

مقدمه

واکنش هیدرولوژیک یک حوزه آبخیز، نماد جامعی از خصوصیات و شرایط اکوسیستم آن حوزه است. در یک اکوسیستم طبیعی بهره‌برداری اراضی و ایجاد تغییر در شرایط طبیعی حوزه به‌ویژه پوشش گیاهی و کاربری اراضی آن اکوسیستم، بر پاسخ‌های هیدرولوژی مانند رواناب و میزان فرسایش و رسوب منطقه تأثیرگذار است؛ زیرا کاربری اراضی و پوشش زمین یکی از عوامل اصلی در مطالعات منابع آب و فرسایش و رسوب حوزه آبخیز است سیکا و همکاران [۲۵]. در رابطه با تأثیر تغییر کاربری اراضی/پوشش بر رواناب و نیز کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب در نقاط مختلف دنیا تحقیقاتی صورت گرفته است؛ زارع گاریزی و طالبی [۳۲] بیان آبی حوزه قره‌سو استان گلستان را با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی کردند. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها نشان داد که به‌طور متوسط حدود ۶۷ درصد بارش از طریق تبخیر و تعرق وارد اتمسفر می‌شود، ۱۷ درصد آن به‌صورت رواناب سطحی و جریان جانبی به آبراهه وارد می‌شود و ۱۶ درصد نفوذ یافته و وارد سفره زیرزمینی می‌گردد. زلکی بدیلی و همکاران [۳۳] از مدل SWAT جهت شبیه‌سازی رواناب حوزه آبخیز سد مارون (ایدنک) استفاده کردند. مدل با استفاده از اندازه‌گیری‌های شدت جریان از سال ۲۰۰۶-۱۹۹۴ در ایستگاه ایدنک واسنجی و اعتبارسنجی گردید. نتایج کلی شبیه‌سازی نشان‌دهنده توانایی مناسب مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب است. شیراوند [۲۴] به انجام بررسی‌هایی در رابطه با تأثیر تغییر کاربری اراضی بر روی نوسانات آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی در دشت نجف‌آباد اصفهان پرداخت. مطالعات نشان داد در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۱، ۱۳۹۲؛ افزایش کاربری‌های مناطق مسکونی، مراتع تخریب یافته، کاهش اراضی کشاورزی و درختان دست کاشت سبب افزایش شماره منحنی و به دنبال آن کاهش تلفات کل و افزایش رواناب شد. غفاری و همکاران [۱۲] با استفاده از مدل SWAT تأثیر تغییر کاربری اراضی بر هیدرولوژی حوزه زنجان رود را طی ۴۰ سال شبیه‌سازی نمودند. نتایج نشان داد تغییرات کاربری تأثیرات قابل توجهی بر جریان رودخانه‌ای و بار آبی حوزه داشت. پیکونیس و همکاران [۲۲] به بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی حوزه رودخانه پینوس^۳ تحت سه سناریو افزایش زمین‌های کشاورزی، قطع یکسره درختان و افزایش مناطق مسکونی

تأثیر تغییر کاربری اراضی/پوشش بر رواناب
سطحی در حوزه آبخیز دوبرج استان ایلام
با استفاده از مدل SWAT و GISفاطمه بالویی^۱، سعید سلطانی کویانی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۸

چکیده

امروزه به دلیل افزایش رشد جمعیت، اقدامات مدیریتی نادرست و عدم نظارت بر روند تخریب پوشش اراضی سبب شده بسیاری از حوزه‌های آبخیز در معرض تخریب شدید قرار گیرند که این امر خود منجر به افزایش رواناب و رسوب می‌گردد. در این مطالعه، هدف بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی/پوشش بر نوسانات آب‌های سطحی در حوزه آبخیز دوبرج بود. به‌منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی/پوشش از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سه سال ۱۳۷۳، ۱۳۸۴ و ۱۳۹۳ استفاده شد. برای مدل‌سازی بارش - رواناب از مدل رایانه‌ای SWAT استفاده گردید؛ سپس با استفاده از نرم‌افزار SWAT_CUP کارایی مدل افزایش یافت. بررسی عملکرد مدل با استفاده از آماره‌های R^2 ، NS، P_FACTOR و R_FACTOR صورت گرفت. پس از انجام واسنجی و اعتبارسنجی مقادیر این ضرایب به ترتیب برای دوره واسنجی برابر ۰/۵۸، ۰/۶۰، ۰/۸۱، ۰/۸۷ و برای دوره اعتبارسنجی مدل برابر ۰/۵۶، ۰/۵۷، ۰/۸۱، ۰/۸۹ به دست آمد. بررسی میزان رواناب سالانه نشان داد تغییر کاربری جنگل و مرتع به زمین بایر از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۳ موجب افزایش رواناب خروجی از مقدار ۳/۹۱ تا ۵/۸۵ مترمکعب بر ثانیه در حوزه شده است.

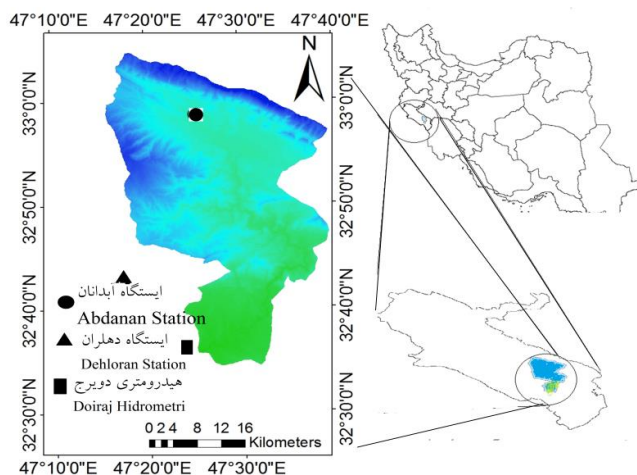
کلیدواژه‌ها: تغییر کاربری اراضی، رواناب سطحی، دوبرج ایلام، مدل‌سازی، سنجش از دور، واسنجی، اعتبارسنجی

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.

۲- نویسنده مسئول و استاد گروه مرتع و آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران، پست الکترونیک: ssoltani@cc.iut.ac.ir

مواد و روش‌ها

حوضه مورد مطالعه به نام حوزه آبخیز رودخانه «دویرج» با مساحت ۱۲۱۶۰۰ هکتار، در جنوب شرقی استان ایلام واقع شده است که دارای مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی است. موقعیت حوضه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت کشوری و استانی حوضه دویرج

Fig 1. State and provincial position of the Doiraj Waters

ورودی‌های مدل

جهت انجام این تحقیق داده‌های بارندگی روزانه ایستگاه سینوپتیک دهلران واقع در ۲۰ کیلومتری حوضه و باران‌سنجی آبدانان واقع در بالادست حوضه و داده‌های مربوط به دما، رطوبت نسبی، تشعشعات خورشیدی و سرعت باد از ایستگاه دهلران استفاده شد. همچنین برای انجام واسنجی، داده‌های دبی مربوط به ایستگاه هیدرومتری دویرج واقع در خروجی حوضه تهیه گردید. با بررسی داده‌ها، داده‌های مفقود بازسازی شد و با توجه به عدم تطابق زمانی، دوره آماری مشترک ۱۹ سال از ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۲ انتخاب شد. همچنین DEM ۳۰ متری از سنجنده استر سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۴ تهیه شد و با برش محدوده مطالعاتی نقشه رقومی ارتفاعی به دست آمد. نقشه خاک تهیه شده حاصل کار ابراهیمی [۱۰] بود. پس از تهیه، ویژگی‌های ۱۲ کلاس خاک اندازه‌گیری شده به پایگاه داده مدل اضافه شد. جهت تهیه لایه‌های کاربری اراضی/پوشش ابتدا اقدام به اخذ تصاویر ماهواره لندست از طریق سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) شد. با توجه به بازدیدهای صحرایی و بررسی تصاویر ماهواره لندست در ماه‌های مختلف گرچه در مناطق مرتفع که دارای پوشش جنگل است در اردیبهشت شرایط مطلوب‌تری از نظر رشد وجود دارد اما در مناطق پست پایین دست به علت دمای بالا تنها در اسفند و فرودین دارای

