حوضه را زهکشی می‌کند، کشف‌رود نام دارد. این رودخانه از کوه‌های هراز و مسجد و بینالود سرچشمه می‌گیرد. طول رودخانه کشف‌رود ۲۹۰ کیلومتر است. پس از طی مسیر طولانی، در محل پل خاتون سرخس به رودخانه هریرود پیوسته و از آنجا به بعد رودخانه تجن نام‌گرفته به سمت ترکمنستان جریان یافته و در ریگزارهای ترکمنستان فرومی‌رود (۱۱). این

و ۱۵ درصد کاهش (سناریوی کاربری اراضی غالب کشاورزی و غالب جنگل کاری) خواهد داشت (۲۳). اگرچه مطالعه‌های متعددی در مورد واکنش فرایندهای هیدرولوژیک به تغییرات کاربری اراضی و اقلیمی به‌صورت جداگانه بحث کرده‌اند، اما بررسی تأثیرات توأم این دو عامل نسبتاً کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

روش مدل‌سازی هیدرولوژیک به دلیل مناسب‌تر بودن نسبت به روش‌های حوضه جفتی (Paired catchment) و تحلیل آماری در مطالعه‌های سناریو در گذشته برای ارزیابی اثرات هیدرولوژیک تغییر کاربری اراضی و اقلیم بکار رفته است. در سال‌های اخیر، مدل هیدرولوژیک توزیعی ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT) به‌طور گسترده در ارزیابی هیدرولوژی و کیفیت آب در حوضه‌های مختلف در دنیا مورد استفاده قرار گرفته است (۱۳، ۱۹، ۲۳ و ۳۵)؛ بنابراین در این مطالعه از مدل SWAT برای ارزیابی پاسخ دبی به تغییرات کاربری اراضی و اقلیم در حوضه آبریز کشف‌رود استفاده شد.

حوزه آبریز کشف‌رود قسمتی از حوزه آبریز قره‌قوم است. حوضه قره‌قوم در سیستم استاندارد تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز به‌عنوان ششمین حوضه اصلی کشور شناخته می‌شود که دارای ۱۳ محدوده مطالعاتی است. حوزه آبریز کشف‌رود ۴ محدوده آق‌بند، نریمانی، مشهد و سنگ بست را شامل می‌شود. این رودخانه به‌عنوان زهکش اصلی شهر مشهد، در سمت شمالی این شهر و از مجاورت شهر توس می‌گذرد. وسعت کل حوضه رودخانه کشف‌رود حدود ۸۹۹۶ کیلومتر مربع است که از این میزان حدود ۶۰ درصد آن در مناطق کوهستانی و ۴۰ درصد آن در مناطق دشتی واقع شده است (۵). گسترش بیش‌ازپیش شهر مشهد به‌عنوان دومین شهر پرجمعیت کشور، گسترش ساخت‌وسازها و لزوم تهیه زمین برای توسعه مسکن منجر به این امر شده است که همواره توجه مردم به سمت تخریب منابع طبیعی را جلب نماید. علاوه‌براین، دشت مشهد به‌عنوان مهم‌ترین دشت استان تحت شرایط رشد شدید جمعیت و توسعه اقتصادی زیادی قرار دارد؛ به‌طوری که این دشت از

مواد مغذی و بیلان مواد شیمیایی در حوضه‌هایی با خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی ارائه شده است. این مدل با ادغام داده‌های مختلف مکانی، زمانی و توصیفی و بر اساس روابط بین این داده‌ها و با استفاده از الگوریتم‌های فیزیکی، رواناب سطحی را در سطح حوضه آبریز شبیه‌سازی می‌کند (۶ و ۲۲). در این مطالعه از افزونه ArcSWAT در محیط ArcGIS (نسخه ۲۰۱۲) برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی در حوضه آبریز کشف‌رود استفاده شد. ابتدا منطقه مورد مطالعه به زیر حوضه‌های کوچکتر بر اساس مدل رقومی ارتفاع و شبکه رودخانه‌ای تقسیم‌بندی می‌شود. سپس زیر حوضه‌ها به واحدهای پاسخ هیدرولوژیک (Hydrological Response Units) بر اساس نوع خاک و کاربری اراضی برای محاسبه اجزای هیدرولوژیک تقسیم‌بندی می‌گردند. خروجی هر HRU به‌طور مستقل در مدل SWAT محاسبه می‌شود. دبی و بار رسوبی محاسبه شده برای هر HRU در کل زیر حوضه تجمیع و سپس برای دستیابی به دبی کل و بار رسوب برای حوضه روندیابی می‌شود (۳۵).

شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژیک حوضه با استفاده از معادله تعادل آب در مقیاس HRU محاسبه می‌شود (۳۵):

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i) \quad (1)$$

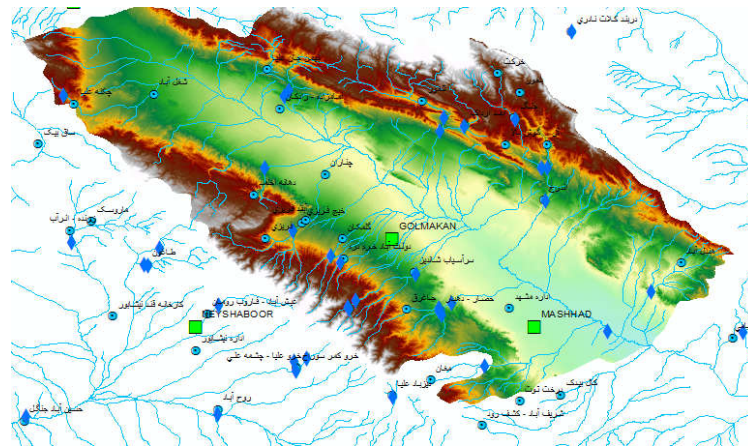
در رابطه ۱  $SW_t$  و  $SW_0$  به ترتیب مقدار نهایی و اولیه آب خاک در روز  $t$  ام بر حسب میلی‌متر (mm) و  $R_i$ ،  $Q_i$ ،  $ET_i$ ،  $P_i$  و  $QR_i$  به ترتیب بارش روزانه بر حسب میلی‌متر (mm)، رواناب سطحی بر حسب میلی‌متر (mm)، پتانسیل تبخیر و تعرق بر حسب میلی‌متر (mm)، نفوذ بر حسب میلی‌متر (mm) و جریان برگشتی بر حسب میلی‌متر (mm) است. همچنین داده‌های ورودی مدل SWAT شامل توپوگرافی، کاربری اراضی، نوع خاک، داده‌های هواشناسی و داده‌های مشاهداتی است (جدول ۱).

در این پژوهش از روش شماره منحنی، هارگریوز - سامانی (Hargreaves-Samani) و مدل ذخیره جنبشی (Kinematic Storage Model) به ترتیب برای شبیه‌سازی دبی، پتانسیل تبخیر و تعرق و جریان زیر قشری در هر لایه خاک استفاده شد. نقشه‌های خاک، کاربری اراضی سال ۱۹۸۳ و ۲۰۲۲

