

بررسی مقایسه‌ای نقش کاربری اراضی بر تولید رسوب و رواناب سطحی با

استفاده از مدل SWAT

(مطالعه موردی: حوزه آبخیز بهشت آباد)

❖ دلارام ضیایی*؛ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد، ایران.

❖ رفعت زارع بیدکی؛ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه شهرکرد، ایران.

❖ علی اصغر بسالت پور؛ محقق مؤسسه مدیریت منابع، برلین، آلمان.

چکیده

آگاهی از میزان رواناب و رسوب تولید شده از اراضی گوناگون گام مهمی در مدیریت کاربری اراضی است. از آنجایی که اندازه‌گیری این مقادیر همیشه امکان‌پذیر نیست، شبیه‌سازی رواناب و رسوب، راهی جهت نیل به مدیریت جامع حوزه آبخیز خواهد بود. در این مطالعه، برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب کاربری‌های مختلف زمین شامل مرتع، زراعت، باغ و اراضی شهری در حوزه آبخیز بهشت آباد که بخش مهمی از حوزه آبخیز کارون شمالی می‌باشد، مدل SWAT مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور، از داده‌های دبی و رسوب روزانه ایستگاه‌های آب‌سنجی واقع در حوزه مطالعاتی استفاده شد و پس از تحلیل حساسیت و واسنجی مدل، تحلیل عدم قطعیت مدل با استفاده از الگوریتم SUFI-2 صورت گرفت. بر اساس نتایج حاصله از ارزیابی کارایی مدل SWAT، مقادیر معیارهای آماری NS و R² برای رواناب در مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۷۳ و در مرحله اعتبارسنجی ۰/۶۶ و ۰/۷۱ و در مرحله اعتبارسنجی ۰/۶۴ و ۰/۶۶ و برای رسوب در مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۷۳ و در مرحله اعتبارسنجی ۰/۶۶ و ۰/۷۱ به دست آمد که توانایی مدل در برآورد صحیح دبی جریان، رواناب و رسوب در حوزه آبخیز بهشت آباد را تأیید می‌نماید. همچنین نتایج نشان داد که اراضی کشت دیم با رواناب سطحی متوسط ۱۹۰ میلی‌متر و رسوب متوسط ۲۴/۵ تن بر هکتار در سال و باغات با میانگین ۸۰ میلی‌متر رواناب سطحی و متوسط تولید رسوب ۱/۶۳ تن بر هکتار در سال به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر متوسط سالیانه تولید رواناب و رسوب را دارند.

کلید واژگان: تحلیل حساسیت، مدیریت کاربری اراضی، فرسایش، استان چهارمحال و بختیاری

۱. مقدمه

فرسایش غیرطبیعی خاک مشکل محیط زیستی بسیار گسترده‌ای است که در کشورهای در حال توسعه زندگی انسان‌ها را تهدید می‌کند. هر ساله ۷۵ میلیارد تن خاک در جهان به خاطر فرسایش برداشته می‌شود که بیشتر آن مربوط به اراضی کشاورزی است. نرخ متوسط از دست دادن خاک برای آسیا ۱۳/۸ تن بر هکتار بر سال است [۳]. فرسایش خاک و رسوب حاصل از آن، پیامدهایی چون تغییر در چرخه طبیعی آب، افزایش شدت سیل خیزی، کاهش حاصلخیزی خاک، افزایش رانش زمین، پرشدن سریع مخازن سدها و کانال‌های انتقال آب، کاهش کیفیت آب در آبراهه‌ها و دریاچه‌ها، بیابان‌زایی، از دست دادن توان زیستی خاک و آلودگی آب و خاک که از مهم‌ترین چالش‌های محیط زیستی می‌باشند، به همراه خواهد داشت [۳۶، ۳۷، ۳۸، ۴۰]. رواناب سطحی از عوامل مهم فرسایش و انتقال رسوب، انتشار منابع آلودگی نقطه‌ای هم چون آفت‌کش‌ها و ترکیباتی مانند نیترات و فسفات است [۹، ۲۴]. تولید رواناب سطحی در هر حوزه آبخیز تحت تأثیر بیلان آب آن حوزه و بیلان آبی حوزه تحت تأثیر عوامل اقلیمی و خصوصیات فیزیکی از جمله توپوگرافی، خاک و کاربری اراضی است [۳۶]. اهمیت نوع کاربری اراضی به اندازه‌ای است که [۳۹] معتقدند درک و فهم پیامدهای تغییر کاربری اراضی نیاز اصلی فرایندهای هیدرولوژیکی در آینده‌اند. تغییر کاربری اراضی از طریق تأثیر بر نوع و مقدار پوشش گیاهی، مقدار تبخیر و تعرق و نفوذ بارش در خاک مؤثر است که به نوبه خود، باعث تغییر نیازآبی، از قبیل نیاز برای آبیاری و شهرنشینی، تغییر در میزان آب در دسترس برای فرایندهای نفوذ، مقدار رواناب سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی و تغییر در کیفیت آب حاصل از رواناب کشاورزی و مناطق مسکونی می‌شود [۱۰، ۱۱]. مطالعات در مورد نقش کاربری‌های مختلف اراضی در تولید رواناب و رسوب از دیرباز تاکنون به طور مستمر انجام می‌گیرد. محققین در مطالعه‌ای در انگلستان بر نقش کاربری

اراضی در میزان رسوب رودخانه تأکید کرده و نتیجه گرفتند تبدیل اراضی مرتعی به زراعی باعث تشدید فرسایش خاک در مقیاس وسیع می‌شود [۲۵]. نتایج تحقیقاتی در سیدنی نشان داد کاربری زمین مهم‌ترین عامل در فرسایش خاک و تولید رسوب است و تبدیل اراضی جنگلی به مرتعی باعث افزایش تولید ۲۱ درصدی رسوب و تبدیل اراضی مرتعی به زراعی، منجر به افزایش ۱۳۱ درصدی رسوب می‌شود [۲۳]. تغییر کاربری و تبدیل مراتع به زمین‌های زراعی و انجام عملیات خاک‌ورزی نامناسب از دلایل فرسایش و تخریب خاک‌ها در استان چهارمحال و بختیاری شناخته شده است [۱۸، ۱۹]. تخمین درست رواناب و رسوب یک آبخیز، مدیریت رواناب در پایین دست را تسهیل نموده و در اجرای پروژه‌های مختلف کنترل سیلاب نقش مهمی خواهد داشت. فقدان برآورد مناسب رواناب حاصل از بارش در حوزه‌های آبخیز، مدیریت بهینه منابع آبی و انجام عملیات مختلف آبخیزداری به‌ویژه مدیریت بهره‌برداری از سدها و شبکه آبرسانی را دچار مشکل می‌نماید [۲۷]. تخمین صحیح رواناب و رسوب حوزه آبخیز، نیازمند داده‌های ثبت شده از نقاط مختلف شبکه هیدروگرافی در دوره آماری طولانی است که متأسفانه چنین امکانی در حوزه‌های آبخیز کشور ما به دلیل کمبود ایستگاه‌های آب و رسوب‌سنجی در همه مناطق میسر نیست. لذا استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی در شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژیکی و رفتار حوزه آبخیز مرسوم شد. در این راستا مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی، تفسیر و پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر جریان آب بسیار اهمیت دارند. مدلسازی رواناب و رسوب، گام مهمی جهت رسیدن به الگوی مدیریتی حوزه آبخیز خواهد بود [۵، ۸، ۱۶، ۱۷، ۲۰]. اما از طرفی ارزیابی کارایی مدل‌های هیدرولوژیکی برای مناطقی با شرایط متنوع خاک و توپوگرافی و کاربری اراضی جهت استفاده از آنها به عنوان ابزارهای مدیریت منابع آب امری ضروری است [۱۵]. مدل SWAT^۱ که توسط آرنولد و همکاران، در سال ۱۹۹۸ برای ارائه به سرویس حفاظت

^۱ Soil and Water Assessment Tool

شدند. آن‌ها قابلیت خوب مدل را در شبیه‌سازی رسوب تأیید کردند [۱۳]. تاکنون مطالعات فراوانی با استفاده از مدل SWAT در داخل و خارج کشور صورت گرفته است اما با این وجود کارایی این مدل در برآورد رواناب و رسوب برای هر کاربری اراضی به صورت مجزا کمتر مورد توجه قرار گرفته است. لذا با نظر به اهمیت نوع کاربری اراضی در فرسایش خاک هدف از مطالعه حاضر برآورد میزان تولید رواناب و رسوب از هر یک از کاربری‌های اراضی حوزه آبخیز بهشت آباد است که در آن از مدل ارزیابی آب و خاک SWAT استفاده شد.

