

## پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر روی دبی حوضه آبریز رودخانه کشف رود 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 به‌عنوان 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 به‌عنوان 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 به‌منظور شبیه‌سازی بهتر فرایندهای هیدرولوژیک در دوره ۲۰۱۲-۱۹۸۴ واسنجی و برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۱۳ اعتبار سنجی شد و جهت ارزیابی اثرات جداگانه و ترکیبی تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر روی دبی مورد استفاده قرار گرفت. پیش‌بینی نتایج تأثیرات تغییر اقلیم بر دبی نشان دهنده کاهش دبی در اکثر 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 قابل ملاحظه 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 به‌عنوان 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 محققان اذعان داشته‌اند که پدیده تغییر اقلیم با افزایش همزمان تبخیر و تعرق و بارش به تسریع چشمگیر در تغییرات منابع آب کمک کرده که خود منشاء بسیاری از تغییرات دیگر خواهد بود (۱۳). همچنین بر اساس تحقیقات 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 (۲۰، ۱۶ و ۳۳). لذا 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 مطالعات 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). به‌عنوان مثال 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) بر روی اثر سناریوهای تغییر اقلیمی بر مقدار دبی در خروجی سد گلورد نشان دهنده 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 قابل ملاحظه 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 جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر مؤلفه‌های بیلان آبی در حوضه آبریز رودخانه کابل، افغانستان استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان دهنده 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 و

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). به نحوی که افت آبخوان و فرونشست دشت مشهد همچنان ادامه دارد. از این‌رو در حال حاضر، آبخوان دشت مشهد یکی از بحرانی‌ترین آبخوان‌های کشور محسوب می‌شود. با توجه به نبود ایستگاه‌های هیدرومتری کافی در سطح حوضه مورد نظر، وجود سیلاب‌های آبی مخرب، نبود داده‌های منظم در سطح منطقه و اعمال تغییرات گسترده در 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 تحقیق 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 تحقیق عبارتند 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 کشف‌رود 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 نام گرفته به سمت ترکمنستان جریان یافته و در ریگزارهای ترکمنستان فرو می‌رود (۱۱). این

۱۵ درصد کاهش (سناریوی کاربری اراضی غالب کشاورزی و غالب جنگل کاری) خواهد داشت (۲۳). اگرچه مطالعات متعددی در مورد واکنش فرایندهای هیدرولوژیک به تغییرات کاربری اراضی و اقلیمی به صورت 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 مطالعات سناریو در گذشته جهت ارزیابی اثرات هیدرولوژیک تغییر کاربری اراضی و اقلیم بکار رفته است. در سال‌های اخیر، مدل هیدرولوژیک توزیعی ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT) به طور 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 جهت 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 بیش از پیش 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 بنماید. علاوه بر این، دشت مشهد به‌عنوان مهم‌ترین دشت استان تحت شرایط رشد شدید جمعیت و توسعه اقتصادی بالایی قرار دارد، به طوری که این دشت از

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) جهت ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی در حوضه آبریز کشف رود 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 جهت 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 جهت 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):

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

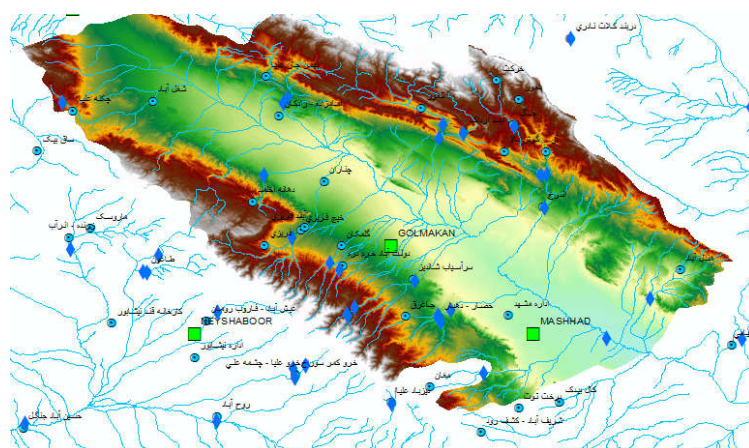
در رابطه ۱  $SW_t$  و  $SW_0$  به ترتیب مقدار نهایی و اولیه آب خاک در روز  $t$  ام بر حسب میلی‌متر (mm) و  $R_i$ ،  $Q_i$ ،  $ET_i$ ،  $P_i$  و  $QR_i$  به ترتیب بارش روزانه بر حسب میلی‌متر (mm)، رواناب سطحی بر حسب میلی‌متر (mm)، پتانسیل تبخیر و تعرق بر حسب میلی‌متر (mm)، نفوذ بر حسب میلی‌متر (mm) و 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 تحقیق از روش شماره منحنی، هارگریوز-سامانی (Hargreaves-Samani) و مدل ذخیره جنبشی (Kinematic Storage Model) به ترتیب جهت شبیه‌سازی دبی، پتانسیل تبخیر و تعرق و جریان زیر قشری در هر لایه خاک استفاده شد. نقشه‌های خاک، کاربری اراضی سال ۱۹۸۳ و ۲۰۲۲

