مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۱، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷
ص ۵۰۴-۴۸۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۰۲
تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۰۳/۱۷

آشکارسازی روند تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر دبی و بار معلق شبیه‌سازی شده با مدل SWAT (مطالعه موردی: آبخیز گالیکش استان گلستان)

❖ **ایوب مرادی***؛ دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،گرگان، ایران
❖ **علی نجفی نژاد؛** دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،گرگان، ایران
❖ **مجید اونق؛** استاد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،گرگان، ایران
❖ **چوقی بایرام کمکی؛** استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،گرگان، ایران
❖ **مهرانگیز فولادی منصوری؛** دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

چکیده

شیوه‌های بهره‌برداری اراضی، تخریب مناطق جنگلی و مرتعی، رهاسازی اراضی و توسعهٔ مناطق مسکونی از جمله عواملی هستند که بر شدت جریان آب، شدت فرسایش و تولید رسوب اثر می‌گذارند. به همین دلیل آگاهی ازمیزان اثر تغییرات کاربری اراضی بر روی دبی و بار معلق یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. در مطالعهٔ حاضر برای بررسی این اثرات از مدل نیمه توزیعی SWAT در آبخیز گالیکش استان گلستان به مساحت تقریبی ۳۹ هزار هکتار استفاده شد. مدل مذکور برای شبیه‌سازی، واسنجی و اعتبارسنجی و در نهایت بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر بر دبی و بار معلق در یک دورهٔ ۲۷ ساله مورد استفاده قرار گرفت. نقشه‌های کاربری اراضی از سه تصویر ماهوارهٔ لندست سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ تهیه شدند. در این مطالعه از روش SUFI2 برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل استفاده شد. معیار ناش- ساتکلیف (NS) به عنوان تابع هدف در مرحلهٔ واسنجی (۱۹۹۰- ۲۰۰۷) برای دبی و بار معلق به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۶۱ به‌دست آمد که با توجه به دامنه‌های تفسیری مورد استفاده در تحقیقات گذشته، قابل قبول ارزیابی شد. برای بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر مقدار رواناب و رسوب تمام ورودی‌های مدل به غیر از کاربری اراضی ثابت فرض شد و نتایج نشان داد که تغییرات کاربری اراضی از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳ موجب افزایش ارتفاع رواناب سطحی به میزان ۱/۴۰ میلیمتر و افزایش غلظت رسوب به میزان ۲ تن در هکتار در سال شده است.

کلید واژگان: لندست، تغییر کاربری، بارمعلق ، مدل SWAT، گالیکش

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۹۸۹۳۸۱۸۸۵۵۹۵+
Email: ataollah.ebrahimi@nres.sku.ac.ir

