

ارزیابی راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم از دیدگاه مدیریت آب سبز

مهدی سرائی تبریزی^{۱*}، محمدنبی جلالی^۲ و شیوا محمدیان خراسانی^۳

(۱) استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: mahdisarai@yahoo.com

(۲) باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(۳) دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۱

چکیده:

حفاظت و توسعه پایدار خاک و آب یکی از ابر چالش‌های پیشروی کشورهاست. در این پژوهش پس از ساخت مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی SWAT (ابزار ارزیابی خاک و آب) برای حوضه سد لتیان، ارزیابی رواناب در اثر تغییر اقلیم و تغییرات آب سبز با توجه به سناریوهای مدیریتی مورد بررسی قرار گرفته و پس از وارد کردن اطلاعات بارش و دمای روزانه منطقه نسبت به شبیه‌سازی رواناب (۱۹۸۸ تا ۲۰۱۴) اقدام شده است. ایستگاه‌های هیدرومتری نجارکلا، لتیان، رودهن و زردره به‌عنوان نقطه کنترل، مورد واسنجی (۱۹۸۸-۲۰۱۰) و اعتبارسنجی (۲۰۱۴-۲۰۱۰) قرار گرفتند، نتایج شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2) و نش‌ساتکلیف (NS) نشان می‌دهد که شبیه‌سازی در این حوضه آبریز با دقت خوبی انجام شده است (نتایج بالای ۰/۶). نتایج آنالیز حساسیت با نرم‌افزار SWAT-CUP حاکی از آن بود که پارامتر PLAPS دارای بیش‌ترین حساسیت می‌باشد. واسنجی مدل نیز توسط نرم افزار SWAT-CUP با الگوریتم SUFI2 با تعداد تکرارهای ۵۰۰ تایی انجام گرفت و در نهایت بهترین مقدار پارامترهای انتخابی به‌دست آمد. همچنین با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری توسط مدل اقلیمی Lars-WG اطلاعات اقلیمی آینده تحت دو سناریوی خوش‌بینانه RCP2.6 و بدبینانه RCP8.5 به مدل وارد شد سپس دو سناریوی مدیریتی در مدل SWAT اعمال گردید. در سناریوی اول، فرض شده است که ۳ درصد از مرتع ضعیف به کاربری جنگلی تبدیل شود و درصد کاربری اراضی جنگلی به ۳/۱۸ درصد از کل مساحت برسد. همچنین در سناریوی دوم فرض شد که به کشاورزی دیم ۵ درصد افزوده شود در این سناریوها مشخص گردید که با افزایش سطوح دارای پوشش گیاهی (جنگل یا کشاورزی) نفوذ به آبخوان افزایش خواهد یافت و این تغییرات عموماً به‌صورت افزایشی خواهند بود، همچنین با کاهش تبخیر و تفرق در حوضه مواجه خواهیم بود. دلیل این امر ممکن است به‌علت افزایش سطح پوشش خاک و مقاومت در برابر تبخیر مستقیم از خاک و افزایش برگاب باشد. نتایج شبیه‌سازی میزان آب سبز در دوره زمانی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نشان داد که نوع واحد اراضی تأثیری مستقیم بر میزان جریان آب سبز و ذخیره آب سبز خواهد داشت.

کلیدواژه‌ها: آب سبز؛ تغییر اقلیم؛ حوضه آبریز لتیان؛ سازگاری؛ SWAT

مقدمه

تمدن‌ها و زندگی مدرن ما بسیار مهم و حائز اهمیت است (nasa.gov). پیش‌بینی شرایط آینده حفاظت از منابع آب و خاک با توجه به شرایط متغیر جهانی از جمله توسعه یافتگی، تغییر در کاربری اراضی و تغییرات اقلیمی با در نظر گرفتن منابع محدود آب و خاک برای مدیریت صحیح و پایدار خاک و آب ضروری می‌باشد.

در طول تاریخ، مردم و جوامع با درجات مختلف تغییرات اقلیمی مواجه بوده‌اند. تغییرات اقلیمی (به‌ویژه خشک‌سالی) حداقل تا حدی مسئول افزایش و سقوط تمدن‌ها بوده است. آب و هوای زمین برای ۱۲۰۰۰ سال گذشته نسبتاً پایدار بوده و این پایداری برای توسعه

سبز و ذخیره آب سبز در حوضه آبریز همدان- بهار استفاده کرده‌اند نتایج نشان داد که طیف عدم قطعیت مربوط به میانگین ماهانه جریان آب سبز کوچک‌تر از سایر مؤلفه‌ها بود. در واقع، پاسخ‌های هیدرولوژیکی به تغییرات اقلیمی (بارش و میانگین دما) در انواع کاربری‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد (Gosain et al., 2015). مدل‌های مختلف هیدرولوژیکی مفهومی در طول سال‌ها توسعه داده شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند، مدل SWAT به‌طور گسترده‌ای برای مطالعاتی بسیار مورد استفاده قرار گرفته و ابزاری مؤثر برای مدل‌سازی جریان در حوضه‌های مختلف در طول دوره‌های طولانی است (Bourroui et al., 2005). تلفیق مدل هیدرولوژیکی SWAT با مدل‌های آب و هوایی جهانی (GCM) امکان‌سنجی تأثیر تغییرات اقلیمی را در منابع آب مورد ارزیابی قرار می‌دهد. مدل SWAT در حوضه‌های رودخانه‌ای مختلف در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است. در ایالات متحده آمریکا، استفاده از آن برای تأثیرات تغییرات اقلیمی در تأمین منابع آب و مخزن مورد استفاده قرار می‌گیرد که شامل مطالعات (i) تأثیر تغییرات اقلیمی منطقه بر آبخوان Ogallala (Rosenberg et al., 1999)، (ii) تغییرات آب و هوایی تأثیر در مخزن رودخانه میسوری (Hotchkiss et al., 2000)، (iii) تأثیر تغییرات آب و هوایی بر عملکرد آب در حوضه کوهستانی (Stonefelt et al., 2000) می‌باشد. از مدل SWAT برای برآورد میزان دسترسی آب شیرین در غرب شبه‌قاره آفریقا استفاده شده است. Devkota و Gyawali (۲۰۱۵) در پژوهشی به تخمین اثرات تغییرات آب و هوایی در حوضه رودخانه Kohi، نپال تخمین پرداخته‌اند.

در هند، تحقیقات در مورد تغییرات اقلیمی آینده بر منابع آب حوضه رودخانه‌ای با استفاده از SWAT انجام شده است (Narsimlu et al., 2013) و این مطالعه نشان داد که در اواسط قرن (۲۰۵۰) میانگین جریان سالانه

انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان یک نتیجه از صنعتی شدن و شهرنشینی سبب افزایش دمای کره زمین شده است. به‌طوری‌که دمای جهانی از سال ۱۹۰۶ تا ۲۰۰۵ به میزان ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (IPCC, 2007). بدیهی است که به‌منظور کاهش و حداقل شدت تغییر اقلیم جهانی و اثرات مضر آن، کنترل و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای اقدامی اساسی و ضروری است (Luo et al., 2017). برای پاسخ به این تغییرات اقلیمی، سازمان بین‌دولتی تغییر اقلیم طی گزارشی چگونگی مدیریت بهتر زمین و جنگل، برای آنکه اکوسیستم‌ها بتوانند به‌طور طبیعی با تغییرات آب و هوایی سازگار شوند و اطمینان حاصل گردد که تولید مواد غذایی مورد تهدید قرار نمی‌گیرد را از برنامه‌های مختلف توسعه دانسته است (IPCC, 2014).