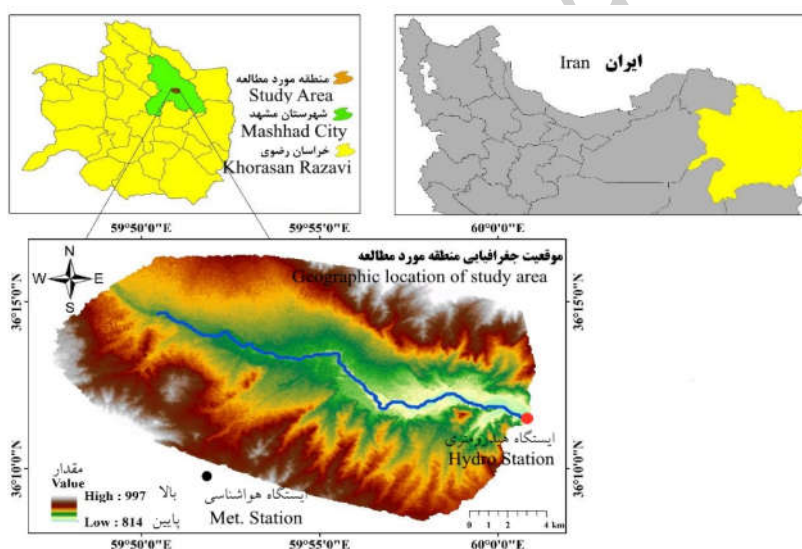
رودخانه به‌عنوان زهکش اصلی شهر مشهد، در سمت شمالی این شهر و از مجاورت شهر توس می‌گذرد. وسعت کل حوضه رودخانه کشف‌رود حدود ۸۹۹۶ کیلومتر مربع است که از این میزان حدود ۶۰ درصد آن در مناطق کوهستانی و ۴۰ درصد آن در مناطق دشتی واقع شده است. از نظر خصوصیات هیدرولوژیک، میزان نزولات در ارتفاع و دشت تفاوت زیادی دارد. به‌طوری‌که 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 تحقیق بخشی از حوضه آبریز کشف‌رود (به وسعت ۲۰۴ کیلومترمربع) که در جنوب شهر مشهد قرار گرفته جهت مطالعه انتخاب شد (شکل ۲). علت انتخاب این منطقه بارندگی کم، تغییرات گسترده کاربری اراضی، تبخیر و تعرق بالا (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، مواد مغذی



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 رقمی 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

سناریوی تغییر اقلیم تعریف و سپس پیش‌بینی آینده اثرات جداگانه تغییر اقلیم بر روی دبی منطقه مورد مطالعه در مدل SWAT انجام شد. سناریو کاربری اراضی: در این پژوهش به منظور بررسی نتایج اثرات تغییر کاربری اراضی بر 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 جهت 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 ادریسی-ترست (IDRISI-Terrest) از روش تحلیل زنجیره مارکوف (CA-Markov) انجام گرفت. روش مورد استفاده جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی (LULCCs) در این تحقیق توسط پن (Pan) و همکاران (۲۰۱۷) در چهارچوب نرم‌افزار IDRISI توضیح داده شده است (۲۴). ایجاد نقشه‌های تناسب، محاسبه ماتریس انتقال و پیش‌بینی نقشه LULCC سه مرحله از این روش است. ماتریس انتقال LULCC توسط مدل زنجیره مارکوف در IDRISI تشکیل می‌شود. سپس، با استفاده از ارزیابی چند معیاره (MCE)، نقشه‌های مناسب بودن عناصر محرک احتمالی تغییرات LULCC برای هر کلاس LULCC 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 LULCC استفاده می‌شوند. در این مطالعه، نقشه کاربری آینده LULCC2050 با استفاده از الگوریتم CA-Markov در نرم‌افزار IDRISI با استفاده از نقشه‌های کاربری زمین در سال‌های ۱۹۸۳ و ۲۰۲۰ پیش‌بینی شد.