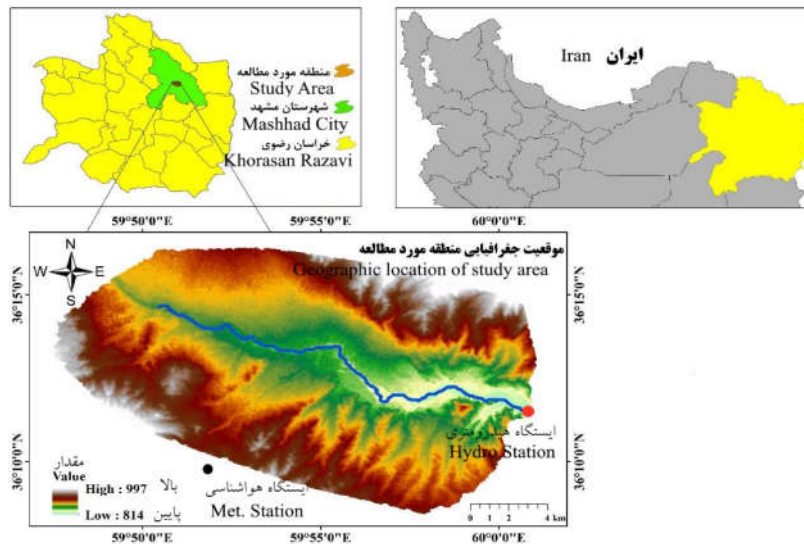
رودخانه به‌عنوان زهکش اصلی شهر مشهد، در سمت شمالی این شهر و از مجاورت شهر توس می‌گذرد. وسعت کل حوضه رودخانه کشف‌رود حدود ۸۹۹۶ کیلومتر مربع است که از این میزان حدود ۶۰ درصد آن در مناطق کوهستانی و ۴۰ درصد آن در مناطق دشتی واقع شده است. از نظر خصوصیات هیدرولوژیک، میزان نزولات در ارتفاع و دشت تفاوت زیادی دارد؛ به‌طوری که در ارتفاعات هزارمسجد ۸۰۰ میلی‌متر و در سطح دشت مشهد ۲۵۰ میلی‌متر گزارش شده است (۲) (شکل ۱). از جمله نکات قابل توجه در مورد حوضه آبریز کشف‌رود، قرارگیری دشت مشهد در مجاورت آن است. دشت مشهد به‌عنوان مرکز عمده فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در وضعیت بسیار بحرانی قرار گرفته است. رشد شدید جمعیت و توسعه اقتصادی باعث افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی در این دشت شده است. از سال ۱۳۴۷ به دلیل افت سطح آب، دشت مشهد به‌عنوان دشت‌های ممنوعه اعلام شده است (۵). در این پژوهش بخشی از حوضه آبریز کشف‌رود (به وسعت ۲۰۴ کیلومتر مربع) که در جنوب شهر مشهد قرار گرفته است، برای مطالعه انتخاب شد (شکل ۲). علت انتخاب این منطقه بارندگی کم، تغییرات گسترده کاربری اراضی، تبخیر و تعرق زیاد (مهدوی وفاخواه و همکاران ۲۰۱۲)؛ محمودی و همکاران (۲۰۲۰)، محدودیت داده در دسترس و نزدیکی به شهر مشهد است (۳۰ و ۱۷).

داده‌های مورد نیاز: داده‌های مورد نیاز شامل نقشه‌های کاربری اراضی، خاک، مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model)، داده‌های هواشناسی و داده‌های مشاهداتی دبی منطقه مورد مطالعه به شرح جدول ۱ تهیه و مورد استفاده قرار گرفت.

مدل SWAT: مدل‌های هیدرولوژیک، ابزار قوی برای شبیه‌سازی تأثیر فرایندهای حوضه آبریز بر منابع آب و خاک هستند. بخش مهم در هر مدل حوضه آبریز، ارزیابی روند بارش - رواناب است که تلاش می‌کند اجزای مختلف رواناب را ارزیابی کند (۲۷). مدل نیمه توزیع یافته SWAT در اوایل سال ۱۹۹۰ توسط مرکز تحقیقات کشاورزی آمریکا، برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مدیریتی متفاوت بر جریان، رسوب،



شکل ۱. حوضه آبریز کشف‌رود به همراه ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی



شکل ۲. موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. داده‌های مورد نیاز منطقه مورد مطالعه

منابع داده	توضیحات	دوره	جزئیات	داده
نقشه جهانی ماهواره آلاسکا (asf.alaska.edu)	—	—	رستر، دقت - ۱۲/۵ متر	مدل رقومی ارتفاعی
اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری نقشه جهانی خاک (fao.org)	طبقه‌بندی کاربری اراضی طبقه‌بندی و خواص فیزیکی خاک	۱۹۸۳-۲۰۲۲ ۲۰۲۲	رستر، دقت - ۲۵۰ متر رستر، دقت - ۲۵۰ متر	نقشه کاربری اراضی نقشه خاک
سازمان هواشناسی (irimo.org)	بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تشعشع مشاهداتی در ایستگاه هواشناسی مشهد	۱۹۵۹-۲۰۲۰	روزانه	داده‌های هواشناسی
اداره کل آب منطقه‌ای خراسان رضوی	دبی جریان روزانه مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری اولنگ اسدی	۱۹۸۴-۲۰۱۹	روزانه	داده‌های مشاهداتی دبی



تغییر اقلیم تعریف و سپس پیش‌بینی آینده اثرات جداگانه تغییر اقلیم روی دبی منطقه مورد مطالعه در مدل SWAT انجام شد.

سناریو کاربری اراضی: در این پژوهش به منظور بررسی نتایج اثرات تغییر کاربری اراضی روی دبی از نقشه کاربری اراضی موجود سال ۱۹۸۳ استفاده شد. ابتدا نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۸۳ از اداره منابع طبیعی استان خراسان رضوی، شهرستان مشهد دریافت شد. سپس برای تهیه نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۲ از تصاویر ماهواره لندست، نرم‌افزار ENVI و تصاویر گوگل ارث سال ۲۰۲۲ استفاده شد. پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی (سناریو کاربری اراضی) برای سال ۲۰۵۰ توسط نرم‌افزار ادیسی-ترست (IDRISI-Terrest) از روش تحلیل زنجیره مارکوف (CA-Markov) انجام گرفت. روش مورد استفاده برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی (LULCCs) در این پژوهش توسط پن (Pan) و همکاران (۲۰۱۷) در چهارچوب نرم‌افزار IDRISI توضیح داده شده است (۲۴). ایجاد نقشه‌های تناسب، محاسبه ماتریس انتقال و پیش‌بینی نقشه LULC سه مرحله از این روش است. ماتریس انتقال LULC توسط مدل زنجیره مارکوف در IDRISI تشکیل می‌شود. سپس با استفاده از ارزیابی چند معیاره (MCE)، نقشه‌های مناسب بودن عناصر محرک احتمالی تغییرات LULC برای هر کلاس LULC تهیه می‌شود. برای ایجاد نقشه‌های تناسب، پارامترهایی از جمله زمین زراعی، پوشش گیاهی، علفزار، منطقه ساخته شده یا شهری و بدنه آبی در نظر گرفته می‌شود. در نهایت، نقشه‌های تناسب و ماتریس انتقال برای پیش‌بینی نقشه‌های LULC استفاده می‌شوند. در این مطالعه، نقشه کاربری آینده LULC2050 با استفاده از الگوریتم CA-Markov در نرم‌افزار IDRISI با استفاده از نقشه‌های کاربری زمین در سال‌های ۱۹۸۳ و ۲۰۲۰ پیش‌بینی شد.

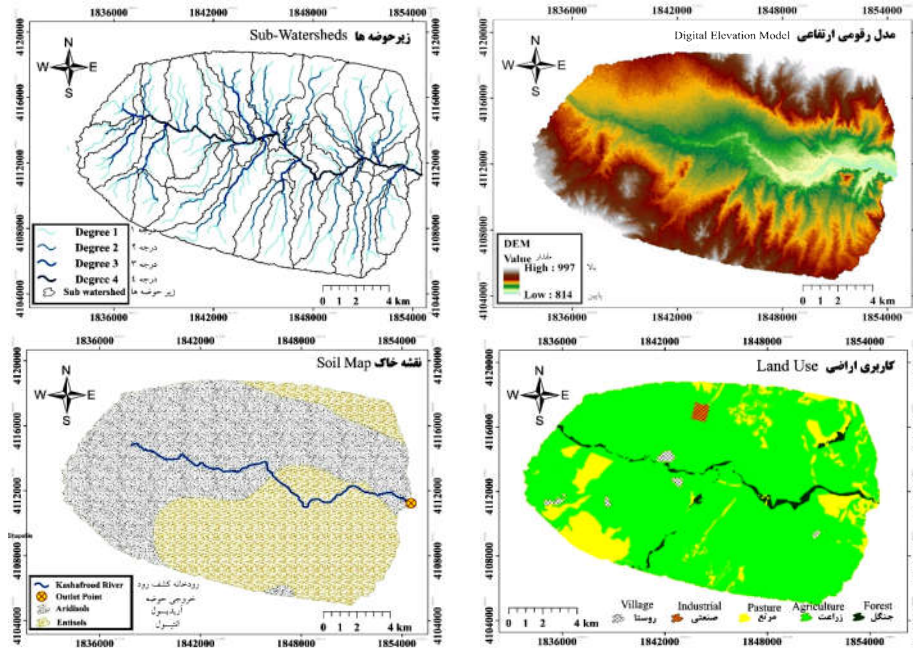
## نتایج و بحث

نتایج پیش‌بینی تغییر اقلیم: در شکل ۴ نتایج پیش‌بینی داده‌های بارش نشان داده شده است. افزایش بارش در پاییز و اوایل زمستان و کاهش بارش در اوایل بهار تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 پیش‌بینی شده است. متوسط افزایش و

