نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره ششم، ۱۳۹۷
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2019.12697.2739

بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر پتانسیل تولید رواناب‌های سطحی با استفاده از مدل SWAT

آرش فاضلی‌فارسانی[1] و *رضا قضاوی[2]

[1]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه کاشان، [2]دانشیار گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه کاشان

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۲٤

چکیده

سابقه و هدف: یکی از موضوعات مهم در مدل‌سازی هیدرولوژیکی، ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی در منابع آب است. کاربری اراضی یک خصوصیت مهم در فرایند تولید رواناب است که بر روی نفوذ آب، فرسایش خاک، تبخیر و تعرق اثر می‌گذارد. امروزه برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های کمی در علم سنجش از دور بسیار معمول است و پژوهشگران و دانشمندان این علم در دو دهه گذشته به‌صورت گسترده آن را به‌کار برده‌اند. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر روی پتانسیل تولید رواناب‌های سطحی با استفاده از مدل SWAT است.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه زیرحوزه بهشت‌آباد واقع در شمال و شمال‌شرقی حوضه آبخیز کارون شمالی استان چهارمحال‌بختیاری شهرستان اردل می‌باشد. در این پژوهش ابتدا با استفاده از داده‌های سنجنده ETM[1] ماهواره لندست ۷ و داده‌های سنجنده OLI[2] ماهواره لندست ۸ نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳ تهیه شد و سپس بر اساس این نقشه‌ها و با استفاده از مدل SWAT برای دوره آماری ۱۹۸۹-۱۹۸٤ بر اساس کاربری اراضی سال ۱۹۸۷ رواناب سطحی شبیه‌سازی شد. سپس واسنجی و اعتبارسنجی مدل با استفاده از الگوریتم SUFI-2[3] موجود در نرم‌افزار SWAT-CUP انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج آماری حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل در دوره ۱۹۸۹-۱۹۸٤ نشان از دقت قابل‌قبولی در شبیه‌سازی رواناب دارد. برای استخراج نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳ از روش نظارت شده و برنامه طبقه‌بندی‌کننده بیش‌ترین شباهت با دقت کلی ۸۰٪ و ۸۵٪ استفاده شد. سپس جهت بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر پتانسیل تولید رواناب، یک بار از نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۸۷ و بار دیگر از نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ برای دوره ۲۰۱۱-۱۹۹۹ استفاده گردید. نتایج نشان داد که به‌دلیل این‌که رواناب مشاهداتی خارج از محدوده باند عدم قطعیت قرار گرفته است و نقشه سال ۱۹۸۷ نسبت به نقشه ۲۰۱۳ دارای دقت مکانی و هندسی کم‌تری می‌باشد استفاده

* مسئول مکاتبه: ghazavi@kshanu.ac.ir

1- The Enhanced Thematic Mapper Plus
2- Operational Land Imager
3- Sequential Uncertainty Fitting version-2

از نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۸۷ برای دوره جدید از دقت قابل‌قبولی برخوردار نمی‌باشد و رواناب مشاهداتی خارج از محدوده باند عدم قطعیت با سطح اطمینان ۹۵PPU%[1] قرار گرفته است. ولی شبیه‌سازی رواناب با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ برای دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۹۹ افزایش دقت واسنجی و اعتبارسنجی را به دنبال داشته است. همچنین رواناب مشاهداتی نیز در محدوده باند عدم قطعیت ۹۵PPU% مدل SWAT قرار گرفته است و میزان رواناب سطحی نیز در دوره آماری جدید نسبت به قدیم روند افزایشی داشته است.

نتیجه‌گیری: مطالعه همه عوامل تأثیرگذار بر میزان رواناب، کاری مشکل و بسیار پیچیده است و نیاز است که بتوان با استفاده از تکنیک‌های جدید و مدل‌ها تأثیر عوامل مختلف مورد بررسی قرار گیرد. نتایج این مطالعه نشان داد که چنان‌چه داده‌های ورودی مدل SWAT به‌طور صحیح تهیه شود، این مدل دارای کارایی قابل‌قبولی در برآورد دبی رواناب است. در این بین، تهیه نقشه کاربری اراضی مطابق با شرایط واقعی منطقه بیش‌ترین تأثیر را می‌تواند داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: تغییر کاربری اراضی، رواناب سطحی، سنجش‌ازدور، ماهواره لندست، مدل SWAT

مقدمه

یکی از موضوعات مهم در مدل‌سازی هیدرولوژیکی، ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی در منابع آب است (١٤). اراضی شهری، بالاترین حجم رواناب و دبی اوج و کم‌ترین زمان تمرکز را در مقایسه با اراضی جنگلی دارد. افزایش رواناب در مناطق شهری در نتیجه تغییر کاربری و افزایش سطوح غیرقابل‌نفوذ است که موجب جلوگیری از نفوذ آب به داخل خاک و در نتیجه ایجاد رواناب می‌شود (۱۸). تغییر کاربری اراضی چهار اثر مهم روی هیدرولوژی حوضه‌های آبخیزداری دارد که عبارت‌اند از: تغییر در خصوصیات دبی پیک، تغییر در حجم کل رواناب، تغییر در کیفیت آب و تغییر در تعادل هیدرولوژیک. همچنین واکنش هیدرولوژیکی یک حوزه آبخیز، نماد جامعی از شرایط و خصوصیات محیط طبیعی آن حوضه می‌باشد. در یک اکوسیستم طبیعی، بهره‌برداری از زمین و ایجاد تغییر در شرایط، به‌ویژه پوشش گیاهی و کاربری اراضی آن اکوسیستم، بر پاسخ‌های هیدرولوژی مانند جاری شدن سیلاب و میزان فرسایش و رسوب منطقه تأثیرگذار می‌باشد ازاین‌رو کاربری اراضی و پوشش زمین، یکی از عوامل اصلی در مطالعات منابع آب و فرسایش و رسوب حوزه آبخیز می‌باشند (۲۳).

امروزه به‌دلیل افزایش روزافزون رشد جمعیت و تشدید استفاده از منابع آبی، به‌کارگیری تکنیک‌های جدید جهت افزایش سرعت و دقت برآورد حجم رواناب در محاسبات به‌منظور طراحی صحیح و کاهش هزینه‌های اجرایی بسیار ضروری می‌باشد (٦). از طرفی، مطالعه اثرات تغییر کاربری اراضی در وضعیت هیدرولوژیکی و سیل‌خیزی حوضه به‌دلیل این‌که عوامل مؤثر در جریان رودخانه و شدت سیلاب از لحاظ زمانی و مکانی متغیر هستند، فرایندی بسیار پیچیده و وقت‌گیر است. این مشکل را می‌توان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سنجش‌ازدور که داده‌های به‌روز، قابل‌اعتماد و گسترده فراهم می‌کنند، برطرف کرد (۱۹). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های سنجش از راه دوری به‌دلیل اشراف کلی بر پدیده‌ها و منابع زمین و ثبت ویژگی‌های پدیده‌ها و گرفتن اطلاعات لازم از آن‌ها توسط موج‌ها و یا طیف‌های الکترومغناطیسی یا انعکاس پدیده‌ها توسط