با استفاده از مدل SWAT پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد با تغییر کاربری به‌ویژه در سناریو قطع یکسره درختان دبی ماهانه افزایش قابل توجهی دارد. لی و همکاران [۱۶] بررسی تأثیر تغییر کاربری و تغییر اقلیم بر حوضه فلات لس^۱ در چین را با استفاده از مدل SWAT انجام دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد تغییر کاربری و تغییر اقلیم رواناب را به ترتیب ۹/۶ و ۹۵/۸ درصد و مقدار رطوبت خاک را ۸/۱۸ و ۷۷/۱ درصد کاهش دادند. تغییر کاربری زمین باعث افزایش میزان تبخیر و تعرق به میزان ۸ درصد شد، درحالی‌که تغییرات اقلیمی آن را ۱۳۰ درصد کاهش داد. میاریو و همکاران [۱۸] به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل SWAT برای شبیه‌سازی جریان در یکی از حوضه‌های کشور اسپانیا بررسی‌هایی انجام دادند. آن‌ها بیان کردند که نتایج بعد از عمل واسنجی بیان‌گر این بوده که مدل به‌خوبی اجرا شده است. جیامفی و همکاران [۱۳] پاسخ هیدرولوژیک حوضه را نسبت به تغییرات کاربری اراضی و تغییرات پوشش در حوضه اولیفنتس^۲ آفریقای جنوبی با استفاده از مدل SWAT ارزیابی نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳، کاهش ۳۱/۳ درصد مرتع با افزایش هم‌زمان در اراضی کشاورزی (۲۰/۱)، مناطق شهری (۱۰/۵) و جنگل‌ها (۰/۷) باعث افزایش ۴۶/۹۷ درصد در تولید رواناب سطحی شده است. تام و همکاران [۲۶] به بررسی اثر ترکیبی و جداگانه تغییر کاربری اراضی و تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه در منطقه دریای شرق بالتیک^۳ با استفاده از مدل SWAT پرداختند. مدل را برای سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۰ به اجرا درآوردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که یک همبستگی قوی بین تغییرات پوشش جنگل و تغییر جریان سالانه رودخانه وجود دارد، تأثیر تغییر کاربری بر رواناب در مقیاس سالانه مهم است، مقیاس حوضه در پاسخ هیدرولوژیک به تغییر پوشش جنگل اهمیت ندارد و اثر ترکیبی از تغییر کاربری و تغییر اقلیم غیرممکن است. با توجه به روند رو به افزایش تغییرات کاربری اراضی/پوشش در کشور و استفاده نادرست از اراضی بدون توجه به قابلیت و استعداد اراضی، امروزه تغییر کاربری اراضی و تبدیل اراضی مرتعی به اراضی کشاورزی و مناطق صنعتی و مسکونی و تخریب جنگل باعث تغییر در پارامترهای مختلف حوضه از جمله تغییر در خصوصیات آبدی، پوشش گیاهی، خاک و... است. در منطقه مورد مطالعه تاکنون مطالعه تأثیر تغییر کاربری اراضی/پوشش بر نوسانات آب‌های سطحی انجام نگرفته است لذا این تحقیق نگاه ویژه‌ای به تغییرات ایجاد شده در افزایش رواناب حوضه بر اساس تغییرات کاربری اراضی/پوشش داشت. می‌توان نتیجه گرفت تغییرات کاربری اراضی/پوشش یکی از فاکتورهای مهم در تغییر جریان هیدرولوژی، فرسایش حوضه و تولید رسوب است. لذا، بررسی نقش آن در تولید رسوب و هدر رفت آب، مدیران را به‌منظور برنامه‌ریزی حفاظت یاری می‌کند.

1. Loess Plateau
2. Olifants
3. Baltic

4. <http://earthexplorer.usgs.gov>

جدول ۱- مشخصات تصاویر اخذشده

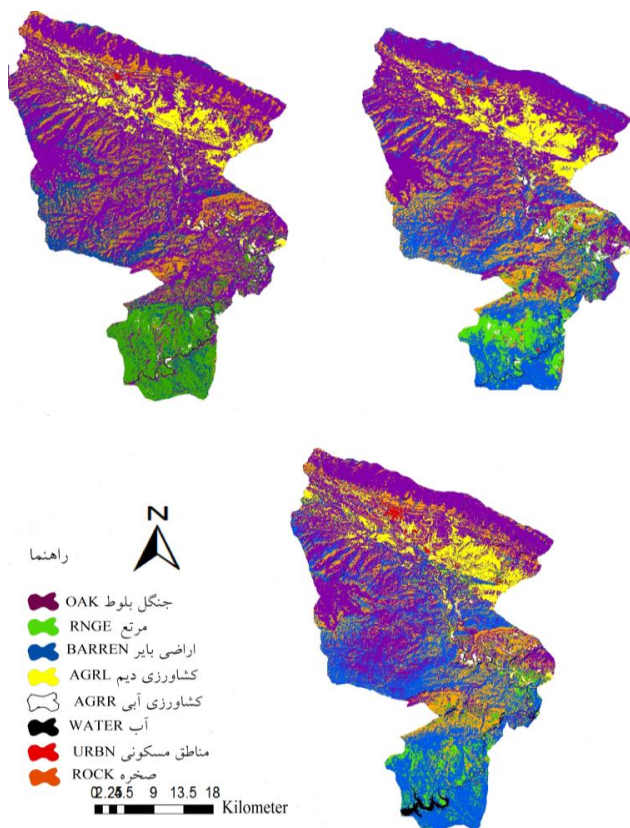
Table 1. Specifications of images taken

ردیف	ماهواره	سنجنده	تاریخ تصویر (میلادی)	تعداد باندها
Row	Satellite	Sensor	Image Date (AD)	Number of bands
1	لندست ۵ Landsat5	TM	1995.03.05	7
2	لندست ۷ Landsat7	ETM ⁺	2006.03.11	8
3	لندست ۸ Landsat8	OLI	2015.03.12	11

جدول ۲- برآورد صحت طبقه‌بندی نقشه کاربری اراضی

Table 2. Estimation of Classification of Land Use Map

سال	دقت تولیدکننده (%)	ضریب کاپا (%)	صحت کلی (%)
Year	Producer (%)	Kappa Coefficient	Overall Accuracy (%)
1995	94.53	91.13	93.69
2006	95.61	95.14	96.61
2015	96.87	94.21	95.36