۱. مقدمه

ایجاد فرسایش و تولید رسوب در یک حوزهٔ آبخیز تابع عوامل مختلفی است که یکی از مهمترین عوامل، تغییر در نوع استفاده از اراضی است. با تغییرات کاربری بدون در نظر گرفتن استعداد آن اراضی زمینهٔ رخ داد فرسایش و تولید رسوب و در نهایت انتقال آن به داخل رودخانه فراهم می‌شود. در یک حوزهٔ آبخیز بهره‌برداری‌های متفاوت از زمین و ایجاد تغییر در پوشش‌گیاهی و کاربری اراضی آن حوضه، بر پاسخ‌های هیدرولوژیک از جمله خصوصیات جریان و بار معلق تاثیر میگذارد، زیرا پوشش‌گیاهی و کاربری اراضی از عوامل مهم و تأثیرگذار در مطالعات علوم محیطی از جمله مطالعات منابع آب هستند [۳۹]. تغییرات کاربری اراضی باعث تغییر در چرخهٔهیدرولوژیکی حوضه شده و در نتیجه باعث تغییر تعادل آب بین بارش، تبخیر، نفوذپذیری و پاسخ رواناب و رسوب می‌شوند [۲۴]. از طرفی رشد فزایندهٔ تغییرات کاربری اراضی و تبدیل جنگل و مرتع به کشاورزی و یا رهاسازی اراضی کشاورزی می‌تواند نقش بسیار مهمی در افزایش بار رسوب انتقالی به رودخانه‌ها داشته باشد. [۱۶]. تغییرات کاربری اراضی معمولا به دو حالت اتفاق می‌افتد، یا یک کاربری به کاربری دیگری تبدیل می‌شود مانند تبدیل مراتع به کشاورزی، و یا همان تغییر در داخل یک کاربری ویژه اتفاق می‌افتد مانند تغییر در وضعیت مراتع یک منطقه. اما آنچه که حائز اهمیت است مقدار و نوع تغییرات در گذر زمان و تأثیر آن بر روی خصوصیات هیدرولوژیک حوضه است و این امر برای پیش‌بینی روند تغییرات آینده و مدیریت منابع آب و خاک امری ضروری به نظر می‌رسد. [۶]. لازم به ذکر است که هرچند که به طور کلی تغییرات کاربری اراضی یک حوضه آشکار می‌باشد اما تعیین مقدار دقیق این تغییرات دشوار است. [۳۳]. تغییرات شدید کاربری اراضی می‌تواند از طریق افزایش جریان سیلاب، فرسایش و بار معلق یا از طریق کاهش آن‌ها باعث اختلال در سیستم هیدرولوژیکی بشود[۳۸]. برای بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر روی منابع آبی و خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی ابزاری مفید به شمار می‌رود، از این رو در این تحقیق از مدل هیدرولوژیکی و نیمه توضیعی SWAT استفاده شد. مدل SWAT مدلی پیوسته در مقیاس حوضه است که در گام‌های ساعتی، روزانه، ماهانه و طولانی‌تر اجرا می‌شود [۴]، و به سفارش سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا تهیه شده و از زمان ایجاد تا کنون قابلیت‌های آن به طور پیوسته در حال توسعه می‌باشد، و قادر به بررسی اثر عملیات مدیریت اراضی بر روی آب، خاک، رسوب و املاح در آبخیزهای پیچیده بزرگ با انواع مختلف خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی برای دوره‌های طولانی مدت است [۷ و ۱۸]. در راستای بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر روی خصوصیات هیدرولوژیکی در سرتاسر جهان تحقیقات زیادی انجام شده است.

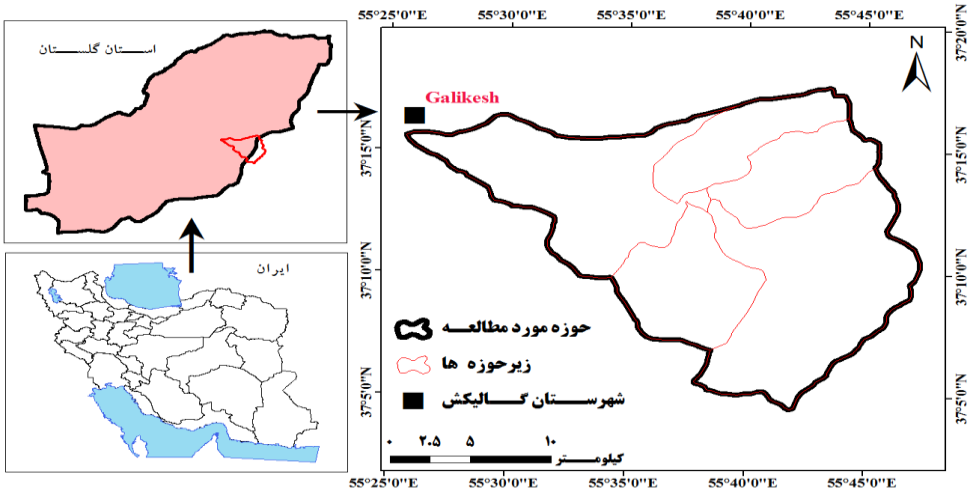
در داخل کشور و خارج از کشور محققان زیادی برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب و نیز سایر پارامترهای هیدرولوژیکی از مدل SWAT استفاده کرده اند و به نتایج قابل قبولی در این ضمینه دست یافته‌اند[۵، ۱۹و ۲۰]. همچنین محققان زیادی نیز به بررسی اثرت تغییر کاربری بر پارامترهای مختلف هیدرولوژیکی پرداخته‌اند[۱۲، ۱۶، ۲۱و ۴۳]. با جمع‌بندی مطالب فوق، می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات کاربری اراضی یکی از فاکتورهای مهم در تغییر جریان هیدرولوژی، فرسایش حوضه و تولید رسوب است. همچنین منابع طبیعی استان گلستان به دلیل دارا بودن سطح قابل توجهی از اراضی جنگلی کشور، همچنین شرایط مناسب جهت فعالیت‌های دامداری، گردشگری، کشاورزی و غیره، همواره در معرض تجاوز و تخریب بوده است و باید به مدیریت اصولی کاربری اراضی و منابع آب این منطقه از کشور توجه اساسی بشود. در همین راستا پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر روی دبی و بار معلق آبخیز گالیکش استان گلستان با استفاده از مدل نیمه‌توضیعی SWAT طی دورهٔ ۲۷ ساله انجام شد.