1- Lower, median, upper limits of 95% prediction uncertainty

سنجنده‌ها و در نهایت تجزیه‌وتحلیل الگوریتم‌ها با به‌کارگیری از سخت‌افزار و نرم‌افزارهای کامپیوتری می‌تواند به‌عنوان ابزار مناسبی جهت بررسی نقش تغییر کاربری اراضی بر منابع آب، مورداستفاده قرار گیرد (۱۵). اطلاعات حاصل از این نقشه‌ها می‌تواند در مدل‌های هیدرولوژیکی مورداستفاده قرار گیرد. در زمینه تعیین کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و سنجش از راه دور مطالعات زیادی در سطح جهان انجام گرفته است که در مجموع نشان‌دهنده توانایی این روش در تعیین تغییرات کاربری اراضی می‌باشد. روند تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز طالقان با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS توسط نظری و همکاران (۲۰۱۱) موردمطالعه قرار گرفت (۱۷). نتایج این مطالعه نشان داد که اراضی رهاشده از ۸ درصد به ۱۶ درصد افزایش و اراضی مرتعی با کاهش ۱۱ درصدی، بیش‌ترین تغییرات را در حوضه دارد (۱۷). نظری و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که، استفاده از فن‌های سنجش‌ازدور و GIS، قابلیت دستیابی به اطلاعات کاربری اراضی را ارتقاء می‌دهد. در حوزه آبریز رودخانه مادرسو با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، تأثیر تغییرات کاربری اراضی و تغییر پوشش بر روی میزان دبی سیلاب‌ها بررسی شد (۱). نتایج این مطالعه روشن نمود که در صورت تبدیل کاربری اراضی فعلی به کاربری بر اساس قابلیت منطقه، در سیلاب‌های ضعیف تا متوسط حدود ۷۰ درصد، میزان سیلاب کاهش خواهد یافت و در سیلاب‌های شدید تا ٤٠ درصد و در سیلاب‌های بسیار شدید و استثنایی تا میزان ۲۰ درصد میزان دبی خروجی حوضه کاهش می‌یابد. در بررسی تغییر کاربری اراضی و تأثیر آن بر میزان رواناب با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز تنگ‌بستانک به این نتیجه دست‌یافته شد که بیش‌ترین میزان CN[1] در تبدیل کاربری از جنگل با زیراشکوب مرتع متوسط به جنگل با زیراشکوب مرتع ضعیف است و بیش‌ترین مقدار کاهش در نمایه نگهداشت خاک در تبدیل این کاربری رخ داده است (۱۰).

تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر میزان رواناب‌های سطحی با استفاده از مدل SWAT توسط پژوهشگران داخلی و خارجی صورت گرفته است. با استفاده از مدل SWAT مطالعه‌ای بر روی دبی رودخانه دشت‌های لیورپول در کشور استرالیا انجام شد که نتایج این مطالعه نشان داد مدل SWAT به‌خوبی دبی رودخانه را پیش‌بینی کرده و در مقایسه با روش‌های مدل‌سازی منابع نقطه‌ای، نتایج بهتری را به دست می‌دهد (۲۱). در حوضه‌ای در غرب آفریقا با استفاده از مدل SWAT نشان داده شد که تغییر مناطق با کاربری جنگل، مرتع و بوته‌زار به اراضی کشاورزی و یا مناطق شهری باعث تغییر شرایط هیدرولوژی طبیعی در یک حوضه آبخیز می‌شود و نتیجه این تغییر به‌صورت افزایش در حجم آب سطحی، کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی و آب‌پایه رودخانه‌ها و تغییر در مقدار و شدت فرسایش و رسوب هست (۱۱). از مدل هیدرولوژیکی SWAT و سیستم اطلاعات جغرافیایی، جهت شبیه‌سازی اثر تغییر کاربری اراضی بر روی رواناب در حوزه آبخیز براندیوین[2] یونان استفاده شد و با تجزیه‌وتحلیل خروجی مدل SWAT در طول دوره آماری ۸ ساله ۲۰۰۰-۱۹۹۲، این نتیجه به‌دست آمد که با کاهش سطح اراضی جنگلی، میزان رواناب افزایش می‌یابد و کاهش اراضی جنگلی در حوزه آبخیز موردمطالعه (که ناشی از تغییر در روند کاربری

1- Curve Number
2- Brandywine

اراضی می‌باشد) منجر به شهرنشینی شده است و نتیجه این روند اثراتی در هیدرولوژی حوضه دارد (۷). مدل SWAT برای شبیه‌سازی رواناب و بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر رواناب در بالادست حوضه برنام[1] در کشور مالزی به‌کار برده شد و به‌منظور ارزیابی مدل شبیه‌سازی‌شده، ضرایب R^2 و ضریب ناش ساتکلیف استفاده گردید (٤). نتایج پژوهش بیانگر قابلیت بالای مدل در شبیه‌سازی و پیش‌بینی جریان رواناب در شرایط مرطوب گرمسیری است. با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT به ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی و تغییرات اقلیمی بر روی هیدرولوژی سطحی (رواناب و تبخیر و تعرق) در حوزه آبخیز فلات لس چین پرداخته شد. نتایج این مطالعه نشان داد که طی سال آماری ۲۰۰۰-۱۹۸۱، حدود ٤/٥ درصد از سطح حوضه تغییرات زیادی در تبدیل زمین‌های بوته‌زار و اراضی جنگلی پراکنده به مرتع با درجه متوسط و بالا داشته است و اقلیم به‌سمت گرم شدن و خشک شدن پیش رفته است (۱۲). در مطالعه‌ای، با استفاده از مدل SWAT به منظور شبیه سازی بیلان آبی، به ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر هیدرولوژی حوزه آبخیز زنجان‌رود طی ٤۰ سال اخیر پرداخته شد (۸). نتایج این پژوهشگران نشان داد که تأثیرات قابل‌توجه تغییرات کاربری اراضی بر روی بار آبی و جریان رودخانه‌ای است به‌طوری‌که تغییرات کاربری اراضی موجب افزایش مقدار رواناب سطحی حدود ۳۳ درصد و کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی به‌میزان ۲۲ درصد شده است.

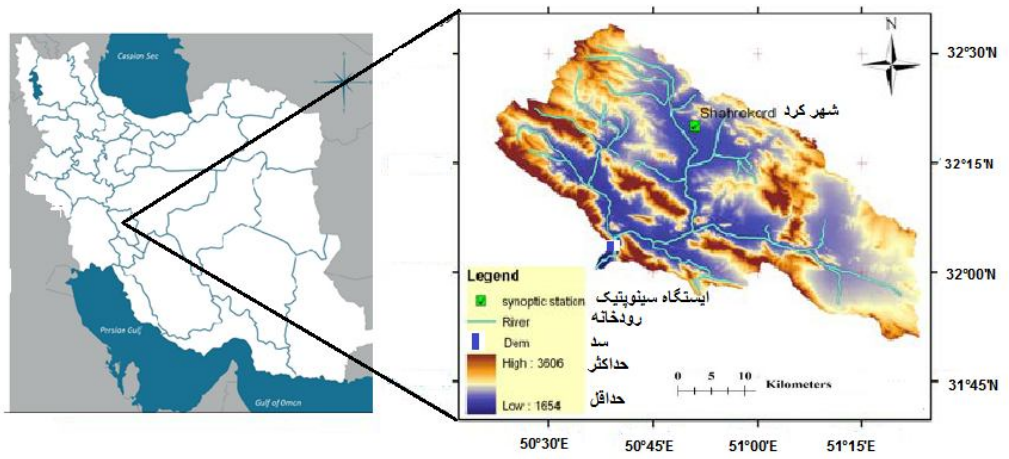
کاربرد مدل‌های هیدرولوژیکی برای فهم بهتر چرخه آب در محیط و به‌ویژه پیش‌بینی رواناب به چهار دهه گذشته برمی‌گردد. در سال‌های اخیر هیدرولوژی ست‌ها جهت شبیه‌سازی کارایی هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز بر روی مدل‌های موجود یا ایجاد مدل‌های جدید کار کرده‌اند. چنان‌چه کارایی این مدل‌ها برای مناطقی با شرایط متفاوت خاک، توپوگرافی، کاربری اراضی و جزء این‌ها مورد تأیید قرار گیرد می‌توان از این مدل‌ها به‌عنوان ابزاری برای مدیریت آب‌وخاک در حوضه‌های آبخیز استفاده کرد. از طرفی اکثر حوضه‌های آبخیز کشور ما، به‌ویژه حوضه‌های کوهستانی و صعب‌العبور فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری است و با توجه به این‌که آمار و اطلاعات این ایستگاه‌ها در بخش‌های مختلف مدیریت آبخیز استفاده می‌شود، شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژیکی آبخیزها ضروری است (۹). هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر پتانسیل تولید رواناب‌های سطحی در زیرحوضه بهشت‌آباد با استفاده از سنجش‌ازدور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل SWAT است.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه زیرحوزه بهشت‌آباد واقع در استان چهارمحال‌بختیاری بوده که در شمال و شمال‌شرقی حوضه آبخیز کارون شمالی در حدفاصل طول‌های جغرافیایی '۲۳ °۵۰ تا '۲۵ °۵۱ شرقی و عرض‌های جغرافیایی '٤۹ °۳۱ تا '۳٤ °۳۲ شمالی قرار گرفته است. مساحت این زیرحوزه ۳۸٦۰ کیلومترمربع می‌باشد و در حدود ۲۷ درصد حوضه آبخیز شمالی رودخانه کارون را در برگرفته و به‌عنوان وسیع‌ترین زیرحوضه در حوضه آبخیز کارون شمالی است (شکل ۱). این زیرحوضه از ۸ واحد هیدرولوژیک به نام‌های سورشجان، جونقان- فارسان، شهرکرد، بروجن- فرادنبه، کیار شرقی، کیار غربی، سفیددشت و بهشت‌آباد تشکیل شده است. مهم‌ترین رودخانه‌هایی که منابع آب سطحی حوضه بهشت‌آباد را تأمین می‌کند شامل: رودخانه‌های بهشت‌آباد، کیار، جهان‌بین، جونقان، سراب، گرگک و رودخانه شلمزار می‌باشد.