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی مربوط به سه سال ۱۳۷۳،

۱۳۸۴ و ۱۳۹۳

Fig 2. Land use map for the three Years 1995, 2006 and 2015

پوشش گیاهی مرتع و سپس رشد آن پایان می‌یابد؛ همچنین در اراضی دیم کشت گندم اواسط اسفند و فروردین گیاه قبل از مراحل خوشه‌دهی و دارای شرایط شاداب است. حوضه مورد مطالعه در اسفند ماه و فروردین دارای شرایط مطلوب از نظر پوشش ضمن حضور هم‌زمان مرتع، جنگل و کشاورزی بود. مشخصات تصاویر اخذشده در جدول ۱ آورده شده است. تصاویر از نظر اشکالاتی از قبیل تیرگی، وجود ابر، خطای نوار شدگی و غیره مورد بررسی قرار گرفتند. تصاویر مربوط به سال ۱۳۷۳ و ۱۳۹۳ دارای چنین اشکالاتی نبودند تنها تصویر برداشت شده از ماهواره لندست ۷ (۱۳۸۴) به علت نقص فنی به وجود آمده در این سنجنده، تصویر دارای خطای راه‌راه شدگی بود. جهت رفع خطای این تصویر از افزونه landsat_gapfill در نرم‌افزار ENVI5.1 استفاده شد. به علت اینکه در روش درون‌یابی جهت رفع خطای نواری تصویر به صورت پلکانی به دست آمد مناسب‌ترین روش جایگزین کردن پیکسل‌های جاقاقه با استفاده از تصاویر کمکی بود. در این مطالعه از تصاویر ماهواره لندست ۷ مربوط به تاریخ ۱۳۷۹/۰۱/۰۷ به علت نزدیکی دو تصویر از نظر تاریخ اخذ تصویر به لحاظ فصل رویش پوشش گیاهی جهت رفع خطای راه‌راه شدگی تصویر ۱۳۸۴ استفاده شد. با توجه به تصحیحات هندسی اولیه که در سری ماهواره لندست انجام می‌پذیرد دقت تصاویر با خطای RMSE کمتر از یک پیکسل در فایل فرا داده موجود می‌باشند. جهت تصحیح اتمسفری از الگوریتم Dark Subtraction استفاده شد. کلیه عملیات بارز سازی از قبیل بزرگ‌نمایی و کوچک‌نمایی تصویر، ترکیب رنگی کاذب RGB ۴،۳،۲ برای لندست ۵ و ۷ و ترکیب رنگی ۳،۴،۵ برای لندست ۸، تحلیل مؤلفه‌های اصلی PCA و شاخص گیاهی NDVI جهت اطلاع از وضع پوشش گیاهی به کار گرفته شد. پس از پیش‌پردازش‌های لازم ابتدا با استفاده از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی، تصاویر Google Earth و ایجاد ترکیب رنگی کاذب، روی تصویر پلیگون‌های نمونه‌برداری به عنوان نمونه‌های آموزشی ایجاد گردید. با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال در نرم‌افزار ENVI5.1 نقشه کاربری اراضی/پوشش تهیه شد. بعد از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نمونه‌های تعلیمی که در روند طبقه‌بندی دخالت نداشته‌اند، اقدام به ارزیابی دقت طبقه‌بندی شد. در این تحقیق با ایجاد بزرگ‌نمایی روی صفحه‌نمایش رایانه بر تصاویر Google Earth تا سطح کاربری، نمونه‌های پلیگون در داخل منطقه مورد مطالعه با پراکنش مناسب اطراف نقاط برداشت‌شده صحرایی و قرار دادن کلاس‌های مشابه در یک گروه به گونه‌ای که ۳۰ درصد منطقه را شامل شود برای هشت کلاس مورد نظر ایجاد شد؛ نمونه‌ها در محیط ROI Tools در نرم‌افزار ENVI فراخوانی و صحت‌سنجی نقاط طبقه‌بندی‌شده کاربری اراضی ۱۳۹۳ ارزیابی شد. صحت نقشه ۱۳۷۳ و ۱۳۸۴ با انتخاب ۴۰۰ نقطه کنترل زمینی برداشت‌شده از تصاویر رنگی کاذب مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از ضریب کاپا، صحت کلی و دقت تولیدکننده بررسی روند طبقه‌بندی صورت گرفت که در جدول ۲ بیان شده است. در شکل ۲ نقشه‌های کاربری/پوشش نشان داده شده است.

SWAT که مخفف Soil and Water Assessment Tool است، مدلی در مقیاس آبخیز بزرگ و یا زیر حوضه است که برای سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا تهیه شده و از زمان ایجاد آن در اوایل دهه ۱۹۹۰، قابلیت‌های آن به‌طور پیوسته در حال توسعه است ژانگ و همکاران [۳۱]. مدل SWAT یک مدل فیزیکی-توزیعی است. این مدل ابزار مناسبی جهت شبیه‌سازی تأثیر تغییر کاربری/پوشش بر روی آب، محصولات کشاورزی و رسوب است آبی و جها [۶]. در SWAT دو روش برای تخمین رواناب سطحی وجود دارد: روش شماره منحنی SCS اصلاحی و روش نفوذ گرین و امپت. در روش شماره منحنی از یک مدل تجربی استفاده شده که در دهه ۵۰ میلادی بسیار مرسوم گردید. این معادله برای مطالعات بارش-رواناب در حوضه‌های کوچک در سرتاسر ایالات متحده بنا شده است. این معادله جهت تخمین مقدار رواناب ناشی از انواع کاربری‌های اراضی و خاک‌های گوناگون توسعه پیدا کرده است نیچ و همکاران [۲۰]. معادله شماره منحنی به‌صورت زیر است:

$$Q_{SURF} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} - 0.8S)^2} \quad (1)$$

در این رابطه Q_{SURF} مقدار رواناب یا بارش مازاد (میلی‌متر آب)، R_{day} ارتفاع بارش در روز مورد نظر (میلی‌متر آب) و S پارامتر نگهداشت سطحی خاک است (میلی‌متر آب).

تحلیل حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی با استفاده از الگوریتم SUFI2

مدل‌های هیدرولوژیک توزیع شده مانند SWAT اغلب دارای پارامترهای زیاد می‌باشند. بهینه‌سازی و تخمین پارامترها توسط واسنجی صورت می‌گیرد عباسپور [۲]. اولین گام در واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT تعیین حساس‌ترین پارامترها برای یک حوزه آبخیز است. این فرآیند یکی از مهم‌ترین مراحل انجام کار است که منجر به شناسایی پارامترهای کلیدی و انتخاب پارامترهای مناسب برای واسنجی مدل است ما و همکاران [۱۷]. واسنجی تلاشی برای بهبود بخشیدن پارامترهای یک مدل نسبت به شرایط محلی است، SWAT-CUP یک برنامه عدم قطعیت مدل SWAT است که برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت پیش‌بینی نتایج واسنجی مدل SWAT و اعتبارسنجی نتایج، طراحی شده است. الگوریتم SUFI2 یکی از برنامه‌های بسته نرم‌افزار SWAT-CUP است که در بسیاری از منابع برای انجام واسنجی از آن استفاده می‌شود. در تحقیق حاضر انجام این مراحل با استفاده از الگوریتم SUFI2 صورت گرفت، معیارهای ارزیابی کارایی مدل بر مبنای ضریب همبستگی (R^2)، ضریب نش-ساتکلیف (NS)، درصد داده‌های مشاهداتی در باند عدم قطعیت (P_factor) و ضخامت باند ۹۵ درصد احتمال (R_factor) بود. برای اندازه‌گیری تناسب بین نتایج شبیه‌سازی شده به عنوان ۹۵ درصد توزیع احتمال (95PPU) و مشاهداتی از دو آماره P_factor و R_factor استفاده می‌شود. P_factor درصد داده‌های مشاهداتی است که در باند عدم قطعیت وجود دارد. R_factor ضخامت باند

95PPU است. از لحاظ تئوری ارزش P_factor بین ۰ و ۱ است در حالی که R_factor بین صفر و بی‌نهایت قرار دارد هرچه P_factor به سمت یک و R_factor به سمت صفر میل کند شبیه‌سازی بهتر است و بهترین نتایج شبیه‌سازی زمانی رخ می‌دهد که P_factor برابر یک و R_factor برابر صفر باشد [۲].