تهیه شده توسط تصاویر ماهواره‌ای لندست با استفاده از نرم‌افزار ENVI و تصاویر گوگل ارث سال ۲۰۲۲)، داده‌های هواشناسی (بارش، درجه حرارت کمینه و بیشینه، سرعت باد، تابش خورشیدی، رطوبت نسبی) و داده‌های مشاهداتی دبی وارد مدل SWAT شد (شکل ۳). منطقه مورد مطالعه به ۳۹ زیر حوضه تقسیم‌بندی شد. دوره ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۲ (دوره ۲۸ ساله) به‌عنوان دوره واسنجی و ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ (دوره ۷ ساله) به‌عنوان دوره اعتبارسنجی مورد بررسی قرار گرفت.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT: پارامترهای مدل SWAT ممکن است به‌طور قابل توجهی توسط داده‌های ورودی برای دوره‌های مختلف تحت تأثیر قرار گیرد. به‌منظور شبیه‌سازی بهتر فرایندهای هیدرولوژیک، مدل در دوره ۲۰۱۲-۱۹۸۴ واسنجی و برای دوره ۲۰۱۳-۲۰۱۹ اعتبارسنجی شد. الگوریتم SUFI-2 (نسخه ۲ برآزش عدم قطعیت متوالی) در SWAT-CUP (برنامه عدم قطعیت واسنجی SWAT) (۱) برای تجزیه و تحلیل حساسیت پارامتر و بهینه‌سازی پارامترها استفاده شد. پارامترهای آماری نش‌سانتکلیف (NSE)، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و درصد انحراف (PBIAS) برای هر دوره برای ارزیابی عملکرد شبیه‌سازی مدل استفاده شد. به‌طور کلی، NSE از بی‌نهایت منفی تا ۱، محدوده  $R^2$  از ۰ تا ۱، و محدوده PBIAS از بی‌نهایت است. علاوه‌براین، همان‌طور که توسط مورایسی و همکاران (۲۰۱۵) توصیه شده است، معیارهای عملکرد برای پارامترهای آماری  $R^2$ ، NSE، و PBIAS برای دبی در جدول ۲ ارائه شده است (۲۱). بر اساس تحلیل حساسیت انجام شده در مطالعات قبلی (۱۹، ۲۳، ۳۴ و ۳۵)، ۱۲ پارامتر حساس مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی در جدول ۳ معرفی و مقادیر میزان حساسیت، دامنه و مقدار نهایی انتخاب شده آورده شده است.

سناریوهای تغییر اقلیم: از داده‌های چهار مدل تغییر اقلیم CSIRO-M-K-3-6-0، GISS-E-R، HADGEM2-ES، CNRM-CM5.0 تحت دو سناریوی حدی RCP2.6 و RCP8.5 به‌عنوان سناریوهای تغییر اقلیم در دوره آینده ۲۰۲۰-۲۰۵۰ استفاده شد. از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری (مولد هواشناسی لارس) برای ریزمقیاس‌نمایی سناریوهای تغییر اقلیم استفاده شد. هشت سناریوی



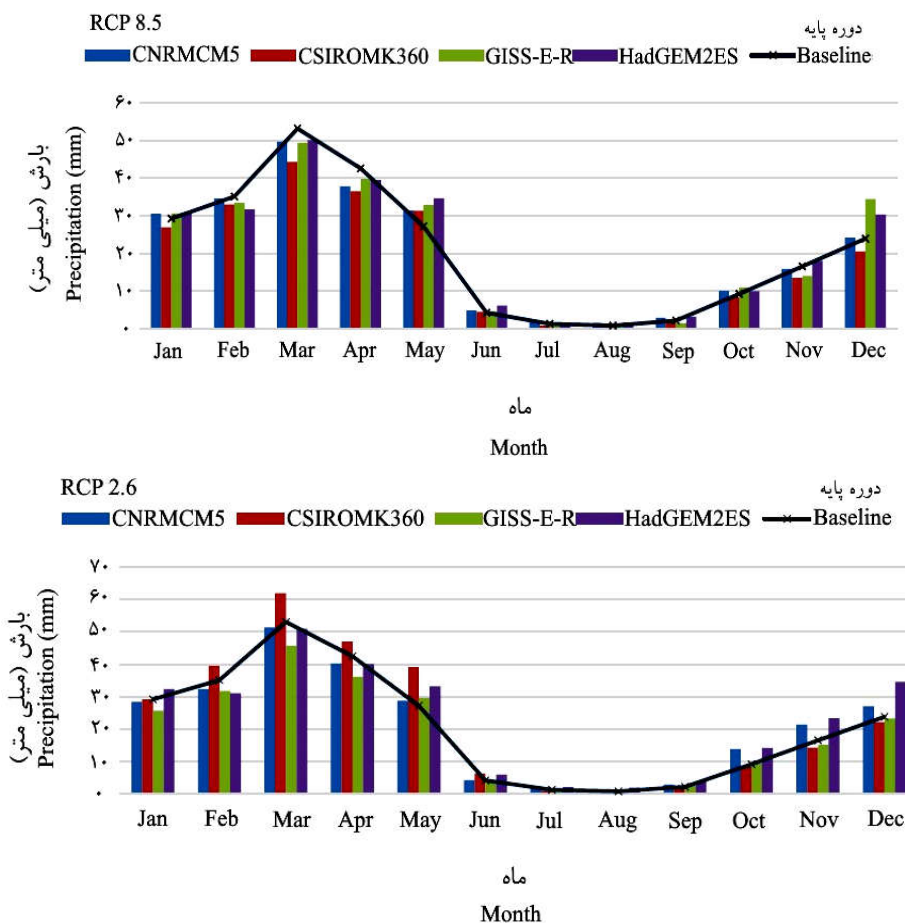
شکل ۳. نقشه‌ها و لایه‌های موردنیاز مدل SWAT

جدول ۲. ارزیابی کارایی مدل در شبیه‌سازی دبی (۲۱)

نامناسب	مناسب	خوب	بسیار خوب	شاخص‌ها	المان‌ها
$R^2 < 0.60$	$0.75 < R^2 < 0.85$	$0.75 < R^2 < 0.85$	$R^2 > 0.85$	$R^2$	
$NSE < 0.50$	$0.50 < NSE < 0.70$	$0.70 < NSE < 0.80$	$NSE > 0.80$	NSE	دبی
$PBIAS \geq \pm 15$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$	$\pm 5 \leq PBIAS < \pm 10$	$PBIAS < \pm 5$	PBIAS	

جدول ۳. پارامترهای حساس مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی

مقدار نهایی	دامنه	درجه حساسیت (۳۴)	تعریف	پارامتر
۰/۸۶	۳۵-۹۸	۶	شماره منحنی رواناب در شرایط رطوبتی متوسط	CN2.mgt
۰/۸۷	۰-۱	۲	ضریب آلفا جریان پایه (روز)	ALPHA_BF.gw
۴۲۷	۰-۵۰۰	۱	زمان تأخیر آب زیرزمینی (روز)	GW_DELAY.gw
۲۲۶۳	۰-۵۰۰۰	۱	عمق آستانه آب موردنیاز در سفره کم‌عمق برای جریان برگشت (میلی‌متر)	GWQMN.gw
۰/۵	۰-۱	۲	عامل جبران جذب آب به‌وسیله گیاه	EPCO.hru
۹۸/۷	۰-۵۰۰	۲	کمینه مقدار ذخیره آب در سفره کم‌عمق	REVAPMN.gw
۰/۱	۰-۱	۱	ظرفیت آب قابل دسترس خاک	SOL_AWC().sol
۰/۸۷	۰-۱	۵	ضریب تبخیر آب زیرزمینی	GW_REVAP.gw
۰/۵۳	۰-۱	۱	درصد تغذیه آبخوان عمیق	RCHRG_DP.gw
۰/۵۵	-۰/۰۱-۰/۳	۳	ضریب زبری مانینگ برای آبراهه اصلی	CH_N2.rte
۱۶/۸	۰/۰۵-۲۴	—	زمان تأخیر رواناب سطحی	SURLAG.bsn
۹۸/۷	۰-۱	۲	ضریب آلفای جریان پایه برای ذخیره‌سازی لبه آبراهه	ALPHA_BNK.rte