1- Bernam

از کل مساحت این حوزه ۷۹ درصد در ارتفاع ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر (از سطح آزاد دریا) واقع شده است. کم‌ترین ارتفاع این حوضه ۱۶۶۰ متر در محل خروجی آب بهشت‌آباد و بیش‌ترین ارتفاع آن ۳۶۲۰ متر در کوه سال دران می‌باشد. میانگین شیب در این زیرحوزه ۲۷ درصد برآورد شده است. با توجه به ماهیت کوهستانی این زیرحوضه و قرارگیری آن در نیمه غربی کشور، همواره تحت‌تأثیر سامانه‌های اقلیمی غربی و جنوب‌غربی کشور قرار دارد. بنابراین، با توجه به رخدادهای بارش شدید در حوضه انتظار می‌رود که این عامل منجر به سیلاب‌های مخرب و خسارات جانی و مالی فراوانی گردد.



شکل ۱- موقعیت زیرحوضه بهشت‌آباد در استان چهارمحال‌بختیاری.

Figure 1. Location of the study area in Chaharmahal Bakhtiyari province.

روش کار پژوهش: برای بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر پتانسیل تولید رواناب از دو نقشه کاربری اراضی استفاده شده است. نقشه اول حاصل آنالیز داده‌های سنجنده ETM ماهواره لندست ۷ مربوط به روز اول ماه مارس سال ۱۹۸۷ می‌باشد و توسط شرکت مهندسین مشاور یکم تهیه گردیده است. نقشه دوم نیز مربوط به روز هستم ماه مارس سال ۲۰۱۳ می‌باشد که با استفاده از سنجش‌ازدور و تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ تهیه شد. دیگر داده‌های مورد نیاز این پژوهش که شامل پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی بود نیز از ایستگاه هیدرومتری و سینوپتیک بهشت‌آباد تهیه گردید. در این پژوهش مدل SWAT برای کاربری اراضی سال ۱۹۸۷ و دوره آماری ۱۹۸۷-۱۹۸٤ و همچنین کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ و دوره آماری ۲۰۱۲-۲۰۰۳ واسنجی و برای کاربری سال ۱۹۸۷ و دوره آماری ۱۹۸۹-۱۹۸۷ و همچنین کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ و دوره آماری ۲۰۰۲-۱۹۹۹ اعتبارسنجی شد. در ادامه، نتایج حاصله با استفاده از معیارهای آماری ضریب ناش‌ساتکلیف[1]، ضریب تبیین[2] R^2، ضریب رفتار[3] r-factor و ضریب تغییر مکان جانبی[4] p-factor برای هر دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی، مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. سپس برای بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر پتانسل تولید رواناب، یک بار نیز مدل در دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۹۹ با استفاده از کاربری اراضی سال ۱۹۸۷ اجرا گردید و نتایج آماری آن به‌وسیله برنامه SWAT-CUP[5] بررسی شد.

1- Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient
2- Coefficient of Determination
3- Response modification factors
4- Deflection amplification factor
5- SWAT Calibration and Uncertainty Procedures

جدول ۱- سال‌های مربوط به دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی مدل و کاربری اراضی مورد استفاده.

Table 1. Calibration and Validation Model Years and related land use.

کاربری (Land use)	واسنجی (Calibration)	اعتبارسنجی (Validation)
1987	1984-1987	1987-1989
2013	2003-2012	1999-2002

جهت استفاده از مدل SWAT ابتدا مدل رقومی ارتفاع[1] از لایه وکتوری منحنی تراز با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ بر اساس عملیات درونیابی کریجینگ[2] استخراج گردید و سپس با به‌کارگیری مدل رقومی ارتفاع به‌عنوان ورودی مدل SWAT حوضه آبریز اصلی به تعدادی زیرحوضه تقسیم می‌شود. سپس بر مبنای نقشه‌های خاک و کاربری اراضی زیرحوضه‌ها نیز به واحدهای کوچک‌تری تقسیم می‌شوند که به هر کدام از این واحدها یک واحد واکنش هیدرولوژیک[3] گفته می‌شود. در هر واحد واکنش هیدرولوژیک باید ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، پوشش و کاربری اراضی تغییرات چشمگیری نداشته باشد (همگن باشد). در ابتدا آب موجود در خاک، رواناب سطحی، چرخه عناصر غذایی، رسوب، رشد گیاهان و روش‌های مدیریتی برای هر واحد واکنش هیدرولوژیک و سپس برای هر زیرحوضه به‌صورت وزنی محاسبه می‌شود.

چرخه هیدرولوژی که به‌وسیله مدل SWAT شبیه‌سازی می‌شود بر پایه روابط پیوستگی بیلان آبی (رابطه ۱) است:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=0}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (۱)$$

که در آن، SW_t مقدار نهایی آب در خاک (میلی‌متر)، R_{day} مقدار بارندگی در روز i ام (میلی‌متر)، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در روز i ام (میلی‌متر)، E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز i ام (میلی‌متر)، W_{seep} مقدار آبی که به پروفیل خاک در روز i ام وارد می‌شود (میلی‌متر) و Q_{gw} مقدار جریان برگشتی در روز i ام (میلی‌متر) می‌باشد.

برای کالیبراسیون مدل SWAT از نرم‌افزار SWAT-CUP و الگوریتم SUFI-2 استفاده شده است. ایده اولیه این الگوریتم در سال ۱۹۹۷ توسط عباسپور و همکاران ارائه شد و در سال ۲۰۰۷ توسعه یافت. این الگوریتم روشی برای کالیبراسیون و آنالیز عدم قطعیت هم‌زمان مدل SWAT است. این برنامه در بسته نرم‌افزاری SWAT-CUP به مدل SWAT لینک شده است. علت انتخاب برنامه SUFI-2 در این مطالعه این است که این برنامه قادر به مدیریت تعداد زیاد پارامترها و داده‌های اندازه‌گیری‌شده در چندین ایستگاه به‌طور هم‌زمان است. علاوه بر این، در این برنامه می‌توان آنالیز حساسیت، عدم قطعیت، واسنجی و اعتبارسنجی را به‌طور هم‌زمان انجام داد. برای انجام آنالیز حساسیت روش یک پارامتر در هر بار[4] یا OAT مورداستفاده قرار گرفت که متعارف‌ترین روش برای این کار است. در روش OAT در هر بار اجرای مدل یک پارامتر تغییر کرده و بقیه ثابت می‌مانند و اثر آن تغییر بر تابع هدف، حساسیت پارامتر را مشخص می‌کند (۲).