۲. روش شناسی

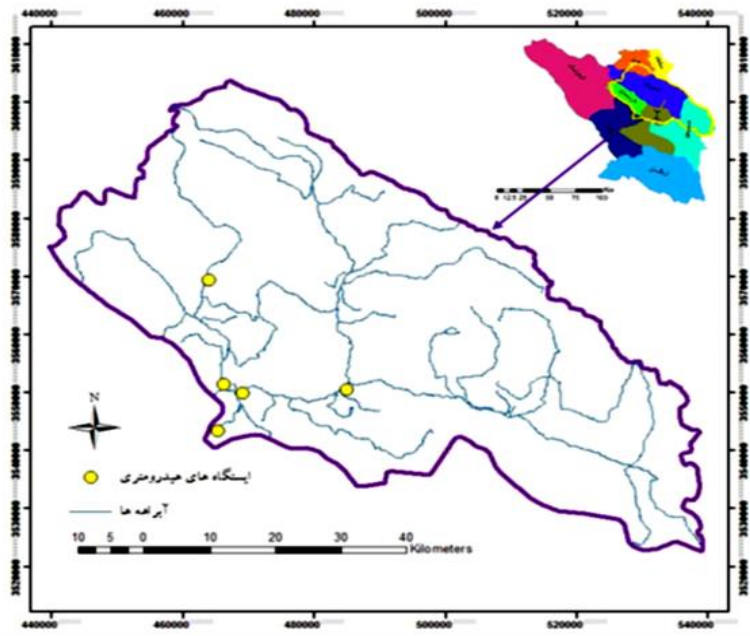
۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز بهشت آباد با مساحت ۳۷۷۰ کیلومتر مربع در شمال و شمال شرق حوزه آبخیز کارون شمالی در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ۲۳' ۵۰° تا ۲۵' ۵۱° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۴۹' ۳۱° تا ۳۴' ۳۲° شمالی در محدوده استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است و تقریباً ۲۳ درصد از مساحت استان را به خود اختصاص می‌دهد (شکل ۱). میانگین بارش سالیانه در این حوزه از ۲۴۴ میلی‌متر در دشت بروجن تا ۸۰۰ میلی‌متر در محدوده ارتفاعات غربی حوزه متغیر است و متوسط بارش درازمدت سالانه در این حوزه ۴۱۹ میلی‌متر است. متوسط دمای سالیانه از ۱۴/۶ درجه سانتیگراد در خروجی حوزه بهشت آباد تا ۱/۷ درجه سانتیگراد در ارتفاعات حوزه در قسمت شمال غرب متغیر است و متوسط دما معادل ۱۰/۲۵ درجه سانتیگراد محاسبه شده است. بر پایه اطلاعات نقشه زمین‌شناسی شهرکرد و بروجن-اردل حوزه آبخیز بهشت آباد از دیدگاه زمین‌شناسی دارای دو قلمرو متفاوت زاگرس و ایران مرکزی همراه با زون سنندج - سیرجان می‌باشد. کاربری اراضی در این حوزه آبخیز شامل حدود ۷۲ درصد مراتع، ۲۲/۵ درصد زراعت و ۶ درصد رخنمون سنگی و مناطق مسکونی می‌باشد. کشت

خاک امریکا طراحی شد [۴، ۱۴]. مدلی هیدرولوژیکی نیمه‌توزیعی- فیزیکی است که قادر به شبیه‌سازی اغلب فرایندهای هیدرولوژیکی در مقیاس حوزه آبخیز است و برای ارزیابی مدیریت منابع آب استفاده می‌شود. پژوهشگرانی که توانایی مدل SWAT را در شبیه‌سازی شرایط هیدرولوژیکی و کیفیت آب در یک حوزه آبخیز کشاورزی در ناحیه‌ای از مریلند مورد بررسی قرار دادند، بزرگ مقیاس بودن، توزیعی بودن و هماهنگ بودن مدل با GIS را از مزیت‌های این مدل معرفی کردند [۲۶]. از SWAT به دلیل توانایی مدل در شبیه‌سازی بیلان هیدرولوژی به صورت ساده و واقع‌بینانه در راستای طرح محاسبه توزیع زمانی و مکانی مقدار آب قابل دسترس جهانی، استفاده شده است [۳۴]. محققین قابلیت مدل در پیش‌بینی دبی متوسط ماهانه در حوزه آبخیز طالقان را تأیید کرده‌اند (۳۷). از مدل SWAT برای شبیه‌سازی رواناب و بررسی تأثیر کاربری اراضی بالادست در کشور مالزی استفاده شده است و نتایج حاصله، حاکی از کارایی بالای مدل در این زمینه است [۲]. مدل SWAT در حوزه آبخیز کچیک استان گلستان رواناب سطحی را با دقت بالایی پیش‌بینی کرد [۲۲]. برای شبیه‌سازی رواناب ماهانه حوزه آبخیز قره‌سو واقع در استان اردبیل از مدل SWAT استفاده شده و بر اساس نتایج ضرایب ارزیابی اعلام شده، مدل رواناب ماهانه را در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به صورت قابل قبول شبیه‌سازی کرده است [۲۷]. در شبیه‌سازی رسوب با مدل SWAT در حوزه آبخیز Kulekhani در نپال مشخص شده است نتایج شبیه‌سازی رسوب به خوبی نتایج رواناب نمی‌باشد. علت ناتوانی مدل SWAT در شبیه‌سازی واقع‌گرایانه فرسایش خندقی، زمین لغزش و هدر رفت توده‌ای خاک معرفی شده است. محقق معتقد است، با استفاده از داده‌های توزیعی بارش، دوره آماری طولانی‌تری از رواناب و رسوب و داده‌های بهتر و با کیفیت‌تر کاربری اراضی و خاک، نتایج بهبود می‌یابد [۶]. به منظور بررسی تأثیر کاربری اراضی بر بار معلق در حوزه آبخیز یلفان با استفاده از نقشه‌های کاربری زمین سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۹۱ پژوهشگران متوجه افزایش ۳۰/۶۲ درصدی بار معلق در اثر تغییر کاربری

دارد. گون به عنوان گونه غالب مراتع طبیعی از ارتفاعات ۱۹۰۰ تا ۳۵۰۰ متری از سطح دریا پراکنش دارد.

غالب حوزه گندم و یونجه به صورت آبی و دیم است. پانزده تیپ گیاهی در سراسر حوزه بهشت آباد گسترش



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه به همراه شبکه آبراه‌های و ایستگاه‌های آب سنجی

آب، رسوب و چرخه عناصر و تلفات تعیین و برای هر زیر حوزه متوسط وزنی محاسبه شده و سپس این مقادیر در مسیر شبکه رودخانه تا محل خروجی حوزه با هم جمع شده و مقدار نهایی برای حوزه تعیین می‌شود [۲۹]. مدل، چرخه هیدرولوژی هر واحد هیدرولوژیک (HRU) را با استفاده از رابطه بیلان آبی که شامل مقادیر روزانه بارش، رواناب، تبخیر و تعرق، نفوذ و جریان برگشتی بوده، پیش بینی می‌کند. رواناب سطحی در این مدل با دو روش شماره منحنی (CN) سرویس حفاظت منابع طبیعی و روش گرین-امپت محاسبه می‌شود. میزان تبخیر و تعرق با استفاده از سه روش پریستلی تیلور و پنمن-مانتیث و هارگریوز محاسبه می‌شود [۱۲]. روندیابی جریان در

۲.۲. مدل SWAT

مدل SWAT مدلی پیوسته، نیمه توزیعی و فیزیکی در مقیاس حوزه آبخیز می‌باشد. این مدل به منظور پیش بینی تأثیر عملیات مدیریتی بر آب، رسوب و بیلان مواد شیمیایی کشاورزی در حوزه‌های آبخیز بزرگ و پیچیده با انواع کاربری‌ها و شرایط مدیریتی متفاوت در دوره زمانی طولانی کاربرد دارد. در این مدل حوزه آبخیز بر اساس نوع خاک، کاربری اراضی و کلاس‌های شیب به واحدهای عکس‌العمل هیدرولوژیکی^۱ تفکیک می‌شود که امکان شبیه‌سازی در مقیاس مکانی بالا را فراهم می‌کند (۱،۱۴). این واحدها به لحاظ کاربری اراضی و خصوصیات خاک و شیب همگن هستند. برای هر واحد هیدرولوژیکی میزان