شکل ۴. پیش‌بینی بارش در دوره آینده ۲۰۲۰-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه ۱۹۸۳-۲۰۲۰

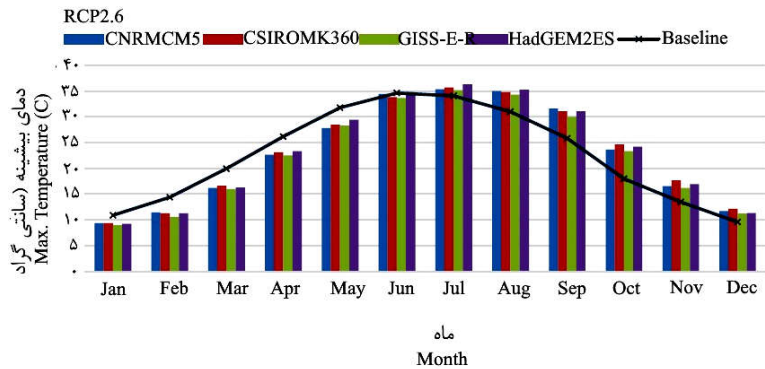
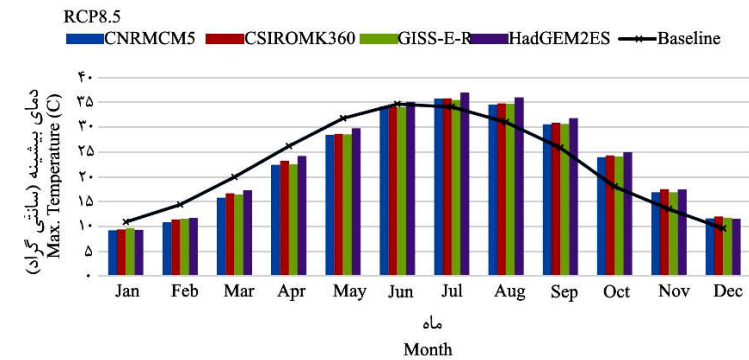
بیشینه را پیش‌بینی کرده‌اند. متوسط بیشترین افزایش و کاهش به ترتیب ۳۱/۴ درصد در ماه اکتبر و ۲۰/۳ درصد در ماه فوریه تحت سناریوی RCP2.6 است. همچنین تحت سناریوی RCP8.5 این افزایش و کاهش به ترتیب ۳۲/۸ و ۲۴/۴ درصد در ماه‌های مشابه است. روند مشابه افزایش و کاهش به ترتیب در فصول تابستان و پاییز و در زمستان و بهار در دمای کمینه تحت دو سناریو پیش‌بینی شده است (شکل ۶). روند افزایش و کاهش دما در دمای کمینه بطور چشمگیری نسبت به دمای بیشینه شدیدتر است.

خسروی و آذری (۲۰۲۲)، با بررسی روند مکانی و زمانی تغییرات دما و بارش در حوضه آبریز کشف‌رود نشان دادند که در فصل زمستان مقدار بارش حوضه روند کاهشی داشته است و در پاییز نیز در نیمه جنوبی افزایشی است. کاهش شدید بارش در زمستان و ماه‌های دی و بهمن و افزایش آن در آبان

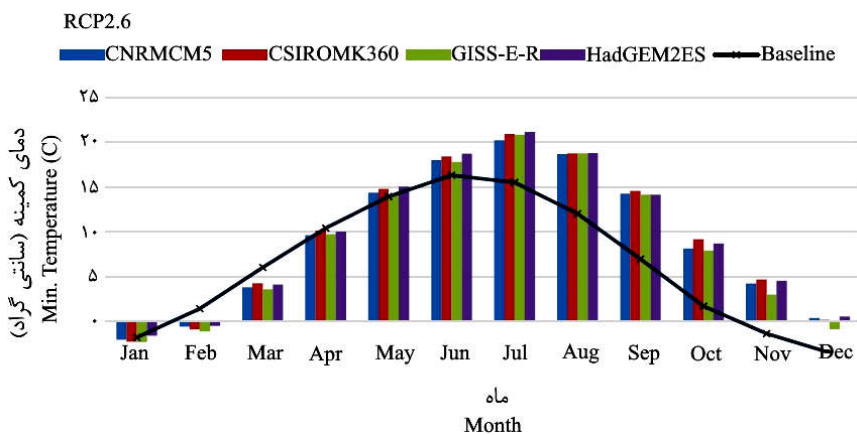
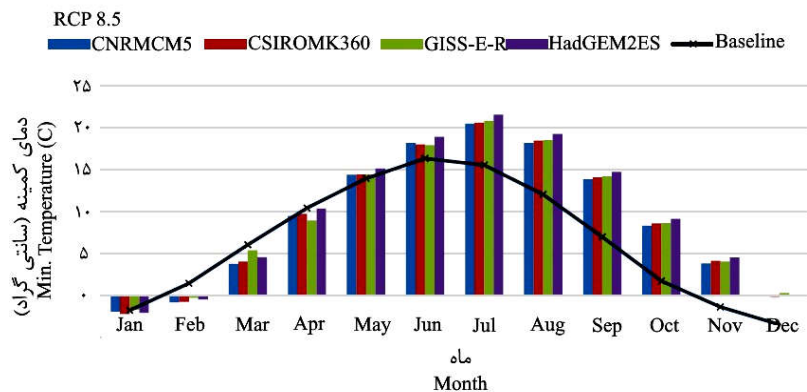
کاهش بارش تحت سناریوی RCP2.6 به ترتیب ۳۱/۴ و ۴ درصد و تحت سناریوی RCP8.5 به ترتیب ۴/۹ و ۵/۸ درصد است. بیشترین افزایش و کاهش بارش تحت سناریوی RCP2.6 به ترتیب در مدل‌های HadGEM2ES (۵۴/۷ درصد در ماه اکتبر) و GISS-E-R (۱۸/۳ درصد در ماه ژوئن) پیش‌بینی شده است. همچنین تحت سناریوی RCP8.5 به ترتیب در مدل‌های HadGEM2ES (۴۵/۷ درصد در ماه ژوئن) و GISS-E-R (۳۳/۸ درصد در ماه سپتامبر) افزایش و کاهش بارش پیش‌بینی شده است.

شکل ۵ نشان‌دهنده پیش‌بینی دمای بیشینه تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 در دوره آینده ۲۰۲۰-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه ۱۹۸۳-۲۰۲۰ است. هر دو سناریو در فصول تابستان، پاییز و اوایل زمستان افزایش و در اواخر زمستان و بهار، کاهش دمای





شکل ۵. پیش‌بینی دمای بیشینه در دوره آینده ۲۰۲۰-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه ۱۹۸۳-۲۰۲۰



شکل ۶. پیش‌بینی دمای کمینه در دوره آینده ۲۰۲۰-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه ۱۹۸۳-۲۰۲۰

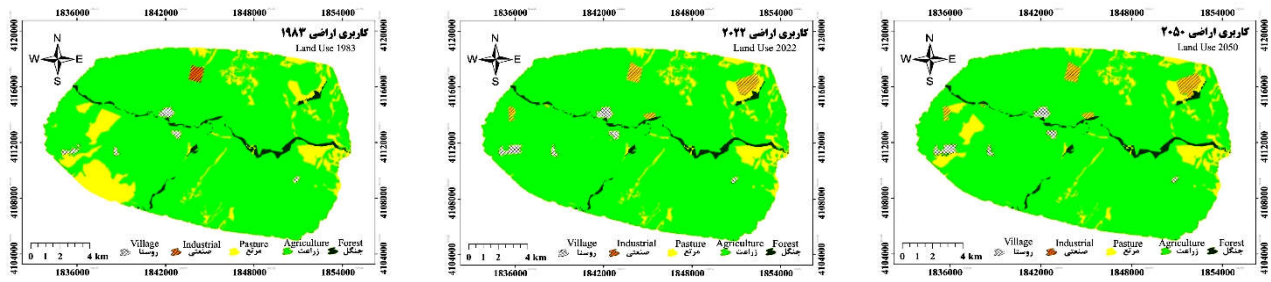
کارایی مدل NSE،  $R^2$  و PBIAS به ترتیب ۰/۷۱، ۰/۷۲ و ۹/۹ در دوره واسنجی و ۰/۷۲، ۰/۷۴ و ۱۷/۱ به دست آمد (جدول ۴). بر اساس موریاوسی و همکاران (۲۰۱۵) می توان دریافت، کارایی مدل در شبیه سازی دبی در منطقه مورد مطالعه مناسب است (جدول ۲). به طور کلی، مدل SWAT را می توان به عنوان مدل کارا و قابل اعتماد برای شبیه سازی پاسخ های هیدرولوژیک مطالعه های حوضه آبریز در نظر گرفت (۲۱ و ۳۵). یزدی و همکاران (۲۰۲۳) در ارزیابی مدل SWAT در برآورد جریان و رسوب در حوضه آبریز کشف رود، مقدار NSE در ایستگاه هیدرومتری اولنگ اسدی در دوره واسنجی ۰/۶۵ به دست آمده است. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد، مدل عملکرد مناسبی داشته و می توان با سطح اطمینان زیادی برای مقاصد برآورد و اجرای سناریوهای مختلف مورداستفاده قرار گیرد (۳۴).