با توجه به این‌که انتخاب مقادیر مختلف برای واسنجی و بهینه‌سازی پارامترها محدود بوده و روشی وقت‌گیر و پرهزینه است مدل‌سازی معکوس[5] در سال‌های اخیر به‌عنوان روشی معمول برای واسنجی مدل‌ها تبدیل شده است. SUFI-2 یک مدل معکوس

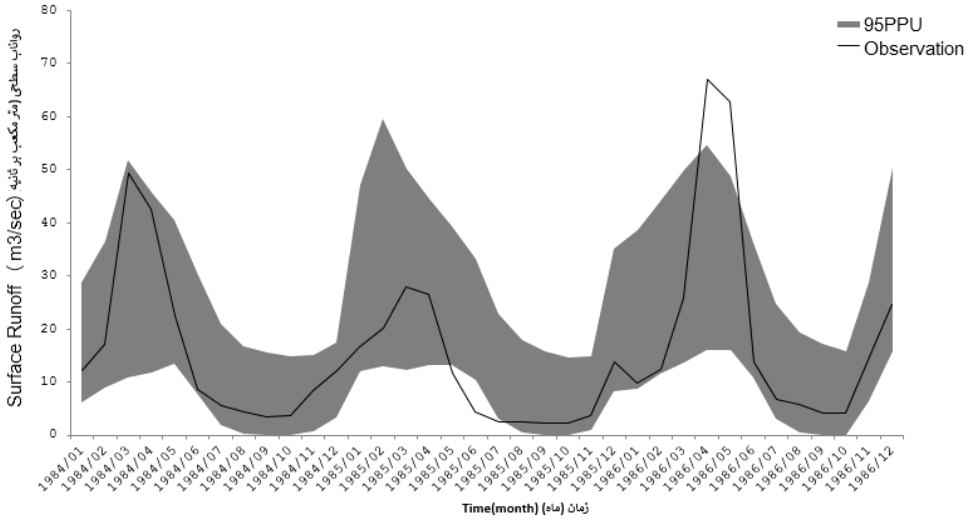
1- Digital Elevation Model
2- Kriging interpolation
3- Hydrologic Response Units
4- One Factor At a Time
5- Inverse Modeling

برای واسنجی و آنالیز عدم قطعیت می‌باشد و در واقع معکوس مدل SWAT عمل می‌کند. به این معنی که داده‌های خروجی مدل SWAT را به‌عنوان ورودی دریافت می‌کند و مقدار بهینه پارامترهای مؤثر در واسنجی را برآورد می‌نماید. الگوریتم SUFI-2 قادر است کالیبراسیون را با استفاده از معیارهای دقتی که در خود دارد ارزیابی نماید. در نرم‌افزار SWAT-CUP همه مراحل سعی و خطا توسط مدل صورت گرفته و تنها کاربر باید محدوده منطقی پارامترهای مؤثر بر کالیبراسیون را در قسمت مربوطه به مدل معرفی نماید (۳).

نتایج و بحث

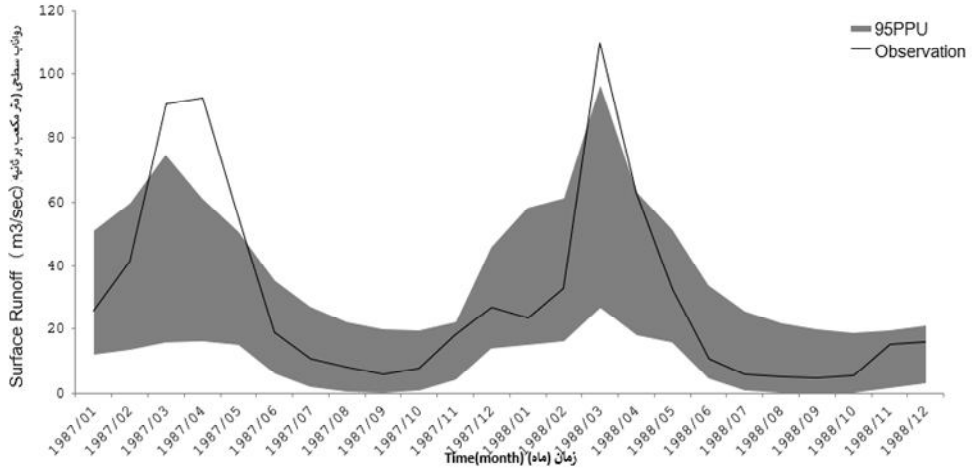
در این پژوهش با توجه به مطالعات پیشین (۱۳)، ۲۹ پارامتر مؤثر بر رواناب انتخاب شد با استفاده از داده‌های دبی مشاهده‌ای ایستگاه هیدرومتری بهشت‌آباد و با اجرای برنامه SUFI-2 حساسیت‌سنجی برای این پارامترها انجام شد و در هر مرحله، پارامترهای غیرمؤثر بر رواناب شناخته‌شده و از لیست پارامترهای مؤثر حذف گردید. در نهایت ۱۸ پارامتر مهم و مؤثر بر رواناب با محدوده مناسب در حوضه انتخاب گردید (جدول ۲). لازم به ذکر است r و v که قبل از هر پارامتر در جدول آمده است به‌ترتیب بیانگر تغییرات نسبی و مطلق برای هر پارامتر در حدود مشخص شده است.

شکل‌های ۲ و ۳، نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT در دوره آماری ۱۹۸۹-۱۹۸٤ با کاربری اراضی ۱۹۸۷ را نشان می‌دهد. در این اشکال حدود بالا و پایین باند عدم قطعیت رواناب شبیه‌سازی‌شده با رنگ خاکستری مشخص شده است و خطوط مشکی‌رنگ موجود در این باند نیز رواناب مشاهداتی را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که رواناب مشاهداتی در محدوده باند عدم قطعیت قرار گرفته است؛ بنابراین، واسنجی و اعتبارسنجی مدل در این دوره با کاربری اراضی به‌کار برده شده، قابل‌قبول است. همچنین نتایج آماری واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT در محیط SWAT-CUP در جدول‌های ۳، ٤ و ۵، مشخص شده است. بر اساس این نتایج، مدل SWAT، شبیه‌سازی مناسبی از رواناب سطحی در این زیرحوضه ارائه نموده است. ازاین‌رو از این مدل در بازه پارامترهای واسنجی‌شده جهت تخمین رواناب ناشی از تغییرات کاربری اراضی این زیرحوضه در طی ۲٦ سال گذشته استفاده گردید.



شکل ۲- واسنجی مدل SWAT در دوره آماری ۱۹۸٦-۱۹۸٤.

Figure 2. SWAT model calibration in the period 1986-1984.



شکل ۳- اعتبارسنجی مدل SWAT در دوره آماری ۱۹۸۸-۱۹۸۷.

Figure 3. SWAT model validation in the period1987-1988.

جدول ۲- پارامترهای مورداستفاده در حساسیت‌سنجی مدل.

Table 2. The parameters used in the model's susceptibility.

