

اثر تغییرات میان مدت در اقلیم و کاربری اراضی بر میزان کاهش جریان در حوضه آبریز کرخه

علیرضا چگنی زاده^۱، حمیدرضا ربیعی فر^{۲*}، حسین ابراهیمی^۳ و محمود ذاکری نیری^۴

(۱) گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
 (۲) گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
 (۳) گروه علوم و مهندسی آب، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
 (۴) گروه مهندسی عمران، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
 * ایمیل نویسنده مسئول: h_rabieifar@azad.ac.ir



شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۴۸۰
 شاپا الکترونیکی: ۲۲۵۰-۷۴۰۰

چکیده:

زمینه و هدف: بررسی تغییرات جریان در آینده از عوامل بسیار مهم در سیاست‌گذاری و تعیین راهبرد یک حوضه آبریز به شمار می‌رود. دو پارامتر تأثیرگذار بر جریان، تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی است. نحوه تأثیرگذاری این دو پارامتر بر روی جریان آب با توجه به اثری است که هر کدام بر روی چرخه هیدرولوژیکی ایجاد می‌کنند. پژوهش حاضر به بررسی و ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر جریان سطحی در یکی از حوضه‌های آبریز در جنوب غرب ایران، کرخه، می‌پردازد. این حوضه آبریز به عنوان یکی از مهمترین و راهبردی‌ترین حوضه‌های آبریز جهت تامین امنیت غذایی و همچنین تولید برق، در ایران شناخته می‌شود.

روش پژوهش: پژوهش حاضر از مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) جهت بررسی تأثیر تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر حوضه آبریز کرخه استفاده کرده است. در مجموع ۱۵ سناریو مورد بررسی قرار گرفته است. این سناریوها در ابتدا تغییرات بر روی هر کدام از اقلیم و کاربری اراضی را به صورت جداگانه و سپس تأثیر همزمان این دو پارامتر در بازه زمانی میان مدت بر جریان سطحی را مورد بررسی قرار می‌دهند. تغییرات در اقلیم با استفاده از سناریوهای RCP و مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) برای دو GCM متفاوت CMCC-CESM و MRI-CGCM3 در سری ۴.۵ و ۸.۵ در بازه زمانی میان مدت (۲۰۴۰ تا ۲۰۶۰) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تغییرات اعمال شده بر کاربری اراضی در دو حالت متفاوت بر اساس سیاست‌گذاری‌های آینده ایران است. تغییرات در این سیاست‌گذاری‌ها با استفاده از برنامه ششم توسعه، طرح ۵۵۰ هزار هکتاری، طرح آمایش سرزمین از منظر کشاورزی و همچنین میزان افزایش جمعیت در منطقه با توجه به سناریوهای ارائه شده در طرح پژوهش‌کننده آمار ایران است.

یافته‌ها: جهت کالیبراسیون مدل از ۹ پارامتر و دو تابع هدف نش-ساتکلیف (NSE) و R2 در ۶ ایستگاه هیدرومتری استفاده شده است. بر اساس یافته‌های این پژوهش بیشترین میزان حساسیت مدل به پارامتر CN2 است. در کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل، تمام ایستگاه‌ها مقادیر بالای ۰.۵ برای توابع هدف داشته‌اند. تغییرات در بارش و دما از دیگر یافته‌های این پژوهش است. بر اساس نتایج به دست آمده از آنالیز داده‌های بارش، در تمام ماه‌ها کاهش میزان بارش قابل مشاهده است و بیشترین میزان کاهش مربوط به فصل پاییز با کاهش ۷۸۳ تا ۸۲۳٪ است که بیشترین میزان کاهش را سناریو ۸.۵ نشان می‌دهد.

نتایج: نتایج به دست آمده از تغییرات اقلیم نشان دهنده آن است که در بازه میان مدت بیشترین میزان تغییرات در سناریو RCP8.5 به دست می‌آید که شامل کاهش ۱۴.۳ تا ۲۲.۸٪ در میزان رواناب خواهد بود. نتایج به دست آمده از تغییرات کاربری اراضی بر اساس سیاست‌گذاری‌های آینده در ایران نشان دهنده کاهش حداکثری ۷٪ در میزان رواناب متوسط ماهیانه است. در صورت بررسی همزمان تغییرات در اقلیم و کاربری اراضی بر روی میزان متوسط جریان می‌توان به این نتیجه رسید که در سناریو RCP8.5 بیشترین میزان تغییر رخ خواهد داد.

کلید واژه‌ها: پاسخ هیدرولوژیکی، کرخه، مدلسازی حوضه آبریز، SWAT

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیکی:

iauwsrcj@srbiau.ac.iriauwsrcj@gmail.com

سال دوازدهم

شماره دو (۴۶)

زمستان ۱۴۰۱

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۰۱/۲۲

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۴/۲۱

صفحات: ۲۹-۱۳



et al., 2020). تغییرات اقلیم سبب تغییراتی در جریان‌های ورودی و یا خروجی در حوضه‌های آبریز ایران می‌شود و در صورتی که این تغییرات همراه با تغییر کاربری اراضی باشد اثرات آن شدیدتر خواهد بود (Mousavi et al., 2005). از این رو ترکیب تغییر اقلیم و تغییر در کاربری اراضی می‌تواند جهت بررسی، ارزیابی، مدیریت و تعیین استراتژی مورد نیاز برای حوضه آبریز در زمینه آب و عوامل وابسته به آب بسیار حائز اهمیت باشد (Tamm and Siim Maasikamae 2018).

ایران در منطقه خشک و نیمه خشکی واقع شده است. منابع آب در ایران در طی سالیان اخیر فشارهای فزاینده-ایی را از جهت تغییرات در اقلیم و افزایش میزان برداشت در کشاورزی و شهرنشینی تجربه کرده‌اند. حوضه آبریز کرخه یکی از مهمترین حوضه‌های آبریز در ایران هم از نظر منابع آب و هم میزان کشاورزی می‌باشد. این حوضه جزء نه حوزه آبریز توزیع شده در سطح جهان است که توسط برنامه چالش CGIAR برای افزایش بهره‌وری از آب کشاورزی انتخاب شده است (Farahani H et al., 2008). حوضه رودخانه کرخه به طور سنتی نقطه اصلی فعالیت های کشاورزی در ایران بوده. یکی از پربارترین مناطق کشاورزی کشور به شمار می‌رود. منابع آب موجود و شرایط آب و هوایی مطلوب آن را به یک حوضه مناسب برای رشد طیف وسیعی از محصولات کشاورزی تبدیل کرده است. در حوضه کرخه، در دسترس بودن آب برای حمایت از توسعه اقتصادی و اجتماعی از اهمیت زیادی برخوردار است (Hamideh Kazemi et al., 2021). با توجه به پتانسیل محدود برای توسعه منابع آب جدید و کاهش قابل توجه در رواناب در پایین دست به علت تغییر اقلیم و مداخلات انسانی در کاربری اراضی منطقه، بهبود بهره‌وری در منابع آب موجود در حوضه یکی از مهمترین چالش های مدیریت برای تولید مواد غذایی پایدار است. از طرفی دیگر در این حوضه افزایش جمعیت و همچنین سیاست خودکفایی گندم در طی سالیان آتی در دستور کار قرار گرفته است. لذا این حوضه آبریز با توجه به شرایط

تغییرات در اقلیم و کاربری اراضی از عوامل مهم و تاثیر گذار بر کاهش و یا افزایش میزان منابع آب هستند (R.C.C Puno et al., 2019). تاثیرات برنامه‌ریزی و مدیریت در تعیین راهبرد لازم جهت بررسی میزان منابع لازم و همچنین حفظ منابع موجود از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. تاثیرات تغییرات اقلیم بر روی چرخه هیدرولوژیکی به صورت تغییر در پارامترهای اقلیمی مانند بارش و دما است (Sandra R.villamizar et al., 2019). به طور کلی می‌توان گفت که تغییر اقلیم و یا تغییرات در پارامترهای اقلیمی می‌توانند مستقیماً بر میزان رواناب خروجی، پدیده‌های حدی و همچنین کاهش میزان آب مورد نیاز برای موارد حیاتی نظیر غذا، صنعت و شهری تاثیر گذارند. با این که تغییرات اقلیم یک موضوع فراگیر است و در همه قسمت‌ها می‌توان تاثیرات آن را مشاهده کرد ولی این تاثیرات در بعضی از قسمت‌ها نظیر کشاورزی، منابع آب و همچنین جنگل‌ها تاثیر بیشتری از خود نشان می‌دهد (laurent Ahiablame et al., 2017). علاوه بر تغییر اقلیم تغییر در کاربری اراضی نیز بر روی چرخه هیدرولوژیکی و به تبع آن منابع آب موجود موثر است (Xin Jin et al., 2019). تاثیر تغییرات در چرخه هیدرولوژیکی در حالتی که اقلیم تغییر پیدا کند را می‌توان در میزان بارش و دما مشاهده کرد در حالی که تغییر در کاربری اراضی به صورت تغییرات در میزان تبخیر و تعرق و همچنین جلوگیری و یا تغییر در مسیر حرکت آب قابل بیان است (Yashar Han Thi Oo et al., 2020). (makhtoumi et al., 2020).

مشخص کردن رابطه بین تغییر در کاربری اراضی و تغییر اقلیم تنها راه کار تعیین کننده برای دستیابی به راه حل‌های کنترل و بهبود بهره برداری از منابع آب یک حوضه تلقی می‌شود. همچنین درک رابطه و عوامل به وجود آورنده این دو، اطلاعات ضروری برای برنامه ریزی استفاده از زمین و مدیریت پایدار منابع طبیعی را فراهم می‌کند (laurent Ahiablame et al., 2017, Han Thi Oo et al., 2020).