۱.۱. توضیح مختصری در مورد مدل SWAT

مدل SWAT مجموعه‌ای از معادلات ریاضی و فرمول‌های تجربی متعدد است. این مدل به منظور تعیین اثر شیوه‌های مدیریت زمین بر مقدار آب، رسوب و کیفیت آب در حوضه‌های بزرگ و پیچیده با خاک‌های مختلف، کاربری زمین و شرایط مدیریت در طی یک دورهٔ زمانی طولانی، توسعه یافته است[۲۸]. در این مدل هر حوضه به چند زیرحوضه و هر یک از زیرحوضه‌ها به چند واحد پاسخ هیدرولوژیک که از نظر کاربری اراضی و خصوصیات خاک و مدیریت همگن هستند تقسیم می‌شود. رواناب در هر واحد پاسخ هیدرولوژیک به‌طور مستقل محاسبه می‌شود تا در نهایت مقدار کل رواناب حوضه محاسبه گردد. این کار، دقت محاسبات را افزایش داده و توصیف فیزیکی بسیار بهتری از بیلان آبی حوضه به دست می‌دهد. در ابتدا آب موجود در خاک، رواناب سطحی، چرخهٔ عناصر غذایی، رسوب، رشد گیاهان و روش‌های مدیریتی برای هر واحد واکنش هیدرولوژیک و سپس برای هر زیرحوضه به صورت متوسط وزنی محاسبه می‌شود در این مطالعه از ARC-SWAT 2009 نسخهٔ 2009.93.7b استفاده شد.

۲. روش شناسی

آبخیز گالیکش در شمال شرق ایران و در استان گلستان، در مختصات طول جغرافیایی ″ ۵۹ ′ ۴۱ ° ۵۵ تا ″ ۲۶ ′ ۴۳ °۵۵ و عرض جغرافیایی ″ ۵ ′ ۸ °۳۷ تا ″ ۲۱ ′ ۱۵ °۳۷ واقع شده است. محدودهٔ مورد مطالعه دارای وسعتی معادل ۴۰۳۹۰ هکتار می‌باشد(شکل۱). از ویژگی‌های این محدوده اختلاف ارتفاع آن است که از ۱۹۱تا ۲۵۰۰ متر متغیر است. میزان بارندگی سالانه به طور متوسط ۷۷۰ میلیمتر و دمای متوسط سالانه ۱۲ درجهٔ سانتیگراد است. اقلیم آبخیز گالیکش بر اساس طبقه‌بندی دومارتن در محدودهٔ نیمه‌مرطوب قرار می‌گیرد.



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه

۱.۲. داده‌های مورد استفاده

۱.۱.۲. نقشهٔ مدل رقومی ارتفاعی

جهت تهیهٔ DEM حوضه، از نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری کشور با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شد. مدل SWAT با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی که به عنوان ورودی به مدل معرفی می‌گردد، نقشهٔ شیب، شبکهٔ جریان، تعداد زیر حوضه‌ها، تعداد واحدهای پاسخ هیدرولوژیک و خصوصیات مورفومتری حوضه را محاسبه می‌کند [۲۱].

۲.۱.۲. داده‌های هواشناسی

در محدودهٔ مورد نظر ۴ ایستگاه باران سنجی و تبخیر سنجی به اسم کلاله، گنبد، گالیکش و فارسیان- فرنگ وجود دارد که از اطلاعات دما و بارش روزانهٔ ۲۷ سال این ایستگاه‌ها استفاده شد که مشخصات کامل این ایستگاه‌ها در جدول شمارهٔ دو نشان داده شده است.