تنها $\frac{1}{3}$ از منابع آب شیرین، آب آبی می‌باشد و حدود $\frac{2}{3}$ آب باران که توسط خاک نگه داشته می‌شود، آب سبز است. برای صرفه‌جویی در استفاده از منابع آب سطحی و زیرزمینی باید بر روی مدیریت آب سبز تمرکز بیشتری صورت گیرد. آب نفوذ یافته به خاک در اثر بارش (تغذیه) در ناحیه غیراشباع، آب سبز نامیده می‌شود (Brandsma et al., 2013; Akombo et al., 2014). لزوم توجه به آب سبز به‌عنوان بخشی از مطالعات مرتبط با منابع آب و اثرات تغییر اقلیم بر آن ضروری می‌باشد. فالکن مارک و راکسترام (۲۰۰۶) آب سبز را شامل دو مؤلفه جریان آب سبز و ذخیره آب دانسته‌اند. در پژوهشی زنگ و همکاران (۲۰۱۴) برای شبیه‌سازی جریان آب سبز و آبی در حوضه وی چین از مدل SWAT استفاده کردند و نتایج مدل را جهت شبیه‌سازی بسیار خوب مورد ارزیابی قرار دادند و گزارش آن‌ها نشان‌دهنده این بود که تغییرات جریان آب سبز و ذخیره‌سازی سبز نسبت به ابعاد فضایی و زمانی، نسبتاً کوچک بود. اخوان و همکاران از مدل SWAT به‌منظور تخمین مؤلفه‌های منابع آب شامل آب آبی جریان آب

به راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم در حوضه آبریز لتیان بود.

مواد و روش‌ها

۱- محدوده مطالعاتی

حوضه آبریز سد لتیان به مختصات جغرافیایی $51^{\circ}22'$ تا $51^{\circ}66'$ طول شرقی و $35^{\circ}45'$ تا $36^{\circ}55'$ عرض شمالی به‌عنوان یکی از حوضه‌های کوهستانی کشور در شمال شرق استان تهران واقع شده است. سد لتیان سدی است بر روی رودخانه جاجرود که با سطح حوضه آبریزی به مساحت ۶۹۸۰۰ کیلومتر مربع و با متوسط جریان آب سالانه به میزان ۳۵۰ میلیون مترمکعب در ۱۰ کیلومتری شمال شرقی تهران و در جنوب شهر لوسان قرار گرفته است. سد بتنی یکی از منابع اصلی تأمین آب شرب تهران می‌باشد. دو پارک جنگلی به نام‌های لتیان و تلوه، دریاچه این سد را احاطه کرده‌اند. این سد در دره‌ای در میان کوه جاجرود و کوه بندک ساخته شده و در شمال آن، کوه آلون قرار دارد.

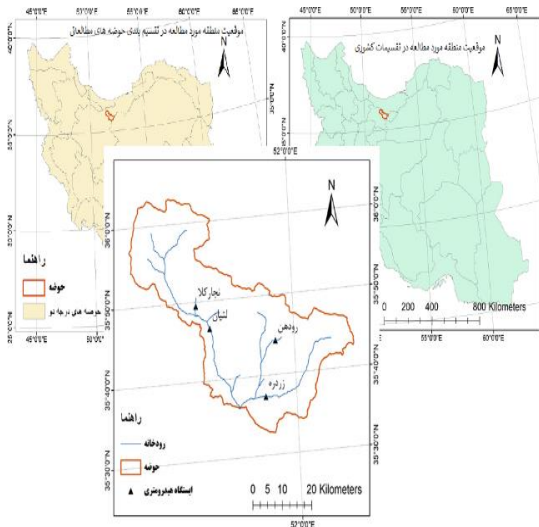
می‌تواند ۴/۱۶ درصد و تا قرن پایانی (۲۰۷۱-۲۰۹۸) می‌تواند تا ۵/۹۳ درصد افزایش یابد. مدل SWAT همچنین برای تعادل آب حوضه رود کن در هند (Murty *et al.*, 2014) و پیش‌بینی جریان در حوضه رودخانه Madhya Pradesh, Kunwari (Narsimlu *et al.*, 2015) مورد استفاده قرار گرفت.

ایران در منطقه‌ای با بیش‌ترین استرس آبی در جهان، به‌عنوان یکی از آسیب‌پذیری‌ترین کشورها شناخته شده است (world bank beyond scarcity; 2017)

از نشانه‌های این وضعیت بحرانی خشک شدن دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و تالاب‌ها، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، فرونشست زمین، تخریب کیفیت آب، فرسایش خاک، بیابان‌زایی و طوفان‌های گرد و غبار بیش‌تر می‌باشد. دمای ایران می‌تواند بین ۵۰- تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد در سال متغیر است. در حالی‌که بارش کم‌تر از ۵۰ تا بیش ۱۰۰۰ میلی‌متر متغیر است. متوسط بارش سالانه ایران ۲۵۰ میلی‌متر است (کم‌تر از $\frac{1}{3}$ متوسط جهانی) (Madani *et al.*, 2016).

به نظر می‌رسد که وقوع تغییرات احتمالی اقلیم در این منطقه تأثیر منفی بر منابع آب داشته است. علاوه بر این، ایران طیف وسیعی از شرایط آب و هوایی را در مناطقی با بارندگی قابل‌توجه دارا می‌باشد (Abbaspour *et al.*, 2015). یکی از بزرگ‌ترین تغییرات اثرات تغییر اقلیم، کاهش بارش در حوضه‌های شهری است (Evans, 2009).

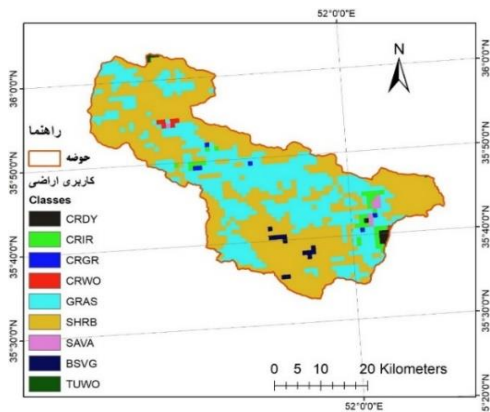
برای اطمینان از پایداری حفاظت آب و خاک، مطالعه تغییرات اقلیمی احتمالی بر این بخش و بررسی راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم در تعامل با مدیریت آب سبز، بیش از پیش احساس می‌شود. هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بیلان آینده حوضه آبریز لتیان و همچنین بررسی تغییرات مؤلفه‌های منابع آب سبز (ذخیره آب سبز و جریان آب سبز) با توجه



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی و شبکه آبراهه‌های موجود

۲- مدل SWAT

مدل SWAT یک مدل مقیاس حوضه‌ای مبتنی بر محاسبات تجربی و نیمه‌توزیعی می‌باشد که توسط سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا تهیه شده، این مدل



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی

۴- مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی

در مطالعات تغییر اقلیم یکی از معتبرترین ابزارهای تولید سناریوی اقلیمی، مدل‌های سه بُعدی جفت شده گردش عمومی اتمسفر-اقیانوس AOGCM هستند. در این پژوهش، از مدل‌های گردش عمومی جو که از جدیدترین گزارش IPCC تحت عنوان گزارش پنجم AR5 استخراج شده‌ها ارائه شده است.