نتایج بررسی تغییر اقلیم بر دبی: نتایج شبیه سازی اثرات تغییر اقلیم بر دبی منطقه مورد مطالعه تحت سناریوهای تغییر اقلیم در شکل ۹ نشان داده شده است. تحت سناریوی RCP2.6 دبی در تمام ماه ها به جز ماه می و آپریل در مدل HadGEM2ES کاهش یافته است. متوسط بیشترین میزان کاهش و افزایش تحت این سناریو به ترتیب ۶۰ و ۳۰ درصد است. این کاهش چشمگیر پیش بینی شده تحت سناریوی RCP8.5 بیشتر است. علت کاهش دبی را می توان به تغییرات پیش بینی بارش و دما در آینده مرتبط دانست. اگر چه افزایش بارش در پاییز و اوایل زمستان و کاهش بارش در اوایل بهار تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 پیش بینی شده است، اما به نظر می رسد افزایش دمای بیشینه و کمینه در فصول تابستان، پاییز و اوایل زمستان تأثیر بیشتری بر دبی منطقه مورد مطالعه داشته است. خسروی و آذری (۲۰۲۲) به این نکته در پژوهش خود اشاره کرده اند که در فصل زمستان مقدار بارش حوضه روند کاهشی داشته است و در پاییز نیز در نیمه جنوبی افزایشی است. کاهش شدید بارش در زمستان و ماه های دی و بهمن و افزایش آن در آبان می تواند مدیریت منابع آب حوضه را در فصل خشک با چالش جدی مواجه کند (۱۴). همچنین وفاخواه و همکاران (۲۰۱۲) به این نتیجه رسیدند که در دوره

می تواند مدیریت منابع آب حوضه را در فصل خشک با چالش جدی مواجه کند (۱۴). این الگوی تغییرات در پژوهش اشاره شده با نتایج مطالعه حاضر مطابقت قابل قبولی را نشان می دهد. نتایج به دست آمده از پیش بینی بارش در این پژوهش با نتایج وفاخواه و همکاران (۲۰۱۲) که روند افزایشی بارندگی در فصل پاییز و کاهش در بهار را در حوضه کشف رود مشاهده کرده اند، همخوانی دارد (۳۰). عسکری زاده و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی اثرات تغییر اقلیم، افزایش دما را برای دوره آینده در شهر مشهد و حوضه های اطراف پیش بینی کرده اند (۷).

نتایج تعیین سناریوی کاربری اراضی آینده: در این پژوهش به منظور بررسی نتایج اثرات تغییر کاربری اراضی روی دبی از نقشه کاربری اراضی نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۵۰ تهیه شد. پیش بینی کاربری اراضی (سناریو کاربری اراضی) برای سال ۲۰۵۰ توسط نرم افزار IDRISI از روش تحلیل زنجیره مارکوف (CA-Markov) و با استفاده از دو نقشه کاربری اراضی ۱۹۸۳ و ۲۰۲۰ انجام گرفت. شکل ۷ نقشه های کاربری اراضی مورد استفاده (۱۹۸۳ و ۲۰۲۰) و نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۵۰ را نشان می دهد. بر اساس نقشه کاربری اراضی ۱۹۸۳، بیش از ۷۰ درصد منطقه مورد مطالعه کاربری کشاورزی است. مقایسه کاربری اراضی ۲۰۲۰ با ۱۹۸۳ نشان دهنده افزایش کاربری کشاورزی، صنعتی و روستا در منطقه است. همچنین بر اساس سناریوی تغییر کاربری اراضی آینده، کاربری صنایع با افزایش ۱۰ درصدی روبرو خواهد شد. بر اساس مطالعات محمودی و همکاران (۲۰۲۰) بیشترین درصد تغییر کاربری اراضی بین سال های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ در حوضه آبریز کشف رود مراتع فقیر و اراضی مسکونی بوده است. افزایش درصد اراضی مسکونی و گسترش مرتع فقیر به علت رشد چشمگیر جمعیت و فعالیت های انسانی و بی توجهی به وضعیت منابع طبیعی بوده است (۱۷).

نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT: در این مطالعه به منظور شبیه سازی و پیش بینی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی توسط مدل SWAT، مدل در دوره ۲۰۱۲-۱۹۸۴ واسنجی و برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۱۳ اعتبارسنجی شد. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب در جدول ۴ و شکل ۸ آورده شده است. معیارهای ارزیابی

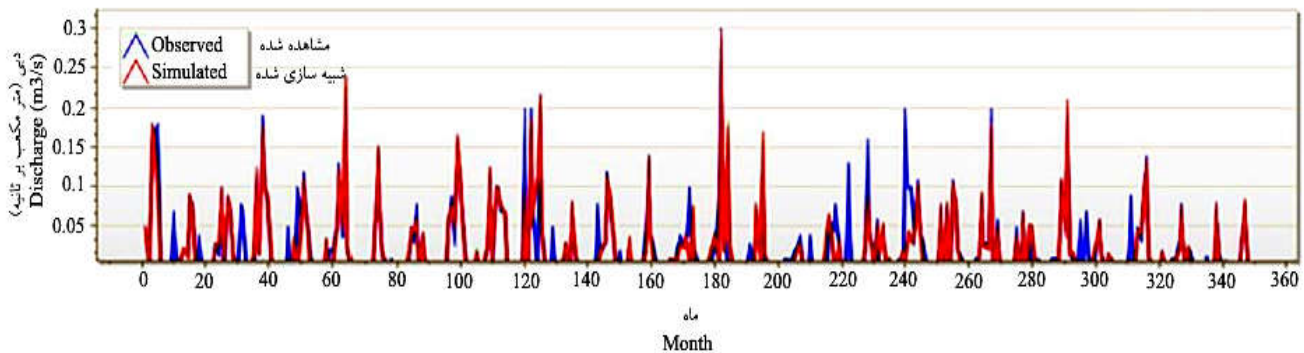


شکل ۷. نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۳، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰

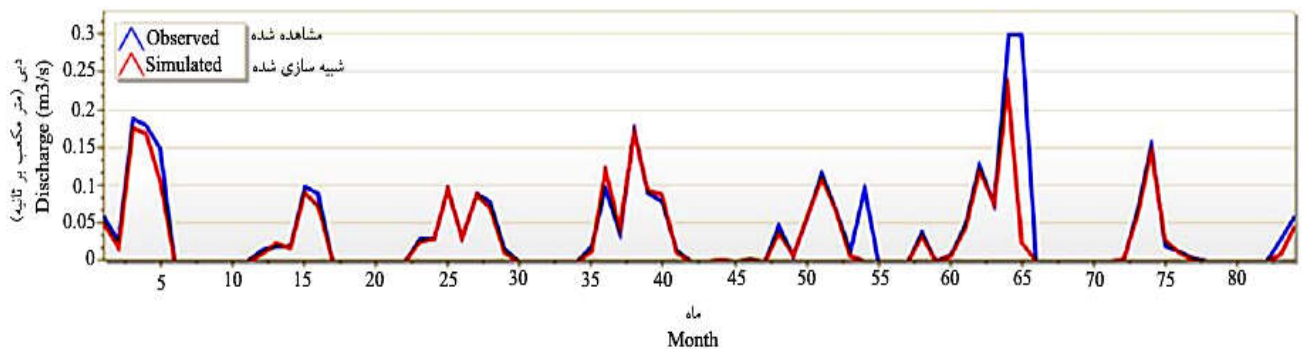
جدول ۴. نتایج ارزیابی کارایی مدل در شبیه‌سازی دبی