رودخانه (MODSIM) پرداخته شده است. (Sara)
 به افزایش میزان جمعیت و سیاست گذاری های ایران بر روی افزایش میزان درخواست آب را مورد بررسی قرار داده اند. (I. Masih, et al., 2010)
 بررسی تاثیر پارامترهای هیدرولژیکی بر روی میزان رواناب در حوضه آبریز کرخه پرداخته اند. در حالی که تغییرات کاربری اراضی در آینده نادیده گرفته شده است. از سویی دیگر تامین آب مورد نیاز در پایین دست بستگی به میزان خروجی از شرایط تغییرات اقلیم و تغییرات کاربری اراضی دارد. از آنجایی که کرخه یکی از مهمترین رودهای ایران در زمینه کشاورزی به حساب می آید (Sara Bahareh Kamali, et al., 2010; Marjanizadeh et al., 2010)
 (S. Ashraf Vaghefi, et al., 2017; 2017)، بررسی شرایط بالادستی تحت تاثیر تغییر اقلیم و کاربری اراضی از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به مطالب گفته شده در پژوهش حاضر سه هدف عمده دنبال می شود:

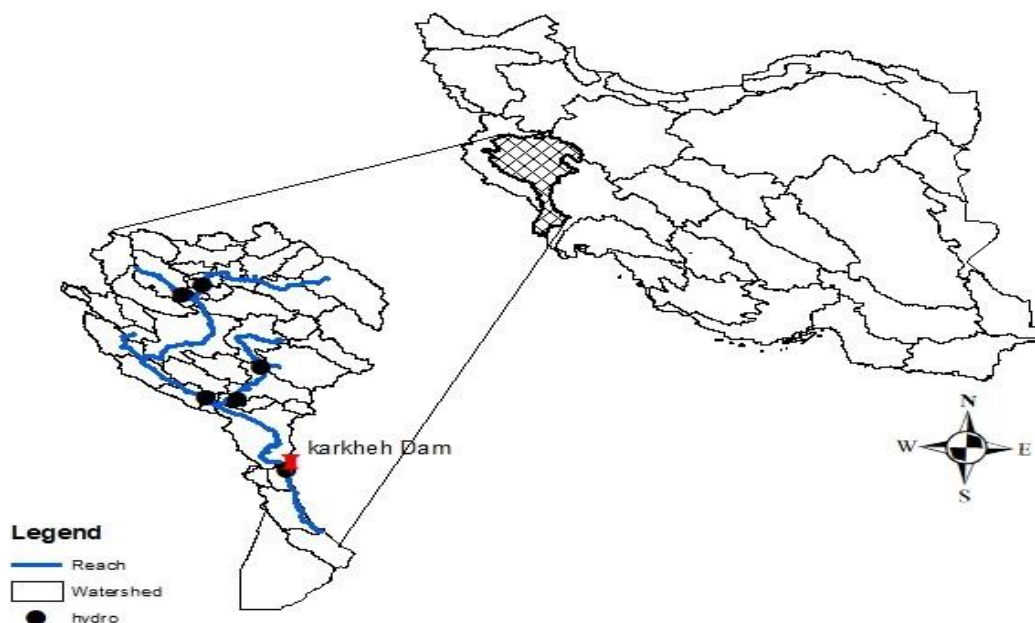
- ۱) بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی تغییرات رواناب خروجی در میان مدت بر اساس سناریوهای IPCC
- ۲) بررسی سیاست گذاری افزایش میزان کشاورزی و شهرنشینی در این حوضه بر میزان رواناب
- ۳) بررسی تاثیرات همزمان تغییر در اقلیم و کاربری اراضی بر میزان متوسط جریان ماهانه

مواد و روش ها

۱-۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز کرخه در جنوب غربی ایران واقع شده است به طوری که رودخانه کرخه به عنوان سومین رود بزرگ بعد از کارون و دز به شمار می رود (Sara)
 (Marjanizadeh et al., 2010). حوضه آبریز کرخه با ابعادی در حدود 51000 km^2 از سرچشمه های رشته کوه زاگرس شروع می شود و تا هورالعظیم در مرز کشور ایران و عراق ادامه پیدا می کند. تغییرات ارتفاعی در این حوضه از ۳۵۰۰ متر در نقاط بالایی تا ۱۰ متر بالاتر از سطح دریا در انتهای حوضه تقسیم بندی می شوند.

موجود به عنوان یکی از استراتژیک ترین حوضه های ایران به شمار می رود (Sara Marjanizadeh et al., 2010). در حوضه آبریز کرخه، آبیاری بیش از حد یک روش مدیریت کلیدی است که منجر به تلفات قابل توجه آب می شود. بنابراین، مطالعات متعددی در مورد مسئله تولید مواد غذایی (Ahmad and Giordano 2010؛ Sara Marjanizadeh et al., 2010؛ Saeid Ashrafe Vaghefi et al., 2017؛ Bahareh Kamali, et al., 2017؛ S. Ashraf Vaghefi, et al., 2013؛ Kamali, et al., 2017؛ SHAHOEI, et al. 2018) در حوضه آبریز کرخه متمرکز شده است. همچنین پیش بینی شده است که به دلیل تغییر آب و هوا در قسمت های جنوبی حوضه، مشکل آب بیشتر خواهد شد. راهکارهای مقابله با این بحران شامل مدیریت منابع آب (ذخیره سازی و تغذیه منابع آب زیرزمینی)، مدیریت زراعی و الگوی کشت، مدیریت آبیاری و روش هایی از این دست می باشد (Sara Marjanizadeh et al., 2010؛ Saeid Ashrafe Vaghefi et al., 2010؛ Bahareh Kamali, et al., 2017؛ yasser ghobadi et al., 2015؛ Kamali, et al., 2017). آب و هوا و کاربری اراضی دو عامل مهم هستند که به طور مستقیم بر روند رواناب تأثیر می گذارند. با این حال، بسیاری از تحقیقات در مورد پاسخ رواناب عمدتاً بر پیش بینی تغییرات آب و هوایی متمرکز شده است و یا کاربری اراضی به تنهایی بوده و تعداد بسیار کمی مقاله تاثیر این دو پارامتر بسیار مهم را بر روی جریان دیده اند. به نحوی که (Hamid R. Solaymani 2015) به تفصیل نتایج مدل های آب و هوایی در سناریوهای مختلف با استفاده از تجزیه و تحلیل زمانی و مکانی در حوضه نیمه خشک کرخه (KRB) در ایران، که دچار کمبود آب است، پرداخته است. در مطالعه ای (Saeid Ashrafe Vaghefi et al., 2017) به بررسی بهره وری آب از عملکرد گندم و ذرت آبیاری شده در حوضه رودخانه کرخه (KRB) در منطقه نیمه خشک ایران با استفاده از روش مدل سازی زوج متشکل از مدل هیدرولوژیکی (SWAT) و مدل تخصیص آب حوضه



شکل ۱. حوضه آبریز کرخه با ایستگاه‌های هیدرومتری

اختصاص دارد. با توجه شرایط اقلیمی، بالادست سد کرخه کشت دیم در حدود ۶۵٪ از کشاورزی منطقه را در بر می‌گیرد و ۳۵٪ از منطقه نیز بر اساس کشت آبی می‌باشد (ME&BCA 2016).

۲-۲- مدل هیدرولوژیکی

SWAT (Soil Water Assessment tool) یک مدل هیدرولوژیکی است که توسط سازمان تحقیقات کشاورزی آمریکا توسعه داده شده است. فرآیندهای هیدرولوژیکی اصلی که توسط مدل شبیه سازی می‌شوند شامل تبخیر و تعرق، رواناب سطحی، ذوب برف، نفوذ سطحی، نفوذ عمقی و جریان آب زیرزمینی و جریان‌های زیر سطحی می‌باشد.

به طور کلی در حدود ۳،۵ میلیون نفر در سطح این حوضه زندگی می‌کنند. توزیع جمعیت در این حوضه به صورت یکنواخت نیست بلکه در قسمت بالایی حوضه جمعیت نسبت به قسمت پایینی بیشتر است. سد کرخه در این حوضه بزرگترین سد می‌باشد که برای اهداف کشاورزی و کنترل سیلاب پایین دستی طراحی و ساخته شده است. از لحاظ اقلیمی قسمت بالایی حوضه جزء مناطق نیمه خشک و کرخه جنوبی جزء مناطق خشک به حساب می‌آیند. میزان بارندگی به طور متوسط ۴۷۴ میلی-متر در سال در کل حوضه می‌باشد که قسمت‌های بالایی حوضه بارش بیشتری نسبت به قسمت‌های جنوبی حوضه دارند (شکل ۱) (ME&BCA 2016). بیشترین میزان کاربری اراضی در این حوضه به بخش کشاورزی

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در منطقه

| ردیف | ایستگاه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع از سطح دریا (متر) |
|------|------------|---------------|---------------|--------------------------|
| ۱ | دوآب | ۴۷،۵۴ | ۳۴،۲۲ | ۱۴۱۰ |
| ۲ | قورباغستان | ۴۷،۲۵ | ۳۳،۲۲ | ۱۳۶۸ |
| ۳ | پل کشکان | ۴۷،۸۸ | ۳۳،۵۸ | ۱۲۸۰ |
| ۴ | نور آباد | ۴۷،۳۲ | ۳۳،۳۲ | ۷۸۰ |
| ۵ | پل دختر | ۴۷،۷۳ | ۳۳،۰۹ | ۷۰۰ |
| ۶ | پایه پل | ۴۸،۰۹ | ۳۲،۲۵ | ۹۰ |