۳.۱.۲. نقشه‌های کاربری اراضی دوره‌های مختلف

در این تحقیق از تصاویر سنجنده‌های TM، ETM و OLI ماهوارهٔ لندست، طی سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲ استفاده شده است که مشخصات تصاویر در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در تحقیق

تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	ماهواره	سنجنده	ردیف	گذر
۱۹۸۷	۱۹/ مرداد/ ۱۳۶۶	لندست۴-۵	TM	۳۴	۱۶۲
۲۰۰۰	۱۳/ بهمن/ ۱۳۷۸	لندست ۷	ETM	۳۴	۱۶۲
۲۰۱۳	۲۶/ مرداد/ ۱۳۹۲	لندست ۸	OLI	۳۴	۱۶۲

پس از تهیهٔ تصاویر ماهواره‌ای برای محدودهٔ مورد مطالعه، از نرم افزارهای ENVI 4.7 ، ARC-GIS و Google Earth طی مراحل مختلف پردازش تصویر برای تهیهٔ نقشه‌های کاربری اراضی دوره‌های مختلف استفاده شد. (نتایج در شکل ۲ نشان داده شده است). برای تهیهٔ نقشه‌های کاربری اراضی ابتدا تصاویر ماهواره‌ای از سنجنده‌های مذکور دریافت و در نرم افزار ENVI 4.7 پس از ایجاد ترکیبات رنگی و تفکیک عارضه‌ها اقدام به نمونه برداری نقطه‌ای برای تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی شد. در منطقهٔ مطالعاتی، ۶ کاربری جنگل متراکم، جنگل نیمه متراکم، کشاورزی، اراضی بایر (اراضی فاقد پوشش گیاهی)، مرتع و بوته‌زار و مناطق مسکونی تشخیص داده شد. سپس برای ادغام لایه‌های کاربری اراضی نقشه‌ها وارد نرم افزار ARC-GIS شد و پردازش نهایی صورت گرفت و در نهایت مساحت هر کاربری و تغییرات آن در طول دورهٔ زمانی مطالعاتی محاسبه گردید.

۴.۱.۲. نقشهٔ خاک

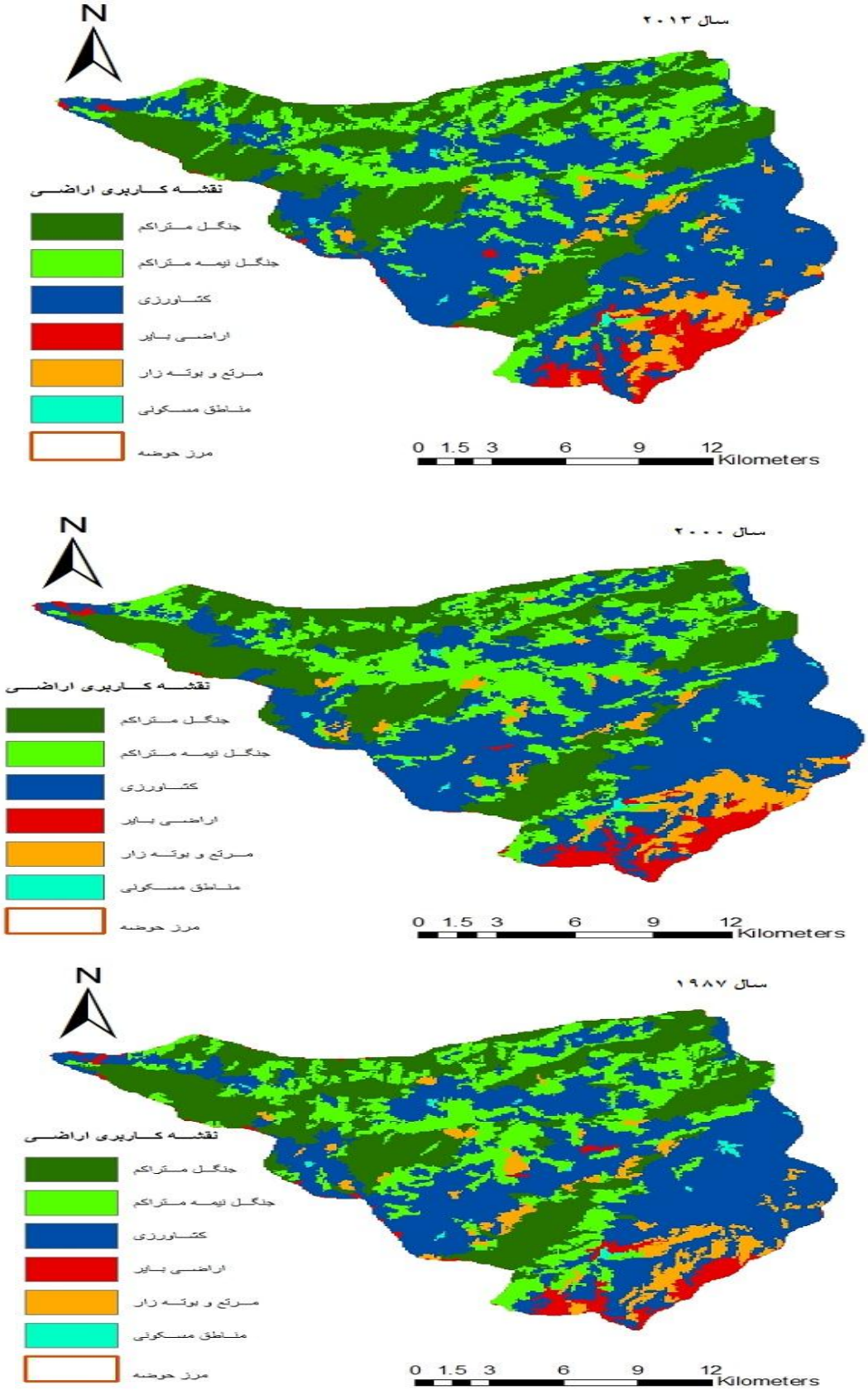
نقشهٔ بافت خاک بر اساس مطالعات صحرایی و بر مبنای نقشهٔ واحد اراضی به مقیاس ۱:۵۰۰۰ و همچنین با استفاده از نقشهٔ بافت خاک و اطلاعات لایه‌های خاک استفاده شده در مطالعات ادارهٔ منابع طبیعی استان گلستان تهیه شد.