ایستگاه	دوره ارزیابی	طول دوره (سال)	R <sup>2</sup>	NSE	PBIAS
اولنگ اسدی	واسنجی	۲۸	۰/۷۲	۰/۷۱	۹/۹
	اعتبارسنجی	۷	۰/۷۴	۰/۷۲	۱۸/۱

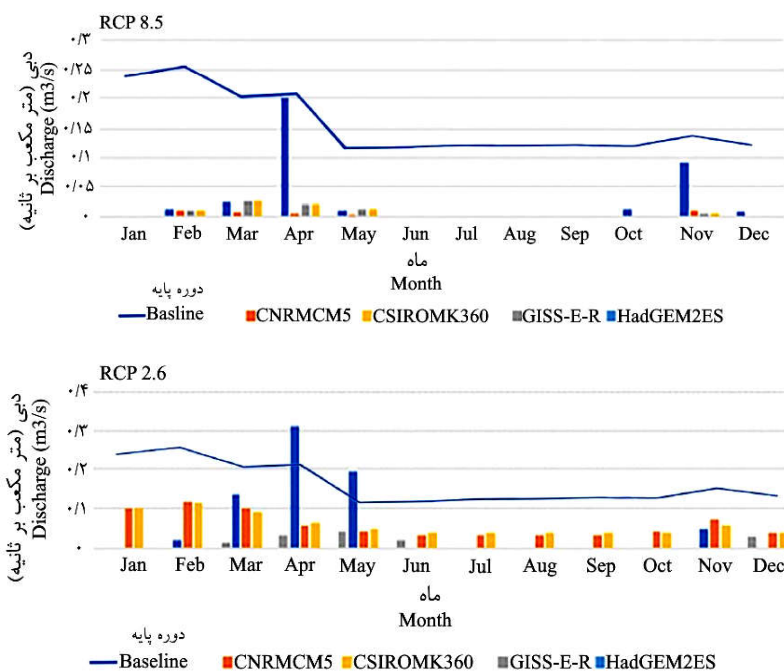
Flow Calibration دبی واسنجی



Flow Validation دبی اعتبارسنجی



شکل ۸. دبی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی (۲۰۱۲-۱۹۸۴) و اعتبارسنجی (۲۰۱۹-۲۰۱۳)



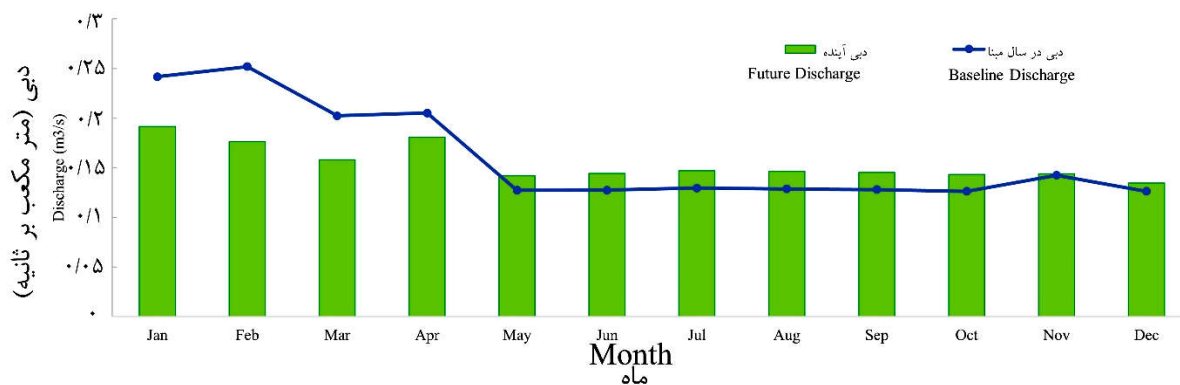
شکل ۹. نتایج تأثیر تغییر اقلیم بر دبی منطقه مورد مطالعه در دوره آینده ۲۰۲۰-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه ۲۰۱۹-۱۹۸۴

سطوح نفوذپذیر در حوضه افزایش یافته و این امر باعث افزایش نفوذ و در نتیجه کاهش دبی می‌شود. همچنین با توسعه کاربری مسکونی و شهری باعث افزایش مناطق نفوذناپذیر شده و کاهش دبی را به همراه دارد (۳۱، ۳۲ و ۳۵). مکنون و ماندرسو (۲۰۲۳) به این موضوع در پژوهش خود تأکید داشته‌اند که تغییرات در کاربری اراضی تأثیر چشمگیری بر خروجی رواناب، نرخ نفوذ و ظرفیت نگهداری آب خاک در حوضه آبریز دارد. همچنین کاهش دبی در فصول تر و افزایش دبی در فصول خشک را با افزایش کاربری اراضی کشاورزی و دیگر تغییرات کاربری اراضی مرتبط دانسته‌اند (۱۹).

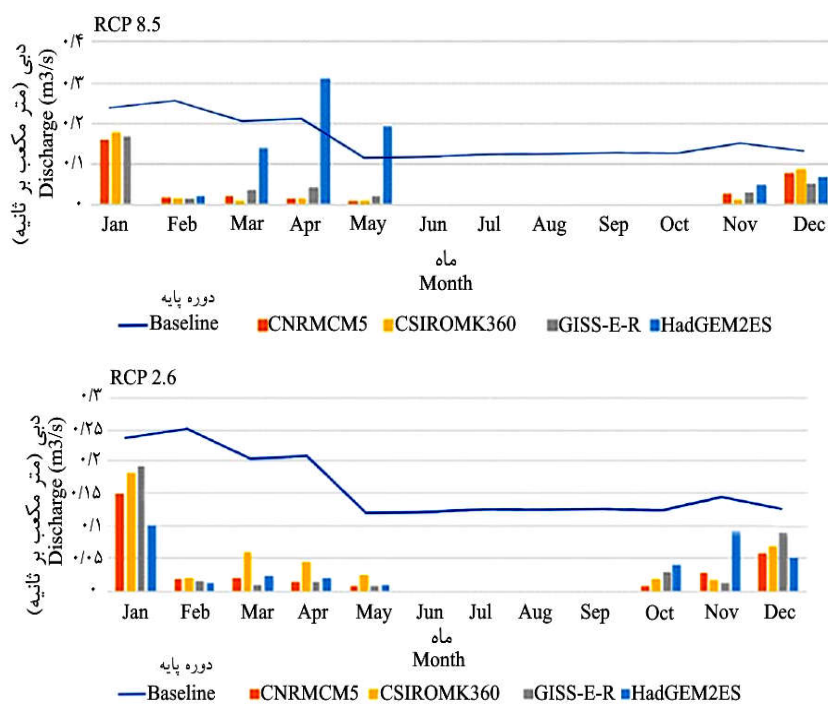
نتایج تأثیرات توأم تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر دبی: نتایج پیش‌بینی تأثیرات توأم تغییر کاربری اراضی و اقلیم بر دبی در دوره آینده نسبت به دوره پایه نشان‌دهنده کاهش دبی در تمامی ماه‌ها در سناریوی RCP2.6 است. در سناریوی RCP8.5 نیز دبی در همه ماه‌ها به جز ماه‌های آپریل و می در مدل HadGEM2ES با کاهش روبرو شده است (شکل ۱۱). متوسط کاهش دبی در ماه‌های اکتبر، نوامبر، دسامبر و ژانویه تحت دو سناریو به ترتیب ۴۶/۲ و ۵۸ درصد است. متوسط افزایش دبی تحت سناریوی RCP8.5 ماه‌های آپریل و می در مدل HadGEM2ES ۴۷ درصد پیش‌بینی شده است.

آماري ۱۳۸۵-۱۳۵۱ به جز دو ایستگاه هیدرومتری بدون روند، مابقی ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی دبی بوده‌اند (۳۱). این روند کاهشی در این مطالعه برای دوره آینده نیز پیش‌بینی شده است. در پژوهش دیگر، آفاخانی افشار و همکاران (۲۰۱۷) به این نتیجه دست یافتند که در تمامی مناطق حوضه آبریز کشف‌رود به‌طور متوسط دمای حوضه بین ۰/۵۶ تا ۳/۳ درجه افزایش و بارش به میزان ۱۰/۷ درصد تا انتهای قرن ۲۱ کاهش خواهد یافت (۳). این موضوع در راستای نتایج این پژوهش می‌تواند باعث کاهش چشمگیر دبی در حوضه شود.