جدول ۲. مشخصات مدل‌های گردش عمومی جوی (GCM) انتخابی برای سناریوهای اقلیمی

| نام مدل | کشور توسعه دهنده | رژولوشن | |
|-----------|------------------|---------------|----|
| CMCC-CESM | ایتالیا | ۳.۴۴×۳.۷۵ | G1 |
| MRI-CGCM3 | ژاپن | ۱.۱۲۱۴۸×۱.۱۲۵ | G2 |

۳-۲- مدل LARS-WG

روش آماری LARS-WG یکی از معروف ترین مدل های مولد داده های تصادفی وضع هوا می باشد. این مدل برای تولید داده های روزانه بارش، تابش و دمای حداقل و حداکثر یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می رود. در این مدل جهت توزیع نیمه تجربی، فاصله ها به طور مساوی بین مقادیر ماکزیمم و مینیمم سری زمانی ماهانه تقسیم می شوند. تولید داده ها توسط مدل LARS-WG در سه مرحله انجام می شود که عبارتند از: کالیبره کردن، ارزیابی و ایجاد داده های هواشناسی. در این مدل ابتدا داده های مدل گردش عمومی جو شامل بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش به صورت روزانه استخراج شده و برای هر شبکه مدل یک سناریوی خاص تولید داده تدوین می شود. علاوه بر سناریوی تدوین شده برای هر شبکه محاسباتی، برای اجرای مدل LARS-WG نیاز به فایل مشخصه رفتار اقلیم گذشته ایستگاه های واقع در داخل آن شبکه نیز وجود دارد. سپس این مدل با دریافت فایل محتوی رفتار اقلیم گذشته ایستگاه و فایل سناریوی تولید داده، مقادیر روزانه دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش روزانه را در آینده محاسبه می کند. در این پژوهش از این مدل جهت کوچک مقیاس کردن استفاده شده است.

۴-۲- داده های ورودی

اطلاعات مورد نیاز برای ورودی به مدل SWAT از منابع متفاوتی گرفته شده اند به گونه ای که اطلاعات مربوط به DEM^۱ منطقه کرخه با پسوند Tif از سایت (<https://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E>) دانلود و سپس برای منطقه کرخه مورد ماسک قرار گرفت. اطلاعات مربوط به کاربری اراضی با توجه به اطلاعات

در این مدل جریان رودخانه توسط سه منبع اصلی تأمین می گردد که عبارتند از رواناب سطحی، جریان زیر سطحی و جریان پایه (یا همان جریان آب زیرزمینی از سفره آب زیرزمینی غیر محصور). مدل SWAT اساس فیزیکی دارد و در حوضه های آبخیزی که فاقد آماربرداری منظم هستند قابل استفاده می باشد. این مدل از نظر زمانی پیوسته و برای مدلسازی های بلندمدت استفاده می شود و برای شبیه سازی رخدادهای سیلابی منفرد طراحی نشده است (J. G. Arnold et al., 2012).

در مدل SWAT هر حوضه به چند زیر حوضه و هر زیر حوضه به چند واحد واکنش هیدرولوژیک تقسیم می شود. در ابتدا آب موجود در خاک، رواناب سطحی، چرخه عناصر غذایی، رسوب، رشد گیاهان و روشهای مدیریتی برای هر واحد پاسخ هیدرولوژیک و سپس برای هر زیر حوضه به صورت متوسط وزنی محاسبه می شود (J. G. Arnold et al., 2012). چرخه هیدرولوژیک شبیه سازی شده توسط مدل SWAT براساس معادله بیلان آب به شکل معادله ذیل می باشد:

$$S_{Wt} = S_{W0} + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

که در آن S_{Wt} : مقدار نهایی آب موجود در خاک برحسب میلیمتر، S_{W0} : مقدار اولیه آب موجود در خاک برحسب میلیمتر (تا عمق ۳۰ سانتیمتری)، t : زمان برحسب روز، R_{day} : مقدار بارش در روز i برحسب میلیمتر، Q_{surf} : مقدار رواناب سطحی در روز i برحسب میلیمتر، E_a : مقدار تبخیر و تعرق واقعی در روز i برحسب میلیمتر، W_{seep} : مقدار آب نفوذ کرده به لایه بالایی خاک (منطقه غیراشباع) در روز i برحسب میلیمتر و Q_{gw} : جریان آب زیرزمینی خروجی به رودخانه در روز i برحسب میلیمتر است.

^۱ Digital Elevation Map

ماهانه این متغیرها در دو دوره زمانی به دست می‌آید. جدول ۲ نام GCM های انتخابی برای این پژوهش را نشان می‌دهد. ایران از نظر موقعیت جغرافیایی از طول ۴۴ تا ۶۴ درجه و عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه قرار گرفته است. GCM های بسیار زیادی وجود دارند ولی با توجه به شرایط منطقه و شبیه‌سازی‌های انجام شده بر روی ایران، برای شبیه‌سازی داده‌های بارش و دما CMCC-CESM و MRI-CGCM3 بهترین GCM ها می‌باشند (Mohammad Sadegh (Abbasian et al.,2018).

RCP ها مجموعه‌ای از سناریوهای انتشار غلظت گازها CO₂ هستند. بر اساس میزان انتشار گازهای گلخانه‌ایی منتشر شده تا سال ۲۱۰۰ RCP ها را می‌توان به ۲،۶، ۴،۵، ۶، ۸،۵ دسته‌بندی کرد. این سناریوها در مقیاس جهانی به شرایط سیاسی و اجتماعی و اقتصادی وابسته هستند. در این پژوهش از RCP ۴،۵ و RCP ۸،۵ استفاده شده است. در RCP ۴،۵ میزان انتشار گازهای گلخانه‌ایی تا سال ۲۱۰۰ را در حدود $4.5 \frac{W}{m^2}$ پیش‌بینی می‌کند و RCP ۸،۵ میزان انتشار گازهای گلخانه‌ایی را برابر با $8 \frac{W}{m^2}$ در نظر می‌گیرد. برای شبیه‌سازی داده‌های بارش و دما بر اساس GCM ها از ایستگاه خرم‌آباد استفاده شده است. این ایستگاه برای بازه‌های زمانی ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۰ بر اساس RCP ها مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است.

جدول ۳. مشخصات کاربری راضی حوضه آبریز کرخه

| نوع کاربری | مساحت (هکتار) | درصد از منطقه |
|-----------------|---------------|---------------|
| کشاورزی | ۱۹۶۴۲۹۴،۵۵ | ۴۴،۷۹ |
| بوته زار | ۱۴۶۳۹۶۷،۳۹۴۰ | ۳۰،۵۶ |
| مرتع (چمن زار) | ۱۰۲۹۴۰۵،۴۶۴۰ | ۲۲،۹ |
| چمن زار پراکنده | ۳۴۲۱۰،۲۷۲۰ | ۰،۷۵ |
| مسکونی | ۴۰۷۵،۹۲ | ۱ |

۶-۲- دیتاهای آینده کاربری اراضی

جدول ۳ نتایج به دست آمده از GLCC برای کاربری اراضی حوضه آبریز کرخه را نشان می‌دهد. در این نتایج سهم کشاورزی در این منطقه ۴۴،۷۹٪، بوته زار و جنگل ۳۰،۵۶٪، مرتع (چمن زار) ۲۲،۹٪، چمن‌زار پراکنده ۰،۷۵٪

GLCC-landcover برای داده ورودی به سیستم مورد استفاده قرار گرفت که شامل ۲۵ نوع کاربری متفاوت می‌باشد و رزولوشن آن نیز یک کیلومتر است. برای اطلاعات مربوط به نوع خاک از نقشه‌های فائو استفاده شد که شامل ۵۰۰۰ نوع خاک در دو لایه می‌باشد. ارتفاع در نظر گرفته شده برای این لایه‌ها نیز به صورت (۰-۳۰) و (۳۰-۱۰۰) سانتی‌متر است. اطلاعات مربوط به بارش و دما روزانه نیز برای ایستگاه‌های سینوپتیک کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب، ملایر و خرم‌آباد از سازمان هواشناسی ایران برای سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۴ گرفته و به عنوان داده ورودی به سیستم در نظر گرفته شده است. اطلاعات مربوط به رطوبت، سولار و سرعت باد نیز توسط خود مدل SWAT شبیه‌سازی شده‌اند. مابقی اطلاعات مورد نیاز منطقه نظیر شیب منطقه و غیره نیز از کارهای انجام شده توسط (Faramarzi et al.,2009) و (ghobadi et al.,2015) استخراج شده است. در جدول ۱ اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری برای کالیبراسیون مدل SWAT آورده شده است. اطلاعات رواناب این ایستگاه‌ها در بازه زمانی ۱۹۹۳-۲۰۱۴ از شرکت مدیریت منابع آب ایران گرفته شده است.