^۱ Hydrological Response Unit

^۲ MUSLE

^۳ Deposition

^۴ Degradation

پارامتر را مشخص می‌کند [۳۲]. به منظور ارزیابی کارایی مدل، از دو شاخص آماری، ضریب تبیین (R^2) و راندمان نش-ساتکلیف (NS) و p-factor و r-factor استفاده شد. هم‌خوانی بین مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده، می‌تواند با استفاده از روش تجزیه رگرسیونی بررسی شود. ضریب تبیین قسمتی از واریانس کل می‌باشد که به وسیله رابطه خطی موجود بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توجیه می‌گردد. ضریب تبیین بین صفر تا یک تغییر می‌کند و مقدار بهینه آن یک است. ضریب نش-ساتکلیف بین یک تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند و مقدار بهینه این ضریب نیز یک است. چنانچه این ضریب بیش از ۰/۷۵ به دست آید، مدل شبیه‌سازی را عالی انجام داده و چنانچه ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد، شبیه‌سازی رضایت‌بخش است و کمتر از ۰/۳۶ غیرقابل قبول در نظر گرفته می‌شود [۲۸].

$$R^2 = \frac{[\sum_i(Q_{m,i} - \bar{Q}_m)(Q_{s,i} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_i(Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2 \sum_i(Q_{s,i} - \bar{Q}_s)^2} \quad (1)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_i(Q_{m,i} - Q_{s,i})^2}{\sum_i(Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2} \quad (2)$$

$Q_{m,i}$ مقادیر مشاهده‌ای پارامتر اندازه‌گیری شده، $Q_{s,i}$ مقادیر شبیه‌سازی شده پارامتر توسط مدل و \bar{Q}_m مقدار میانگین پارامتر اندازه‌گیری شده می‌باشد. در برنامه SUFI-2، یک دامنه بزرگ عدم قطعیت برای هر پارامتر فرض می‌شود. بنابراین در ابتدا داده‌های اندازه‌گیری شده در سطح ۹۵ پی پی یو (PPU) قرار می‌گیرند و سپس این عدم قطعیت در گام‌های متوالی کاهش می‌یابد تا دو شرط زیر برقرار شود: الف) اکثر داده‌های مشاهده‌ای در سطح ۹۵ پپی واقع شوند (p-factor) ب) فاصله متوسط بین حد بالا و حد پایین ۹۵ در صد تقسیم بر انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده تا حد ممکن کوچک شود (r-factor) [۳۳].

رودخانه با استفاده از روش ضریب ذخیره متغیر و روش ماسکینگ‌گام انجام می‌شود [۱۱، ۲۹]. محاسبات چرخه هیدرولوژی در مدل SWAT بر اساس معادله بیلان آب برای هر HRU انجام می‌گیرد. رواناب سطحی کل حوزه از جمع رواناب سطحی محاسبه شده برای هر واحد هیدرولوژیکی به دست می‌آید. در SWAT، فرسایش و بار رسوبی که به وسیله بارش و رواناب ایجاد می‌شود، برای هر HRU با استفاده از معادله اصلاح شده جهانی هدر رفت خاک^۲ برآورد می‌شود. در مدل MUSLE میانگین سالانه فرسایش خاک تابعی از انرژی باران و رواناب است. مقدار فرسایش برآورد شده در هر HRU پس از برآورد، از طریق آبراهه اصلی هر زیرحوزه به خروجی آن و زیرحوزه بعدی و در نهایت به خارج از آبخیز منتقل می‌شود. روندیابی رسوب شامل دو فرآیند تجزیه^۳ و ته‌نشست^۴ می‌باشد که به طور هم‌زمان در کانال فعال می‌باشند. این دو فرآیند با استفاده از ابعاد کانال برای کل کانال توسط مدل شبیه‌سازی می‌شوند. مقدار حداکثر رسوبی که در مسیر می‌تواند منتقل شود، تابعی از حداکثر سرعت جریان در نظر گرفته می‌شود. به منظور تحلیل حساسیت، واسنجی و اعتبار سنجی مدل از نرم افزار SWAT-cup استفاده می‌شود. برخی محققان بیان کردند تحلیل حساسیت پیش از واسنجی مدل می‌تواند راهنمایی برای تعیین دامنه تغییرات پارامترها باشد و به کاهش عدم قطعیت در نتایج مدل کمک نماید [۴]. برخی دیگر از محققان تأکید کردند قبل از واسنجی مبتنی بر حدس و گمان با استفاده از داده‌های در دسترس داشتن درک درست از مشخصات حوزه آبخیز و فرآیندهای هیدرولوژیکی اهمیت دارد [۳۲]. محققین بیان می‌کنند کاهش تعداد پارامترها با حذف پارامترهای کم‌تأثیر امری ضروری است [۳۵]. تحلیل حساسیت پارامترها به روش یک پارامتر در هر بار^۱ انجام گرفت. در این روش در هر بار اجرای مدل، یک پارامتر تغییر داده شده و بقیه پارامترها ثابت می‌مانند و اثر آن تغییر بر تابع هدف، حساسیت

^۱ OAT

۳.۲. آماده سازی داده‌های ورودی و ساخت مدل

اطلاعات ورودی به مدل SWAT شامل اطلاعات توپوگرافی، آب و هوایی، پوشش گیاهی، خاک و داده‌های مدیریتی می‌باشد. اطلاعات درجه حرارت و بارش روزانه و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و باران سنجی با پسوند dbf یا txt و اطلاعات توپوگرافی به صورت مدل رقومی ارتفاعی با سیستم مختصات UTM و با فرمت Grid و موقعیت ایستگاه‌های آب سنجی و چشمه‌ها به صورت جداول با پسوند dbf تهیه و به مدل معرفی شد. نقشه آبراهه‌ها و رودخانه‌ها به صورت وکتوری و نقشه‌های کاربری اراضی و خاک به صورت رستری وارد مدل می‌شوند. در تهیه نقشه‌ها از نرم افزار ArcGIS ۱۰.۲ استفاده شد. به جهت ساخت مدل SWAT، ابتدا نقشه کاربری اراضی منطقه پس از مطالعات میدانی از تصاویر سنجنده لندست ۷ تهیه شد. بدین منظور در ابتدا سه باند ۴، ۳ و ۲ (نوارهای مادون قرمز نزدیک، قرمز و سبز) در محیط نرم افزار ILWIS تلفیق شد. سپس برای هر طبقه کاربری، ۱۰۰ پیکسل به عنوان پیکسل‌های معرف آن کلاس برداشت شد و نهایتاً به روش طبقه‌بندی نظارت شده با کمک الگوریتم حداقل فاصله همسایگی، نقشه کاربری اراضی استخراج گشته و با توجه به نقشه‌های موجود قبلی و کنترل‌های صحرائی و تصاویر Google earth اصلاح شده و به عنوان یکی از ورودی‌های اصلی مدل مورد استفاده قرار گرفت. نقشه خاکشناسی ورودی به مدل SWAT، بر اساس مطالعات و نقشه‌های خاکشناسی حوزه آبخیز کارون شمالی و حوزه زاینده رود شامل ساختمان خاک، مقدار شن، سیلت و رس، کربن آلی، هدایت الکتریکی، تخلخل، رطوبت خاک، هدایت هیدرولیکی اشیاع، چگالی ظاهری و گروه‌های نقشه‌های موجود با کمک تصاویر Google Earth و بر اساس DEM تهیه و وارد مدل شد. در این تحقیق مدل رقومی ارتفاع با دقت مکانی ۱۰ متر برای تفکیک زیر حوزه‌ها استفاده شد. داده‌های اقلیمی شامل بارش روزانه از آمار ۱۰ ایستگاه باران سنجی و حداقل و حداکثر دمای روزانه از ایستگاه کليماتولوژی واقع در حوزه مذکور از داده‌های سازمان هواشناسی کشور و شرکت توسعه منابع آب ایران