جدول ۱- مدل‌های AOGCM استخراج شده

MIROC-ESM
GISS-E2-R
CESM1(WACCM)
CSIRO-Mk3.6.0
MIROC-ESM-CHEM
MPI-ESM-LR
MPI-ESM-MR
GISS-E2-H
EC-EARTH

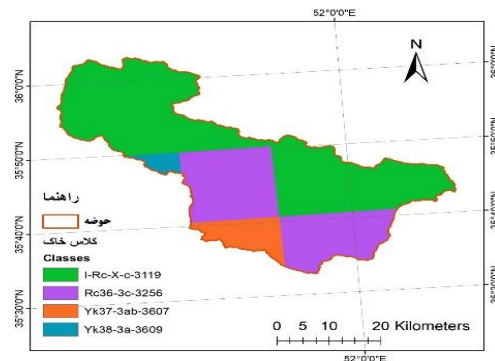
از این مدل‌ها برای پیش‌بینی دو پارامتر دما و بارش استفاده شده است. داده‌های گزارش پنجم در پایگاه اینترنتی www.cccsn.ec.gc.ca قابل دسترس است. با مراجعه به این سایت، در بخش AR5، می‌توان پارامترهای مورد نظر را با انتخاب مدل‌های موجود دانلود نمود. برای دریافت خروجی این مدل‌ها نیاز به انتخاب سناریوهای انتشار است که گزارش پنجم تحت ۴ سناریوی انتشار ارائه شده است. در این بین سناریوی RCP2.6 سناریوی خوش‌بینانه و RCP8.5 سناریوی بحرانی است و در اغلب مطالعات تغییر اقلیم دوره‌های آینده سی‌ساله انتخاب

می‌تواند شبیه‌سازی فرآیند حوضه و فعالیت‌های مدیریت بر کیفیت آب و خاک را انجام دهد (Neitsch *et al.*, 2011). پارامترهای ورودی این مدل شامل توپوگرافی، کلاس‌های خاک، کاربری اراضی و اطلاعات آب و هوایی است. در مدل SWAT، هر حوضه را می‌توان به زیر حوضه‌ها و سپس هر زیرحوضه را با توجه به خاک و پوشش زمین با در نظر گرفتن حد آستانه مشخص به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی یا HRU تقسیم کرد. این مدل می‌تواند برآورد رواناب، رسوب، شدت جریان، آب آبی، آب سبز و مواد مغذی را در کانال اصلی سیستم حوضه از طریق فاز زمین شبیه‌سازی کند.

۳- اطلاعات ورودی مدل SWAT

مدل SWAT با استفاده از نقشه‌های رقومی DEM، کاربری اراضی، خاک و شیب به همراه اطلاعات اقلیمی دمای بیشینه و کمینه و بارش روزانه ساخته می‌شود. اطلاعات مدیریتی حوضه آبریز نظیر الگوی کشت، بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی توسط کشاورزی، اطلاعات سدهای موجود در منطقه نیز به صورت اختیاری قابل ارائه به مدل می‌باشد.

در این پژوهش از لایه DEM ۳۰ متری به همراه نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۱۰ و نقشه خاک FAO و از اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی لتیان، نجارکلا، زردره و رودهن و ایستگاه سینوپتیک ورامین و سرخه‌حصار گرمسار استفاده شده است. در شکل ۲ و ۳ اطلاعات نقشه‌های خاک و کاربری اراضی آورده شده است.



شکل ۲- نقشه خاک

جدول ۳- تغییرات کاربری اراضی تحت سناریوهای مختلف

مدیریتی	حالت	
	سناریوی دوم (%)	سناریوی اول (%)
کاربری	پایه (%)	پایه (%)
زمین‌های کشاورزی دیم	۵/۴	۰/۴
زمین‌های کشاورزی آبی	۱/۹۶	۱/۹۶
زمین‌های جالیزی	۰/۳۴	۰/۳۴
باغ آبی	۰/۳۸	۰/۳۸
مرتع (چمن‌زار)	۳۷/۶۲	۳۷/۶۲
مرتع ضعیف	۵۷/۸۹	۵۴/۸۹
چمن‌زار متراکم	۰/۵۱	۰/۵۱
کشاورزی مخلوط آبی و دیم	۰/۷۳	۰/۷۳
جنگل پراکنده	۰/۱۸	۳/۱۸

نتایج و بحث

۱- شبیه‌سازی رواناب، آنالیز حساسیت، واسنجی و

اعتبارسنجی مدل

در این پژوهش، پس از وارد کردن اطلاعات بارش و دمای روزانه منطقه نسبت به شبیه‌سازی رواناب (۱۹۸۸ تا ۲۰۱۴) و بیان منطقه اقدام شده است. همچنین در این حوضه، سد لتیان قرار دارد که در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی اطلاعات این سد نیز وارد مدل شده است. پس از آنالیز حساسیت، ایستگاه‌های هیدرومتری نجارکلا، لتیان، رودهن و زردره در این پژوهش به‌عنوان نقطه کنترل مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار گرفتند. شاخص آماری ضریب کارآیی، ضریب تبیین و خطای ریشه میانگین مربعات به‌منظور برآورد دقت و خطای شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند.

به‌منظور آنالیز حساسیت با توجه به اینکه پارامترهایی مختلف در نتایج مدل دخالت دارند و لازم است آن‌هایی که خروجی مدل به تغییرات آن‌ها حساسیت بیشتری دارد، مشخص و در واسنجی‌ها مورد توجه بیشتری قرار گیرند، از نرم‌افزار SWAT-CUP استفاده شده است. در جدول ۴ ترتیب میزان تأثیرگذاری پارامترها از بالا به پایین به‌صورت نزولی می‌باشد که رتبه‌بندی آن‌ها توسط دو مقدار p-value و t-state مشخص می‌شود، بدین صورت

می‌گردند و در این تحقیق نیز دوره سی‌ساله آینده نزدیک ۲۰۲۰-۲۰۴۱ در نظر گرفته شده است، همچنین به‌منظور برآورد سری‌های زمانی آینده پس از برآورد سناریوها، مدل اقلیمی Lars-WG مورد استفاده قرار گرفته است.

۵- سناریوهای مدیریتی

در این پژوهش، نخست ۲ سناریوی تغییرات کاربری اراضی در قسمت Landuse update در مدل SWAT اعمال شده است. نحوه تغییرات سعی شده است که به‌صورت منطقی باشد. در جدول ۲ نوع کاربری اراضی آورده شده است.

جدول ۲- نوع کاربری اراضی و درصد و مساحت آن در محدوده

کاربری	نماد	مساحت	
		(هکتار)	(%)
زمین‌های کشاورزی دیم	CRDY	۶۹۳	۰/۴
زمین‌های کشاورزی آبی	CRIR	۳۳۸۷	۱/۹۶
زمین‌های جالیزی	CRGR	۵۸۵	۰/۳۴
باغ آبی	CRWO	۶۵۷	۰/۳۸
مرتع (چمن‌زار)	GRAS	۶۵۱۷۱	۳۷/۶
مرتع ضعیف	SHRB	۱۰۰۲۸۹	۵۷/۸
چمن‌زار متراکم	SAVA	۸۷۹	۰/۵۱
کشاورزی مخلوط آبی و دیم	BSVG	۱۲۷۱	۰/۷۳
جنگل پراکنده	TUWO	۳۰۷	۰/۱۸

در سناریوی نخست فرض شده که ۳ درصد از مرتع ضعیف به کاربری جنگلی تبدیل شود و درصد کاربری اراضی جنگلی به ۳/۱۸ درصد از کل مساحت برسد. همچنین در سناریوی دوم فرض شده که به کشاورزی دیم ۵ درصد افزوده شود، در واقع این افزایش از مرتع خوب یا علفزار کاسته خواهد شد. در بررسی منابع مشخص شد که افزایش‌های حدی و ناگهانی در سناریوها غیرقابل پذیرش است و افزایش‌های ۳ درصدی برای کاشت جنگل بسیار متداول هستند و افزایش‌های زیاد، به‌عنوان مثال ۳۵ درصد افزایش کاربری جنگل منطقی نمی‌باشد. از همین روی در این سناریوها این تغییرات به‌صورت منطقی، باورپذیر و قابل انجام است. در جدول ۳ حالت ابتدایی و پایه مدل ارائه شده است.

در جدول ۵ پارامترها و بازه تغییرات پارامترها در هر ایستگاه هیدرومتری و بالادست آن نشان داده شده است.