توضیحات Description	دامنه پارامتر Range of Parameters		پارامتر parameters
	Min	Max	
(Curve number for moisture condition II) شماره منحنی	-0.3	0.3	*r_CN2.mgt
(Soil bulk density) چگالی ظاهری خاک	-0.3	0.3	r_SOL_BD.sol
(Soil available water storage capacity) متوسط آب قابل‌استفاده	-0.3	0.3	r_SOL_AWC.sol
(Soil hydraulic conductivity) هدایت هیدرولیکی اشباع خاک	-0.8	0.8	r_SOL_K.sol
(Baseflow alpha factor) ثابت کاهش جریان پایه	0	1	v_ALPHA_BF.gw
(Groundwater delay time) زمان تأخیر برای تغذیه آبخوان	0	400	v_GW_DELAY.gw
(Deep aquifer percolation fraction) ضریب نفوذ آبخوان	0	1	v_RCHRG_DP.gw
(Threshold depth of water) عمق آستانه آب در آبخوان کم‌عمق برای جریان	0	500	v_GWQMN.gw
(Plant uptake compensation factor) ضریب جبران جذب گیاهی	0.01	1	v_EPCO.hru
(Soil evaporation compensation factor) ضریب جبران تبخیر از خاک	0.01	1	v_ESCO.hru
(Average slope length) متوسط طول شیب	10	150	v_SLSUBBSN.hru
متوسط تندی شیب	0	0.6	r_HRU_SLP.hru
(Main channel conductivity) هدایت هیدرولیکی مؤثر در کانال اصلی	0	150	v_CH_K2.rte
(Melt factor for snow on 21 June) June ضریب ذوب برف در روز ۲۱ ماه	0	10	v_SMFMX.bsn
(Snow pack temperature lag factor) ضریب تأخیر دمای توده برف	0.01	1	v_TIMP.bsn
متوسط کل بارش ماهانه در طول دوره پیش‌بینی (Average amount of precipitation falling in month)	-0.5	0.5	r_PCPMM.wgn
ضریب چولگی برای بارش روزانه در ماه در طول دوره پیش‌بینی (Skew coefficient for daily precipitation in month)	-0.5	0.5	r_PCPSKW.wgn
انحراف معیار بارش روزانه در ماه در طول دوره پیش‌بینی (Standard deviation for daily precipitation in month)	-0.5	0.5	r_PCPSTD.wgn

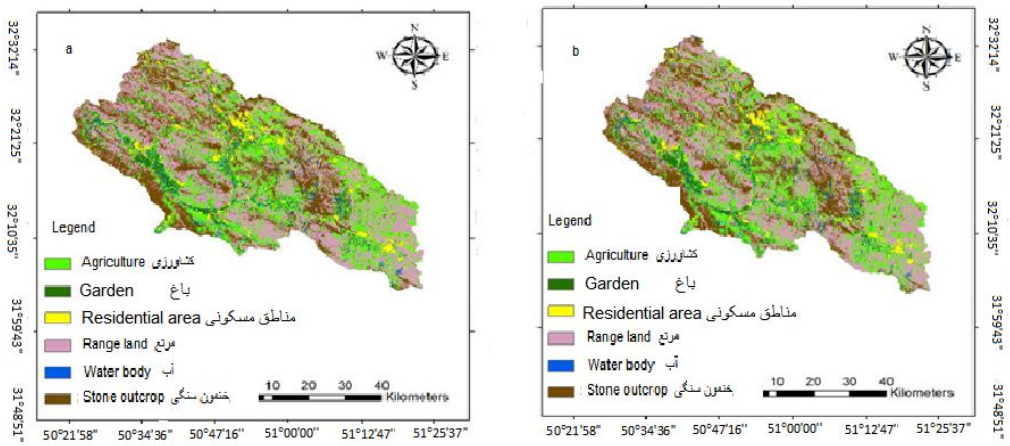
جدول ۳- نتایج آماری واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT.

Table 3. The statistical results of the calibration and validation of SWAT model.

پارامترهای آماری Statistical parameters	دوره واسنجی Calibration period 1984-1986	دوره اعتبارسنجی Validation period 1987-1988
p-factor	0.81	0.79
r-factor	1.12	0.8
R^2	0.69	0.82
NS	0.62	0.67

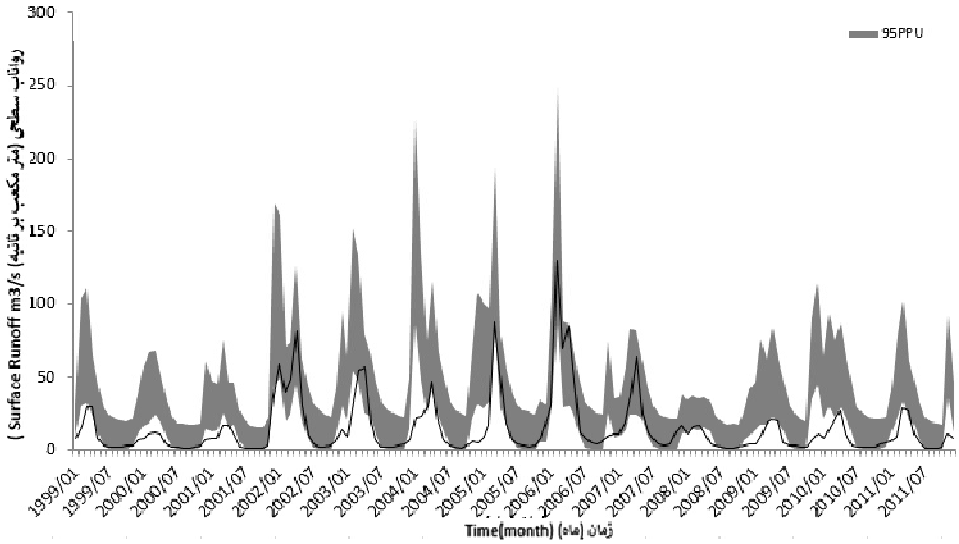
با توجه به این‌که در دوره ۱۹۸۹-۱۹۸٤ مقادیر پارامترهای حساس طی فرایند واسنجی و با آنالیز مدل SWAT-CUP بهینه شد، بنابراین، امکان توسعه آن به دوره بعدی وجود دارد. بدین‌منظور به‌وسیله مدل SWAT و با استفاده از کاربری اراضی سال ۱۹۸۷ برای دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۹۹ شبیه‌سازی رواناب انجام شد. شکل ٥، نشان می‌دهد که رواناب مشاهداتی در اکثر سال‌ها خارج از بازه عدم قطعیت دبی شبیه‌سازی مدل است، بنابراین نتایج رضایت‌بخشی ارائه نمی‌شود. بنابراین مهم‌ترین دلایل ایجاد عدم قطعیت در رواناب شبیه‌سازی‌شده، یکی مربوط به عدم قطعیت دوره ۱۹۸۹-۱۹۸٤ است که با توجه به تابع هدف قابل‌قبول، می‌توان از این عدم قطعیت صرف‌نظر کرد. عامل مهم بعدی که موجب اختلاف زیاد بین رواناب شبیه‌سازی و مشاهداتی شده است، تغییر کاربری اراضی است. به‌دلیل این‌که با تغییر کاربری اراضی و استفاده از کاربری سال ۲۰۱۳، رواناب مشاهداتی در محدوده باند عدم قطعیت رواناب شبیه‌سازی شده قرار گرفته است.

در مقایسه کاربری اراضی مربوط به سال ۱۹۸۷با سال ۲۰۱۳ تغییر کاربری اراضی منطقه موردمطالعه کاملاً مشهود بود. به‌طوری‌که در شمال و شمال‌غرب زیرحوزه این تغییرات بارزتر بوده و اراضی دیم و مرتع به اراضی بایر و بسترهای سنگی تبدیل شده است. همچنین در قسمت شرق حوزه، بیش‌تر اراضی مرتعی به اراضی بدون پوشش و بسترهای سنگی تبدیل شده است.



شکل ٤- نقشه کاربری اراضی منطقه موردمطالعه مربوط به سال ۱۹۸۷ (a) با نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ (b).

Figure 4. Land use maps of the study area in 1987 (a) and 2013 (b).



شکل ۵- واسنجی مدل SWAT در دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۹۹ با استفاده از کاربری اراضی سال ۱۹۸۷.

Figure 5. SWAT model calibration in the period 2011-1999 using the land use of 1987.

جدول ٤- نتایج آماری واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT در دوره ۲۰۱۱-۱۹۹۹ با استفاده از کاربری اراضی سال ۱۹۸۷.

Table 4. Statistical Results of model calibration and validation using land use of 1987.