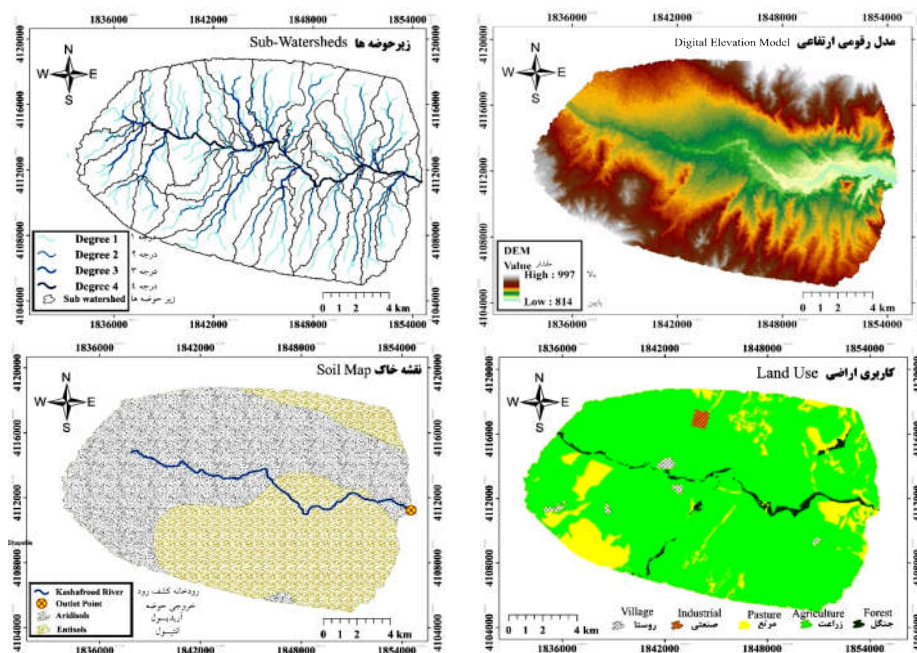
## نتایج و بحث

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 حداقل و حداکثر، 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 اعتبار سنجی 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 اعتبار سنجی شد. الگوریتم SUFI-2 (نسخه ۲ برازش 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. علاوه بر این، 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 ریز مقیاس‌نمایی آماری (مولد هواشناسی لارس) جهت ریز مقیاس‌نمایی سناریوهای تغییر اقلیم استفاده شد. هشت



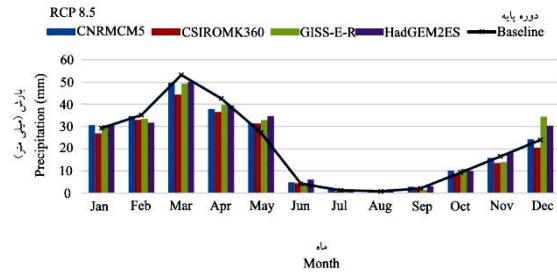
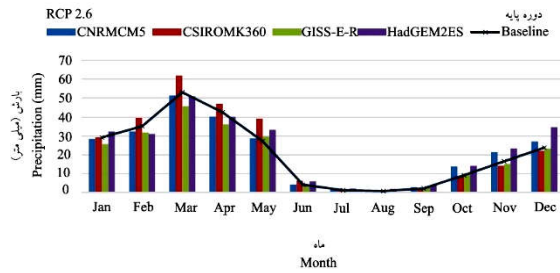
شکل ۳. نقشه‌ها و لایه‌های مورد نیاز مدل SWAT