(تماب) تهیه گردید و آمار دبی‌های روزانه و ماهانه ۵ ایستگاه آب سنجی از شرکت توسعه منابع آب ایران اخذ شد. برای تعیین زیرحوزه‌ها، آستانه ۷۵۰۰ هکتار در نظر گرفته شد. در ادامه نقشه شیب حوزه در ۲ کلاس شیب شامل صفر تا میانه شیب در حوزه (۲۱ درصد) و بالای ۲۱ درصد برای مدل انتخاب شد. در محاسبه رواناب از روش شماره منحنی، برای تبخیر و تعرق روش هارگریوز و در رندیابی کانال از روش ماسکینگ استفاده شد. نهایتاً برای شبیه سازی رواناب و رسوب برای یک دوره پانزده ساله از داده‌های سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۲ استفاده شد و داده‌های سه سال اول برای دوره گرم کردن^۱ مدل استفاده شد. قبل از استفاده از خروجی‌های مدل لازم است واسنجی و اعتبارسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل انجام شود تا نتایج مدل تأیید شود. پیش از شروع واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل لازم است پارامترهایی از مدل که بر تولید رواناب و رسوب مؤثر هستند، توسط تحلیل حساسیت تعیین شوند. بیش از حدود ۵۰ پارامتر در SWAT بر شبیه سازی جریان و رسوب مؤثر معرفی شده‌اند، در این مطالعه تحلیل حساسیت با انتخاب سه عدد از دامنه اولیه هر پارامتر و اجرای مجدد مدل با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها، انجام شد و تأثیر هر پارامتر بر میزان رواناب و رسوب شبیه سازی شده توسط مدل سنجیده شد. پس از این مرحله، مدل با استفاده از نرم افزار SWAT-CUP و الگوریتم بهینه سازی SUFI-2 برای سال‌های ۲۰۰۴-۲۰۱۲ واسنجی و برای سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۴ اعتبارسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل انجام شد. برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل در ابتدا از میانگین ماهانه داده‌ها استفاده شد، ولی با توجه به عدم کفایت داده‌های رسوب سنجی برای تعیین میانگین ماهانه مناسبی از داده‌های رسوب، در نهایت واسنجی و اعتبارسنجی مدل با استفاده از داده‌های روزانه دبی و رسوب صورت گرفت. واسنجی و اعتبارسنجی برای کل حوزه آبخیز انجام شد و سپس میانگین مقادیر رواناب و رسوب برای هر ۳۱ زیرحوزه و برای هر یک از کاربری‌های اراضی از مدل واسنجی شده استخراج گردید و میزان رواناب و رسوب تولیدی هر کاربری اراضی از جداول خروجی مدل استخراج شد.

۳. نتایج

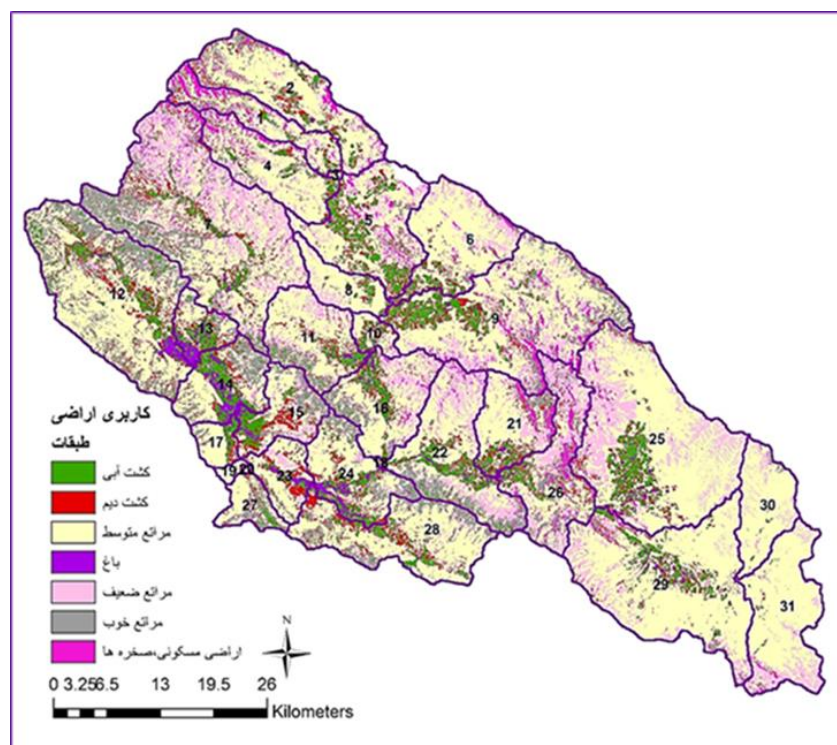
۱.۳. کاربری اراضی

نقشه کاربری اراضی تهیه شده به منظور کاربرد در مدل SWAT شامل ۸ طبقه به شرح جدول (۱) می‌باشد.

پس از اجرای مدل SWAT، حوزه آبخیز بهشت آباد به ۳۱ زیرحوزه و ۷۴۹ واحد واکنش هیدرولوژیکی^۲ تقسیم شد. ایستگاه آب‌سنجی بهشت آباد در زیرحوزه شماره ۲۷ واقع شده است (شکل ۲).

جدول ۱. مساحت و درصد کاربری‌های مختلف در حوزه آبخیز بهشت آباد

نوع کاربری	مساحت (ha)	مساحت %	میانگین شیب %	شماره منحنی (CN)
زراعت آبی	۳۶۰۰۰	۹/۵	۵/۳	۷۲
زراعت دیم	۱۸۵۰۰	۴/۹	۱۵/۲	۸۰
باغ	۹۵۰۰	۲/۶	۸/۵	۷۶
اراضی آیش	۲۱۰۰۰	۲/۶	۵	۷۲
مراتع خوب	۳۸۰۰۰	۱۰/۱	۳۸	۷۸/۵
مراتع متوسط	۶۰۰۰۰	۱۶	۱۵/۲	۷۳
مراتع ضعیف	۱۸۹۰۰۰	۵۰	۱۸/۵	۷۵
مناطق مسکونی	۳۰۰۰	۰/۸	۱۰	۷۷
اراضی صخره‌ای	۲۰۰۰	۰/۵	۶۰	۸۷
کل	۳۷۷۰۰۰	۱۰۰ %	۲۱/۲	۷۶/۶



شکل ۲. نقشه کاربری اراضی و زیرحوزه‌های حوزه آبخیز بهشت آباد

۲.۳. تحلیل حساسیت مدل SWAT

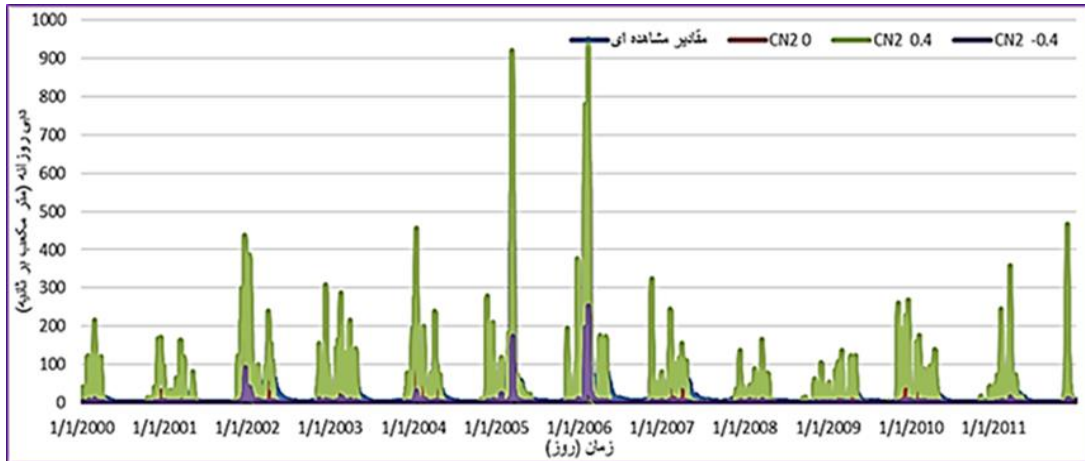
از میان ۵۰ پارامتر مورد بررسی در این پژوهش، مدل نسبت به تغییرات ۲۱ پارامتر حساسیت نشان داده و به عنوان متغیرهای مؤثر بر شبیه‌سازی شدت جریان متوسط آبراهه و رسوب در حوزه آبخیز بهشت‌آباد شناسایی شدند که به شرح جدول ۲ می‌باشد. در جدول مذکور حد بالایی و پائینی و مقدار بهینه پارامتر به دست آمده در این تحقیق ارائه شده است. پارامترهایی که با حرف r در ابتدای نامشان آورده شده‌اند به این معنی است که پارامتر در مثبت یا منفی مقدار داده شده ضرب شود و پارامترهایی که با v نشان داده شده‌اند یعنی که مقدار پارامتر با مقدار جدید جایگزین شود. شکل (۳) نمونه‌ای از پارامتر حساس مؤثر بر شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

۳.۳. نتایج واسنجی و اعتبار سنجی

در این مطالعه دو سوم داده‌های مشاهده‌ای برای واسنجی و یک سوم به منظور اعتبار سنجی در نظر گرفته شد. نتایج واسنجی و اعتبار سنجی دبی روزانه و رسوب روزانه در جدول ۳ و اشکال شماره ۴، ۵، ۶ و ۷ ارائه شده است. چنانچه از نتایج مشخص است مدل شبیه‌سازی را خصوصاً در ایستگاه آب سنجی و رسوب سنجی خروجی حوزه به نام بهشت‌آباد که در زیرحوزه شماره ۲۷ واقع شده است، به نحو بسیار مطلوبی انجام می‌دهد. شکل‌های ۸ و ۹ به ترتیب نمودار میانگین رواناب سطحی و رسوب تولیدی هر کاربری برآورد شده توسط مدل را ارائه می‌دهند.