۵-۲- دیتاهای آینده آب و هوایی

مدل‌های گردش عمومی جو (GCM^۱) ابزارهای اولیه‌ایی هستند که جهت بررسی و یا فهم بهتر تغییرات آب و هوا مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مدل‌های جهت بررسی و حال و آینده تغییرات آب و هوایی مورد استفاده می‌باشند. جهت این مجموعه داده‌ها آزادانه از طریق مرکز توزیع داده که توسط IPCC^۲ در سال ۱۹۹۸ شکل گرفته، قابل دسترسی می‌باشند (www.IPCC-data.org). جهت دسترسی به داده‌های مربوط به منطقه مطالعاتی در دوره‌های ۲۰ ساله پایه و آتی، با وارد کردن مختصات مکانی موقعیت مورد نظر و همچنین طول آماری مورد نیاز سری‌های زمانی دما و بارش در دوره پایه و دوره‌های آتی، خروجی

^۱ General Circulation Model

^۲ Intergovernmental Panel of Climate Change

میلیون نفر خواهد شد. البته در کارهای قبلی افزایش تا ۴۸ میلیونی تا سال ۲۰۲۵ در این حوضه مورد پیش بینی قرار گرفته است (Hamideh Kazemi et al., 2021, Sara). جدول ۴ سناریوهای در نظر گرفته شده برای تغییرات در کاربری اراضی را نشان می دهد. در سناریو اول افزایش ۱۲٪ در بخش کشاورزی اعمال شده و در بخش شهری ۴٪ افزایش اعمال خواهد شد. در سناریو دوم بخش کشاورزی حوضه به ۶۵٪ افزایش خواهد یافت که در آن ۱۲٪ افزایش بر اساس سند تفصیلی برنامه ششم توسعه و همچنین ۵۰ هزار هکتار در اراضی ایلام (طرح ۵۵۰ هزار هکتاری) نسبت به حالت پایه را تجربه خواهند کرد و بخش مسکونی بیشترین میزان یعنی ۱۴٪ افزایش را تجربه خواهد کرد.

جدول ۴. جدول تغییرات در کاربری اراضی

| سناریو (L2) | سناریو (L1) | پایه (%) | نوع کاربری |
|-------------|-------------|----------|-----------------|
| ۶۵ | ۵۶ | ۴۴٫۷۹ | کشاورزی |
| ۱۴٫۴ | ۲۵٫۶۲ | ۳۰٫۵۶ | بوته زار |
| ۵ | ۱۵ | ۲۲٫۹ | مرتع (چمن زار) |
| ۰٫۶ | ۰٫۳۸ | ۰٫۷۵ | چمن زار پراکنده |
| ۱۵ | ۵ | ۱ | مسکونی |

۷-۲- مدل سوات (کالیبراسیون)

کالیبراسیون مدل‌ها نیمه توزیعی و فرآیند محور مانند SWAT، پیچیدگی‌ها و مشکلات خاصی دارد. یکی از مسائلی که هنگام کالیبراسیون این مدل‌ها پیش می‌آید عدم قطعیت در شبیه‌سازی است که به خاطر عدم قطعیت در ورودی‌های مدل، عدم قطعیت در مدل مفهومی (ساختار مدل) و عدم قطعیت در پارامترهای مدل ایجاد می‌شود. برای کالیبراسیون مدل از SWAT-CUP استفاده شده است. SWAT-CUP یک برنامه توسعه داده شده برای مدل SWAT می‌باشد که قادر است با استفاده از داده‌های رواناب مشاهداتی، کالیبراسیون، اعتبار سنجی و تحلیل آنالیز را انجام دهد. SWAT-CUP دارای ۴ الگوریتم متفاوت جهت کالیبراسیون می‌باشد که در اینجا از الگوریتم SUFI-2 استفاده شده است. مطابق جدول ۱، از ۶ ایستگاه هیدرومتری در

و شهرنشینی در این منطقه ۱٪ است. بخش کشاورزی این حوضه شامل زمین‌های زراعتی دیم و زمین‌های زراعتی آبیاری شده است که زمین‌های زراعتی و مرتعی دیم ۶۵٪ و زمین‌های زراعتی آبیاری شده ۳۵٪ از کل بخش کشاورزی را شامل می‌گردند. شایان ذکر است که این نتایج با اطلاعات موجود از مطالعات بهنگام سازی طرح آب کشور و آمار نامه کشاورزی ایران همخوانی دارد. در این پژوهش دو سناریو با توجه به سیاست‌گذاری‌های کشور ایران در نظر گرفته شده است. با توجه به این سیاست‌گذاری‌ها کشاورزی و مسکونی از اهمیت بالایی برخوردار خواهند بود، لذا در سناریوهای اعمال شده عمده تغییرات در این دو بخش است. جهت اعمال تغییرات بر روی سناریوها از چشم‌انداز طرح آمایش سرزمین از منظر کشاورزی، سند تفصیلی برنامه ششم توسعه و طرح ۵۵۰ هزار هکتاری استفاده خواهد شد. هدف از طرح آمایش سرزمین از منظر کشاورزی زمینه سازی جهت افزایش فعالیت‌های کشاورزی با قابلیت کشت‌های ویژه متناسب با قابلیت‌های اقلیمی هر ناحیه از سرزمین است. در این طرح لزوم توجه به الگوی کشت با توان زارعین و همچنین شرایط اقلیمی و الزامات حفاظت از منابع مد نظر گرفته است. پس با توجه به این اهداف می‌توان در نظر گرفت که این تناسب (۶۵/۳۵) در زارعت دیم و آبیاری حفظ خواهد شد و تغییری در این زمینه نخواهد بود. سند تفصیلی برنامه ششم توسعه افزایش ۸ تا ۱۲٪ کشاورزی در منطقه را پیش‌بینی کرده است. بخش مسکونی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و با میزان افزایش جمعیت ارتباط مستقیم دارد. بر اساس سناریوهای در نظر گرفته شده در پژوهشکده آمار ایران، تا سال ۱۴۲۰ هجری شمسی (۲۰۴۱) میزان افزایش جمعیت در ایران بین ۴ تا ۱۴٪ خواهد بود. یعنی جمعیت در ایران بین ۸۹ تا ۹۶ میلیون نفر خواهد شد. جمعیت حال حاضر در حوضه آبریز کرخه در بالادست کم و بیش در حدود ۳٫۵ میلیون نفر است که در صورتی که این افزایش را به صورت خطی فرض کنیم میزان تغییرات در حدود ۳٫۹ تا ۴٫۲

۲۰۶۰ به عنوان میان دوره تعریف شده است و کاربری اراضی بر اساس حالت پایه مورد بررسی قرار گرفته شده است. در سناریوهای ۶ و ۷ تغییرات در نظر گرفته شده برای کاربری اراضی است و اقلیم به صورت پایه فرض شده است. سناریوهای ۸ تا ۱۵ تغییرات در اقلیم و کاربری همزمان اعمال شده است که در آن تمام سناریوها به عنوان سناریوهای میان دوره می‌باشند. در تمام این حالت‌ها تغییرات در جریان سطحی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

مسیر رودخانه کرخه تا سد کرخه جهت کالیبراسیون استفاده شده است. این ایستگاه‌ها بر اساس طول و دقت دیتا‌ها انتخاب شده‌اند. جهت تعیین کارایی مدل از دو فاکتور نش - ساتکلیف (NSE) و R^2 استفاده شده است. هر دو این پارامترها میزان ارتباط بین داده‌های مشاهداتی و شبیه سازی شده را نشان می‌دهند. در صورتی که $NSE \geq 0.5$ و همچنین $R^2 \geq 0.5$ باشد، پارامترهای-های در نظر گرفته مورد قبول می‌باشند.

نتایج و بحث

۱-۲- مدل سازی

۱-۳- نتایج کالیبراسیون
جدول ۶، ۹ پارامتر که بیشترین حساسیت را به مدل نشان داده‌اند آورده شده است. این پارامترها جهت کالیبراسیون مدل در SWAT-CUP مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بیشترین میزان حساسیت مربوط به پارامتر $CN2$ (شماره منحنی) بوده است. تکرارهای زیادی انجام شد تا در نهایت

در جدول ۵، ۱۵ حالت و یا سناریوی مختلف در نظر گرفته شده است. سناریوی اول بر اساس حالت اولیه و با توجه به شبیه سازی اولیه مدل می‌باشد که از تاریخ ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۴ برای مدل شبیه‌سازی صورت گرفته است و در نتایج به عنوان حالت پایه در نظر گرفته شده است. در سناریوهای ۲ تا ۵ تغییرات در اقلیم از سال ۲۰۴۰ تا

جدول ۵. جدول سناریوهای انتخابی

| شماره سناریو | RCP | کاربری اراضی | اقلیم | دوره شبیه سازی |
|---------------------------------|------|--------------|-------|------------------------------|
| S1 | پایه | پایه | پایه | |
| تغییرات در اقلیم | | | | |
| S2 | ۴،۵ | پایه | G1 | میان دوره (۲۰۴۰- ۲۰۶۰) |
| S3 | ۸،۵ | پایه | G1 | |
| S4 | ۴،۵ | پایه | G2 | |
| S5 | ۸،۵ | پایه | G2 | |
| تغییرات در کاربری اراضی | | | | |
| S6 | - | L1 | پایه | |
| S7 | - | L2 | پایه | |
| تغییرات در اقلیم و کاربری اراضی | | | | |
| S8 | ۴،۵ | L1 | G1 | |
| S9 | ۸،۵ | L1 | G1 | |
| S10 | ۴،۵ | L2 | G1 | |
| S11 | ۸،۵ | L2 | G1 | |
| S12 | ۴،۵ | L1 | G2 | |
| S13 | ۸،۵ | L1 | G2 | |
| S14 | ۴،۵ | L2 | G2 | |
| S15 | ۸،۵ | L2 | G2 | |

استفاده کرد. ۱- روش مدل سازی حالت پاه مجددا و استفاده از توابع هدف جهت تشخیص عملکرد مدل و ۲- استفاده از ابزار Q-test. در این پژوهش از روش اول استفاده شده است. جدول ۸ نتایج کالیبراسیون مدل را برای بارش، دمای ماکزیمم و دمای مینیموم بر طبق مقایسه بین مشاهداتی از ایستگاه خرم آباد و شبیه سازی شده توسط نرم افزار را نشان می دهد. توابع هدف انتخابی برای کالیبراسیون مدل LARS-WG، NSE و R^2 بودند. در صورتی که مقادیر نهایی این پارامترها از $NSE \geq 0.5$ و $R^2 \geq 0.5$ بیشتر باشند، به عنوان مقادیر مورد قبول در نظر گرفته شده است. با توجه به این که نتایج به دسته از مقایسه شبیه سازی و مشاهداتی می توان گفت که مدل در ارزیابی اولیه نتایج خیلی خوبی داشته و از آن می توان جهت تولید داده های آینده آب و هوایی استفاده کرد.