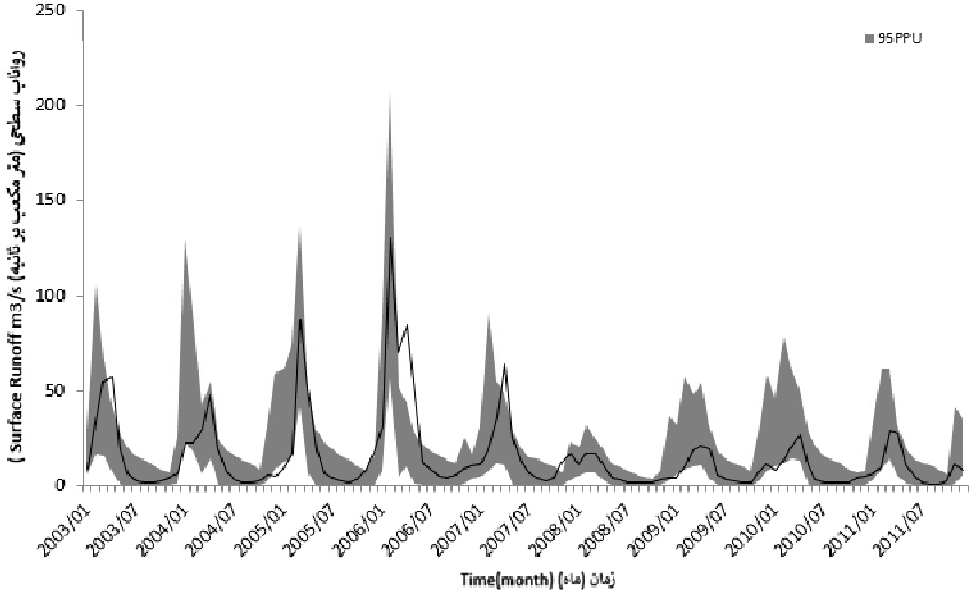
پارامترهای آماری Statistical Parameters	واسنجی دوره ۲۰۱۱-۲۰۰۳ Calibration period 2011-2013	اعتبارسنجی دوره ۲۰۰۲-۱۹۹۹ Validation period 1999-2002
p-factor	0.84	0.52
r-factor	1.21	1.27
R^2	0.46	0.47
NS	0.14	0.16

شکل‌های ٦ و ۷، واسنجی و اعتبارسنجی مدل در دوره ۲۰۱۱-۱۹۹۹ با استفاده از کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در هر دو حالت رواناب مشاهداتی در محدوده باند عدم قطعیت رواناب شبیه‌سازی‌شده قرار گرفته است.

جدول ۵- نتایج آماری واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT در دوره ۲۰۱۱-۱۹۹۹ با استفاده از کاربری اراضی سال ۲۰۱۳.

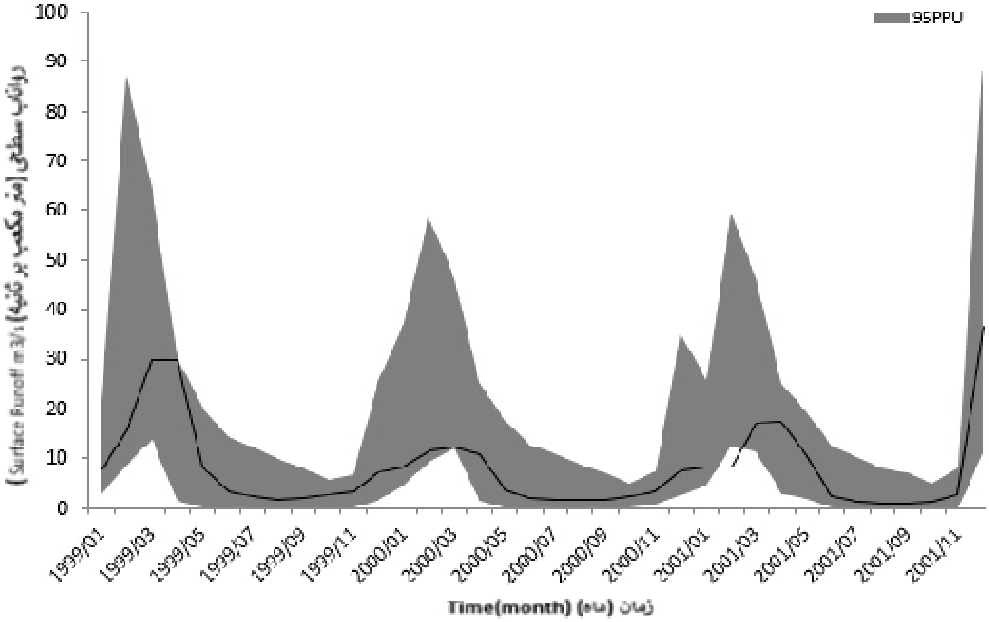
Table 5. Results of model calibration and validation using land use of 2013.

پارامترهای آماری Statistical Parameters	واسنجی دوره ۲۰۱۱-۲۰۱۳ Calibration period 2011-2013	اعتبارسنجی دوره ۲۰۰۲-۱۹۹۹ Validation period 1999-2002
p-factor	0.88	0.92
r-factor	1.13	1.22
R^2	0.77	0.70
NS	0.74	0.70



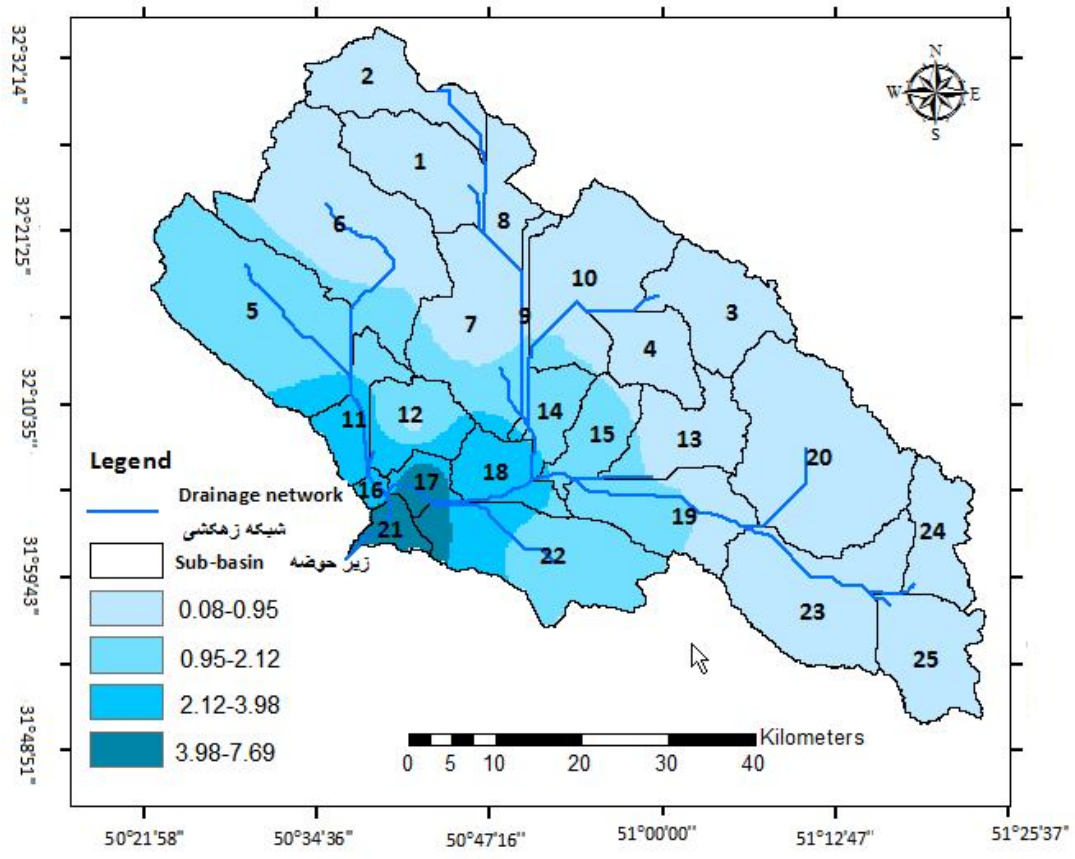
شکل ٦- واسنجی مدل SWAT در دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۰۳ با استفاده از کاربری اراضی سال ۲۰۱۳.

Figure 6. SWAT Model calibration for 2011-2013 using land use of 2013.