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 تاخیر آب زیرزمینی (روز)	GW_DELAY.gw
۲۲۶۳	۰-۵۰۰۰	۱	عمق آستانه آب مورد نیاز در سفره کم عمق برای جریان برگشت (میلی‌متر)	GWQMN.gw
۰/۵	۰-۱	۲	عامل جبران جذب آب به وسیله گیاه	EPCO.hru
۹۸/۷	۰-۵۰۰	۲	کمینه مقدار ذخیره آب در سفره کم عمق	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 تاخیر رواناب سطحی	SURLAG.bsn
۹۸/۷	۰-۱	۲	ضریب آلفای جریان پایه برای ذخیره سازی لبه آبراهه	ALPHA_BNK.rte



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

و در پاییز نیز در نیمه جنوبی افزایشی است. کاهش شدید بارش در زمستان و ماه‌های دی و بهمن و افزایش آن در آبان می‌تواند مدیریت منابع آب حوضه را در فصل خشک با چالش جدی مواجه کند (۱۴). این الگوی تغییرات در تحقیق اشاره شده با نتایج مطالعه حاضر مطابقت قابل قبولی را نشان می‌دهد. نتایج به‌دست آمده از پیش‌بینی بارش در این تحقیق با نتایج وفاخواه و همکاران (۲۰۱۲) که روند افزایشی بارندگی در فصل پاییز و کاهشی در بهار را در حوضه کشف‌رود مشاهده کرده‌اند همخوانی دارد (۳۰). عسکری زاده و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی اثرات تغییر اقلیم افزایش دما را برای دوره آینده در شهر مشهد و حوضه‌های اطراف پیش‌بینی کرده‌اند (۷).

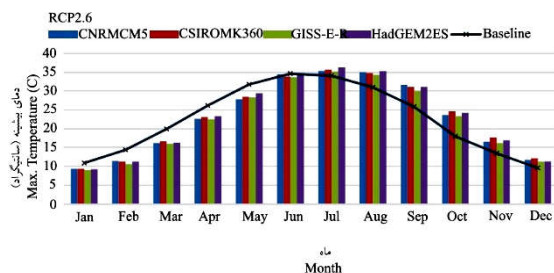
نتایج تعیین سناریوی کاربری اراضی آینده: در این پژوهش به‌منظور بررسی نتایج اثرات تغییر کاربری اراضی بر روی دبی از نقشه کاربری اراضی نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۵۰ تهیه شد. پیش‌بینی کاربری اراضی (سناریو کاربری اراضی) برای سال ۲۰۵۰ توسط نرم‌افزار IDRISI از روش تحلیل زنجیره مارکوف (CA-Markov) و با استفاده از دو نقشه کاربری اراضی ۱۹۸۳ و ۲۰۲۰ انجام گرفت. شکل ۷ نقشه‌های کاربری اراضی مورد استفاده (۱۹۸۳ و ۲۰۲۰) و نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۵۰ را نشان می‌دهد. بر اساس نقشه کاربری اراضی ۱۹۸۳، بیش از ۷۰ درصد منطقه مورد مطالعه کاربری کشاورزی است. مقایسه کاربری اراضی ۲۰۲۰ با ۱۹۸۳ نشان‌دهنده 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.

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.

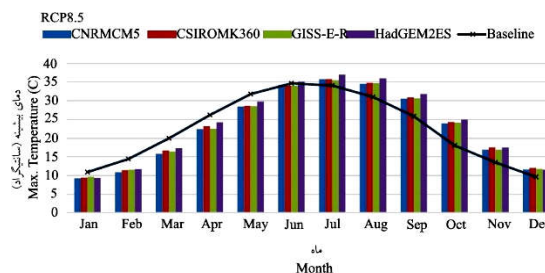
شکل ۵ نشان دهنده پیش‌بینی دمای بیشینه تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 در دوره آینده ۲۰۲۰-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه ۱۹۸۳-۲۰۲۰ است. هر دو سناریو در فصول تابستان، پاییز و اوایل زمستان افزایش و در اواخر زمستان و بهار کاهش دمای بیشینه را پیش‌بینی کرده‌اند. متوسط بیشترین افزایش و کاهش به ترتیب ۳۱/۴ درصد در ماه 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 قابل ملاحظه‌ای 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