تغییرات بارش در میان مدت (۲۰۴۰-۲۰۶۰) برای هر دو GCM در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۳ (الف) و (ب) قابل مشاهده است، میزان بارش کاهش خواهد یافت. بر این اساس در میان مدت تغییرات در میزان بارش بین ۲ تا ۱۱٪ خواهد بود. در میان مدت تغییرات بارش در ۸،۵ RCP بیشترین مقدار را نشان می دهد. در تمام شرایط اقلیمی کاهش بارش نسبت به حالت پایه قابل مشاهده است. با مقایسه هر دو GCM می توان به این نتیجه رسید که ۱ G میزان کاهش بیشتری در تمام حالت ها نسبت به ۲ G نشان می دهد.

بتوان به توابع هدف بالایی در ایستگاه های هیدرومتری رسید. توابع هدف انتخابی برای مدل در ایستگاه های هیدرومتری NSE و R^2 بودند. در صورتی که مقادیر نهایی این پارامترها از $NSE \geq 0.5$ و $R^2 \geq 0.5$ بیشتر باشند، به عنوان مقادیر مورد قبول در نظر گرفته شده است. جدول ۷ نتایج توابع هدف در ۶ ایستگاه هیدرومتری انتخابی را نشان می دهد. این نتایج ارتباط بین داده های مشاهداتی و نتایج شبیه سازی جریان خروجی مدل را نشان می دهد. همان طور که در جدول ۷ قابل مشاهده است، ۶ ایستگاه هیدرومتری که در منطقه قرار گرفته اند، هم در کالیبراسیون و هم در اعتبار سنجی از نتایج قابل قبولی با توجه به توابع هدف برخوردارند. شکل ۲ نتایج خروجی برای ایستگاه پایه پل که نزدیکترین ایستگاه به سد کرخه می باشد را نشان می دهد. در این ایستگاه میزان R^2 و NSE برای کالیبراسیون در بازه زمانی ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۰ به ترتیب ۰،۶۵ و ۰،۶۳ می باشند و مقادیر این توابع هدف برای دوره اعتبارسنجی نیز به ترتیب ۰،۷۵ و ۰،۵۹ می باشند. شکل ۲ نشان می دهد که دقت خوبی بین نتایج شبیه سازی و نتایج مشاهداتی در میزان دبی خروجی وجود دارد.

۲-۳- تغییرات بارش و دما

همانگونه که در بخش ۲-۳ گفته شد، از مدل LARS-WG جهت کوچک مقیاس کردن استفاده شده است. جهت کالیبراسیون در بین مدل از دو روش متفاوت می توان

جدول ۶. پارامترهای انتخابی برای کالیبراسیون

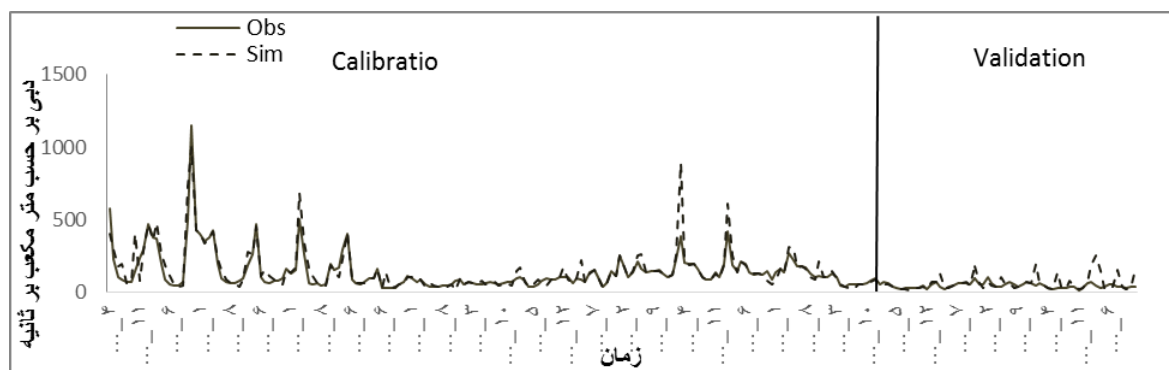
| ردیف | پارامتر | مقادیر بهینه نهایی | کمترین مقدار قابل قبول | بیشترین مقدار قابل قبول |
|------|----------|--------------------|------------------------|-------------------------|
| ۱ | CN2 | ۳۲ | ۵ | ۴۷ |
| ۲ | ALPHA_BF | ۰،۲۷ | ۰،۰۷ | ۰،۳۸ |
| ۳ | ESCO | ۰،۶۶۹۴ | ۰،۵۸ | ۱ |
| ۴ | GW_DELAY | ۳۹،۴۳۸ | ۳۰ | ۴۵ |
| ۵ | GWQMN | ۱۳۴۴،۲۸ | ۰ | ۲۰۰۰ |
| ۶ | CH_N2 | ۰،۰۹ | ۰،۰۱ | ۰،۱۵ |
| ۷ | SFTMP | ۳،۵۴ | ۰ | ۵ |
| ۸ | SOL_K | ۰،۱۵۶ | -۱۵ | ۱۵ |
| ۹ | SOL_AWC | ۰،۱۷۶ | -۰،۵۵ | ۰،۵۵ |

جدول ۷. نتایج کالیبراسیون بر اساس توابع هدف در جریان خروجی

| ایستگاه | کالیبراسیون | | اعتبار سنجی | |
|------------|----------------|------|----------------|------|
| | R ² | NSE | R ² | NSE |
| دوآب | ۰٫۶ | ۰٫۶ | ۰٫۵۸ | ۰٫۶۵ |
| قورباغستان | ۰٫۵۵ | ۰٫۵۲ | ۰٫۶ | ۰٫۵۷ |
| پل کشکان | ۰٫۵۴ | ۰٫۵۴ | ۰٫۵۸ | ۰٫۵۴ |
| نورآباد | ۰٫۶۸ | ۰٫۶۷ | ۰٫۷ | ۰٫۶۸ |
| پل دختر | ۰٫۶۹ | ۰٫۶۶ | ۰٫۷ | ۰٫۶ |
| پایه پل | ۰٫۶۵ | ۰٫۶۳ | ۰٫۷۵ | ۰٫۵۹ |

جدول ۸. نتایج کالیبراسیون مدل LARS-WG

| پارامتر | کالیبراسیون | |
|--------------|----------------|-------|
| | R ² | NSE |
| بارش | ۰٫۷۵۸ | ۰٫۷۱۲ |
| دمای ماکزیمم | ۰٫۸۲ | ۰٫۸۱۷ |
| دمای مینیموم | ۰٫۸۴ | ۰٫۸۰۴ |



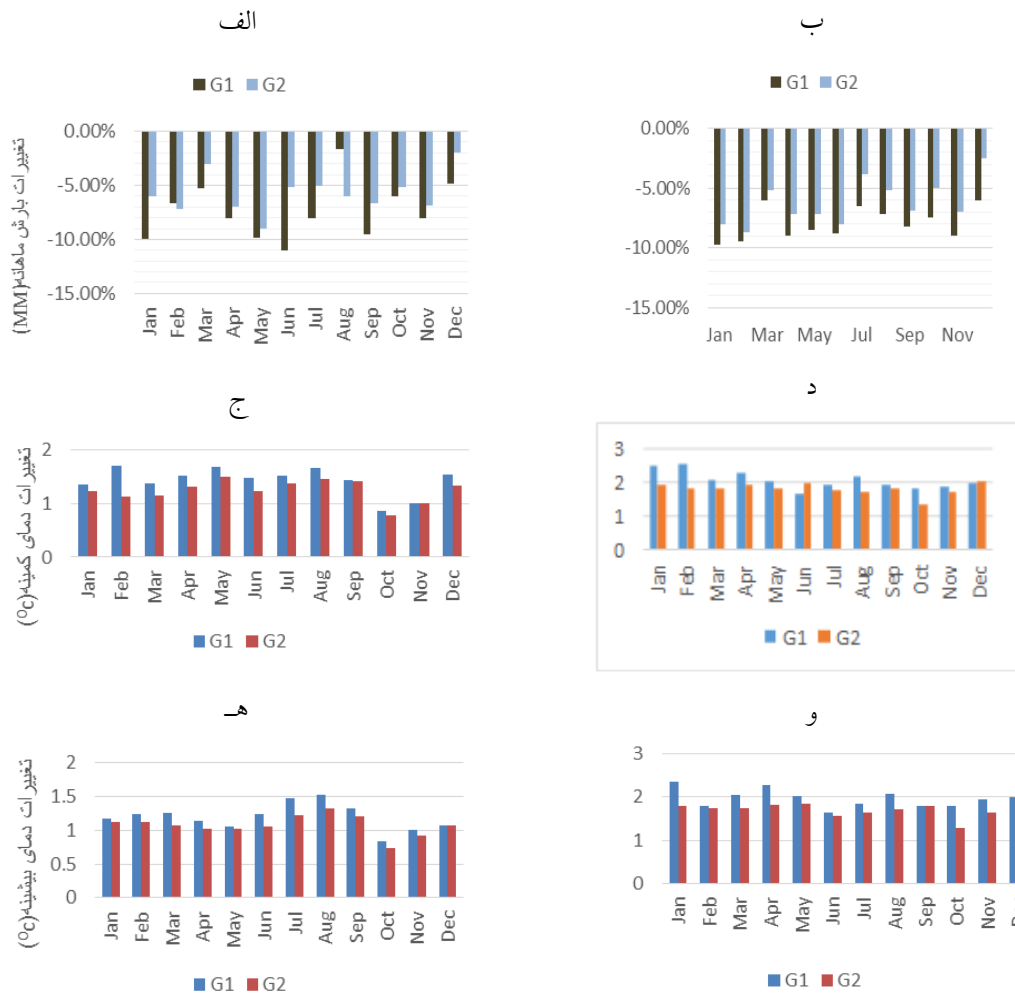
شکل ۲. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی در ایستگاه پایه پل

میزان تغییرات را نشان می‌دهد بیشترین میزان تغییرات مربوط به بازه ۸٫۵ می‌باشد.