ضریب همبستگی (R^2)

R^2 در محدوده ۰ تا ۱ قرار دارد و مقادیر بالاتر نشان دهنده واریانس خطای کمتر است و معمولاً مقادیر بالاتر از ۰/۵ قابل قبول است موریاسی [۱۹].

ضریب نش-ساتکلیف

ضریبی که اختلاف نسبی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را بیان می‌کند. محققان از این شاخص برای ارزیابی الگوها استفاده کرده‌اند این ضریب با رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \quad (2)$$

که در آن o_i مقادیر مشاهده شده، p_i مقادیر شبیه‌سازی شده و $\bar{o}$ میانگین مقادیر مشاهده شده است. مقدار این ضریب بین یک تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند بهترین مقدار برای نش عدد یک و در صورتی که مقدار آن بیش از ۰/۵ باشد نشان‌دهنده این است که شبیه‌سازی با استفاده از الگوی خوب انجام گرفته است گاسمان [۱۱].

اعتبارسنجی

اعتبارسنجی اجرای مدل با استفاده از پارامترهایی است که در طول واسنجی به دست آمده‌اند و مقایسه شبیه‌سازی با داده‌های مشاهداتی است که در واسنجی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند آرنولد [۵].

نتایج

پس از تهیه ورودی‌های مدل اقدام به اجرای مدل شد. اجرای اولیه مدل بر اساس نقشه کاربری اراضی/پوشش ۱۳۸۴ صورت گرفت (سناریو ۲). با در نظر گرفتن دو سال از سال ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۵ برای آموزش، شبیه‌سازی بارش-رواناب از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۲ توسط روش شماره منحنی با استفاده از مقادیر پیش‌فرض مدل SWAT در پایه زمانی ماهانه صورت گرفت. جهت بهبود نتایج اقدام به واسنجی مدل شد.

تحلیل حساسیت، واسنجی، اعتبارسنجی

پس از شناسایی پارامترهای تأثیرگذار بر رواناب با استفاده از تحلیل حساسیت، پارامترهای مؤثر همراه با محدوده حداقل و حداکثر مجاز تغییرات وارد مدل SWAT-CUP شد. با معرفی داده‌های مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری دویرج اقدام به بهینه‌سازی خروجی مدل SWAT گردید. دوره شبیه‌سازی از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۲ است که با توجه تحقیقات اسکول و همکاران [۲۳] و یانگ و همکاران [۳۰] سه‌چهارم آن برای واسنجی و یک‌چهارم آن برای اعتبارسنجی

در نظر گرفته شد.

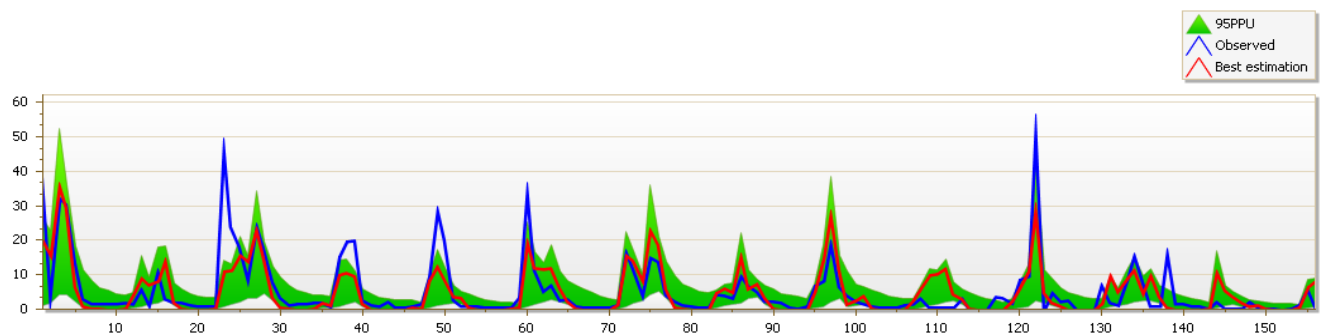
را نشان می‌دهد.

بر اساس آمار سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸ مرحله واسنجی و ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ اعتبارسنجی در پایه زمانی ماهانه انجام گرفت. با تغییر محدوده پارامترهای تأثیرگذار بر رواناب برنامه SUFI2 اجرا شد. با بررسی معیارهای آماری از قبیل R^2 ، R_factor ، P_factor ، NS نتایج ارزیابی شد. در صورت رضایت بخش نبودن نتایج با تغییر محدوده پارامترها مجدد برنامه اجرا شد. در تحقیق حاضر بیش از ۱۰۰ مرتبه برنامه SUFI2 با بیش از ۲۰۰۰۰ شبیه‌سازی اجرا گردید و در نهایت از مقادیر بهینه واسنجی در اعتبارسنجی استفاده گردید. شکل ۳ و ۴ و جدول ۳ نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی را نشان می‌دهد. جدول ۴ مقادیر بهینه پارامترها پس از انجام واسنجی

جدول ۳- پارامترهای آماری در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل
با استفاده از SWAT-CUP

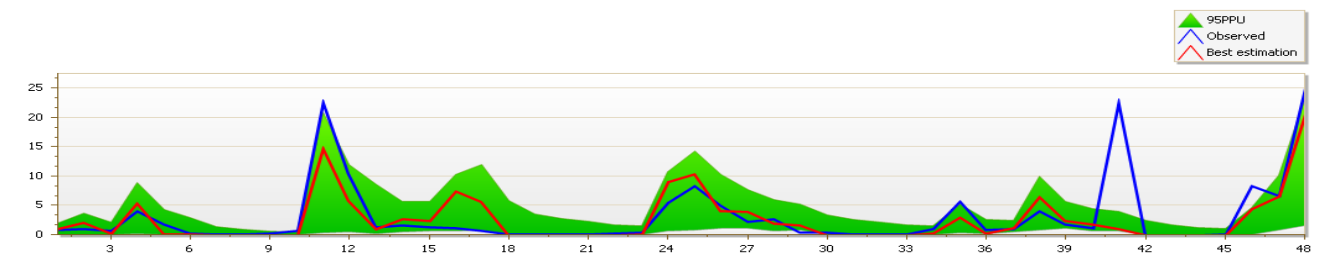
Table 3. Statistical Parameters in Model Calibration and Validation Using SWAT-CUP

دوره period	p-factor	p-factor	R^2	NS
واسنجی Calibration	0.87	0.81	0.60	0.58
اعتبارسنجی Validation	0.89	0.81	0.57	0.56



شکل ۳- نمودار واسنجی از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸ در نرم‌افزار SWAT-CUP

Fig 3. Calibration chart from 1996 to 2008 in SWAT-CUP software



شکل ۴- نمودار اعتبارسنجی از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ در نرم‌افزار SWAT-CUP

Fig 4. Validation chart from 2009 to 2012 in SWAT-CUP software

جدول ۴- مقادیر بهینه پارامترها پس از انجام مرحله واسنجی

Table 4. Optimal values of parameters after calibration step

پارامتر Parameter	علامت اختصاری پارامتر Parameter acronym	حداقل Min	حداکثر Max	حد بهینه The optimal limit	نوع اثرگذاری بر پارامتر Parameter effect type
شماره منحنی Curve number	CN2	-0.1	0.1	0.03	R
ظرفیت آب قابل دسترس خاک Available soil water capacity	SOL_AWC	-0.1	0.4	0.28	R
هدایت هیدرولیکی اشباع لایه‌های خاک Hydraulic conductivity of saturated soil layers	SOL_K	-0.4	0.4	-0.01	R
جرم مخصوص ظاهری لایه‌های خاک The apparent mass of the soil layers	SOL_BD	-0.2	0.6	0.47	R