جدول ۴- محدوده نهایی میزان پارامترهای هیدرولوژیکی مؤثر در

رواناب خروجی از حوضه

Parameter_Name	Fitted_Value	Min_value	Max_value
R_CN2.mgt	-۰/۱۸۱۹۱۸	-۰/۴۹۸۷۶۴	-۰/۰۲۴۶۸
V_ALPHA_BF.gw	۰/۳۳۴۴۸۲	۰/۲۸۶۶۶۵	۰/۹۵۳۸۷۹
V_GW_DELAY.gw	۲۵/۲۸۸۱۷۹	۲۰/۱۴۷۳۴۳	۲۸/۲۴۲۱۴۹
V_GWQMN.gw	۲/۲۸۸۰۳۹	۱/۴۷۸۲۵۲	۲/۷۲۱۶۶
V_SLSUBBSN.hru	۲۷/۱۴۴۲۷۸	۱۷/۷۰۰۹۰۱	۹۵/۳۱۷۶۹۶
V_HRU_SLP.hru	۰/۹۱۱۶۴۵	۰/۶۷۹۲۹۳	۰/۹۸۰۳۹۷
V_LAT_TTIME.hru	۳۹/۸۰۹۶۰۸	۳۵/۱۰۸۸۲۶	۵۴/۵۶۰۳۴۹
V_SURLAG.bsn	۳۱/۳۴۷۶۷۹	۲۵/۲۶۱۷۷۲	۳۸/۹۳۷۹۶۵
R_ESCO.bsn	۰/۶۵۵۷۴۳	۰/۴۰۱۲۲۹	۱/۰۲۴۵۲۹
R_EPCO.bsn	-۰/۲۹۶۲۳۷	-۰/۳۱۸۹۳۶	۰/۲۷۳۲۰۸
V_PLAPS.sub	۸۳۴/۱۷۴۸۰۵	۱۶۷/۶۵۱۹۶۲	۸۹۳/۴۴۸۱۲
V_TLAPS.sub	-۲/۲۵۱۴۸۷	-۵/۵۸۳۸۷۴	۰/۹۲۸۹۳۵
V_RCHRGP_DP.gw	-۰/۱۵۷۲۹۱	-۰/۱۶۳۹۱۱	۰/۴۰۳۵۴۳
V_ALPHA_BF.gw	۰/۴۷۲۶۰۴	۰/۲۳۰۲۱۶	۰/۵۰۹۳۵۸
R_SOL_AWC(..).sol	۰/۸۴۲۲۵۵	۰/۴۲۰۳۴۲	۱/۳۴۷۲۲۴
R_SOL_AWC(..).sol	۰/۶۰۵۹۹۲	۰/۱۶۷۷۴۷	۰/۷۲۶۰۲۱
R_SOL_K(..).sol	-۰/۲۷۶۴۲۵	-۰/۲۷۹۲۹	۰/۲۹۳۳۸
R_SOL_BD(..).sol	-۰/۴۵۹۹۷۱	-۰/۹۶۱۷۵۵	-۰/۲۲۲۰۲۵
R_SOL_K(..).sol	۰/۴۱۲۷۱۴	۰/۰۰۳۸۷۳	۰/۵۲۹۱۵۱
R_SOL_BD(..).sol	۰/۵۶۹۶۴۱	-۰/۴۳۴۸۸۲	۰/۵۹۸۹۳۲
V_CANMX.hru	۴۹/۷۸۸۶۵۴	۳۹/۵۸۰۲۵۷	۵۳/۲۲۱۷۶۷
V_GW_REVAP.gw	۰/۱۶۱۳۱۷	۰/۱۴۲۷۴۸	۰/۲۲۴۰۷۲

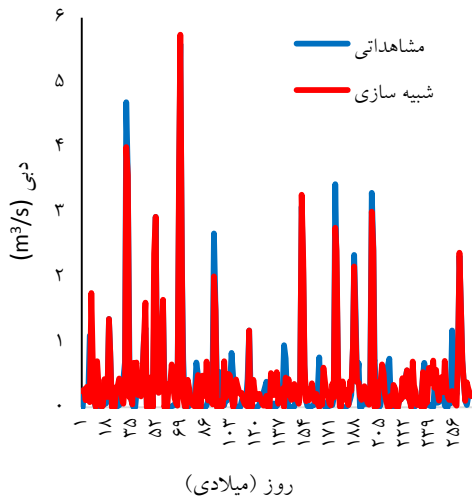
در شکل‌های ۴ تا ۷ سری زمانی شبیه‌سازی شده در کنار داده‌های مشاهداتی و باند سبزرنگ عدم قطعیت ۹۵ درصد نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که شبیه‌سازی رواناب در مقیاس ماهانه توسط شاخص‌های آماری NS و R^2 سنجیده می‌شوند و میزان بالاتر از ۰/۵ برای این دو شاخص بیانگر عملکرد مطلوب مدل و بالاتر از ۰/۶ بیانگر عملکرد خوب مدل می‌باشد. در جدول ۶ نتایج واسنجی و اعتبارسنجی سری‌های زمانی رواناب آورده شده است. این نتایج نشان می‌دهند که شبیه‌سازی در این حوضه آبریز با دقتی خوب انجام شده و بهترین نتیجه در ورودی سد لتیان به‌دست آمده است. دوره واسنجی از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۰ و ۴ سال پایانی نیز برای دوره اعتبارسنجی مدل به‌کار گرفته شده است.

که هر مقدار قدر مطلق t-state بیش‌تر و p-value آن نزدیک به صفر باشد، آن پارامتر تأثیری بیش‌تر دارد. در ستون چهارم (Rank) رتبه حساسیت پارامترها آورده شده است که مشخص گردید پارامتر PLAPS.sub دارای بیش‌ترین حساسیت می‌باشد. انتخاب این پارامترها برای واسنجی مدل بر اساس مطالعه و مقایسه در مقالات مروری از جمله مقاله Arnold و همکاران (۲۰۱۲) می‌باشد.

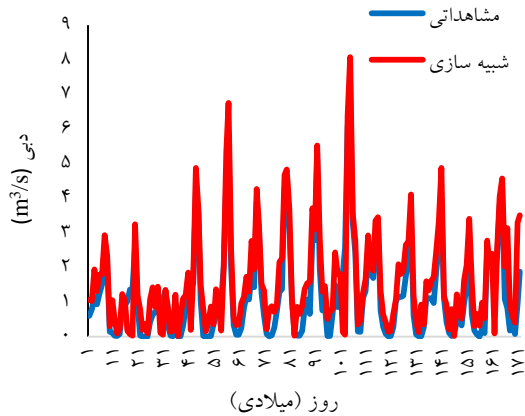
جدول ۴- پارامترهای حساس مدل

Parameter Name	t-Stat	P-Value	Rank
V_PLAPS.sub	۱۶/۸۵	۰/۰۰	۱
V_TLAPS.sub	۷/۵۵	۰/۰۰	۲
R_SOL_BD(..).sol	۶/۲۸	۰/۰۰	۳
V_RCHRGP_DP.gw	-۴/۷۵	۰/۰۰	۴
R_CN2.mgt	۳/۱۴	۰/۰۰	۵
V_GW_DELAY.gw	-۲/۰۶	۰/۰۰	۶
R_SOL_K(..).sol	۲/۴۵	۰/۰۱	۷
R_EPCO.bsn	-۱/۷۲	۰/۰۹	۸
V_CANMX.hru	-۱/۵۶	۰/۱۲	۹
V_GWQMN.gw	-۱/۵۳	۰/۱۳	۱۰
V_ALPHA_BF.gw	-۱/۴۱	۰/۱۶	۱۱
R_SOL_AWC(..).sol	۱/۰۹	۰/۲۸	۱۲
R_SOL_AWC(..).sol	-۱/۰۲	۰/۳۱	۱۳
V_HRU_SLP.hru	۰/۹۳	۰/۳۵	۱۴
R_SOL_BD(..).sol	۰/۹۲	۰/۳۶	۱۵
V_ALPHA_BF.gw	۰/۹۱	۰/۳۶	۱۶
V_SURLAG.bsn	۰/۶۴	۰/۵۲	۱۷
R_SOL_K(..).sol	-۰/۵۵	۰/۵۹	۱۸
V_GW_REVAP.gw	۰/۴۵	۰/۶۵	۱۹
R_ESCO.bsn	-۰/۳۲	۰/۷۵	۲۰
V_SLSUBBSN.hru	۰/۲۳	۰/۸۲	۲۱
V_LAT_TTIME.hru	-۰/۱۳	۰/۹۰	۲۲