جدول ۹ درصد متوسط میزان تغییرات فصلی داده‌های بارش را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول میزان متوسط کاهش تغییرات بارش در تمام حالت‌ها بین ۵٫۱۷ تا ۸٫۴۰٪ می‌باشند که این میزان برای به ترتیب فصل پاییز و بهار بیشترین مقدار کاهش را دارد به طوری که این میزان تغییرات برای فصل پاییز برابر ۷/۸۳ تا ۸/۲۳٪ و برای فصل بهار بین ۷٫۷۷ تا ۷٫۸۳٪ است.

شکل ۳، (ج) و (د) تغییرات دما بیشینه را در بازه زمانی میان مدت نشان می‌دهد. در تمام حالت‌ها G1 تغییرات بیشتری نسبت به G2 را نشان می‌دهد. در میان مدت تغییرات دما بین ۰٫۸۵ تا ۱٫۷۹ درجه سانتیگراد است و بیشترین میزان تغییرات مربوط به سری ۸٫۵ و در بازه زمانی انتهای بهار (M) و تمام تابستان (JJA) است.

شکل ۳، (ه) و (و) تغییرات دمای کمینه را در بازه زمانی میان مدت نشان می‌دهد. در تمام بازه زمانی میزان تغییرات به ترتیب برای میان مدت عبارتند از ۰٫۷۹ تا ۲٫۳۹ درجه سانتیگراد. در این حالت نیز G2 بیشترین



شکل ۳. مقایسه نتایج بین GCMها به صورت متوسط ماهانه در بازه میان‌مدت.

اشکال (الف) و (ب) میزان تغییرات بارش را در بازه میان‌مدت به ترتیب برای سناریوهای ۴،۵ و ۸،۵ نشان می‌دهند. اشکال (ج) و (د) میزان تغییرات دمای کمینه را در بازه میان‌مدت برای به ترتیب سناریوهای ۴،۵ و ۸،۵ نشان می‌دهند. اشکال (ه) و (و) میزان تغییرات دمای حداکثر را در بازه میان‌مدت برای سری ۴،۵ و ۸،۵ به ترتیب نشان می‌دهند.

جدول ۹: متوسط درصد تغییرات فصلی بارش بر اساس GCM های مختلف در بازه میان‌مدت

| فصل | G1-M-۴،۵ | G1-M-۸،۵ | G2-M-۴،۵ | G2-M-۸،۵ |
|---------|----------|----------|----------|----------|
| زمستان | -۵،۱۷٪ | -۸،۴٪ | -۵،۰۷٪ | -۶،۴٪ |
| بهار | -۷،۷۷٪ | -۷،۸۳٪ | -۶،۳۳٪ | -۶،۵۳٪ |
| تابستان | -۵،۶۷٪ | -۷،۵٪ | -۵،۴٪ | -۵،۶۷٪ |
| پاییز | -۷،۸۵٪ | -۸،۲۳٪ | -۶،۸۳٪ | -۷،۳٪ |

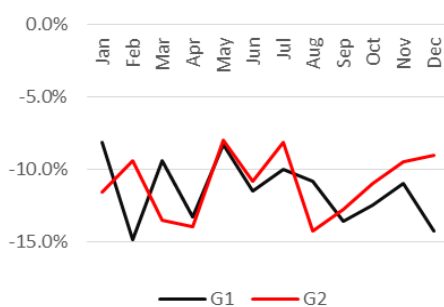
کلی برای تمام سناریوها در میان مدت میزان کاهش رواناب بین ۱۲،۵ تا ۱۴،۹٪ است. هر دو GCM کاهش میزان رواناب را در تمام شرایط اقلیمی نشان می‌دهند. در این حالت بیشترین میزان تغییرات برای سناریوهای ۸،۵

۳-۳- تأثیرات تغییر اقلیم بر میزان رواناب

شکل ۴ درصد تغییرات ماهانه رواناب را برای شرایط اقلیمی متفاوت در هر دو GCM نشان می‌دهد. این میزان تغییرات رواناب نسبت به حالت پایه می‌باشد. در حالت

می‌توان افزایش میزان زراعت آبی در آینده و همچنین افزایش میزان آبیاری‌های تکمیلی برای کشت دیم دانست. ۳-۵- تاثیرات همزمان تغییرات اقلیم و کاربری اراضی شکل ۶ متوسط تغییرات میزان جریان خروجی ماهانه در هر کدام از سناریوها را با حالت‌های مشاهداتی مورد مقایسه قرار می‌دهد. میزان تغییرات را در حالتی که تغییرات هم در اقلیم رخ دهد و هم در کاربری اراضی می‌توان بین ۱۲ تا ۳۲٪ کاهش در میزان جریان پشت سد کرخه در نظر گرفت. بیشترین میزان تغییرات در تمام حالت‌ها مربوط به G1L2 و کمترین میزان کاهش مربوط به G2 L1 است. این نتایج را می‌توان با نتایج به دست آمده در هر قست به طور مجزا نیز برابر دانست.

یکی از روش‌های رایج در بررسی‌های میزان متوسط ماهانه جریان خروجی، بررسی فصلی است. در صورتی که خواسته باشیم نتایج را به صورت فصلی مورد قیاس قرار دهیم می‌توان گفت که در سناریوی ۴،۵ بیشترین میزان کاهش دبی جریان مربوط به سناریو G1L2 برای فصول پاییز و بهار است. این میزان کاهش به ترتیب عبارت است از ۲۸،۳ و ۲۷،۲٪. در سناریوی ۸،۵ بیشترین میزان کاهش مربوط به G1L2 است در این سناریو کاهش جریان در تمام فصول تقریباً با هم برابر است. ولی در صورتی که خواسته باشیم تغییرات را با هم مقایسه کنیم می‌توان گفت که فصل پاییز با ۳۲٪ کاهش بیشترین میزان تغییر را در کاهش جریان تجربه خواهد کرد و کمترین میزان کاهش مربوط به فصل تابستان با ۲۸٪ است.



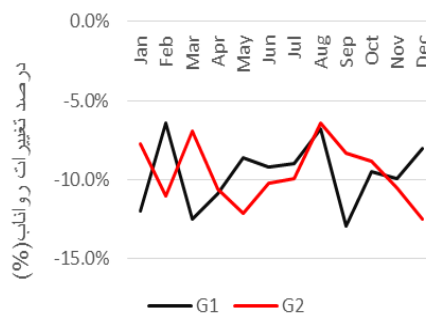
شکل ۴. درصد تغییرات متوسط ماهیانه رواناب نسبت به حالت پایه برای سناریوهای اقلیمی.

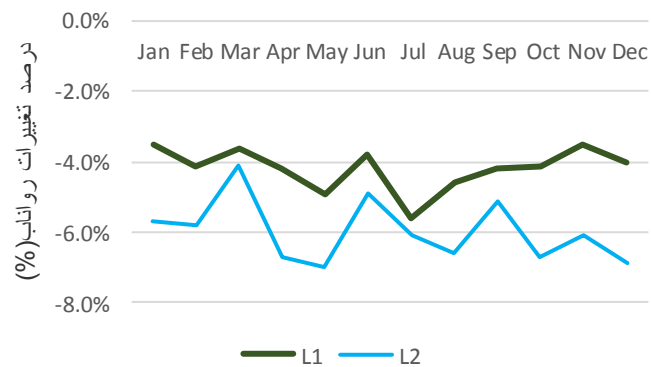
(الف) و (ب) به ترتیب درصد تغییرات متوسط ماهیانه رواناب برای بازه میان‌مدت در سناریوهای ۴،۵ و ۸،۵ است.

است. در میان مدت بیشترین میزان تغییرات در رواناب مربوط به G1 می‌باشد. این میزان تغییرات با توجه به این که بارش در G1 میزان بیشتری کاهش پیدا می‌کند از نکات مهم این بخش است. به گونه‌ای که میزان کاهش رواناب در G2 بین ۸ تا ۱۳،۵٪ ولی میزان کاهش رواناب در G1 بین ۸،۳ تا ۱۴،۹٪ است. یکی از دلایل عمده این کاهش بیشتر را می‌توان در افزایش دما کمینه بیشتر این حالت پیدا کرد.