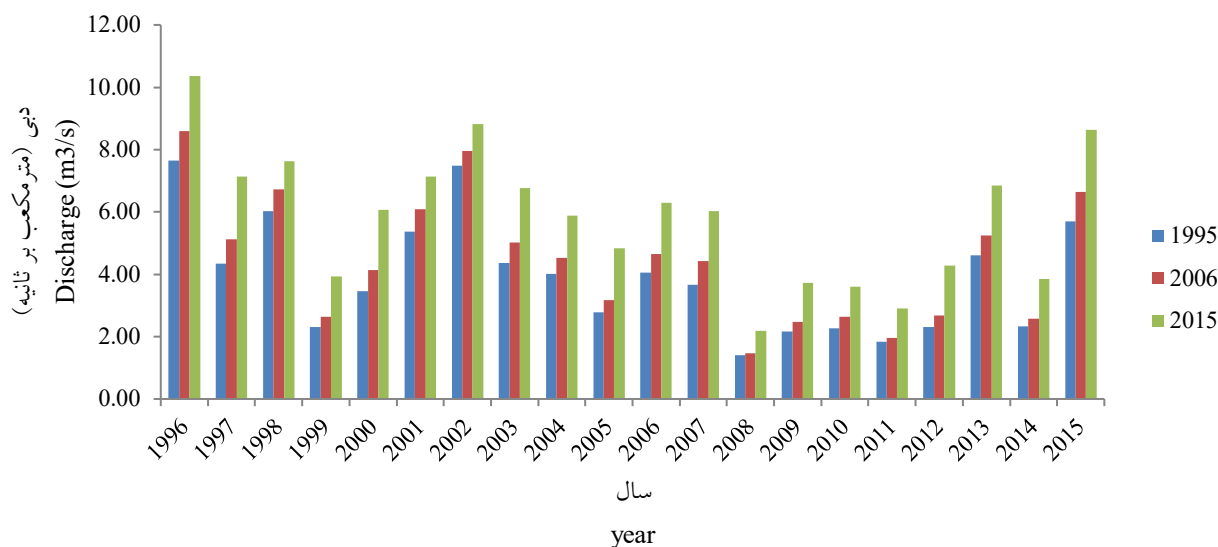
V	1975	3000	1000	GWQMN	سفره‌های کم عمق برای وقوع جریان برگشتی Shallow aquifers for recurrent flow
V	0.16	0.19	0.1	GW_REVAP	ضرب تبخیر آب زیرزمینی Multiply groundwater evaporation
V	104.5	400	0	REVAPMN	ضریب حداقل تبخیر آب زیرزمینی Groundwater Evaporation Coefficient
V	0.915	1	0.8	ESCO	فاکتور جبران تبخیر از خاک Evaporation Compensation Factor of Soil
V	0.911	1	0.7	EPCO	فاکتور جبران جذب آب توسط گیاه Plant uptake compensation factor
V	0.17	0.2	0.1	CH_N2	ضریب مانینگ در کانال اصلی Manning coefficient in the main channel
V	62.25	120	50	CH_K2	هدایت هیدرولیکی مؤثر بستر رودخانه اصلی (mm/hr) Effective hydraulic conductivity of the main river bed (mm / hr)
V	0.02	0.19	0	SLSUBBSN	متوسط طول شیب در hru (m) Average slope length in hru (m)
R	-0.04	0	-0.1	OV_N	ضریب مانینگ در سطح زمین Manning coefficient at ground level
V	0.66	1	0	ALPHA_BF	فاکتور ضریب جریان پایه (روز) Base Flow coefficient in Factor (days)
V	0.96	1	0	ALPHA_BNK	ضریب آلفا در جریان برگشتی Alpha coefficient in the return stream
V	53.09	450	30	GW_DELAY	ضریب تأخیر جریان زیرزمینی (روز) Underground Flow Delay Coefficient (days)

نکته: R به معنی ضرب کردن مقدار پیش فرض مدل در (۱+ مقدار بهینه پارامتر) و V به معنی جایگزین شدن حد بهینه پارامتر بجای مقدار پیش فرض مدل

تأثیر تغییر کاربری/پوشش بر رواناب سطحی

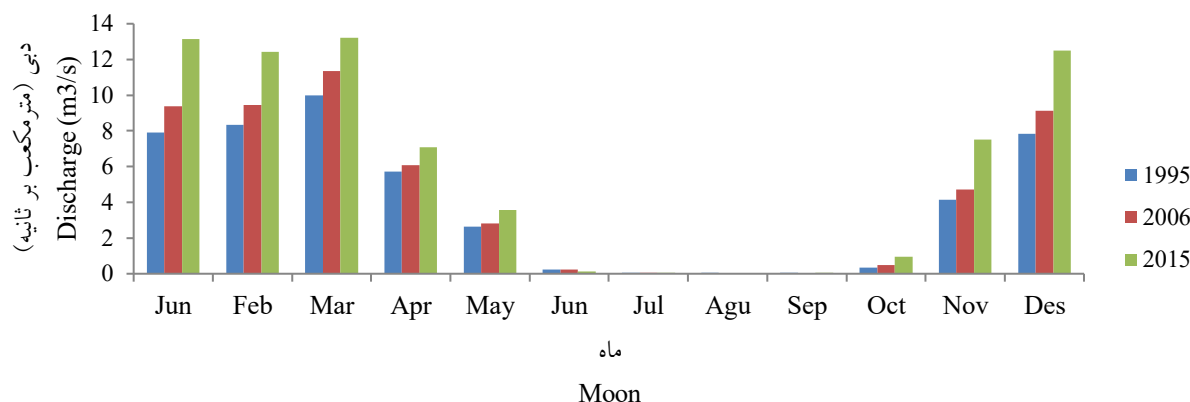
پس از آنکه واسنجی با استفاده از نقشه کاربری/پوشش سال ۱۳۸۴ صورت گرفت، نتایج نشان داد که مدل شبیه‌سازی مناسبی از رواناب در این حوضه ارائه نموده است؛ بنابراین از مدل SWAT با استفاده از پارامترهای بهینه واسنجی شده جهت برآورد رواناب حاصل از تغییرات ایجاد شده در کاربری اراضی/پوشش استفاده گردید. به جز نقشه‌های کاربری اراضی/پوشش همه اطلاعات ورودی دیگر از جمله داده‌های اقلیمی یکسان در نظر گرفته شد. به منظور بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی/پوشش بر رواناب حوضه مقادیر شبیه‌سازی شده میانگین رواناب خروجی سالانه و ماهانه سه سناریو طی سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۳ مقایسه شد. شکل (۵ و ۶) و جدول ۵ میانگین رواناب سالانه و ماهانه شبیه‌سازی شده طی سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۳ توسط مدل را تحت سناریوهای کاربری اراضی/پوشش ۱۳۷۳، ۱۳۸۴ و ۱۳۹۳ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۵ و جدول ۵ نشان داده شده است تغییر کاربری اراضی/پوشش تحت سه سناریو ذکر شده موجب افزایش میانگین رواناب خروجی در کل دوره مطالعاتی از ۳/۹۱ مترمکعب بر ثانیه (سناریو اول) به ۴/۴۴ مترمکعب بر ثانیه (سناریو دوم) شده است. عمده اختلافات مربوط به کاربری/پوشش سال ۱۳۹۳ است که برابر با ۵/۸۵ مترمکعب بر ثانیه بود. با توجه به نمودار شکل ۶ به طور کلی میزان رواناب