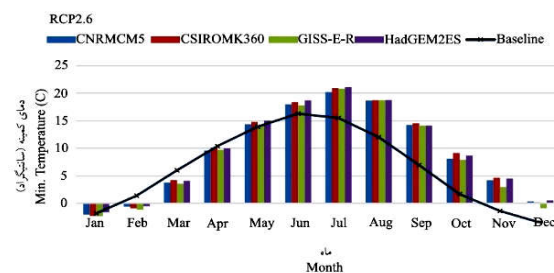




شکل ۵. پیش‌بینی دمای بیشینه در دوره آینده ۲۰۲۰-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه ۱۹۸۳-۲۰۲۰



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



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

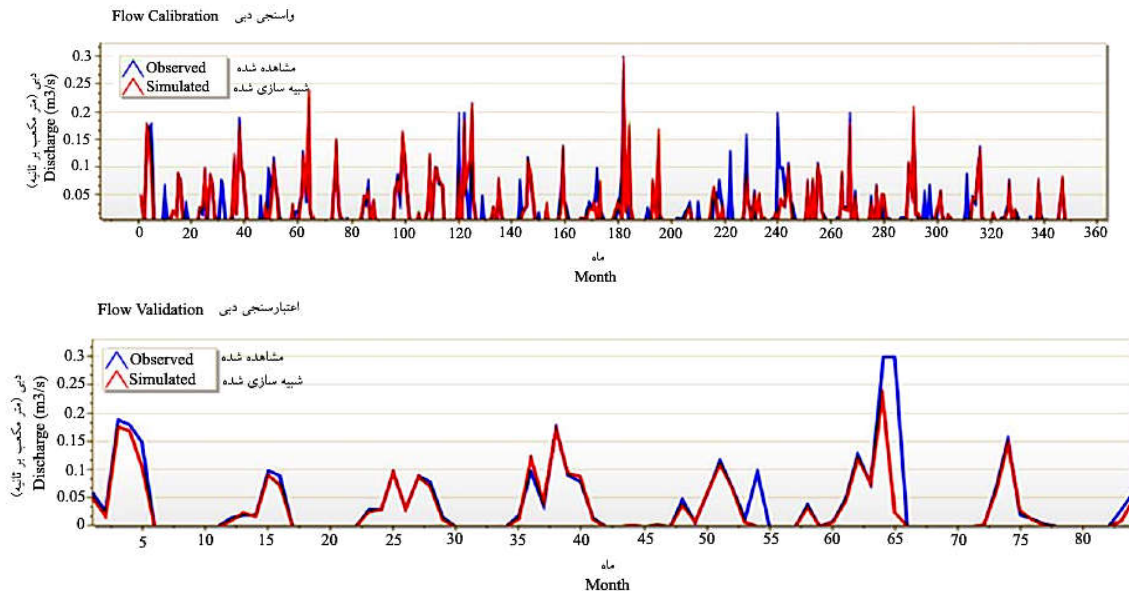
شده است. معیارهای ارزیابی کارایی مدل  $R^2$ ،  $PBIAS$  و  $NSE$  به ترتیب  $0/71$ ،  $0/72$  و  $9/9$  در دوره واسنجی و  $0/74$  و  $1/1$  به دست آمد (جدول ۴). بر اساس موریاوسی و همکاران (۲۰۱۵) می‌توان دریافت که کارایی مدل در شبیه‌سازی دبی در منطقه مورد مطالعه مناسب است (جدول ۲). به طور کلی، مدل SWAT را می‌توان به‌عنوان مدل کارا و قابل اعتماد جهت شبیه‌سازی پاسخ‌های هیدرولوژیک مطالعات حوضه آبریز در نظر گرفت (۲۱ و ۳۵). یزدی و همکاران (۲۰۲۳) در ارزیابی مدل SWAT در برآورد جریان و رسوب در حوضه آبریز کشف‌رود مقدار  $NSE$  در ایستگاه هیدرومتری اولنگ اسدی در دوره واسنجی  $0/65$  به دست آمده است. همچنین نتایج این

بر اساس مطالعات محمودی و همکاران (۲۰۲۰) بیشترین درصد تغییر کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ در حوضه آبریز کشف‌رود مراتع فقیر و اراضی مسکونی بوده است. افزایش درصد اراضی مسکونی و گسترش مرتع فقیر به علت رشد قابل ملاحظه جمعیت و فعالیت‌های انسانی و بی‌توجهی به وضعیت منابع طبیعی بوده است (۱۷).

نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT: در این مطالعه به‌منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی 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

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

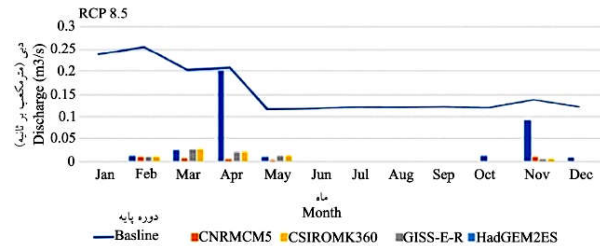
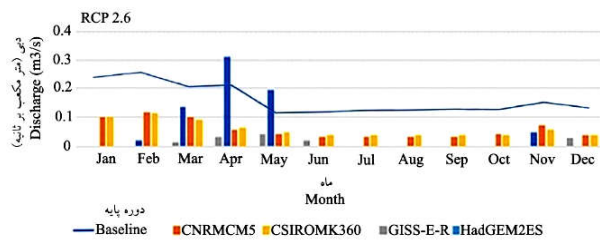


شکل ۸. دبی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی (۱۹۸۴-۲۰۱۲) و اعتبارسنجی (۲۰۱۳-۲۰۱۹)

به نظر می‌رسد 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 تحقیق خود اشاره کرده‌اند 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 می‌تواند 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 آماری 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 تحقیق دیگر توسط آقاخانی افشار و همکاران (۲۰۱۷) به این نتیجه دست یافتند که در تمامی مناطق حوضه آبریز کشف‌رود

تحقیق نشان داد که مدل عملکرد مناسبی داشته و می‌توان با سطح اطمینان بالایی برای مقاصد برآورد و اجرای سناریوهای مختلف مورد استفاده قرار گیرد (۳۴).

نتایج بررسی تغییر اقلیم بر دبی: نتایج شبیه‌سازی 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 ماه‌ها به جز ماه می و آپریل در مدل HadGEM2ES کاهشی بوده است. متوسط بیشترین میزان کاهش و افزایش تحت این سناریو به ترتیب ۶۰ و ۳۰ درصد است. این کاهش قابل ملاحظه پیش‌بینی شده تحت سناریوی RCP8.5 بیشتر 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



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

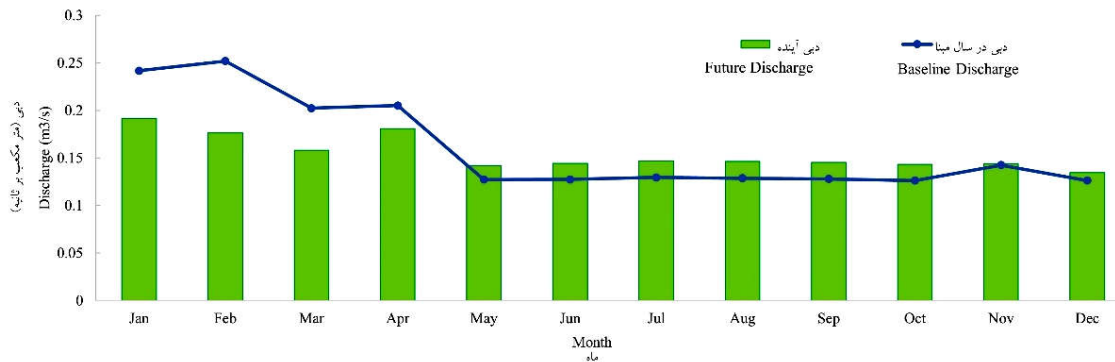
در دوره آینده نسبت به دوره پایه نشان دهنده کاهش دبی در تمامی ماه‌ها در سناریوی RCP2.6 است. در سناریوی RCP8.5 نیز دبی در همه ماه‌ها به جز ماه‌های آپریل و می در مدل HadGEM2ES با کاهش روبرو شده است (شکل ۱۱). متوسط کاهش دبی در ماه‌های اکتبر، نوامبر، دسامبر و ژانویه تحت دو سناریو به ترتیب ۴۶/۲ و ۵۸ درصد است.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