جدول ۲. نتایج تحلیل حساسیت مدل برای ایستگاه خروجی حوزه بهشت‌آباد

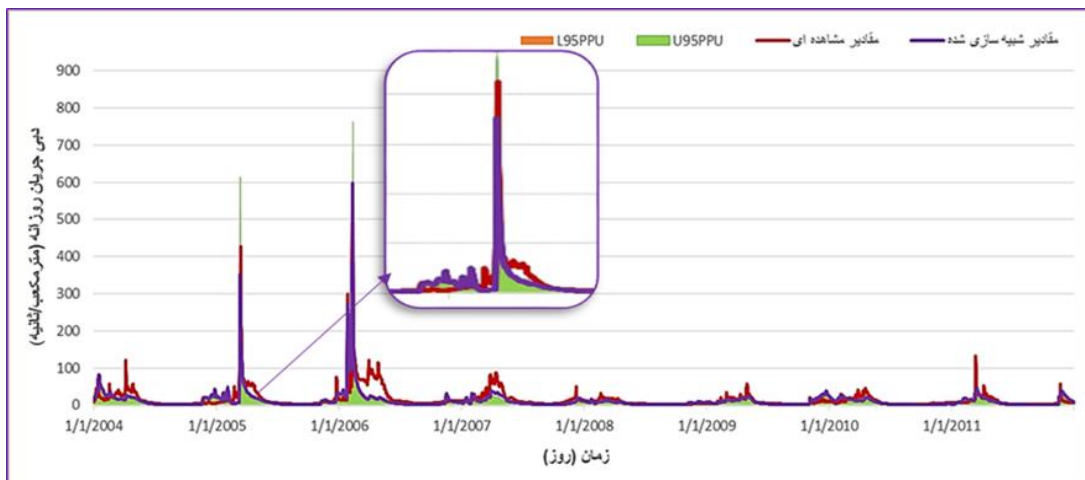
پارامتر	شرح پارامتر	حداقل پارامتر	حداکثر پارامتر	بهینه پارامتر
r_CH_N2	ضریب مانینگ آبراهه اصلی	۰/۰۵	۰/۳	۰/۱۴
v_CH_K2	هدایت هیدرولیکی بستر آبراهه اصلی (میلیمتر در ساعت)	۱۰۰	۱۰۵	۱۰۳/۶
v_GWQMN	حداقل عمق مورد نیاز سطح ایستابی در سفره‌های کم عمق برای وقوع جریان بازگشتی	۳۲۸۲/۴	۳۳۳۱/۹	۳۳۳۱/۷
v_GW_DELAY	زمان تاخیر جریان زیر زمینی	۲۶۱	۲۷۲	۲۶۴/۸
v_SMFMN	فاکتور ذوب برف در تاریخ ۲۱ دسامبر	-۰/۰۴	-۰/۰۱	-۰/۰۴۱
v_ALPHA_BF	ضریب آلفا جریان پایه بر حسب روز	۱/۰۶	۱/۱	۱/۰۹
r_CN2	ضریب شماره منحنی SCS اولیه در شرایط رطوبتی نوع ۲	-۰/۰۶۸	-۰/۰۱	-۰/۰۲۵
r_SOL_AWC	ظرفیت آب قابل دسترس	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱۴۷
r_SOL_K	ضریب هدایت هیدرولیکی خاک در حالت اشباع	-۰/۱۷	-۰/۱۲	-۰/۱۳
r_SOL_BD	جرم مخصوص ظاهری لایه‌های خاک	۰/۳	۰/۴	۰/۳۳
v_HRU_SLP	شیب هر HRU	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲۵۹
v_ESCO	فاکتور جبران تبخیر از خاک	۰/۵	۰/۶	۰/۵۵
v_EPCO	فاکتور جبران جذب آب توسط گیاه	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۳۴
r_PCPSTD	انحراف معیار بارش روزانه در ماه	-۰/۴۶	-۰/۴۹	-۰/۴۴
r_PCPMM	میانگین بارش ماهانه	۰/۰۳۳	۰/۰۳۵	۰/۰۳۴
v_TIMP	فاکتور زمان تاخیر دمای توده برف	۱/۱۷	۱/۱۹	۱/۱۸
v_CH-SIDE	تغییر در فاصله افقی در واحد فاصله عمودی	۲/۵۸	۲/۷	۲/۶۲
v_CH-L2	طول کانال اصلی	۵۱/۴۵	۵۵/۹۵	۵۲/۱۴
r_CH_D	عمق متوسط کانال اصلی	۱۹/۱۲	۱۹/۵	۱۹/۲۴
v_CH-S2	متوسط شیب کانال اصلی	۶/۸	۷	۶/۹
v_CH-EQN	روش چرخش رسوب	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۳۳
v_ADJ-PKR	فاکتور تعدیل اوج جریان برای روندیابی رسوب در شاخه‌های فرعی	۰/۵۸	۰/۶۳	۰/۶۶



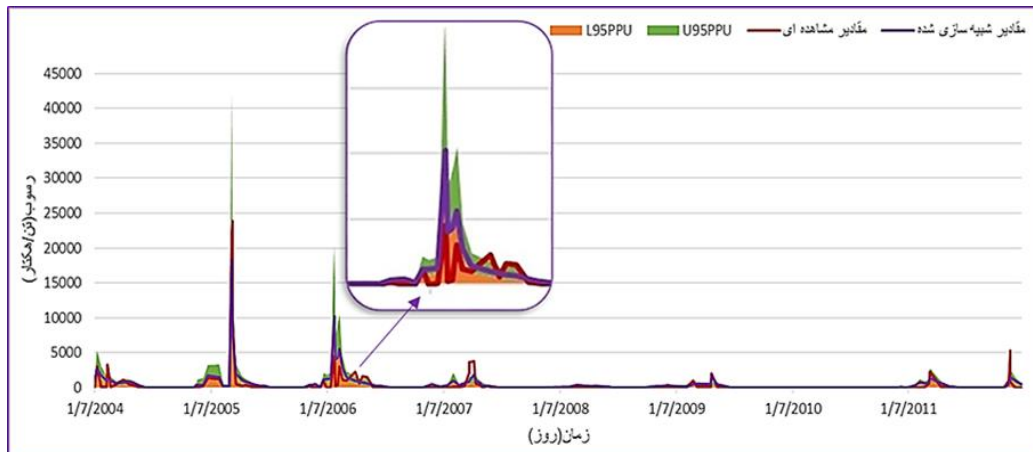
شکل ۳. نمودار تحلیل حساسیت مدل SWAT به پارامتر CN2 برای شبیه سازی شدت متوسط جریان روزانه در ایستگاه خروجی

جدول ۳. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT برای مقادیر روزانه رواناب و رسوب در ایستگاه بهشت آباد

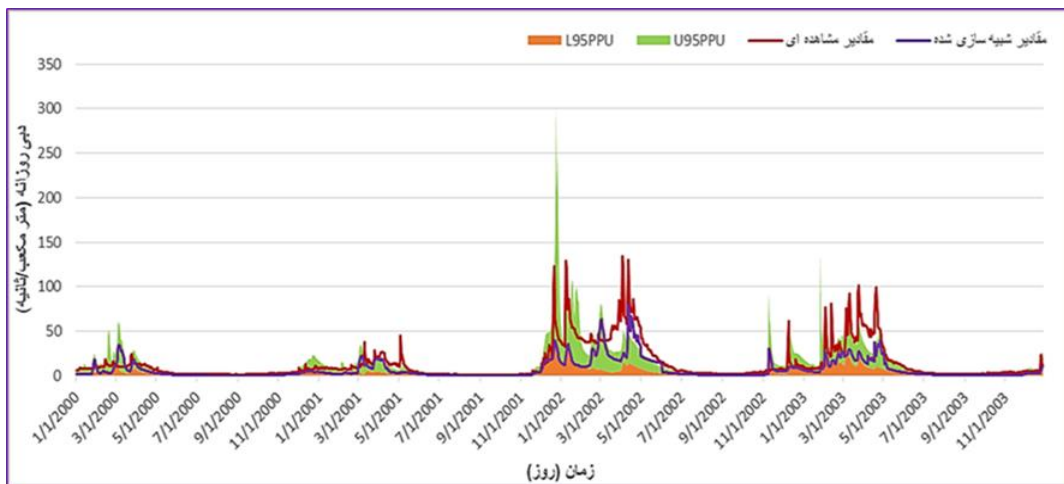
اعتبار اسنجی				واسنجی				نام ایستگاه
NS	R ²	p-factor	r-factor	NS	R ²	p-factor	r-factor	
۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۵۷	۰/۵۳	۰/۶۹	۰/۷۱	۰/۶۴	۰/۴۸	دبی جریان
۰/۶۶	۰/۷۱	۰/۵۴	۰/۶۷	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۴۴	۰/۵۲	رسوب