خروجی از حوضه در پایه زمانی ماهانه برای کاربری/پوشش سال ۱۳۹۳ (سناریو ۳) بیشتر از کاربری اراضی/پوشش سال‌های ۱۳۷۳ و ۱۳۸۴ است به طوری که میانگین رواناب در ماه‌های آبان، آذر، دی و بهمن برای کاربری‌های سال ۱۳۷۳، ۱۳۸۴ و ۱۳۹۳ به ترتیب برابر با ۷/۵۰، ۸/۱۵ و ۱۱/۳۹ مترمکعب بر ثانیه بود که با افزایش ۱۵ و ۴۰ درصد مواجه بود. همچنین افزایش رواناب این ماه‌ها به علت وجود بارش هم‌زمان با فصل عدم رشد گیاهان و بی‌حفاظ بودن خاک بوده بنابراین در چنین زمانی که گیاهان فرصت مناسبی برای رشد ندارد سطح حوضه دارای پوشش مناسب نبوده و برخورد قطرات باران باعث متلاشی شدن خاکدانه‌ها، فشردگی خاک و کاهش نفوذپذیری خاک می‌گردد سپس در نتیجه برخورد مستقیم قطرات باران جریان سطحی آب ایجاد می‌شود. در ماه اسفند و اردیبهشت به علت بارش‌های رگباری و ذوب برف در مناطق کوهستانی افزایش رواناب مشهودتر است به طوری که در کاربری/پوشش ۱۳۸۴ و ۱۳۹۳ نسبت به کاربری ۱۳۷۳ افزایش ۱۰ و ۳۰ درصدی داشت؛ اما در ماه‌های گرم سال و فصول بدون بارش که تنها دبی پایه جریان دارد میزان دبی خروجی از حوضه برای سناریو سوم (کاربری/پوشش سال ۱۳۹۳) کمتر از ۱۳۸۴ و ۱۳۷۳ است و این مقدار برای کاربری/پوشش سال ۱۳۷۳ بیش از دو سناریو دیگر است.



شکل ۵- نمودار مقایسه میانگین رواناب سالانه تحت سه سناریو کاربری ۱۳۷۳، ۱۳۸۴ و ۱۳۹۳

Fig 5. Comparison chart of the mean annual runoff under the three scenarios of 1995, 2006 and 2015



شکل ۶- نمودار مقایسه میانگین رواناب ماهانه با استفاده از سه سناریو کاربری ۱۳۷۳، ۱۳۸۴ و ۱۳۹۳

Fig 6. Comparison chart of mean monthly runoff using three scenarios of 1995, 2006 and 2015

جدول ۵- مقادیر میانگین ماهانه و سالانه رواناب خروجی طی دوره ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۳ با استفاده از سه سناریو کاربری ۱۳۷۳، ۱۳۸۴ و ۱۳۹۳

Table 6. Monthly and yearly averages of output runoff over the period 1995 to 2015 using three user scenarios 1995, 2006 and 2015

رواناب خروجی (مترمکعب بر ثانیه) Runoff (M ³ /S)						ماه
اختلاف رواناب دوره دوم ۱۳۸۴-۱۳۹۳ (%)	اختلاف رواناب دوره اول ۱۳۷۳-۱۳۸۴ (%)	کاربری ۱۳۷۳	کاربری ۱۳۸۴	کاربری ۱۳۹۳	Landuse 2015	
Runoff Difference first round 2005-2015(%)	Runoff Difference first round 1995-2006 (%)	Landuse 2006	Landuse 1995			Moon
+40.33	+18.18	13.13	9.39	7.92		دی
+41.34	+13.7	12.43	9.46	8.32		بهمن
+16.51	+13.61	13.22	11.35	9.99		اسفند
+16.66	+6.11	7.08	6.07	5.72		فروردین
+26.61	+6.48	3.55	2.81	2.63		اردیبهشت
-40.43	-8	0.13	0.23	0.25		خرداد
-9.34	-10.83	0.04	0.05	0.06		تیر
-10	-25	0.02	0.03	0.04		مرداد

33.33+3	-25	0.04	0.038	0.04	Sep	شهریور
98.83+	37.18+	0.94	0.48	0.35	Oct	مهر
59.78+	13.8+	7.51	4.7	4.13	Nov	آبان
32.37+	16.48+	12.51	9.11	7.82	Des	آذر
31.7+	13.55+	5.85	4.44	3.91	Average yearly	میانگین سالانه

بحث و نتیجه گیری

برای ارزیابی برنامه‌های مدیریتی، برآورد دبی در پایه زمانی ماهانه برای کاربری‌های مربوط به سال‌های ۱۳۷۳، ۱۳۸۴ و ۱۳۹۳ صورت گرفت. واسنجی نشان داد که مدل میزان برآورد دبی اوج را با دقت کامل انجام نداده و دبی‌های که در فصل بهار اتفاق می‌افتد را کمتر از میزان مشاهداتی برآورد کرد. یکی از دلایل این امر این است که مدل برای تخمین رواناب از روش SCS استفاده می‌کند که شبیه‌سازی ذوب برف را برای حوضه‌های کوهستانی به خوبی انجام نمی‌دهد. این موضوع در مطالعات تالسون و شوماکر [۲۷] و وانگ و ملس [۲۸] نیز گزارش شده است. اکثر جریان‌هایی که مدل قادر به شبیه‌سازی آن‌ها نیست در اواخر زمستان و فصل بهار بوده که به دلایل ضعف روش شماره منحنی در شبیه‌سازی ذوب برف است. بیشترین اختلاف بین مقادیر دبی شبیه‌سازی شده مدل SWAT و مقادیر مشاهداتی مربوط به مقادیر دبی پایه در فصول بدون بارش بود که مدل مقدار آن را کمتر از مقدار واقعی برآورد نمود و در برخی ماه‌ها مقدار آن را صفر به دست آورد؛ که مشابه با نتایج تحقیقات بوش و همکاران [۸] بود. این مشکل را می‌توان به ساده‌سازی این‌گونه مدل‌ها در شبیه‌سازی و تعامل پیچیده بین رواناب و جریان زیرسطحی در وقایع بارندگی با ارتفاع کم دانست. از طرف دیگر مدل SWAT یک مدل بزرگ مقیاس با ورودی‌های نسبتاً کم است که دقت در ورودی‌های مدل را می‌طلبد. کمبود ایستگاه بارش در حوضه شاید دلیلی بر عالی نشدن نتایج باشد. ارزیابی کارایی مدل با استفاده از ضرایب آماری نش-ساتکلیف (R^2 ، P_factor، R_factor) صورت گرفت بر اساس جدول ۳ این ضرایب به ترتیب برای دوره واسنجی برابر ۰/۵۸، ۰/۶۰، ۰/۸۱، ۰/۸۷ و برای دوره اعتبارسنجی مدل برابر ۰/۵۶، ۰/۵۷، ۰/۸۱ و ۰/۸۹ به دست آمد. همان‌طور که در جدول (۳) ملاحظه می‌شود بین ضرایب به دست آمده در دوره واسنجی و اعتبارسنجی مدل اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. موریاسی و همکاران [۱۹] بیان می‌کنند R^2 محدوده ۰ تا ۱ است، مقادیر بالاتر نشان دهنده واریانس خطای کمتر است و معمولاً مقادیر بیش از ۰/۵ قابل قبول در نظر گرفته می‌شوند همچنین بیان می‌کنند اگر ضریب نش-ساتکلیف کمتر از ۰/۵ باشد غیر قابل قبول، ۰/۵ تا ۰/۶۵ درصد قابل قبول، ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ درصد خوب و بیشتر از ۰/۷۵ درصد بسیار خوب محسوب می‌گردد. عباسپور [۲] جهت شبیه‌سازی رواناب برای P_factor بیش