به‌منظور واسنجی این مدل از نرم‌افزار SWAT-CUP و از الگوریتم SUFI2 استفاده شده است. در جدول ۴ تعداد پارامترها و همچنین باند تغییرات این پارامترها و



شکل ۶- سری زمانی شبیه سازی شده و مشاهداتی ایستگاه رودهن طی دوره واسنجی و اعتبارسنجی



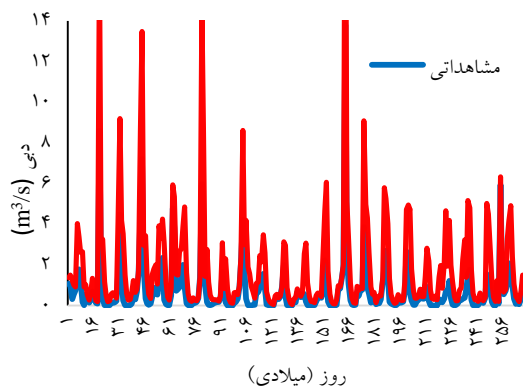
شکل ۷- سری زمانی شبیه سازی شده و مشاهداتی ایستگاه زر دره طی دوره واسنجی و اعتبار سنجی

۲- پیش بینی رواناب تحت سناریوهای اقلیمی

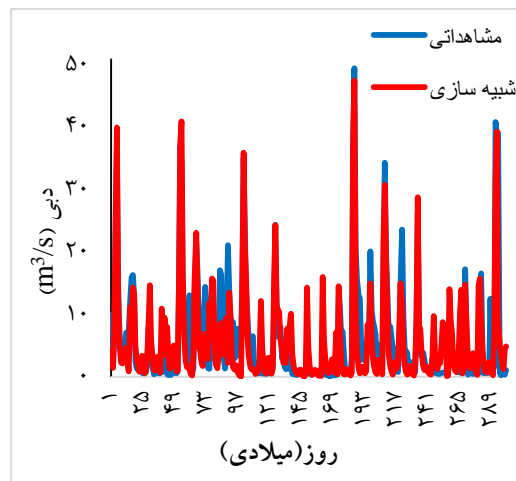
پس از دوره واسنجی و اعتبارسنجی مدل و با ثابت نگه داشتن پارامترهای کالیبره شده، سناریوهای پیش بینی دما و بارش آینده به منظور برآورد رواناب به مدل SWAT وارد شدند. این تغییرات به صورت ماهانه بر روی دما و بارش دوره پایه اعمال می گردد. در شکل ۸ تغییرات ماهانه رواناب آنتشان داده می شود. به منظور برآورد رواناب آینده از اطلاعات ایستگاه سد لتیان استفاده شده است. تغییر اقلیم علاوه بر تأثیر بر روی رواناب بر سایر پارامترهای هیدرولوژیکی نظیر تبخیر و تعرق، نفوذ و رشد گیاهی تأثیرگذار می باشد. در جدول ۷، بیشترین

جدول ۶- نتایج شبیه سازی رواناب در دو دوره واسنجی (۱۹۸۸-۲۰۱۰) و اعتبارسنجی (۲۰۱۰-۲۰۱۴)

واسنجی			
ایستگاه	R ²	NS	NRMSE
نچارکلا	۰/۷۴	۰/۶۷	۱/۲۴
ورودی سد لتیان	۰/۶۵	۰/۶۱	۰/۷۷
رودهن	۰/۶۸	۰/۶۱	۱/۵۴۸
زر دره	۰/۸۵	۰/۶۶	۰/۹۷
اعتبارسنجی			
ایستگاه	R ²	NS	NRMSE
نچار کلا	۰/۵۲	۰/۵۴	۱/۸۹
ورودی سد لتیان	۰/۵۱	۰/۵۲	۱/۶۷
رودهن	۰/۵۵	۰/۵۱	۱/۷۸
زر دره	۰/۶	۰/۵۸	۱/۵۰۱



شکل ۴- سری زمانی شبیه سازی شده و مشاهداتی ایستگاه نچار کلا طی دوره واسنجی و اعتبارسنجی



شکل ۵- سری زمانی شبیه سازی شده و مشاهداتی ایستگاه ورودی سد لتیان طی دوره واسنجی و اعتبارسنجی

۳- بررسی تغییرات بیلان آبی هر یک از سناریوهای مدیریتی تحت شرایط تغییر اقلیم

سناریوهای مدیریتی هم‌زمان بر روی تغییرات اقلیمی انجام گرفته است. در این سناریوها مشخص شد که با افزایش سطوح دارای پوشش گیاهی (جنگل یا کشاورزی) میزان نفوذ به آبخوان افزایش خواهد یافت و همچنین این تغییرات عموماً به‌صورت افزایشی خواهد بود.

مؤلفه‌های بیلان از داخل مدل SWAT برای پارامترهای بارش، مقدار بارش برف، ذوب برف، نفوذ به آبخوان عمیق و زیرسطحی، آب برگشتی، تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل محاسبه شده‌اند. میزان تبخیر و تعرق واقعی در سناریوی خوش‌بینانه با ۳ میلی‌متر افزایش و در سناریوی بدبینانه با ۸ میلی‌متر افزایش تأثیر بدی بر روی منابع آب در دسترس در حوضه آبریز خواهند گذاشت.

همچنین در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۱ با کاهش تبخیر و تعرق واقعی در حوضه مواجه خواهیم بود. دلیل این امر ممکن است به‌علت افزایش سطح پوشش خاک و مقاومت در برابر تبخیر مستقیم از خاک و افزایش برگاب باشد. همچنین با توجه به اجرای این سناریوها رواناب به‌صورت کاهش ۵ درصدی در دوره نخست برای سناریوی نخست و کاهش، ۹/۵ درصدی برای سناریوی دوم خواهد بود.

جدول ۸- برآورد مؤلفه‌های بیلان آبی در دوره آینده تحت سناریوی مختلف مدیریتی اول و اقلیمی

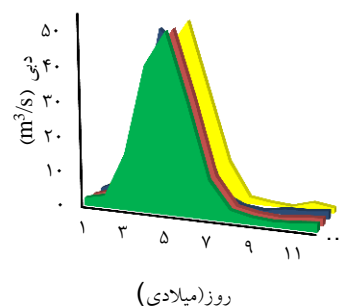
مؤلفه بیلان	BASE (mm)	RCP ۸/۵ (mm)	RCP ۲/۶ (mm)
PRECIP MM	۳۸۸/۱	۳۸۱/۵	۳۷۰/۴
SNOW FALL MM	۱۱۰/۴	۱۱۴/۳	۱۱۹/۲
SNOW MELT MM	۱۰۷/۰	۱۰۶/۷	۱۰۲/۱
GROUNDWATER (SHAL AQ) Q MM	۱۵/۵۶	۱۵/۴۵	۱۴/۲۳
GROUNDWATER (DEEP AQ) Q MM	۱/۸۲۰	۱/۵۹۰	۱/۴۸۰
REVAP (SHAL AQ => SOIL/PLANTS) MM	۲۲/۰۷	۲۲/۳۸	۲۲/۱۲
DEEP AQ RECHARGE MM	۱/۸۲۰	۱/۸۷۰	۲/۴۵۰
ET MM	۲۵۸/۳	۲۶۱/۹	۲۶۶/۹
PET MM	۲۰۴۳	۲۰۴۵	۲۰۵۰

تغییرات رواناب در ماه می با ۲/۴ مترمکعب کاهش و در ماه آوریل ۱/۴۹ مترمکعب دبی در سناریوی خوش‌بینانه افزایش خواهد یافت. همچنین در سناریوی بدبینانه RCP8.5 در ماه‌های می و ژوئن بیش‌ترین کاهش رواناب را خواهیم داشت که می‌تواند اثرات بسیار بدی بر روی میزان آب ذخیره شده در مخزن سد تا شروع بارندگی‌های مجدد داشته باشد. همچنین شکل ۸ نشان‌دهنده کاهش رواناب در ماه‌های فصل بهار و تابستان می‌باشد.