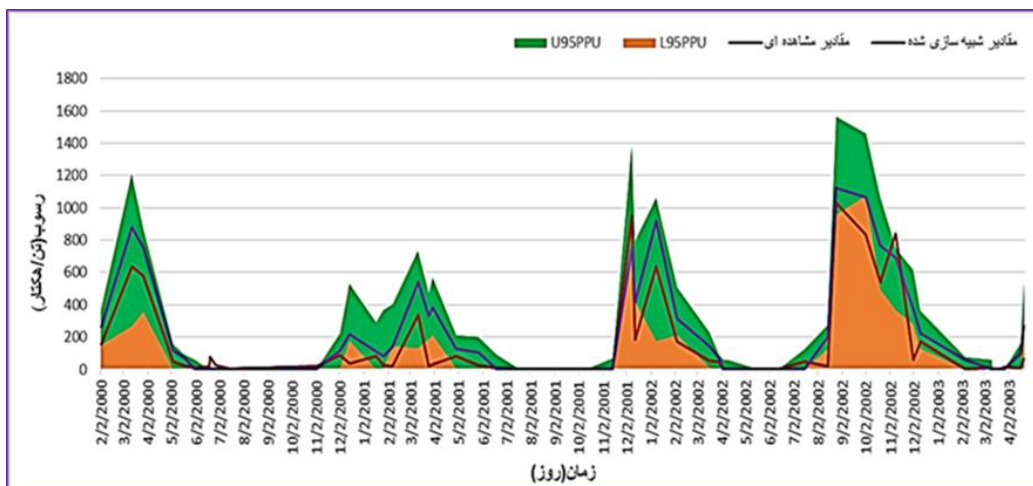
شکل ۴. نمودار مقایسه نتایج دبی مشاهده‌ای با مقادیر برآورد شده در مرحله واسنجی در ایستگاه بهشت آباد (۲۰۰۴-۲۰۱۲)



شکل ۵. نمودار مقایسه نتایج رسوب مشاهده‌ای با مقادیر برآورد شده در مرحله واسنجی در ایستگاه بهشت آباد (۲۰۰۴-۲۰۱۲)



شکل ۶. نمودار مقایسه نتایج دبی مشاهده‌ای با مقادیر برآورد شده در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه بهشت آباد (۲۰۰۰-۲۰۰۴)



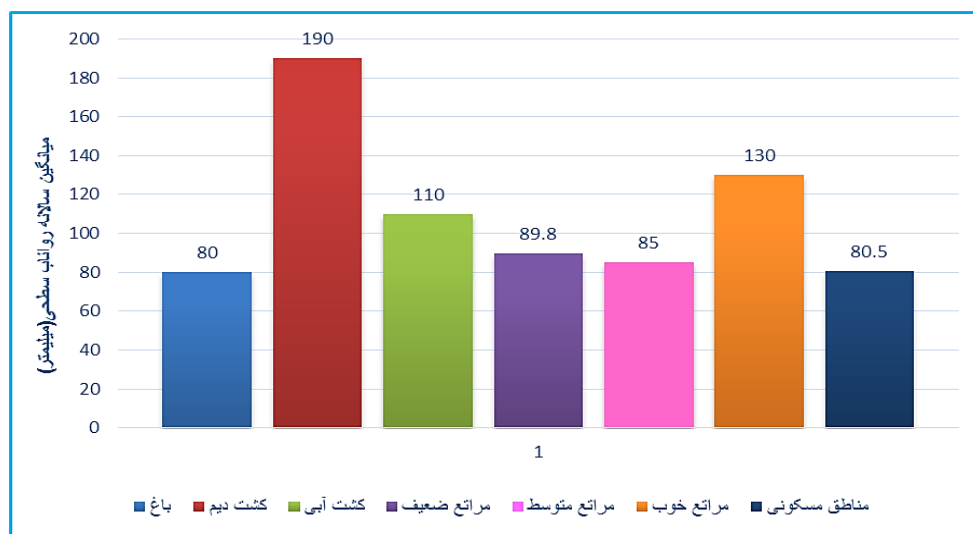
شکل ۷. نمودار مقایسه نتایج رسوب مشاهده‌ای با مقادیر برآورد شده در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه بهشت آباد (۲۰۰۰-۲۰۰۴)

تولید می‌شود که از این میزان ۱,۰۸۶,۰۰۰ تن در آبراهه‌های حوزه و باقیمانده در سطح اراضی حوزه رسوب‌گذاری می‌شود و در حدود ۱۰۰,۰۰۰ تن رسوب سالانه از خروجی حوزه خارج می‌شود. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی رواناب سطحی و رسوب تولیدی برای هر کاربری توسط مدل SWAT در شکل‌های شماره ۹ و ۱۰ ارائه شده است که این نتایج، میانگین نتایج ۱۵ سال شبیه‌سازی شده از ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۲ می‌باشد.

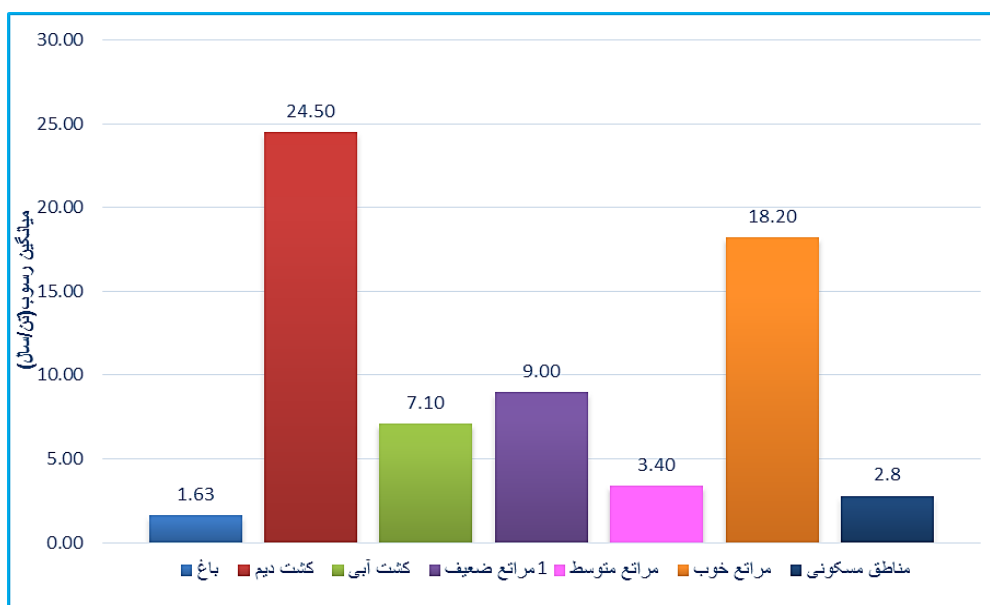
۴.۳. نتایج رواناب سطحی و رسوب تولیدی هر

کاربری

بر اساس نتایج حاصله از شبیه‌سازی با استفاده از SWAT، میانگین شماره منحنی حوزه آبخیز بهشت آباد ۷۶/۶، رواناب سطحی سالانه ۱۰۰ میلی‌متر و میانگین تولید رسوب ۷/۲ تن بر هکتار در سال می‌باشد. سالانه در حدود ۲,۱۱۰,۰۰۰ تن رسوب از سطح حوزه بهشت آباد