از ۰/۷۰ درصد و برای R_factor اعداد نزدیک به یک را پیشنهاد می‌کند؛ بنابراین ضرایب به دست آمده کارایی مدل SWAT در جهت شبیه‌سازی رواناب در حوضه دوبرج را به خوبی نشان می‌دهد و مدل توانایی پیش‌بینی رخداد‌های آینده را در سطح حوضه دوبرج دارا می‌باشد و می‌توان از نتایج شبیه‌سازی مدل SWAT در پیش‌بینی و بررسی سایر پارامترهای هیدرولوژیک این حوضه نیز استفاده نمود. افزایش رواناب در نتیجه تغییر کاربری اراضی/پوشش و افزایش زمین‌های بایر هم‌زمان با کاهش سطح مراتع و جنگل که منجر به افزایش CN حوضه شده به وقوع پیوسته است. با توجه به نقشه‌های کاربری اراضی/پوشش ملاحظه می‌شود؛ وضعیت تغییرات کاربری شامل جنگل از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۳ روند کاهشی داشته به طوری که سطح اراضی جنگلی از ۵۱/۱۷ درصد از کل حوضه و مساحت ۵۹۴۶۸/۴۱ هکتار مربوط به کاربری سال ۱۳۷۳ به میزان ۳۸/۹۱ درصد نسبت به کل حوضه و ۴۵۲۲۴/۶۸ هکتار در کاربری سال ۱۳۹۳ کاهش یافته است. سطح اراضی مرتعی نیز از ۱۲/۷۹ درصد از مساحت کل حوضه و ۱۴۸۶۹/۳۰ هکتار در سال ۱۳۷۳ به ۶/۴۰ درصد از مساحت کل و ۷۴۳۶/۳۲ هکتار در کاربری سال ۱۳۹۳ رسیده است. در مقابل سطح زمین‌های بایر از ۱۱/۲۱ درصد از مساحت کل و ۱۳۰۲۳/۴۶ هکتار در سال ۱۳۷۳ به ۲۸/۵۷ درصد از کل و مساحت ۳۳۲۵۰/۱۲ هکتار در سال ۱۳۹۳ روند رو به افزایش داشته است که با نتایج محققانی از جمله تام و همکاران [۲۶]، پالامونی و همکاران [۲۱]، خوی و ساتسوگی [۱۴]، پیکونیس و همکاران [۲۲] و غفاری و همکاران [۱۲] مطابقت داشت. همچنین افزایش مقدار CN باعث افزایش حجم رواناب می‌شود که به نوبه خود باعث تلفات بیشتر آب و کاهش دبی پایه رودخانه‌ها و تغییر در مقدار فرسایش و رسوب می‌شود. در این مطالعه مقدار CN برای کاربری سال‌های ۱۳۷۳، ۱۳۸۴ و ۱۳۹۳ به ترتیب برابر ۶۷/۵۱، ۶۱/۴ و ۷۲/۷۸ می‌باشد. این روند افزایش در مقدار CN باعث افزایش رواناب سطحی در فصول پر بارش سال و کاهش دبی پایه در فصول گرم سال می‌شود؛ که با تحقیقات آرنولد و همکاران [۳]، لی و همکاران [۱۵] و وانگ و همکارانش [۲۹] مطابقت داشت. مدل‌های بارش-رواناب ابزار مناسبی در پروژه‌های منابع آبی به شمار می‌آیند. با توجه به نتایج واسنجی و اعتبارسنجی به نظر می‌رسد مدل SWAT برای حوضه‌های کوهستانی و دور از دسترس با وجود ایستگاه‌های کم و حوضه‌های فاقد شبکه متراکم از ایستگاه‌های

4. Arnold, J.G. Fohrer, N. 2005. Current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. Hydrol. Process 19: 563-572

5. Arnold, J.G. Moriasi, D.N. Gassman, P.W. Abbaspour, K.C. White, M.J. Srinivasan, R. Santhi, C. Harmel, R. D. van Griensven, A. Van Liew, M. W. Kannan, N. and Jha, M. K. 2012. SWAT: Model use, Calibration, And Validation. American Society of Agricultural and Biological Engineers 55(4): 1491-1508.

6. Ayivi, f. and jha, m. k. 2018. Estimation of water balance and water yield in the Reedy Fork-Buffalo Creek Watershed in North Carolina using SWAT. international Soil and water conservation research. 1-11.

7. Bailey, D.J. 2015. Using SWAT (Soil Water and Assessment Tool) to Evaluate Streamflow Hydrology in a Small Mountain Watershed in the Sierra Nevada, Ca. A thesis Master Science, Geography, California State University, Northridge. 68 P.

8. Bosch D.D. Sheridan, j.m. Batten, H.L. and Arnold, J.G. 2004. Evaluation of the SWAT model on a coastal plain agricultural watershed. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 47(5): 1493-1506.

9. Cijin, R., Chanbey, I. Engel, B. 2012. Simulated watershed scale impacts of corn stove removal for biofuel on hydrology and water quality. Hydrol. Process. 26 (11), 1629-1641.

10. Ebrahimi, H. Basirani, N. Karami, H. 2011. Performance Evaluation of SWAT Model to Simulation of Runoff and Sediment Yield in Doiraj River Basin in Ilam Province, The Thesis Submitted for the Degree of M.Sc (in the field of Watershed Management), Faculty of Natural Resources, Department of Range and Watershed Management, University of Zabol, Iran.

11. Gassman, P.W. Reyes, M.R. Green, C.H. and Arnold, J. G. 2007. The Soil And Water Assessment Tool: Historical development, Applications, And Future Research Directions. American Society of Agricultural and Biological Engineers 50(4): 1211-1250.

12. Ghafari, G. Ghodosi, J and Ahmadi, H. 2009. The impact of land use change on watershed

باران سنجی می تواند به طور مؤثری مورد استفاده قرار گیرد که بیلی [7] نیز به این موضوع اشاره کرده است. بررسی میانگین رواناب سالانه نشان داد تغییر کاربری جنگل و مرتع به زمین بایر از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۳ موجب افزایش رواناب خروجی از مقدار ۳/۹۱ تا ۵/۸۵ مترمکعب بر ثانیه در حوضه شده است. تحقیق نشان داد با ثابت بودن تمام عوامل، کاربری اراضی به تنهایی می تواند در تعیین مقدار رواناب نقش بسزایی داشته باشد. با وجود امکانات و در دسترس بودن فن آوری های سنجش از دور برای تهیه نقشه کاربری اراضی به عنوان یکی از پارامترهای ورودی تأثیرگذار برای سال های متمادی می توان از نقشه های به روز استفاده کرد. با توجه به نتایج به دست آمده، مدل SWAT می تواند ابزار مناسبی در رابطه با شبیه سازی بارش- رواناب باشد. استفاده از مدل یا مدل های کامپیوتری دیگر به دلیل کاهش عملیات صحرایی و صرفه جویی در زمان و هزینه، راهکار مناسبی جهت ارزیابی توسط پژوهشگران و مدیران برای حفظ محیط زیست و منابع طبیعی است.

پیشنهادهای

- جهت بررسی کارایی مدل SWAT نتایج آن با سایر مدل ها برای اثر کاربری بر رواناب استفاده گردد.

- برای سهولت در واسنجی لازم است نقشه خاک و کاربری با دقت قابل قبول تهیه گردد.

- در این مطالعه با توجه به کاربرد وسیع روش حداکثر احتمال در طبقه بندی تصاویر از این الگوریتم استفاده شد لازم است از سایر روش های طبقه بندی مانند شبکه عصبی مصنوعی یا روش فازی و سایر روش ها جهت تولید نقشه کاربری اراضی استفاده کرد و نتایج آن را با روش حداکثر احتمال مقایسه کرد.