جدول ۷- تغییرات رواناب در دوره آینده تحت دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه

Month	Base(mm)	۸/۵RCP (mm)	۲/۶RCP (mm)
	۱۹۸۸-۲۰۱۴	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۲۰۲۱-۲۰۴۰
۱	۲/۲	۱/۳	۱/۵
۲	۳/۵	۲/۸	۳/۴
۳	۱۶/۳	۱۶/۶	۱۶/۳
۴	۴۱/۷	۴۲/۳	۴۱/۵
۵	۵۱/۵	۵۱/۲	۵۱/۱
۶	۳۲/۲	۳۱/۵	۳۲/۰
۷	۱۱/۱	۱۱/۷	۱۰/۹
۸	۳/۳	۱/۹	۲/۷
۹	۲/۰	۱/۰	۱/۵
۱۰	۱/۵	۰/۶	۱/۱
۱۱	۱/۹	۲/۴	۱/۸
۱۲	۲/۵	۱/۵	۲/۲

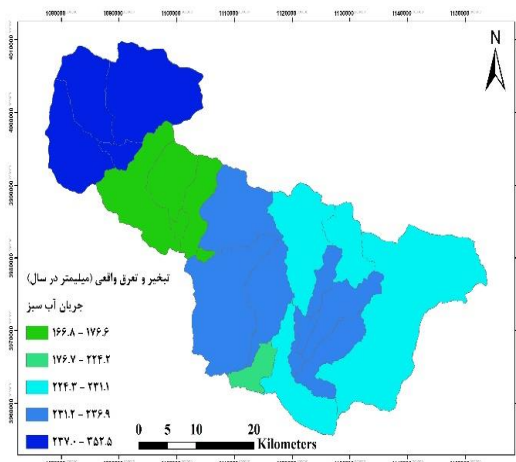
■ پایه ■ RCP 2.6A ■ RCP8.5A



شکل ۸- سری زمانی ماهانه رواناب در ورودی سد لتیان

است. مورد دیگری که در حوضه مشهود است، عدم تشابه میزان جریان آب سبز در برخی زیرحوضه‌های مشابه که نوع خاک یکسان بوده که دلیل آن احتمالاً تفاوت در نوع کاربری اراضی می‌باشد.

در شکل‌های ۱۲ تا ۱۶ مشاهده می‌شود که نحوه توزیع ذخیره آب سبز در نقاط مختلف حوزه آبخیز برای هر سناریوهای مدیریتی برای حالت خوش‌بینانه و بدبینانه قسمت مرکزی-جنوبی متفاوت است، کاهش بارندگی و افزایش دما در آینده نزدیک سبب شده است که میزان ذخیره رطوبتی خاک روندی کاهشی نسبت به دوره پایه و آینده نزدیک داشته باشد. زیرحوضه‌های شمالی حوضه کم‌ترین مقدار ذخیره رطوبتی خاک را داشته‌اند، یکی از دلایل این کاهش این است که در نقشه خاک، نوع واحدهای اراضی این زیرحوضه‌هاست. این واحدهای اراضی شامل کوه‌ها و تپه‌ها و دارای عمق خاک کم است لذا توان خاک در ذخیره رطوبت کم بوده و نسبت به تغییرات اقلیم آسیب‌پذیرتر بوده است. در بخش جنوبی، میزان ذخیره آب سبز بیش‌تر بوده چرا که بخش جنوبی حوضه دارای اراضی پست و مسطح بوده، از این رو پس از هر رخداد بارندگی، فرصت کافی برای نفوذ آب به خاک وجود دارد که سبب شده میزان رطوبت ذخیره شده در خاک بیش‌تر باشد.



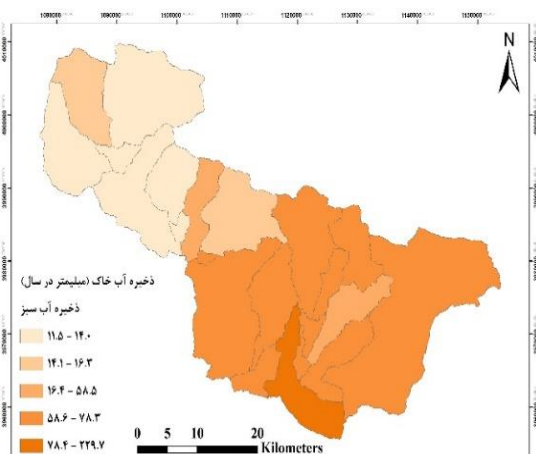
شکل ۹- نتایج شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آبی حوضه آبریز لتیان توسط مدل SWAT تحت سناریوی مدیریتی نخست و اقلیمی RCP2.5

جدول ۹- برآورد مؤلفه‌های بیلان آبی در دوره آینده تحت سناریوی مدیریتی دوم و اقلیمی در دوره

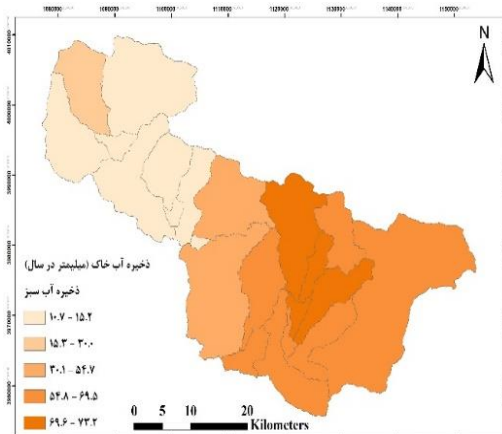
مؤلفه بیلان	BASE (mm)	RCP ۸/۵ (mm)	RCP ۲/۶ (mm)
PRECIP MM	۳۸۸/۱	۳۸۱/۵	۳۷۰/۴
SNOW FALL MM	۱۱۰/۴	۱۱۴/۳	۱۱۹/۲
SNOW MELT MM	۱۰۷/۰	۱۰۶/۷	۱۰۲/۱
GROUNDWATER (SHAL AQ) Q MM	۱۵/۵۶	۱۵/۸۰	۱۵/۲۱
GROUNDWATER (DEEP AQ) Q MM	۱/۸۲۰	۲/۲۲۰	۲/۳۷۰
REVAP (SHAL AQ => SOIL/PLANTS) MM	۲۲/۰۷	۲۴/۸۸	۲۴/۰۷
DEEP AQ RECHARGE MM	۱/۸۲۰	۲/۴۹۰	۳/۰۶۰
ET MM	۲۵۸/۳	۲۸۳/۷	۲۸۸/۸
PET MM	۲۰۴۳	۲۲۱۳	۲۲۱۷