شکل ۹. میانگین رواناب سطحی سالانه در هر کاربری زمین در حوزه آبخیز بهشت آباد



شکل ۱۰. میانگین رسوب سالانه در هر کاربری زمین در حوزه آبخیز بهشت آباد

۴. بحث و نتیجه گیری

هدف از مطالعه حاضر تخمین میزان رواناب و رسوب تولید شده در هر یک از انواع کاربری اراضی در حوزه آبخیز بهشت آباد استان چهارمحال و بختیاری است. تقسیم بندی کاربری اراضی نشان داد که از مساحت ۳۷۷۰ کیلومتر مربعی این حوزه آبخیز، ۷۲ درصد را مراتع، ۲۲/۵ درصد را کشاورزی و بقیه را رخنمون‌های سنگی و مناطق مسکونی و صنعتی تشکیل داده‌اند. مراتع بر حسب نوع و میزان پوشش گیاهی به سه بخش مراتع خوب، متوسط و ضعیف تقسیم شده و اراضی زراعی نیز به باغات، کشت آبی و کشت دیم تقسیم شدند و در نهایت مقادیر رواناب و رسوب حاصل از این کاربری‌ها با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی شد. در این مطالعه از میانگین ماهانه داده‌های دبی جریان و رسوب در ایستگاه آب سنجی و رسوب سنجی بهشت آباد به منظور ارزیابی کارایی مدل استفاده شد. نتایج واسنجی و اعتبار سنجی متوسط جریان، نتایج رضایت بخش با ضریب نش-ساتکلیف ۰/۷۹ و ضریب تبیین ۰/۸۶ نشان داد، اما نتایج مربوط به رسوب با ضریب نش-ساتکلیف ۰/۶۲ و ضریب تبیین ۰/۶۹ چندان رضایت بخش نبود که علت آن عدم کفایت داده‌های این پارامتر در طول یک ماه برای به دست آوردن میانگین می باشد. لذا برای حل این مشکل از داده‌های روزانه استفاده شد و نتایج افزایش چشمگیری در مقادیر ضرایب نش-ساتکلیف و تبیین نشان داد. در حوزه آبخیز مذکور بر خلاف انتظار، نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای داده‌های روزانه رسوب بهتر از داده‌های روزانه جریان می باشد. علت این امر به احتمال زیاد بر اساس نقشه‌های زمین شناسی شهرکرد و بروجن-اردل، کارستی بودن بخش‌های زیادی از حوزه آبخیز بهشت آباد و عدم توانایی مناسب مدل در برآورد دقیق میزان نفوذ در مناطق کارستی می باشد. نتایج نشان می دهد که مدل در شبیه‌سازی و برآورد مقادیر اوج جریان روزانه چندان موفق عمل نمی کند. در مطابقت با یافته‌های برخی محققان، مدل در شبیه‌سازی دبی جریان

در ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین ضعیف عمل می کند و معمولاً مقادیر اوج را کمتر از مقادیر اوج مشاهده‌ای برآورد می کند که طبق نتیجه‌گیری وی می توان بیان نمود که مدل تهیه شده قادر به شبیه‌سازی کامل ذوب برف در این منطقه نبوده است و مقادیر حداکثر رواناب (که عمدتاً در اوایل بهار رخ می دهند) را برای این منطقه کوهستانی خوب شبیه سازی نکرده است [۳۲]. علت بالاتر بودن مقادیر ضرایب تبیین و نش-ساتکلیف در این مطالعه نسبت به مطالعه [۳۱] اولاً افزایش ده سال آماری به طول داده‌های مشاهده‌ای و ثانیاً واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای رسوب به صورت روزانه می باشد. همچنین نتایج نشان داد وارد کردن دبی چشمه‌ها در ساخت مدل نقش بسیار مهمی در صحت نتایج حاصل از مدل دارد. به طوری که تا قبل از وارد کردن میزان آبدی چشمه‌ها به مدل، مقادیر دبی جریان شبیه‌سازی شده حاصل از مدل SWAT در حدود ۰/۱ میزان مشاهده‌ای در ایستگاه‌های آب سنجی حوزه به دست می آمد. لذا توصیه می شود در مطالعات آبی خصوصاً در مناطق کارستی و چشمه خیز حتماً این نکته مد نظر قرار گیرد.

بر اساس نوع کاربری زمین در منطقه مطالعاتی، به ترتیب اراضی کشت دیم با میانگین ۱۹۰ میلی‌متر، مراتع خوب با ۱۳۰ میلی‌متر و کشت آبی با ۱۲۰ میلی‌متر، بیشترین و باغات با ۹۰ میلی‌متر، مناطق مسکونی با ۸۰/۵ میلی‌متر، مراتع ضعیف و متوسط با میانگین ۸۰ و ۷۲ میلی‌متر به ترتیب کمترین مقادیر تولید رواناب را دارند. همچنین از نظر تولید رسوب اراضی کشت دیم با ۲۴/۵ تن بر هکتار در سال بیشترین میزان تولید رسوب و باغات با ۱/۶۳ تن بر هکتار در سال کمترین میزان تولید رسوب را دارند. نتایج نشان می دهد با وجود بالاتر بودن شیب اراضی در کاربری باغ نسبت به کشت آبی به دلیل سکوبندی و شکست شیب در باغات، رواناب و رسوب تولیدی باغات کمتر از کشت آبی است. همچنین این اختلاف نقش مهم تاج پوشش و ریشه درختان در حفاظت خاک را تأکید می کند. علاوه بر این باغات پس از احداث

بالای ۳۵٪ می‌باشد و سپس چرای مفرط این اراضی است که علاوه بر کاهش پوشش گیاهی، سبب کاهش بیوماس خاک و لگدکوبی خاک و کاهش نفوذپذیری این اراضی شده است. به طور کلی، با افزایش شیب میزان رواناب و رسوب تولیدی افزایش می‌یابد، اما این مسئله در زیر حوزه‌هایی که کشاورزی خصوصاً کشت دیم در شیب بالای ۱۲٪ صورت گرفته حالت بسیار تشدید شونده نسبت به حوزه‌هایی با شیب مشابه و یا حتی شیب کمتر ولی کاربری مرتع دارند. خصوصاً در زیرحوزه‌هایی که بخش عمده‌ای از اراضی کشاورزی آبی در اثر کمبود آب کشت نشده‌اند و در حالت آیش قرار دارند. به طور کلی تغییر کاربری اراضی از مرتع به کشاورزی خصوصاً کشت دیم سبب افزایش چهار تا پنج برابری در میزان رواناب و تولید رسوب می‌شود، چنانچه در مطالعات مشابه [۷] در مقایسه میزان نرخ رواناب و رسوب با سه نوع کاربری اراضی متفاوت در حوزه آبخیز گیلارد با کمک مدل SWAT نتیجه‌گیری کردند که در اثر تغییر کاربری اراضی، از جنگل و مرتع به زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی، نرخ رواناب با افزایش حدود ۳۰ درصد همراه است و میزان آورد رسوب نیز تا ۴ برابر افزایش یافته است.

شخم زده نمی‌شوند، ولی در کشت آبی به علت عملیات نامناسب کشاورزی و خاکورزی از جمله شخم در جهت شیب و آبیاری غرقابی که سبب تخریب ساختمان خاک و از دست رفتن توان خاک در مقابله با فرسایش می‌شود، با وجود شیب کمتر، مقادیر تولیدی رواناب و رسوب بیشتری نسبت به مراتع ضعیف و متوسط و باغات دارد. در مقایسه بین مراتع متوسط و کاربری کشت دیم مشاهده می‌شود که با وجود شیب تقریباً برابر این اراضی نسبت به اراضی دیم، میزان رواناب و رسوب تولیدی کاربری دیم چندین برابر مراتع متوسط و حتی ضعیف می‌باشد که این نکته مجدداً مؤید نقش فعالیت‌های نامناسب انسانی در به هم زدن تعادل طبیعت است. بررسی‌ها نشان می‌دهد در حوزه مذکور میزان رواناب تولیدی در مراتع بالادست حوزه که جزء مراتع خوب به لحاظ پوشش گیاهی و خوش خوراکی علوفه طبقه‌بندی شده‌اند به میزان قابل توجهی بالاتر از مراتع متوسط و یا ضعیف می‌باشد. [۳۰] مطالعات مشابهی بر روی فرسایش در حوزه آبخیز مجاور بهشت‌آباد به نام حوزه آبخیز تنگه گزی انجام داده‌اند و به نتایج مشابهی در مورد مراتع دست یافته‌اند. علت این امر در وهله اول واقع شدن مراتع خوب در اراضی بالادست حوزه که متوسط شیب آن‌ها

References

- [1]. Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J., & Srinivasan, R. (2006). Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *J. Hydrol.* 333:2-4.413-430.
- [2]. Alansi A.W., Amin M.S.M., Abdul Halim G., Shafri H.Z.M. & Aimrun W., 2009, Validation of SWAT Model for Stream Flow Simulation and Forecasting in Upper Bernam Humid Tropical River Basin, Malaysia, *Hydrology and Earth System Sciences*, Discuss, 6: 7581-7609.
- [3]. Ananda. J, Herath. G, 2003, Soil erosion in developing countries: a socio-economic appraisal, *Journal of environmental management*, Vol. 68, no. 4, pp. 343-353. Aug 2003.
- [4]. Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S. & Williams, J.R., 1998, Large Area Hydrological Modeling Assessment, *Journal of the American Water Resources Association* 34(1).
- [5]. Andersen, J., Refsgaard, J.C., & Jensen, K.H., 2001. Distributed hydrological modelling of the Senegal River Basin—model construction and validation. *Journal of Hydrology* 247, 200–214.