نتایج تأثیر تغییر کاربری اراضی بر دبی: اثرات تغییر کاربری اراضی بر دبی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نتایج نشان‌دهنده کاهش دبی در فصول تابستان، پاییز و اوایل زمستان و کاهش در اواخر زمستان و بهار است. متوسط بیشترین افزایش و کاهش دبی به ترتیب ۳۰ و ۱۳/۷ درصد در ماه‌های فوریه و آگوست است. با توجه به این نکته که منطقه مورد مطالعه یک منطقه غالب از نظر کشاورزی است، می‌توان گفت تغییرات آینده در کاربری اراضی کشاورزی و گسترش کشاورزی بیشتر از گسترش کاربری مسکونی و شهری بر دبی تأثیرگذار خواهد بود. با توسعه کاربری کشاورزی



شکل ۱۰. تأثیر پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی بر دبی



شکل ۱۱. نتایج تأثیر توأم تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر دبی منطقه مورد مطالعه در دوره آینده ۲۰۲۰-۲۰۵۰

نسبت به دوره پایه ۱۹۸۴-۲۰۱۹

حالت شدیدی به خود می‌گیرد؛ به طوری که در برخی ماه‌های سال دبی صفر و در برخی ماه‌ها افزایش یا کاهش چشمگیری داشته است. این موضوع حساسیت دبی را به هر دو تغییر اقلیم و کاربری اراضی در تمامی مدل‌های اقلیمی و تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 نشان می‌دهد. اصغری سرکانرود و پورفرشزاده (۲۰۲۲) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که حساسیت پاسخ هیدرولوژیک ماه‌های با دبی زیاد نسبت به سایر ماه‌ها در قبال

باتوجه به نتایج جداگانه تأثیر تغییر اقلیم (متوسط بیشترین میزان افزایش و کاهش تحت سناریوی RCP2.6 به ترتیب ۳۰ و ۶۰ درصد) و کاربری اراضی (متوسط بیشترین افزایش و کاهش دبی به ترتیب ۳۰ و ۱۳/۷ درصد) می‌توان نتیجه گرفت که کاهش و افزایش دبی تحت تأثیر توأم تغییرات اقلیم و کاربری اراضی بیشتر بوده است؛ بنابراین با تغییر کاربری اراضی به خصوص در بخش کشاورزی و کاهش میزان بارش و افزایش دما، میزان تغییرات دبی



RCP8.5 است. علت کاهش دبی را می‌توان به تغییرات پیش‌بینی بارش و دما در آینده مرتبط دانست. اگر چه افزایش بارش در پاییز و اوایل زمستان و کاهش بارش در اوایل بهار تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 پیش‌بینی شده است، اما افزایش دمای بیشینه و کمینه در فصول تابستان، پاییز و اوایل زمستان می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر بیشتری بر دبی منطقه مورد مطالعه باشد. سناریوی کاربری اراضی سال ۲۰۵۰ نشان‌دهنده کاهش دبی در فصول تابستان، پاییز و اوایل زمستان و کاهش در اواخر زمستان و بهار است. باتوجه‌به این نکته که منطقه مورد مطالعه یک منطقه غالب از نظر کشاورزی است، می‌توان گفت تغییرات آینده در کاربری اراضی کشاورزی و گسترش کشاورزی بیشتر از گسترش کاربری مسکونی و شهری بر دبی تأثیرگذار خواهد بود. بررسی اثرات توأم تغییر اقلیم و کاربری اراضی نشان داد، در منطقه مورد مطالعه دبی بیشتر به تغییر اقلیم حساس بوده و کمتر از تغییر کاربری اراضی تأثیر پذیرفته است. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش مشمول عدم قطعیت‌های ذاتی هر تحلیل مبتنی بر سناریو است. عدم قطعیت‌های ناشی از خروجی مدل‌های اقلیمی، روش‌های ریزمقیاس‌نمایی و مدل هیدرولوژیک در این پژوهش مورد بررسی قرار نگرفته است. اگرچه وجود عدم قطعیت در نتایج مطالعه‌های ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی به دلیل مشخص نبودن وضعیت اقتصادی و اجتماعی آینده جامعه بشری اجتناب‌ناپذیر است، اما بررسی جداگانه و ترکیبی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی می‌تواند برای مدیران و تصمیم‌گیرندگان منابع آب در تهیه و تطبیق راهبردهایی برای کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی در حوزه آبریز مفید واقع شود.

تغییرات کاربری زمین بیشتر بوده است. در نتیجه تغییرات دبی در ماه‌های بهار نسبت به ماه‌های زمستان در اثر این حساسیت بالا بیشتر است (۸). علاوه بر این، باتوجه‌به شباهت بزرگی و جهت تغییرات در دبی تحت تأثیر جداگانه تغییر اقلیم و توأم تغییرات کاربری اراضی و اقلیم، می‌توان دریافت که در منطقه مورد مطالعه دبی بیشتر به تغییر اقلیم حساس بوده و کمتر از تغییر کاربری اراضی تأثیر پذیرفته است. این موضوع توسط پژوهش‌های متعددی مورد تأیید قرار گرفته است (۲۳، ۲۵، ۲۹، ۳۱، ۳۲ و ۳۵). اگرچه در پژوهش‌های دیگر تغییرات کاربری اراضی نقش مهم‌تری در تغییرات دبی نسبت به تغییر اقلیم داشته است (۱۲، ۱۹ و ۲۸).

### نتیجه‌گیری

این پژوهش به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی روی دبی حوزه آبریز کشف‌رود با استفاده از مدل SWAT انجام گرفت. مدل برای دبی در مقیاس ماهانه واسنجی و اعتبارسنجی شد. تأثیرات جداگانه و ترکیبی سناریوهای تغییر اقلیم و کاربری اراضی روی دبی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، افزایش بارش در پاییز و اوایل زمستان و کاهش بارش در اوایل بهار تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 پیش‌بینی شد. فصول تابستان، پاییز و اوایل زمستان افزایش دما و در اواخر زمستان و بهار کاهش دما تحت دو سناریو مشاهده شد. بر اساس معیارهای ارزیابی کارایی مدل NSE،  $R^2$  و PBIAS به‌دست‌آمده، مدل SWAT را می‌توان به‌عنوان مدل کارا و قابل‌اعتماد برای شبیه‌سازی دبی در منطقه مورد مطالعه قلمداد کرد. پیش‌بینی نتایج تأثیرات تغییر اقلیم بر دبی نشان‌دهنده کاهش دبی در بیشتر مدل‌ها تحت دو سناریو RCP2.6 و

### منابع مورد استفاده

1. Abbaspour, K. C., C. A. Johnson and M. T. Van Genuchten. 2004. Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. *Vadose Zone Journal* 3(4):1340-1352.