شکل ۷- اعتبارسنجی مدل SWAT در دوره آماری ۲۰۰۲-۱۹۹۹ با استفاده از کاربری اراضی سال ۲۰۱۳.

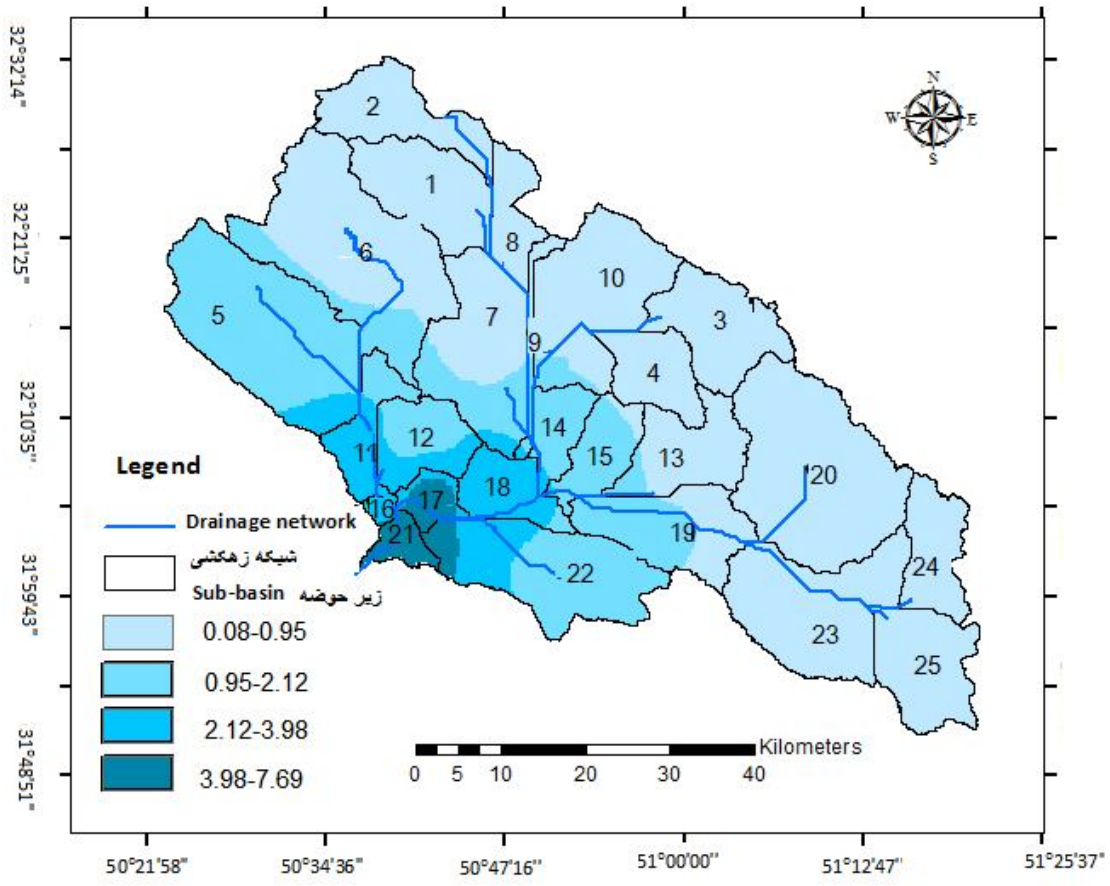
Figure 7. SWAT Model validation for 1999-2002 using land use of 2013.



شکل ۸- توزیع مکانی رواناب سطحی (m^3/sec) برای دوره شبیه‌سازی (۱۹۸٤ تا ۱۹۸۹) با کاربری اراضی سال ۱۹۸۷.

Figure 8. The spatial distribution of surface runoff (m^3/sec) for simulation period (1984-1989) and land use of 1987.

توزیع مکانی رواناب سطحی برای دوره شبیه‌سازی سال آماری ۱۹۸٤ تا ۱۹۸۹ در ۲۵ زیرحوضه با کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۷ در شکل ۸ نشان داده شده است. حداقل میزان رواناب در این توزیع مربوط به شمال، شرق و جنوب‌شرق زیرحوزه و حداکثر میزان رواناب به‌سمت خروجی حوزه یعنی جنوب‌غرب. شکل ۹، توزیع مکانی رواناب سطحی برای دوره شبیه‌سازی ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۱ در ۲۵ زیرحوضه با کاربری اراضی سال‌های ۲۰۱۳ را نشان می‌دهد. حداقل میزان رواناب در این توزیع مربوط به شمال، شرق و جنوب‌شرق زیرحوزه و حداکثر میزان رواناب به‌سمت خروجی حوزه یعنی جنوب‌غرب می‌باشد. با مقایسه دو شکل ۸ و ۹، مشخص می‌شود که روند تغییرات رواناب سطحی از سال ۱۹۸٤ تا ۲۰۱۱ افزایشی می‌باشد.



شکل ۹- توزیع مکانی رواناب سطحی (m^3/sec) برای دوره شبیه‌سازی ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۱ با کاربری اراضی سال ۲۰۱۳.

Figure 9. The spatial distribution of surface runoff (m^3/sec) for simulation period (1999-2011) and land use of 2013.

نتیجه‌گیری کلی

مطالعه همه عوامل تأثیرگذار بر میزان رواناب، کاری مشکل و بسیار پیچیده است و نیاز است که بتوان با استفاده از تکنیک‌های جدید و مدل‌ها تأثیر عوامل مختلف مورد بررسی قرار گیرد. مدل ابزار ارزیابی آب و خاک یکی از مدل‌های حوضه آبریز می‌باشد که نقش اصلی در تجزیه و تحلیل اثر تغییرات مدیریتی زمین بر آب در حوضه‌های پیچیده را بازی می‌کند. توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز در محیط GIS این مدل را نسبت به مدل‌های یکپارچه که در آن‌ها واحدهای کاری بزرگ‌تر مبنای عمل هستند، متمایز ساخته است. جهت شبیه‌سازی رواناب، با استفاده از مدل SWAT و الگوریتم SUFI-2، ابتدا با استفاده از تکنیک آنالیز حساسیت، پارامترهای مؤثر بر روی رواناب شناسایی گردید. سپس با استفاده از الگوریتم SUFI-2 اقدام به واسنجی و اعتبارسنجی مدل در دوره ۱۹۸۹-۱۹۸٤ با کاربری اراضی سال ۱۹۸۷ شد. بررسی کارایی مدل با استفاده از ضرایب ناش ساتکلیف، R^2، p-factor و r-factor بیانگر قابلیت بالای مدل در شبیه‌سازی رواناب می‌باشد. به‌نحوی‌که پژوهشگران زیادی نیز در پژوهش‌های جداگانه‌ای دقت بالای شبیه‌سازی توسط این مدل را تأیید کرده‌اند (۲، ۳ و ۲۱) در مرحله بعد نشان داده شد که استفاده از کاربری اراضی سال ۱۹۸۷ برای دوره ۲۰۱۱-۱۹۹۹، موجب می‌شود مدل SWAT

برآورد قابل‌قبولی از میزان رواناب نداشته باشد به‌طوری‌که اکثر داده‌های شبیه‌سازی‌شده، خارج از باند عدم قطعیت ۹۵PPU قرار می‌گیرد. یکی از دلایل برآورد نامناسب رواناب شبیه‌سازی‌شده در این دوره می‌تواند مربوط به ضعف مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف باشد که در کل این عدم قطعیت با توجه به قابل‌قبول بودن پارامترهای آماری از جمله تابع هدف، قابل صرف‌نظر می‌باشد. دومین علت ایجاد عدم قطعیت که تأثیر بسیار محسوسی در شبیه‌سازی رواناب داشته است تغییر کاربری اراضی می‌باشد. به‌دلیل این‌که وقتی از کاربری سال ۲۰۱۳ برای دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۹۹ استفاده گردید نتایج رضایت‌بخشی حاصل شد. بررسی توزیع مکانی رواناب سطحی برای دوره آماری سال ۱۹۸۹-۱۹۸٤ و ۲۰۱۱-۱۹۹۹ در ۲۵ زیرحوزه تحت شرایط کاربری اراضی متفاوت (کاربری سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳) نشان از افزایش رواناب طی سال ۱۹۸٤ تا ۲۰۱۱ داشته است. نتایج این پژوهش در خصوص شبیه‌سازی رواناب با مدل SWAT با مطالعات سایر پژوهشگران تطابق دارد (۸، ۱۳ و ۲۲).