با توجه 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 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 تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که حساسیت پاسخ هیدرولوژیک ماه‌های با دبی بالا نسبت به سایر ماه‌ها در قبال 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، با توجه به شباهت

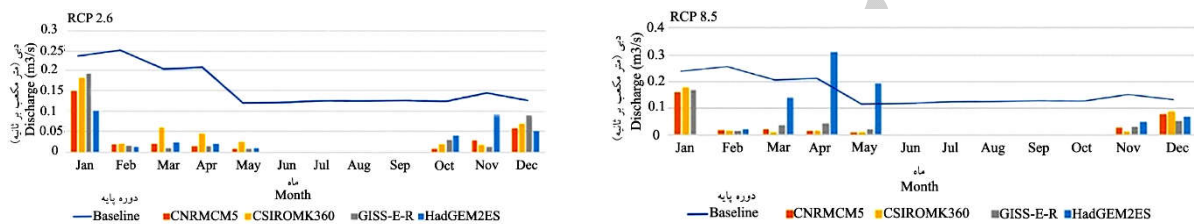
به‌طور متوسط دمای حوضه بین ۰/۵۶ تا ۳/۳ درجه افزایش و بارش به میزان ۱۰/۷ درصد تا انتهای قرن ۲۱ کاهش خواهد یافت (۳)، این موضوع در راستای نتایج این تحقیق می‌تواند باعث کاهش قابل ملاحظه دبی در حوضه شود.

نتایج تأثیر تغییر کاربری اراضی بر دبی: اثرات تغییر کاربری اراضی بر دبی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نتایج نشان دهنده 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 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). مکونن و ماندروسو (۲۰۲۳) به این موضوع در تحقیق خود تأکید داشته‌اند که تغییرات در کاربری اراضی تأثیر قابل ملاحظه‌ای 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



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

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 به دست آمده، مدل SWAT را می‌توان به‌عنوان مدل کارا و قابل اعتماد جهت شبیه‌سازی دبی در منطقه مورد مطالعه قلمداد کرد. پیش‌بینی نتایج تأثیرات تغییر اقلیم بر دبی نشان دهنده کاهش دبی در اکثر مدل‌ها تحت دو سناریو RCP2.6 و 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

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 تحقیقات متعددی مورد تأیید قرار گرفته است (۲۳، ۲۵، ۲۹، ۳۱، ۳۲ و ۳۵). اگرچه در تحقیقات دیگر تغییرات کاربری اراضی نقش مهم‌تری در تغییرات دبی نسبت به تغییر اقلیم داشته است (۱۲، ۱۹ و ۲۸).

### نتیجه‌گیری

این تحقیق به‌منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر روی دبی حوضه 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 بر روی دبی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده، افزایش بارش در پاییز و اوایل

عدم قطعیت‌های ناشی از خروجی مدل‌های اقلیمی، روش‌های ریز مقیاس نمایی و مدل هیدرولوژیک در این تحقیق مورد بررسی قرار نگرفته است. اگرچه وجود عدم قطعیت در نتایج مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی به دلیل مشخص نبودن وضعیت اقتصادی و اجتماعی آینده جامعه بشری اجتناب ناپذیر 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.

تابستان، پاییز و اوایل زمستان و کاهش در اواخر زمستان و بهار 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. بررسی اثرات توأم تغییر اقلیم و کاربری اراضی نشان داد که در منطقه مورد مطالعه دبی بیشتر به تغییر اقلیم حساس بوده و کمتر از تغییر کاربری اراضی تأثیر پذیرفته است. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق مشمول عدم قطعیت‌های ذاتی هر تحلیل مبتنی بر سناریو است.