۴- بررسی تغییرات آب سبز با توجه به سناریوهای مدیریتی تحت شرایط تغییر اقلیم

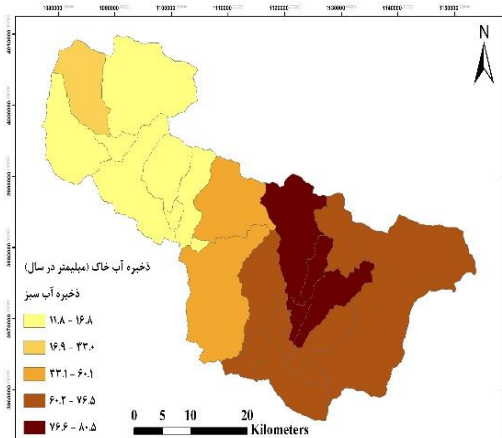
با توجه به شکل‌های ۹ تا ۱۱، بعد از اعمال شبیه‌سازی مؤلفه‌های آب سبز (حجم آب سبز و جریان آب سبز) در حوضه آبریز لتیان با مدل SWAT نشان داده می‌شود که نحوه توزیع جریان آب سبز در نقاط مختلف حوزه آبخیز برای هر سناریوهای مدیریتی برای حالت خوش‌بینانه و بدبینانه یکسان است، همچنین بخش شمال غربی حوضه بیش‌ترین جریان آب سبز را دارا بوده و این بخش از حوضه متعاقباً دارای بیش‌ترین میزان بارندگی نیز بوده و بخش جنوبی و شرقی حوضه نیز با داشتن مقدار متوسط جریان آب سبز و بخش مرکزی حوضه نیز دارای بیش‌ترین میزان تبخیر و تعرق بوده است. البته در بخش مرکزی-غربی حوضه تنها در ۵ زیرحوضه برخلاف این امر، میزان جریان آب سبز حداقل بوده است که دلیل آن احتمالاً نوع خاک این بخش از حوضه با توجه به نقشه واحدهای اراضی حوضه قسمت مرکزی-غربی کاربری چمن‌زار و پوشش مرتع ضعیف هستند بنابراین عمدتاً دارای خاک کم‌عمق و گاهاً مقدار نگهداشت آب کم‌تری در خاک داشته و در نتیجه میزان تبخیر از سطح خاک و تعرق از پوشش گیاهی از این زیرحوضه نیز کم‌تر بوده



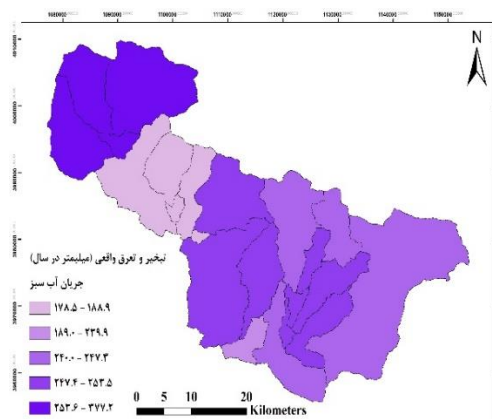
شکل ۱۳- نتایج شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آبی حوضه آبریز لتیان توسط مدل SWAT تحت سناریوی مدیریتی نخست و اقلیمی RCP2.5



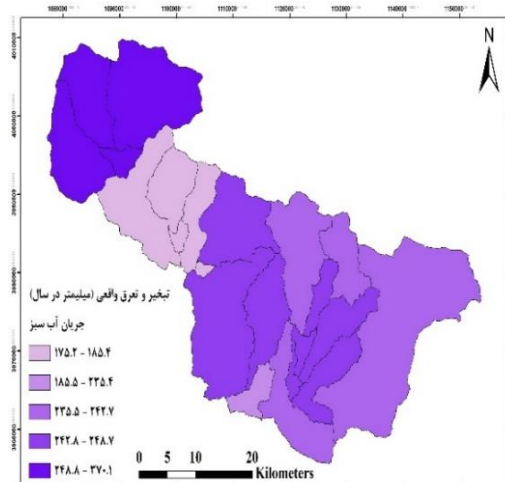
شکل ۱۴- نتایج شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آبی حوضه آبریز لتیان توسط مدل SWAT تحت سناریوی مدیریتی نخست و اقلیمی RCP8.5



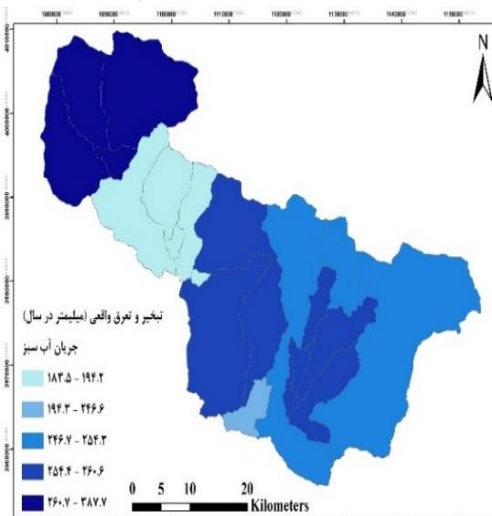
شکل ۱۵- نتایج شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آبی حوضه آبریز لتیان توسط مدل SWAT تحت سناریوی مدیریتی دوم و اقلیمی RCP2.5



شکل ۱۰- نتایج شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آبی حوضه آبریز لتیان توسط مدل SWAT تحت سناریوی مدیریتی نخست و اقلیمی RCP8.5



شکل ۱۱- نتایج شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آبی حوضه آبریز لتیان توسط مدل SWAT تحت سناریوی مدیریتی دوم و اقلیمی RCP2.5



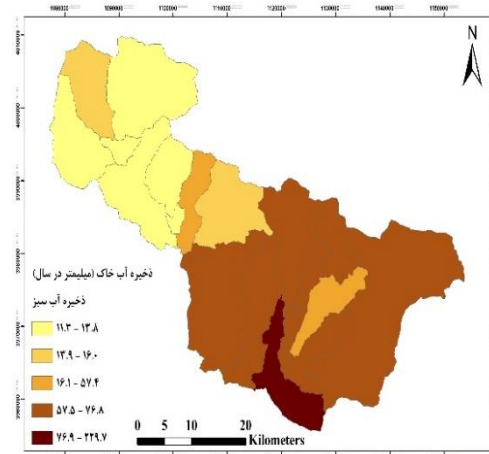
شکل ۱۲- نتایج شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آبی حوضه آبریز لتیان توسط مدل SWAT تحت سناریوی مدیریتی دوم و اقلیمی RCP8.5

قرار گرفتند. نتایج شبیه‌سازی رواناب در مقیاس ماهانه توسط شاخص‌های آماری و ضریب تبیین نشان می‌دهد که شبیه‌سازی در این حوضه آبریز با دقت خوبی انجام پذیرفته و همچنین در هر دو سناریو در دوره آینده با کاهش بارش مواجه خواهیم بود. که می‌تواند اثرات بسیار بدی روی میزان آب ذخیره شده در مخزن سد تا شروع بارندگی‌های مجدد داشته باشد.

با توجه به اجرای این سناریوها، رواناب به صورت کاهش ۵ درصدی در دوره نخست برای سناریوی نخست، ۹/۵ درصدی برای سناریوی دوم خواهد بود. نتایج به دست آمده در این پژوهش تأییدکننده تحقیقات صورت گرفته Massah Bavani و Morid (۲۰۰۵)، NCCO (۲۰۱۰) و Nazari (۲۰۱۵) و در سایر مناطق کشور است که همگی کاهش رواناب را پیش‌بینی کرده‌اند.

در این پژوهش، تغییرات ۲ سناریوی کاربری اراضی تحت تأثیر اقلیم بر روی بیلان آینده بررسی شده است. در این سناریوها مشخص شد که با افزایش سطوح دارای پوشش گیاهی (جنگل یا کشاورزی) میزان نفوذ به آبخوان افزایش خواهد یافت و همچنین این تغییرات عموماً به صورت افزایشی خواهد بود.