2. Abedini, M., F. Pour Farrash Zadeh and M. Gharachorlu. 2021. Analysis and Modeling of the Relationship between Monthly Discharge and Geomorphometric Characteristics (Case Study: Kashafrud Watershed). *Geography and Environmental Planning* 32(4): 29-44 (in Farsi).
3. Aghakhani Afshar, A., Y. Hassanzadeh, A. A. Besalatpour and M. Pourreza Bilondi. 2017. Annual assessment of Kashafrud watershed basin climate components in future periods by using fifth report of intergovernmental panel on climate change. *Journal of Water and Soil Conservation* 23(6): 217-233 (in Farsi).
4. Ahmadzadeh, H., A. Fakheri Fard and M. Tajrishy. 2022. Evaluation of the Simultaneous Effect of Changes of Climatic Variables and Land Use on the Actual Evapotranspiration Trend Using the SWAT Model in the Ajichi Basin. *JWSS-Isfahan University of Technology* 26(3): 15-34 (in Farsi).
5. Akbari, M., M. R. Jarge and H. Madani Sadat. 2012. Assessment of decreasing of groundwater-table using Geographic Information System (GIS) (Case study: Mashhad Plain Aquifer). *Journal of Water and Soil Conservation* 16(4): 63-78 (in Farsi).
6. Arnold, J. G., R. Srinivasan, R. S. Muttiah and J. R. Williams. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 34(1): 73-89.
7. Askarizadeh, S., G. Mozaffari, and A. Mazidy. 2017. Projections of Variation in precipitation extrem values in Sabzevar by LARS-WG downscaling model during 2011-2030 to 2046-2065. *Physical Geography*, 9(34): 63-82 (in Farsi).
8. Asghari Saraskanrood, S. and F. Pourfarrash Zadeh. 2022. Study the landuse change and its effects on the hydrologic regime in main catchments of Binalood county. *Journal of RS and GIS for Natural Resources* 13(2): 84-106 (in Farsi).
9. Azari, M., H. R. Moradi, B. Saghafian and M. Faramarzi. 2012. Assessment of Hydrological Effects of Climate Change in Gorganroud River Basin. *Water and Soil* 27(3): 537-547 (in Farsi).
10. Bangash, R. F., A. Passuello, M. Sanchez-Canales, M. Terrado, A. López, F. J. Elorza and M. Schuhmacher. 2013. Ecosystem services in Mediterranean river basin: climate change impact on water provisioning and erosion control. *Science of the Total Environment* 458: 246-255.
11. Dehghan, P., M. Hosseinpour Moghadam, G. Lashkaripour and M. Ghafouri. 2013. Investigating the geomorphological features of the Kashfrud watershed in northeastern of Iran, The 8<sup>th</sup> Conference of Engineering and Environmental Geology of Iran, Mashhad, Iran (in Farsi).
12. Fan, M. and H. Shibata. 2015. Simulation of watershed hydrology and stream water quality under land use and climate change scenarios in Teshio River watershed, northern Japan. *Ecological Indicators* 50: 79-89.
13. Khoshravesh, M. and R. Norooz Valashedi. 2020. Investigation the effect of climate change scenarios on the monthly flow discharge at the outlet of Gelevar Dam. *Journal of Water and Soil Conservation* 27(4): 23-43. (in Farsi)
14. Khosravi, A. and M. Azari. 2022. Spatio-temporal trend and change detection of temperature and precipitation of Kashafrud basin. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences* 22(66): 289-306 (in Farsi).
15. Kim, J., J. Choi, C. Choi and S. Park. 2013. Impacts of changes in climate and land use/land cover under IPCC RCP scenarios on streamflow in the Hoeya River Basin, Korea. *Science of the Total Environment* 452: 181-195.
16. Kundu, S., D. Khare and A. Mondal. 2017. Individual and combined impacts of future climate and land use changes on the water balance. *Ecological Engineering* 105: 42-57.
17. Mahmoodi, M., M. Honarmand, F. Naseri and S. Mohammadi. 2020. The Effect of Land Use Changes on the Flood Hydrograph in the Kashaf-Rood River by Analyzing of SCS-CN Results. *Water and Soil* 34(1): 43-54 (in Farsi).
18. Malmir, M., O. Mohamadrezapour, S. Sharifazari and G. Ghandehari. 2016. The effect of climate change on stream flow used Statistical downscaling of HADCM3 model and Artificial Neural Networks. *Journal of Water and Soil Conservation* 23:3. 317-326 (in Farsi).
19. Mekonnen, Y. A., and T. M. Manderso. 2023. Land use/land cover change impact on streamflow using Arc-SWAT model, in case of Fetam watershed, Abbay Basin, Ethiopia. *Applied Water Science* 13(5): 111.
20. Milly, P. C., K. A. Dunne and A. V. Vecchia. 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature* 438(7066): 347-350.
21. Moriasi, D. N., M. W. Gitau, N. Pai and P. Daggupati. 2015. Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Transactions of the ASABE* 58(6): 1763-1785.
22. Neitsch, S. L., J. G. Arnold, J. R. Kiniry and J. R. Williams. 2011. Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. Texas Water Resources Institute. College Station, TX, USA.
23. Ougahi, J. H., S. Karim and S. A. Mahmood. 2022. Application of the SWAT model to assess climate and land use/cover change impacts on water balance components of the Kabul River Basin, Afghanistan. *Journal of Water and Climate Change* 13(11): 3977-3999.
24. Pan, S., D. Liu, Z. Wang, Q. Zhao, H. Zou, Y. Hou and L. Xiong. 2017. Runoff responses to climate and land use/cover changes under future scenarios. *Water* 9(7): 475.

25. Praskievicz, S. and H. Chang. 2011. Impacts of climate change and urban development on water resources in the Tualatin River Basin, Oregon. *Annals of the Association of American Geographers* 101(2): 249-271.
26. Song, X. P., M. C. Hansen, S. V. Stehman, P. V. Potapov, A. Tyukavina, E. F. Vermote and J. R. Townshend. 2018. Global land change from 1982 to 2016. *Nature* 56(7720): 639-643.
27. Tang, F. F., H. S. Xu and Z. X. Xu. 2012. Model calibration and uncertainty analysis for runoff in the Chao River Basin using sequential uncertainty fitting. *Procedia Environmental Sciences* 13: 1760-1770.
28. Tong, S. T., Y. Sun, T. Ranatunga, J. He and Y. J. Yang. 2012. Predicting plausible impacts of sets of climate and land use change scenarios on water resources. *Applied Geography* 32(2): 477-489.
29. Tu, J. 2009. Combined impact of climate and land use changes on streamflow and water quality in eastern Massachusetts, USA. *Journal of Hydrology* 379(3-4): 268-283.
30. Vafakhah, M., M. B. Tiraghani and M. Khazaee. 2012. Analysis of Rainfall and Discharge Trend in Kashafrud Watershed *Geography and Development* 10(29): 77-90. (in Farsi)
31. Vaighan, A. A., N. Talebbeydokhti and A. M. Bavani. 2017. Assessing the impacts of climate and land use change on streamflow, water quality and suspended sediment in the Kor River Basin, Southwest of Iran. *Environmental Earth Sciences*. 76: 1-18.
32. Vaighan, A. A., N. Talebbeydokhti, A. M. Bavani and P. Whitehead. 2019. Modeling impacts of climate and land use change on streamflow, nitrate, and ammonium in the Kor River, southwest of Iran. *Journal of Water and Climate Change* 10(4): 818-834.
33. Xie, Z., X. Mu, P. Gao, C. Wu and D. Qiu. 2021. Impacts of climate and anthropogenic activities on streamflow regimes in the Beiluo river, China. *Water* 13(20): 2892.
34. Yazdi, J., A. Khazaiepol, M. Karrabi and F. Zrezadeh. 2023. Assessment of soil and water tools (SWAT) in estimating flow and sediment in an arid and semi-arid region (Case study: Kashfarud basin). *Civil engineering and new technologies* 1(1): 11-22 (in Farsi).
35. Zhang, L., Y. Jiang, M. Yang, H. Wang, N. Dong, H. Wang, X. Liu, L. Chen and K. Liu. 2022. Quantifying the Impacts of Land Use and Cover Change (LUCC) and Climate Change on Discharge and Sediment Load in the Hunhe River Basin, Liaoning Province, Northeast China. *Water* 14(5): 737.

## **Impacts of Climate Change and Land Use on the Discharge of Kashflood Basin Using SWAT Model**

**I. Kazemi Roshkhari<sup>1</sup>, A. Asadi Vaighan<sup>1\*</sup> and M. Azari<sup>2</sup>**

(Received: October 29-2023 ; Accepted: December 23-2023)

### **Abstract**

Due to climate change and human activities, the quality and quantity of water have become the most important concern of most of the countries in the world. In addition, changes in land use and climate are known as two important and influential factors in discharge. In this research, four climate change models including HADGEM2-ES, GISS-E-R, CSIRO-M-K-3-6-0, and CNRM-CM5.0 under two extreme scenarios RCP2.6 and RCP8.5 were used as climate change scenarios in the future period of 2020-2050. The future land use scenario (2050) was prepared using the CA-Markov algorithm in IDRISI software using land use maps in 1983 and 2020. The SWAT model was calibrated to better simulate hydrological processes from 1984 to 2012 and validated from 2013 to 2019 and was used to evaluate the separate and combined effects of climate change and land use on discharge. The prediction of the climate change impact on discharge showed a decrease in most of the models under the two scenarios RCP2.6 and RCP8.5. The average maximum decrease and increase under the RCP2.6 scenario is 60 and 30 percent, respectively. This significant reduction is greater than that predicted under the RCP8.5 scenario. Examining the combined effects of climate and land use change revealed that the average decrease in discharge in the months of October, November, December, and January under two scenarios is 46.2 and 58%, respectively. The average increase in discharge is predicted to be 47% under the RCP8.5 in the months of April and May in the HadGEM2ES.

**Keywords:** Modeling, SWAT, Hydrology, Land-use, Climate change, Kashflood

---

1. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.

2. Department of Range and Watershed Management, College of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.

\*: Corresponding author, Email: a.asadi@urmia.ac.ir