- پیشنهاد می شود از عملیات بیولوژیکی و مکانیکی از جمله قرق، بذریاشی، جنگل کاری، ایجاد خطوط کنتور و ... جهت کنترل و کاهش رواناب استفاده گردد.

منابع

1. Abbaspour, K.C., Johnson, A., and Van Genuchten, M.Th. 2004. Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. Vadose Zone, 3: 1340-1352.

2. Abaspour, k. c. 2015. "user Manual for SWAT_CUP, SWAT Calibration and Uncertainty Analysis Programs". Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawage, Duebendorf, Switzerland.

3. Arnold, J.G. Muttiah, R. S. Srinivasan, R. and Allen, P.M. 2000. Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi River basin. J. Hydrol., 227: 1-4. 21-40.

11(4): 845-855.

22. Pikounis, M. Aranou, E. Baltas, E. Dassaklis, A. and Mimikou, M. 2003. Application of the SWAT model in the Pinos River in under different land-use Scenarios, *Global Nest J.*, 5: 2. 71-79 .

23. Schuol, J., K. C. Abbaspour, H. Yang, P. Reichert, R. Srinivasan, Ch. Schar and A. J. B. Zehnder. 2006. Estimation of freshwater availability in the west Africa subcontinent. *Journal of Hydrology*. 254, 58-69.

24. Shiravand, S. 2013. Effect of land use change on surface runoff and Groundwater fluctuations (Case Study: NajafAbad Plain), The Thesis Submitted for the Degree of M.Sc (in the field of Watershed Management), Faculty of Natural Resources, Department of Range and Watershed Management, Isfahan University of Technology. (in Persian)

25. Sikka, A.K. Sarma, J. Sharda, S.V.N. Samraj, P. and Akashmanam, S. 2003. Low Flow and High Flow Responses to Converting Natural Grassland in to Blugeum (Eucalyptus Globules) in Nilgiris Watersheds of South India, *J. of Hydrol.*, 270: 12-26.

26. Tamm, O. Maasikamäe, S. Padari, A. and Tamm, T. 2018. Modelling the effects of land use and climate change on the water resources in the eastern Baltic Sea region using the SWAT model. *Catena*. 78_89.

27. Tolson, B .A. and Shoemaker C. A. 2004. Watershed Modeling of the Cannonsville Basin Using SWAT2000: Model Development, Calibration and Validation for the Prediction of Flow, Sediment and Phosphorus Transport to the Cannonsville Reservoir, Technical Report, School of Civil Environmental Engineering, Cornell Univ., Ithaca, N. Y.

28. Wang, X. and Melesse, A. M. 2005. Evaluation of the SWAT model's snowmelt hydrology in a northwestern Minnesota watershed. *Transactions of the ASABE*. 48: 1-18.

29. Wang, S. Kang, S. Zhang, L. Li, F. 2008. Modelling hydrological response to different land-use and climate change scenarios in the Zamu River basin of northwest China. *Journal of Hydrological Processes*. 2008. 22: 2502- 2510.

30. Yang, J., Reichert, P. Abbaspour, K.C. Xia, J and Yang, H. 2007. Hydrological modelling of the Chaohe

Hydrological Response (case study: Zanjanrood). *Journal of soil and water conservation Research* 1:163-180. (in Persian)

13. Gyamfi, CH. Ndambuki, J.M. and Salim, R.W. 2016. Hydrological Responses to Land Use/Cover Changes in the Olifants Basin, South Africa. *Water*. 1-16.

14. Khoi DN, Suetsugi T. The responses of hydrological processes and sediment yield to land-use and climate change in the Be River Catchment, Vietnam. *Hydrological Processes*. 2014. 28(3): 640–652.

15. Li, K.Y. Coe, M.T. Ramankutty, N. and De Jong, R. 2007. Modeling the hydrological impact of land-change in hydrological impact West Africa, *J. of Hydro.*, 337: 258-268.7

16. Li, ZH. Liu, W.ZH. Zhang, X.CH. and Zheng, F.L. 2010. Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China. *Journal of Hydrology*. 35_42.

17. Ma, L. Ascough, J.C. Ahuja, L. R. Shaffer, M. J. Hanson, J. D and Rojas, K. W. 2000. Root zone water quality model sensitivity analysis using Monte Carlo simulation. *Trans. ASAE* 43(4): 883-895.

18. Meaurio, M. Zabaleta, A. Uriarte, J. A. Srinivasan, R. and Antigüedad, I. 2015. Evaluation of SWAT models performance to simulate streamflow spatial origin. The case of a small forested watershed. *Journal of Hydrology*. 326_334.

19. Moriasi, D. N. Arnold, J.G. Van Liew, M.W. Bingner, R.L. Harmel, R.D. and Veith, T.L. 2007. Model Evaluation Guidelines For Systematic Quantification Of Accuracy In Watershed Simulation. *Society of Agricultural and Biological Engineers* 50(3): 885–900.

20. Neitsch, S.L. Arnold, J.G. Kiniry, J.R. and Williams, J.R. 2011. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation version 2009 (user, manual). Texas Water Resources Institute. 647 P.

21. Palamuleni, LG. Ndomba, PM. Annegarn, HJ. 2011. Evaluating land cover change and its impact on hydrological regime in Upper Shire river catchment, Malawi. *Journal of Regional Environmental Change*

33. Zalki Badili, N. Sayad, GH.A. Hamadi, K. Agkavan, S. And Abdi, A. 2012. Simulation of runoff in Maroon Dam (Idnak) using SWAT model. Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture) 2: 36-25. (in Persian)

Basin in China: Statistical model formulation and Bayesian inference. Journal of Hydrology. 4, 167-172.

31. Zhang, Y. You, Q. Chen, C and Ge, J. 2016. Impact of climate change on streamflows under RCP scenarios: A case study in Xin River Basin, China, Atmospheric Research, 178, 521-534.

32. Zare Garizi, A. And Talebi, A. 2016. Simulation of Watershed Water Balance Using SWAT Model (Case Study: Qarasu Basin, Golestan Province). Journal of Water Resources Engineering. 50-37. (in Persian)

Effect of landuse Change on Surface Runoff Using SWAT Model and GIS in Doiraj Watershed of Ilam Province

F. Balouei¹ and S. Soltani kopaei²

Received: 12-09-2019 Accepted: 18-03-2020

Abstract

Today population growth, inaccurate management practices and land degradation processes have caused many watersheds to be severely degraded, leading to increased runoff and sediment. In this study, the aim of the study was to investigate the effect of land use change on surface water fluctuations in the Doiraj watershed. Landsat satellite imagery was used for three periods of 1995, 2006, and 2015, it was found that the major changes occurred with decreasing forest and rangeland levels and increasing land barren. For modeling rainfall-runoff, a SWAT computer model was used. Then, using the SWAT_CUP model, The performance of the model was evaluated using statistics, NS, R², P_FACTOR and R_FACTOR. After calibration and validation, the values of these coefficients were 0.58, 0.60, 0.81, 0.87 for the calibration period and 0.56, 0.57, 0.81 and 89 for the validation period of the model, respectively was obtained. Annual runoff estimation indicated that changes in forest, pasture and wasteland land use from 1995 to 2015 increased the outflow runoff the basin from 3.91 to 5.85 m³/s.

Keywords: Landuse change, Surface runoff, Doiraj of ilam, Modeling, Remote sensing, Calibration, validation

1. M.Sc. Graduated of Watershed Manengment, Faculty of Natural Resource, Isfahan University of Technology, Iran

2. Corresponding Author and Associate Professor, Department of Range and Watershed managment, Faculty of Natural Resource, Isfahan University of Technology, Iran. Email: ssoltani@cc.iut.ac.ir