- [6]. Bokan .L.T., 2015, Simulation of Sediment Yield Using SWAT Model: A case of Kulekhani Watershed, Master's thesis ,Norwegian University of Science and Technology Faculty of Engineering Science and Technology Department of Hydraulic and Environmental Engineering
- [7]. Bourzo.N., Abdulazimi.H., & Afshin Sharifan.R, ,2014, The effect of land use on runoff and sediment rate in Gillard watershed of Tehran Province by using ArcSWAT 10.1 Model, Third Conference on Sustainable Agriculture and Rural Development, opportunities and challenges, faculty of Agricultural Sciences, Islamic Azad University of Shiraz.
- [8]. Calder, I.R., Hall, R.L., Bastable, H.G., Gunston, H.M., Shela, O., Chirwa, A. kafundu, R., 1995. The impact of land use change on water resources in sub-Saharan Africa: a modelling study of Lake Malawi. *Journal of Hydrology* 170, 123–135
- [9]. Chanasyk, D. S., Mapfumo, E., & Willms, W. (2003). Quantification and simulation of surface runoff from fescue grassland watersheds. *Agricultural Water Management*, 59, 137-153.
- [10]. DeFries R, Eshleman N K. 2004. Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future. *Hydrological Processes*, 18(11): 2183–2186.
- [11]. Espinani. K., 2010, Effects of different water allocation scenarios in the coming period under the impact of climate change, Ms.C Thesis of Water Engineering, Birjand University, Faculty of Agriculture
- [12]. Faramarzi, M., Abbaspour, K. C. Schulin, R. and Yang, H. (2009). Modelling blue and green water resources availability in Iran. *Hydrological processes*. 23, P: 486–501.
- [13]. Farokhzadeh.B. Ildoromi.A, Ataeian, B., Nourouzi.M. 2016, Evaluation of the effect of land use changes on suspended load using SWAT model (case study: Yalfan watershed, Hamadan province), *Journal of Environmental Erosion Research*, autumn 2016, 5:3(19). Page 28-46
- [14]. Gassman, P.W., Reyes, M., Green, C.H. & Arnold, J.G., 2007. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future directions. *Transactions of the ASABE* 1250–1212,(4)50.
- [15]. Guzha A.C., Hardy T.B., 2010, Application of the Distributed Hydrological Model, TOPNET, to the big Darby Creek watershed, Ohio, USA, *Water Resour Manage*, 24: 979-1003.
- [16]. Haan, C.T., H.P. Jonson and D.L. Brakensiek. 1982. *Hydrologic Modeling of Small Watersheds*. American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 532 pp.
- [17]. Izadi. M, Akhavan. S, Emamgholi. S, 2016, Application of SWAT 2009 model to simulation DARE-SHIRIN River flow, 2016, the first national conference on water resources and agricultural challenges, Iran Irrigation and Drainage Board, Khorasgan Islamic Azad University, Esfahan, winter 2016
- [18]. Jalalian, A., Ghahsareh, A. M. and Karimzadeh, H. R. 1996. Soil erosion estimates for some watersheds in Iran. *International Conference on Land Degradation*, Adana, Turkey
- [19]. Jalalian A. 2011. Soil degradation and its effect in Iran. 20th Iran soil congress. 3-5 Sept. Tabriz University, Iran.
- [20]. Jothityangkoon, C., Sivapalan, & M., Farmer, D.L., 2001. Process controls of water balance
- [21]. Variability in a large semi-arid catchment: downward approach to hydrological model development. *Journal of Hydrology* 254, 174–198
- [22]. Kavian A., Bahrami. M., Rouhani. H., 2014, Performance Evaluation of SWAT Model to estimate surface runoff in Kachik Watershed, Golestan Province, *Watershed Management Research*, (Issue 103)
- [23]. Mahmoudzade. A., 1997, sediment production and land use relationship, *Journal of Forest and Range*, No 36, winter 1997, page 25-32
- [24]. Manguerra H. B., Engel B. A. (1998). Hydrologic Parameterization of Watersheds for runoff prediction using SWAT. *The American water resources association*. 34(5), 1149-1162.
- [25]. Morgan, R. 1986. *Soil Erosion and Conservation*. Longman scientific and technical publisher. 298 PP.
- [26]. Shepherd, B., D. Harper and Millington. A, 1999, modelling catchment-scale nutrient transport to watercourses in the U.K. *Hydrobiology* 395/396: 227-237.

- [27]. Naserabadi. F, Esmali Ouri. A, Akbari. H and Rostamian. R, 2016, River flow Simulation using SWAT Model (Case study: Ghareh Su River in Ardabil Province-Iran), Journal of Watershed Management Research Vol. 7, No. 13, Spring and Summer 2016, page 50-59
- [28]. Nash, J.E, Sutcliffe J.V., 1970, River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part I- A Discussion of Principles. Journal of Hydrology, 10: 282-290.
- [29]. Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Srinivasan J.R. & Williams J.R., 2011, Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation, version 2009, Grassland, soil and water laboratory, Agricultural Research Service. P.647.
- [30]. Pazhohesh.M, Gorji. M, Taheri.S.M, Sarmadian.F, Mohamadi.F & Samadi Broujeni.H, 2011, Impact of different landuse on sediment production in upper Zayanderoud dam watershed, IRAN Water Research Journal, spring and smmer 2011, Page 152-143
- [31]. Rostamian R , Mousavi S.F, Heidarpour .M, Afyuni .M & Abaspour .K, 2009, Application of SWAT2000 Model for Estimating Runoff and Sediment in Beheshtabad Watershed, a Sub-basin of Northern Karun, Journal of Water and Soil Science(Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), Volume 12, Number 46(1-2009), Page 531-517
- [32]. Rouhani, H., Willems, P. & Feyen, J., 2007, Analysis of Parameter Sensitivity and Uncertainty of the SWAT Hydrological Model, Hydrological Science and Technology, 23: 191-2002.
- [33]. Remegio, B., Confesor. Jr., 2007, Sensitivity Analysis and Interdependence of the SWAT Model Parameters. Written for Presentation at the 2007 ASABE Annual International Meeting Sponsored by American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) Minneapolis Convention Center Minneapolis, Minnesota, Paper number: 072101.
- [34]. Schuol, J., Abbaspour. K. C, Yang .H, P. Reichert, Srinivasan. R, Schar Ch. & Zehnder.A. J. B, 2006, Estimation of freshwater availability in the West African Sub-continent using the SWAT hydrologic model. Journal of Hydrology. 352: 30-49.
- [35]. Shaygan M, Alimohammadi Sarab A. & Rouhani H, 2012, GIS-Based Hydrologic Modelling in Taleghan Watershed, Iranian Journal of Remote Sencing & GIS, 2012(Issue 2), Page 1-18
- [36]. Sieber A., Kuemmerle T., Prishchepov A.V., Kelly. J, Baumann .M, Volker C. R. and Leonid M. B., 2013, Landsat-based mapping of post-Soviet land use change to assess the effectiveness of the Oksky and Mordovsky protected areas in European Russia. Article Remote Sensing of Environment. 133: 38-51.
- [37]. Sun X. F., Yue. T. X. and Fan Z.M. 2012. Scenarios of changes in the spatial pattern of landuse in China Procedia Environmental Sciences. 13: 590-597.
- [38]. Toy, T. J., Foster, G. R., & Renard, K. G, (2002), Soil Erosion: Processes, Prediction, Measurement, and Control. Technology & Engineering, 338.
- [39]. Turner M G, Pearson S M, Bolstad P., 2003. Effects of land-cover change on spatial pattern of forest communities in the Southern Appalachian Mountains (USA). Landscape Ecology, 18(5): 449-464.
- [40]. Wang Q., Liu J., Wang Y., Guan J., Liu Q. and Lv D., 2012, Land use effects on soil quality along a native wetland to cropland chronosequence. Journal of Soil Biology. 53: 114-120.