### منابع مورد استفاده

1. Abbaspour, K. C., Johnson, C. A., and Van Genuchten, M. T. 2004. Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. *Vadose zone journal*, 3:4. 1340-1352.
2. Abedini, M., Pour Farrash Zadeh, F., and Gharachorlu, M. 2021. Analysis and Modeling of the Relationship between Monthly Discharge and Geomorphometric Characteristics (Case Study: Kashafrood Watershed). *Geography and Environmental Planning*, 32:4. 29-44. (In Persian)
3. Aghakhani Afshar, A., Hassanzadeh, Y., Besalatpour, A. A., and Pourreza Bilondi, M. 2017. Annual assessment of Kashafrood 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 Persian)
4. Ahmadzadeh, H., Fakheri Fard, A., and Tajrishy, M. (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 Persian)
5. Akbari, M., Jarge, M. R., and Madani Sadat, H. 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 Persian)
6. Arnold, J. G., Srinivasan, R., Mutiah, R. S., and Williams, J. R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development I. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34:1. 73-89.
7. Askarizadeh, S., Mozaffari, G., and Mazidy, A. 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 Persian)
8. Asghari Saraskanrood, S., and Pourfarrash Zadeh, F. 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 Persian)
9. Azari, M., Moradi, H. R., Saghafian, B., and Faramarzi, M. 2012. Assessment of Hydrological Effects of Climate Change in Gorganroud River Basin. *Water and Soil*, 27:3. 537-547. (In Persian)
10. Bangash, R. F., Passuello, A., Sanchez-Canales, M., Terrado, M., López, A., Elorza, F. J., and Schuhmacher, M. 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., and Hosseinpour Moghadam, M., Lashkaripour, G., and Ghafouri, M. 2013. Investigating the geomorphological features of the Kashafrood watershed in northeastern of Iran, The 8<sup>th</sup> Conference of Engineering and Environmental Geology of Iran, Mashhad, Iran. (In Persian)
12. Fan, M., and Shibata, H. 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 Norooz Valashedi, R. 2020. Investigation the effect of climate change scenarios on the monthly flow discharge at the outlet of Gelevard Dam. *Journal of Water and Soil Conservation*, 27:4. 23-43. (In Persian)

14. Khosravi, A., and Azari, M. 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 Persian)
15. Kim, J., Choi, J., Choi, C., and Park, S. 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., Khare, D., and Mondal, A. 2017. Individual and combined impacts of future climate and land use changes on the water balance. *Ecological Engineering*, 105, 42-57.
17. Mahmoodi, M., Honarmand, M., Naseri, F., and Mohammadi, S. 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 Persian)
18. Malmir, M., Mohamadrezapour, O., Sharifazari, S., and Ghandehari, G. 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 Persian)
19. Mekonnen, Y. A., and Manderso, T. M. 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., Dunne, K. A., and Vecchia, A. V. 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438:7066. 347-350.
21. Moriasi, D. N., Gitau, M. W., Pai, N., and Daggupati, P. 2015. Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Transactions of the ASABE*, 58:6. 1763-1785.
22. Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., and Williams, J. R. 2011. Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. Texas Water Resources Institute. College Station, TX, USA.
23. Ougahi, J. H., Karim, S., and Mahmood, S. A. 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., Liu, D., Wang, Z., Zhao, Q., Zou, H., Hou, Y., and Xiong, L. 2017. Runoff responses to climate and land use/cover changes under future scenarios. *Water*, 9:7. 475.
25. Praskievicz, S., and Chang, H. 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., Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Tyukavina, A., Vermote, E. F., and Townshend, J. R. 2018. Global land change from 1982 to 2016. *Nature*, 56:7720. 639-643.
27. Tang, F. F., Xu, H. S., and Xu, Z. X. 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., Sun, Y., Ranatunga, T., He, J., and Yang, Y. J. 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., Tiraghani, M. B., and Khazaee, M. 2012. Analysis of Rainfall and Discharge Trend in Kashafrud Watershed, *Geography and Development*, 10:29. 77-90. (In Persian)
31. Vaighan, A. A., Talebbeydokhti, N., and Bavani, A. M. 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., Talebbeydokhti, N., Bavani, A. M., and Whitehead, P. 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., Mu, X., Gao, P., Wu, C., and Qiu, D. 2021. Impacts of climate and anthropogenic activities on streamflow regimes in the Beiluo river, China. *Water*, 13:20. 2892.
34. Yazdi, J., Khazaiepol, A., Karrabi, M., and Zrezadeh, F. 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 Persian)
35. Zhang, L., Jiang, Y., Yang, M., Wang, H., Dong, N., Wang, H., Liu, X., Chen, L., and Liu, K. 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.