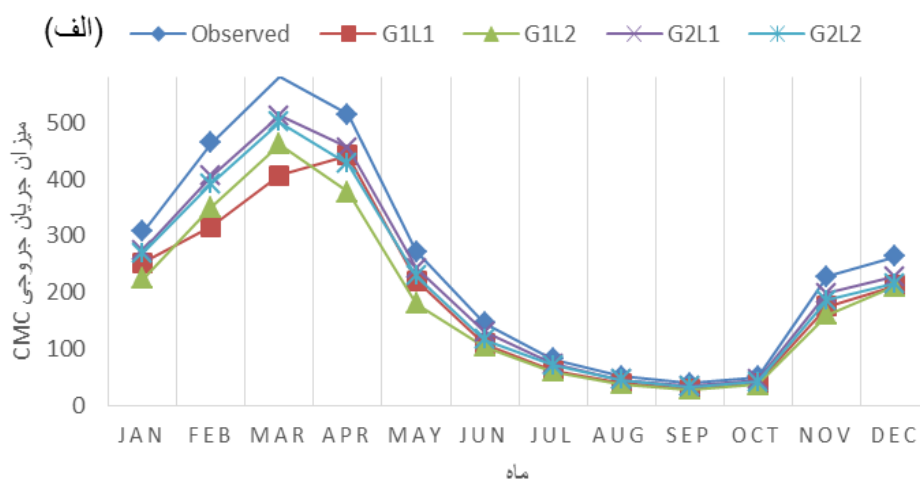
۳-۴- تاثیرات تغییرات کاربری اراضی در رواناب سطحی

شکل ۵ درصد تغییرات در رواناب سطحی نسبت به حالت پایه برای سناریوهای مختلف تغییر کاربری اراضی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل قابل مشاهده است سناریو L2 میزان کاهش بیشتری در رواناب سطحی نسبت به سناریو L1 نشان می‌دهد. در این سناریوها میزان کاهش رواناب بین ۳،۵ تا ۵،۶٪ است. در هر دو این سناریوها بیشترین میزان تغییرات مربوط به بهار و تابستان است به گونه‌ای که این میزان تغییرات برای سناریو L2 در انتهای بهار و انتهای تابستان بیشتر و برای سناریو L1 برای دو ماه انتهای بهار و دو ماه انتهای تابستان بیشتر است. عمده دلیل این تغییرات را می‌توان در بحث کشاورزی دید. بحث شهری و افزایش مناطق مسکونی مهم است ولی به دلیل این که مساحت کمتری را در بر می‌گیرد به عنوان فاکتور مهمی در کاهش رواناب نمی‌تواند باشد. ولی می‌توان از آن به عنوان یک فاکتور مهم در تابستان یاد کرد. ولی به نظر می‌آید که اصلی‌ترین موضوع در این بخش را

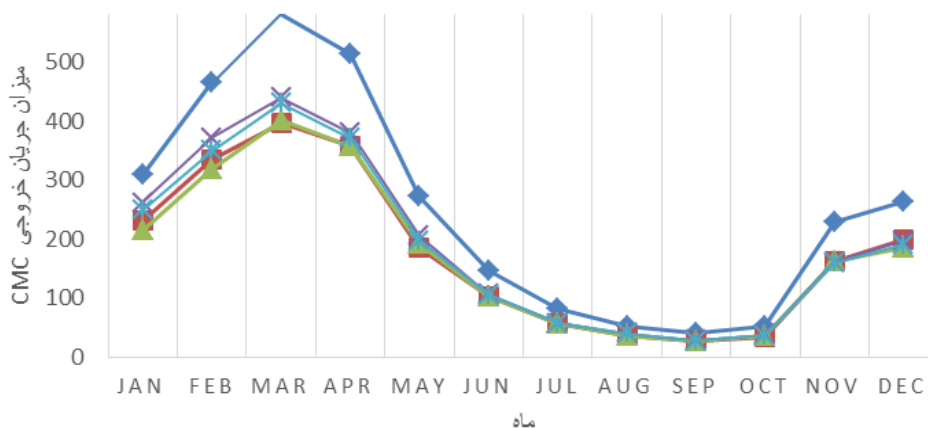




شکل ۵. درصد تغییرات متوسط ماهیانه رواناب برای سناریوهای کاربری اراضی



(الف) Observed, G1L1, G1L2, G2L1, G2L2



شکل ۶. تغییرات متوسط ماهانه جریان بر اساس تغییر همزمان اقلیم و کاربری اراضی.

(الف) مقایسه نتایج حالت مشاهداتی با تمام سناریوها در سری ۴،۵ و (ب) مقایسه نتایج حالت مشاهداتی با تمام سناریوها در سری ۴،۵

سناریوها نیز می توان این حالت را مشاهده کرد که نقش اقلیم بسیار پررنگتر از کاربری اراضی است. یکی از مهمترین عوامل آن را می توان در کشت دیم منطقه دانست.

در بررسی نتایج به دست آمده از تغییر اقلیم و کاربری اراضی می توان گفت که تغییر در اقلیم تاثیر بیشتری در میزان کاهش جریان خروجی دارد. به عبارتی دیگر در ترکیب

نتیجه گیری

تغییرات در کاربری اراضی از سند تفصیلی برنامه ششم توسعه ایران، طرح ۵۵۰ هزار هکتاری و همچنین مطالعات بهنگام سازی طرح جامع آب ایران استفاده شد. در کاربری اراضی افزایش میزان شهرنشینی و کشاورزی مورد توجه بوده‌اند. برای افزایش میزان شهرنشینی از مطالعات پژوهشگرده آمار استفاده شده است. نتایج به دست آمده در هر دو سناریو کاهش میزان جریان را نشان می‌دهند. نتایج خروجی نشان دهنده کاهش ۳،۵ تا ۷٪ است، که دلیل عمده آن را می‌توان افزایش میزان زراعت آبی دانست. تاثیرات همزمان تغییرات اقلیم و کاربری اراضی کاهش میزان جریان خروجی را نسبت به حالت مشاهداتی نشان می‌دهد. این میزان کاهش با توجه به تمام حالت‌ها بین ۱۲ تا ۳۲٪ خواهد بود. نتایج به دست آمده نشان دهنده تاثیر بیشتر اقلیم نسبت به کاربری است. از نتایج به دست آمده در این پژوهش می‌توان برای برنامه‌ریزی در جهت مدیریت منابع آب در حوضه آبریز کرخه و همچنین تعیین راهبرد و سیاستگذاری در این حوضه آبریز استفاده کرد.

پژوهش حاضر به بررسی تاثیرات همزمان تغییرات اقلیم و کاربری اراضی بر روی جریان در حوضه آبریز کرخه می‌پردازد. برای این بررسی دو GCM بر اساس موقعیت مکانی ایران و همچنین بررسی‌های مختلف انتخاب شد. این دو GCM برای حالت میان مدت (۲۰۴۰ تا ۲۰۶۰) مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس نتایج به دست آمده از این GCMها میزان کاهش بارش در سناریوهای ۴،۵ و ۸،۵ به ترتیب بین ۲ تا ۱۱٪ و ۳،۶ تا ۱۵٪ است. در صورتی که مسئله به صورت فصلی مورد بررسی قرار گیرد می‌توان گفت که پاییز بیشترین میزان کاهش بارش را تجربه خواهد کرد.

از GCMها برای محاسبه درصد میزان تغییرات رواناب در ماه‌های مختلف در سناریوهای متفاوت استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان دهنده کاهش میزان رواناب در تمام حالت‌ها می‌دهد. تغییرات در میان مدت را می‌توان بین ۶،۴ تا ۱۴،۹٪ دانست. برای بررسی شرایط

Reference:

- Ahmad, MD, and M Giordano. 2010. "The Kharkheh River Basin: the food basket of Iran under pressure." water internatinal 522-544.
- Ahmadi, Karim. 2017. Agricultural Statistics. Tehran: Ministry of Agriculture.[In Persian]
- Ardakanian, Reza. 2005. "Overview of Water Management in Iran." water conservation, Reuse, and Recycling: proceedings of an Iranian- American Workshop. Washington DC: The National Academies press. 18-33.
- Bahareh Kamali, Karim C. Abbaspour, Hong Yang. 2017. "Assessing the uncertainty of multiple input Datasets in the Prediction of water resource Components." Water 1-16.
- BCA&ME. 2016. Comprehensive Assessmaent of natinal water resources development: karkheh river basin. Behan sadd Company in association with Ministry of Energy. [In Persian]
- Chegnizadeh, Alireza, and Mohammad Javad Bahmani. 2019. "The impacts of climate change on the lorestan province." 6th. Nathonal congress on civil engineering, Architecture & urban development. Tehran: ICSAU. [In Persian]
- Chegnizadeh, Alireza, mohammad javad Bahmani, and Hamid reaz Rabeifar. 2019. "The effects of meteorological parameters of east Azarbaijan Province on Climate Change." 1'st International conferance on architecture, civil and Municipal Engineering. Paris: ICACME.
- DCPLR. 2017. Law of the Sixth Five-Year Economic, Social and Cultural Development Plan of the Islamic Republic of Iran. Tehran: The Legal Vice President of the Islamic Republic of Iran:Deputy for compiling and publishing laws and regulations. [In Persian]
- Ebrahimi, H. 2005. " Investigating the changes in trend and forecasting the potential evapotranspiration in Mashhad plain." Journal of Agricultural Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch. [In Persian].
- Ebrahimi, H. Alizadeh, A. Javanmard, S. 2005. "Investigating the existence of temperature change in Mashhad plain as an indicator of climate change.." Journal of Geographical Research Quarterly 5-18. [In Persian]
- Farahani H., Oweis T. 2008. Chapter One Agricultural water productivity in Karkheh River Basin. ICARDA, Aleppo, Syria: Improving On-Farm Agriculture water Productivity in karkheh river basin.
- Hamid R. Solaymani, A. K. Gosain. 2015. "AssAssessment of climate change impacts in a semi-arid watershed in Iran using regional climate models." Journal of Water and Climate Change 161-180.