منابع

1. Alizadeh, A., Makhdoom, M., and Mahdavi, M. 2011. Effect of land use change on flood flows using remote sensing and GIS: A Case Study Madarsoo River Basin. J. Environ. 1: 2. 78-92. (In Persian)
2. Abbaspour, K. 2009. SWAT-CUP2; SWAT Calibration and Uncertainty Programs user manual.
3. Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J., and Srinivasan, R. 2007. Modelling hydrology and water quality in thepre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT, J. Hydrol. 333: 2. 413-430.
4. Alansi, A.W., Amin, M.S.M., Abdul Halim, G., Shafri, H.Z.M., and 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 Discussions. 6: 6. 7581-7609.
5. Alizadeh, A. 2013. Applied Principles of Hydrology. Publication of Astan Quds Razavi. University of Imam Reza (AS). 928p. (In Persian)
6. Ekhwan Momeni, S., Ali Nia, H., and Vazifeh Dost, M. 2012. Determination of runoff curve number using remote sensing. National conference of Geomatics. Survey Organization of the country. Pp: 1200-1209. (In Persian)
7. Gary, W., and Vega, C.C. 2007. Impacts of changes in land use on the generation of surface runoff for the East Branch of the Brandywine Creek Watershed using a GIS-based hydrologic model. Middle States Geographer. 40: 142-149.
8. Ghafari, G., Ghodousi, J., and Ahmadi, H. 2010. The effect of land use change on hydrologic responses in the watershed: A case study of watershed Zanjanroud. Research of Soil and Water Conservation, 16: 1. 163-180. (In Persian)
9. Guzha, A.C., and Hardy, T.B. 2010. Application of the distributed hydrological model, TOPNET, to the Big Darby Creek Watershed, Ohio, USA. Water resources management. 24: 5. 979-1003.
10. Kazemi, M., Mahdavi, Y., Nohegar, A., and Rezaie, P. 2012. Estimated changes in land use and land cover with remote sensing techniques and GIS (Case study: Watershed Tang Bostanak Shiraz). Application of Remote Sensing and GIS for Natural Resource s=Sciences. 2: 1. 101-111. (In Persian)
11. Li, K.Y., Coe, M.T., Ramankutty, N., and Jong, R.D. 2007. Modeling the hydrological impact of land-use change in West Africa. J. Hydrol. 337: 3. 258-268.
12. Li, Z., Liu, W.Z., Zhang, X.C., and Zheng, F.L. 2009. Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China. J. Hydrol. 377: 1. 35-42.

13.Li, Q., Cai, T., Yu, M., Lu, G., Xie, W., and Bai, X. 2011. Investigation into the impacts of land-use change on runoff generation characteristics in the upper Huaihe River Basin, China. J. Hydrol. Engin. 18: 11. 1464-1470.
14.Liu, Y.B., De Smedt, F., Hoffmann, L., and Pfister, L. 2005. Assessing land use impacts on flood processes in complex terrain by using GIS and modeling approach. Environmental modeling & assessment. 9: 4. 227-235.
15.Sardashti, M., Ghanavati, E., Rezayian, P., and Morshedi, J. 2011.Land use of change detection Taleghan watershed from year 1987-2002 using Landsat satellite imagery and remote sensing, National conference of Geomatics, Tehran, Geological Survey Iran. Pp: 1312-1319. (In Persian)
16.Melesse, A.M., and Shih, S.F. 2002. Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat images and GIS. Computers and Electronics in Agriculture, 37: 1. 173-183.
17.Nazari, S., Ghorbani, M., and Kohbanani, H. 2011. Assessment trend of land use changes Taleghan Watershed, J. Range Manage. Iran. 4: 3. 442-451. (In Persian)
18.Olivera, F., and Maidment, D. 1999. Geographic information systems (GIS)-based spatially distributed model for runoff routing. Water Resources Research. 4: 35. 1155-1164.
19.Ramazani, N., Jafari, R., and Aizanlo, I. 2013. Monitoring urban land use changes in the past four decades Esferayen region using remote sensing technology. National conference of Geomatics. Survey Organization of the country. 1869p. (In Persian)
20.Salmani, H., Mohseni Saravi, M., Rouhani, H., and Salajeghe, A. 2013. Assessment of land use changes and impact on the hydrological regim in the watershed Qzaqly province of Golestan. Water. Manage. J. 6: 22. 1-14. (In Persian)
21.Sun, H., and Cornish, P.S. 2005. Estimating shallow groundwater recharge in the headwaters of the Liverpool Plains using SWAT. Hydrological Processes, 19: 3. 795-807. (In Persian)
22.Wang, G., Yang, H., Wang, L., Xu, Z., and Xue, B. 2014. Using the SWAT model to assess impacts of land use changes on runoff generation in headwaters. Hydrological Processes, 28: 3. 1032-1042.
23.Zahedi, E., Mohammadi, M., and Bardi, S. 2012. Evaluation of urban land use change and impact on watershed hydrology Ziarat. Proceedings of the Seventh National Conference on Science and Watershed Engineering. Pp: 134-141. (In Persian)

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(6), 2019
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2019.12697.2739

Investigating the effects of land use change on surface runoff using SWAT model

A. Fazeli Farsani[1] and *R. Ghazavi[2]

[1]M.Sc. Student, Dept. of Watershed Management Science and Engineering, University of Kashan,
[2]Associate Prof., Dept. of Watershed Management Science and Engineering, University of Kashan
Received: 02.01.2017; Accepted: 08.15.2018

Abstract

Background and Objectives: Evaluation of the effects of land-use change on water resources is an important component of hydrological modeling. Land use change is an important characteristic that influences erosion, evaporation, transpiration and runoff. Nowadays, preparing land use maps via satellite data and quantitative methods is very common in remote sensing studies. These techniques were widely used by scientists in the past two decades. The main aim of this study is to investigate the potential effects of land use change on surface runoff production using SWAT model.

Materials and Methods: The study area, namely Behesht Abad, located in the North and North East of Karoon watershed, Chaharmahal and Bakhtiari Province, Ardel Township. For this study, land use maps were created for the period of 1987-2013 using ETM Landsat satellite 7 images and OLI Landsat satellite 8 images. Then, runoff was simulated for 1984-1989 based on 1987 land use by SWAT model. For calibration and validation of the model, the SUFI-2 algorithm was used in SWAT-CUP software.

Results: The statistical results of the model calibration and validation of the model during the period of 1988-1989 show an acceptable accuracy in runoff simulation. To derive the land use map of 1987 and 2013, the supervised method and the classifier program with the most similarity and the general accuracy of 80% and 85% were used. In order to evaluate the effect of land use change on runoff potential, runoff for 1999 to 2011 period was simulated based on both 1987 and 2013 land use maps. For 1999 to 2011 period, no acceptable accuracy for estimating runoff was obtained when land use maps of 1987 were applied, whereas the accuracy of the calibration and validation increased when 2013 land use was applied. When 2013 land use map was applied, the observed runoff was in the range of the uncertainty band PPU95% of SWAT model. According to the results, the amount of surface runoff has been increased in the recent years.

Conclusion: The study of all factors affecting runoff is a difficult and very complicated task and it is necessary to study the effects of different factors using new techniques and models. The results of this study indicated that if the input data is properly prepared for SWAT model, this model has a good performance in runoff estimation. Land use mapping in accordance with the actual conditions of the region can have the greatest impact in the accuracy of the model.

Keywords: Landsat, Land use change, Remote sensing, Surface runoff, SWAT model

* Corresponding Author; Email: ghazavi@kshanu.ac.ir