مقایسه نتایج شبیه‌سازی جریان آب سبز نشان داد که تفاوت در نوع کاربری اراضی سبب تغییر در مقدار این مؤلفه منبع آب می‌شود و نوع واحد اراضی تأثیری مستقیم بر میزان جریان آب خاک داشت. نتایج شبیه‌سازی ذخیره آب سبز نشان داد که نوع کاربری اراضی، نوع خاک و وضعیت توپوگرافی از جمله فاکتورهای تأثیرگذار بر میزان این مؤلفه منبع آب هستند.



شکل ۱۶- نتایج شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آبی حوضه آبریز لیان توسط مدل SWAT تحت سناریوی مدیریتی دوم و اقلیمی RCP8.5

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ارزیابی کارایی مدل SWAT در برآورد اثر تغییر اقلیم بر روی رواناب و اثر تغییرات مدیریتی تحت تأثیر تغییر اقلیم بر روی میزان آب سبز انجام پذیرفت. اگر برآورد، خوب و دقیقی انجام گیرد می‌توان بیلان آبی در حوضه در دوره‌های زمانی آینده را پیش‌بینی کرد و از بروز خسارت‌های ناشی از کاهش منابع آبی با اجرای برنامه‌های مدیریتی مناسب جلوگیری کرد.

در این پژوهش، با استفاده از لایه 30 DEM متری، لایه کاربری اراضی مربوط به سال ۲۰۱۴ و همچنین لایه خاک FAO با ابعاد ۱۰ کیلومتری اقدام به ساخت مدل هیدرولوژیکی SWAT شده است. پس از وارد کردن اطلاعات بارش و دمای روزانه منطقه نسبت به شبیه‌سازی رواناب (۱۹۸۸ تا ۲۰۱۴) اقدام شده است. ایستگاه‌های هیدرومتری نجارکلا، لیان، رودهن و زردره در این پژوهش به عنوان نقطه کنترل مورد واسنجی و اعتبارسنجی

منابع

- Abbaspour K.C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H. and Kløve, B. 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: calibration and uncertainty of a high-resolution largescale SWAT model. *J Hydrol.* 524: 733–752.
- Akombo, R.A., Luwesi, C.N., Shisanya, C.A. and Obando, J.A. 2014. Green water credits for sustainable agriculture and forestry in arid and semi-arid tropics of Kenya. *Journal of Agri-Food and Applied Sciences.* 2(4): 86-92.

- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S. and Williams, J.R. 2012. Large area hydrologic modelling and assessment part I: model development. *J Am Water Resour As.* 34(1): 73–89.
- Arnold, J.G. and Fohrer, N. 2005. SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. *Hydrol Process.* 19(3): 563–572.
- Beven, K., Lamb, R., Quinn, P., Romanowicz, R. and Freer, J. 1995. TOPMODEL. In: Singh VP (ed) *Computer models of watershed hydrology* vol. 18, pp 627–668.
- Brandsma, J., van den Eertwegh, G. and Droogers, P. 2013. Green and blue water resources and management scenarios using the SWAT model for the upper Duhe basin, China feasibility study
- Devkota, L.P. and Gyawali, D.R. 2015. Impacts of climate change on hydrological regime and water resources management of the Koshi River Basin, Nepal. *J Hydrol Reg Stud.* 4: 502–515
- Falkenmark, M. and J. Rockstrom. 2006. The new blue and green water paradigm: Breaking new ground for water resources planning and management. *ASCE, J. Water Resour. Plan. Manag.* 132(3): 129–132. 7.
- IPCC, 2014: *Climate Change (2014): Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- .IPCC. 2007. Summary for Policymakers, in: *Climate Change (2007) .The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge. 1-18. <https://climate.nasa.gov/solutions/adaptation-mitigation>.
- Luo, Q., Behrendt, K. and Bange, M. 2017. Economics and risk of adaptation options in the Australian cotton industry. *Agricultural Systems.* 150 (Supplement C): 46-53.
- Madani, K., AghaKouchak, A. and Mirchi, A. 2016. Iran's Socio-economic Drought: Challenges of a Water-Bankrupt Nation, *Iranian Studies.* 49 (6): 997-1016.
- Murty, P.S., Pandey, A. and Suryavanshi, S. 2014. Application of semi-distributed hydrological model for basin level water balance of the Ken basin of Central India. *Hydrol Process* 28(13): 4119–4129.
- Narsimlu, B., Gosain, A.K. and Chahar, B.R. 2013. Assessment of future climate change impacts on water resources of upper sind river basin, India using SWAT model. *Water Resour Manage* 27(10): 3647–3662.
- Narsimlu, B., Gosain, A.K., Chahar, B.R., Singh, S.K. and Srivastava, P.K. 2015. SWAT model calibration and uncertainty analysis for streamflow prediction in the Kunwari River Basin, India, using sequential uncertainty fitting. *Environ Process* 2(1): 79–95
- Ndomba, P., Mtalo, F. and Killingtveit, A. 2008. SWAT model application in a data scarce tropical complex catchment in Tanzania. *Phys Chem Earth.* 33(8): 626–632.
- Rosenberg, j., Epstein, d., Wang, d., Vail, l., Srinivasan, r. and Arnold, J. 1999. Possible Impacts of Global Warming on the Hydrology of the Ogallala Aquifer Region. (42): 677–692
- Stone, M., Hotchkiss, R., Hubbard, M., Fontaine, A., Mearns, L. and Arnold, J. 2000. Impacts of climate change on water yield in the Upper Wind River Basin. 37(5): 1119 – 1129.
- SWAT. 2005. In: 3rd international conference, July 11–15, 2005, Zurich, Switzerland.
- Veith, T.L., Ghebremichael, L.T. 2009. How to applying and interpreting the SWAT Auto-calibration tools. In: 5th international SWAT conference.
- Zongxue, X. and Depeng Z. 2014. Simulation of blue and green water resources in the Wei River basin, China. 364-486.



Assessment of adaptation strategies with climate change from the perspective of green water management

Mahdi Sarai Tabrizi^{*1}, Mohammadnabi Jalali² and Shiva Mohammadian Khorasani³

1^{*}) Assistant Professor, Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

*Corresponding author email: mahdisarai@yahoo.com

2) Young Researchers Club and elites, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3) PhD Student, Department of Soil Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 03-06-2018

Accepted: 12-12-2018

Abstract

Conservation and sustainable development soil and water is one of the key challenges facing the countries. In this research, after the construction of semi-distributive hydrologic model SWAT (soil and water assessment tool) for Latian basin, Runoff assessment due to climate change and Changes in green water have been studied with regard to management scenarios. In this study, after entering rainfall data and daily temperature of the area, the runoff simulation (8811-2182) was introduced. The hydrometric stations of Najkarla, Latian, Rooden and Zarreh as a control poin Calibrated and validated. The results of the correlation coefficient and Nash-Sutcliffe that simulation in this catchment area has been done with good accuracy (higher than 1.0). Also, using the LarsWG climate model, the climate data of the future was subjected to two RCP 2.0 and pessimistic RCP1.8 scenarios, Then, two management scenarios are applied in the SWAT model. In the first scenario, it is assumed that %3 of the poor pasture will be converted into forestry and the percentage of land use will reach 81.%3 of the total area. Also, in the second scenario, it is assumed that rainfed agriculture would increase by 83. In these scenarios, it was determined that as the levels of vegetation (forest or agriculture) increase, the penetration of the aquifer would increase and these changes would generally be incremental. We will also be faced with the reduction of evaporation and overflow in the basin. The reason for this may be due to an increase in the level of soil cover, and the resistance to direct evaporation from the soil and the increase in leaf area. The simulation results of green water values showed that the unit of land would have a direct effect on the amount of green water flow and green water storage .

Keywords: Adaptability, Climate Change, Green Water, Latian Basin, Swat.