- Hamideh Kazemi, Hossein hashemi, Fatemeh Fadia Maghsood, Seyyed hasan hosseini, ranjan Sarukkalige, sadegh Jamali, Ronny Berndtsson. 2021. "Climate vs. human impacts: Quantitative and Qualitative Assessmaent of streamflow Variation." *Water* 1-24.
- Han Thi Oo, Win Win Zin, Cho Cho Thin Kyi. 2020. "Analysis of streamflow Response to Climate Change Conditions using SWAT model." *Civil Engineering Journal* 194-208.
- I. Masih, s. Uhlenbrook, S.Maskey, V.Smakhtin. 2011. "Streamflow trends and climate linkages in the zagros mountains, Iran." *Climate Change* 317-338.
- I.Masih, S. Uhlenbrook, S.Maskey,M.D.Ahmad. 2010. "regionalization of the conceptual rainfall-runoff model based on similarity of the flow duration curve: Acase study from the semi Arid karkheh basin, Iran." *journal of Hydrology* 188-201.
- Ilyas Masih, Shreedhar Maskey, Stefan UhlenBrook, Vladimir Smakhtin. 2011. "Assessing the impacts of areal precipitation input on streamflow simulations using the swat model." *Academia (Journal Of the American water resources Association)* 47 (1): 179-195.
- J. G. Arnold, D.N.Moriasi, P.W. Gassman, K.C.Abbaspour, M.J.White, R.Srinivasan, C.Santhi, R.D.Harmel, a. van Griensven, M.W. van lieuw, N.Kannan, M.K.Jha. 2012. "SWAT:Model Use, calibration, and validation." *ASABE* 1491-1508.
- K.C. Abbaspour, E. Rouholahnejad, S. Vaghefi, R. Srinivasan, H. Yang, B. klove. 2015. "A continental-Scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high resolution large-scale SWAT model." *Journal of Hydrology* 733-752.
- K.C.Abbaspour. 2007. *User manual for SWAT-CUP, SWAT calibration and uncertainty analysis programs.* Dubendorfe, Switzerland: Eawag.
- karim C. Abbaspour, Saeid Ashraf Vaghefi, Reghvan Srinivasan. 2017. "A guideline for successsful calibration and uncertainty analysis for soil and water Assessment: A review of papers from the International SWAT conference." *Water* 1-18.
- Karim C.Abasspour, Monireh Faramarzi, Samaneh seyed Ghasemi, Hong Yang. 2009. "Assessing the Impact of Climate change on water resources in Iran." *Water resources research* 1-16.
- laurent Ahiablame, Tushar Sinha, Manashi paul, jae-Hyung Ji, Adnan Rajib. 2017. "Streamflow response to potential landuse and climate changes in the James River watershed, upper Midwest united States." *journal of hydrology: regional Studies (Journal of Hydrology)* 14 (11): 150-166.
- Marco Napoli, LucianoMasseti, Simone Orlandini. 2017. "Hydrolical response to landuse and climate changes in a rural hilly basin in Italy." *Catena (Catena)* 5 (157): 1-11.
- Mohammad Sadegh Abbasian, sanaz moghim, ahmad Abrishamchi. 2018. "Perfomance of the general circulation models in simulating temperature and preciitation over Iran." *Theoretical and applied Climatology* 24-56.
- Monireh Faramarzi, Karim C. Abbaspour, Rainer Schuline, Hong Yang. 2009. "Modeling Blue and green water resources availability in Iran." *Hydrological Processes* 486-501.
- Mousavi, SF. 2005. "Agriculture Droghte management in Iran." *proceeding of an Iranian American Workshop.* Washington DC: The National Academic Press. 107-113.
- R.A.Barkey, M.F. Mappiasse, M.Nursaputra. 2017. "Model of climate and LAND-USE changes impact on water security in Ambon city, Indonesia." *Journal of Geomatics and planning* 97-108.
- R.C.C Puno, G.R. Puno, B.A.M. Talisay. 2019. "Hydrologic responses of watershed assessment to land cover and climate change using soil and water assessmet tool madel." *Global Jornal of enviromental Science and management* 71-82.
- S. Ashraf Vaghefi, S.J.Mousavi, K.C.Abbapour, R.Srinivasan, H Yang. 2013. "Analyses of the impact of climate change on the water resourses components, drought and wheat yield in semiarid regions: Karkheh river basin in Iran." *Hydrological Processes* 1-15.
- Saeed Jamali, Ahmad Abrishamchi, Migual A.Marino, Aida Abbasnia. 2011. "Climate change impact assessment on hydrology of kharkheh basin, Iran." *Institution of civil engineers* 1-12.
- Saeid Ashrafe Vaghefi, Karim C. Abbaspour, Monireh Faramarzi, Raghavan Srinivasan , Jeffry G. Arnold. 2017. "Modeling Crop Water Productivity Using a coupled SWAt-MODSIM Model." *Water* 1-15.
- Sandra R.villamizar, Sergio M.Pineda, Gustavo A.Carriollo. 2019. "The effects of Landuse and climate Change on the water Yield of a watershed in colombia." *Water (Water)* 11 (285): 1-19.
- Sangam Shrestha, Aung Ye Htut. 2016. "Land use and climate change Impacts on the Hydrology of the Bago River Basin, Miyanmar." *Environ Model Assess* 1-15.
- Sara Marjanizadeh, Charlotte de Fraiture, Wiilibade Loiskandl. 2010. "Food and water scenarios for the karkheh river basin, Iran." *Water International* 409-424.
- SHAOEI, S. V., J PORHEMMAT, H. SEDGHI, M. HOSSEINI, and A. SAREMI. 2018. "Daily runoff simulation using remote sensing through SRM model and comparison to SWAT model." *APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH* 1843-1862.

- Shilum Zhou, Wanchang Zhang, Yuedong Guo. 2020. "Impacts of Climate and land-use change on the hydrological processes in the Amur river basin." *Water* 1-24.
- Tamm, Ottar, and Allar Padari, Toomas Tamm Siim Maasikamae. 2018. "Modelling the effects of landUse and climate change on tthe water resources in the eastern Baltic Sea region using the SWAT model." *Catena* 78-89.
- Xin Jin, yanxiang Jin, Xufeng Mao. 2019. "Land use/cover change effects on the river basin Hydrological processes based on a modified soil and water assessmaent tool: a case study of the Heihe River basin in the northwest china's Ariad region." *Sustainability* 1-18.
- Yashar makhtoumi, Simeng Li, Victor Ibeanusi, Gang Chen. 2020. "Evaluating Water Balance Variables under Land use and climate projections in the upper Chocatawhatchee River watershed, In Southeast US." *Water* 1-33.
- yasser ghobadi, biswajeet pradhan, ghlam abbas sayyad, Kavian Kabiri, Yashar Falamarzi. 2015. "Simulation of hydrological processes and effects of enginnering projects on the kharkkeh River basin and its wetland using SWAT2009." *Quaternary International* 1-15.



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil Resources
Conservation
(WSRCJ)

Web site:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 12
No. 2 (46)
Winter 2023

Received:
2022-04-11

Accepted:
2022-07-12

Pages: 13-29

The Effect of Mid-term Changes in Climate and Land use on Flow Reduction in Karkheh Catchment

Alireza Chegnizadeh¹, Hamidreza Rabieifar^{2*}, Hossein Ebrahimi³ and Mahmoud Zakeri Nayeri⁴

- 1) Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
 - 2) Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
 - 3) Department of Water Science and Engineering, Shahr-e-qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
 - 4) Department of Civil Engineering, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
- *Corresponding author email: h_rabieifar@azad.ac.ir

Abstract:

Background and Aim: Investigating future flow changes is a very important factor in policy-making and determining the strategy of a catchment. Two very important parameters affecting the flow are climate change and land use change. How these two parameters affect the water flow is due to the effect that each of them has on the hydrological cycle. The present study investigates and evaluates the effects of climate change and land use change on surface flow in one of the catchments in southwestern Iran, Karkheh. This catchment is known as one of the most important and strategic catchments for food security and electricity generation in Iran.

Method: The present study used the soil and water assessment model (SWAT) to investigate the impact of climate change and land use on the Karkheh catchment. A total of 15 scenarios have been studied, which first examine the changes on each climate and land use separately and then the simultaneous impact of these two parameters in the medium term on the surface flow. Climate change has been studied using RCP scenarios and general atmospheric circulation (GCM) models for two different GCMs, CMCC-CESM and MRI-CGCM3 in the 4.5 and 8.5 series over the medium term (2040 to 2060). The changes applied to land use in two different cases are based on Iran's future policies. Changes in these policies using the Sixth Development Plan, the 550,000-hectare plan, the land management plan from an agricultural perspective, as well as the rate of population growth in the region according to the scenarios considered in the plan of the Statistics Research Institute of Iran.

Results: To calibrate the model, 9 parameters and two objective functions NSE and R2 were used in 6 hydrometric stations. Based on the findings of this study, the highest sensitivity of the model is to the CN2 parameter, and in model calibration and anatomy, all stations have values above 0.5 for the intended objective functions. Changes in precipitation and temperature are other findings of this study. Based on the results obtained from the analysis of precipitation data, a decrease in precipitation is visible in all months and the highest decrease is related to the autumn season with a decrease of 7.83 to 8.23%, which shows the highest decrease in the 8.5 series.

Conclusion: The results of climate change show that in the midterm, the most changes will be achieved in the RCP8.5 scenario. This rate of change will include a 14.3 to 22.8% reduction in runoff. The results obtained from land use changes based on future policies in Iran show a maximum reduction of 7% in the average monthly runoff. If we simultaneously study the changes in climate and land use on the average flow rate, it can be concluded that in the RCP8.5 scenario, the most change will occur.

Keywords: Hydrological response, Karkheh, Watershed Modeling, SWAT