۲.۲.داده‌های ایستگاه هیدرومتری

برای این مطالعه از داده‌های ۲۷ سال دبی و بارمعلق ایستگاه هیدرومتری گالیکش استان گلستان استفاده شد. داده‌های ذکر شده از ادارهٔ آب منطقه‌ای استان گلستان دریافت گردید. مشخصات ایستگاه هیدرومتری گالیکش در جدول (۲) قابل مشاهده است.

۳,۲.آماده سازی و فرآیند اجرا

با توجه به راهنمای مدل [۴۳] طی مراحل کار با مدل ابتدا مدل رقومی ارتفاع محل به مدل معرفی شده و شبکهٔ آبراهه نیز به عنوان راهنمایی در رسم آبراهه‌ها به مدل داده می‌شود. سپس، حداقل مساحت ممکن برای تشکیل زیرحوضه‌ها تعیین می‌گردد. در این مطالعه حداقل مساحت ۱۰۰۰ هکتار که مدل به عنوان پیش فرض در نظر گرفت برای تشکیل زیرحوضه‌ها و شبکه آبراهه‌ای که معرف شرایط حوضه باشد با در نظر گرفتن محدودیت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری تعیین شد.



شکل۲. نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳

جدول۲. مشخصات ایستگاه هیدرومتری گالیکش

نام رودخانه	نام ایستگاه	طول شرقی	عرض شمالی	ارتفاع	سال تاسیس	تجهیزات
اوغان	گالیکش	۲۵، ۲۴، ۵۴	۱۵، ۹۷، ۳۹	۱۸۴	۱۳۴۵	اشل ـ لیمنوگراف

مدل با توجه به شـــرایط تعیین شـــده تعداد ۱۹ زیر حوضـه و ۲۶۲ HRU را برای حوضـهٔ مورد مطالعه در نظر گرفـت. جهـت تشـــکیـل مرز حوضـــه محـل ایســـتگاه هیدرومتری به عنوان خروجی آبخیز تعریف و مرز حوضـه تشـکیل شـد. در مراحل بعدی نقشـهٔ کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ با ۶ کلاس و خاک با ۳ کلاس به کمک کدهایی به مدل معرفی شد. مدل این نقشه‌ها را به نقشه‌های رستری با اندازهٔ سلول‌هایی برابر مدل رقومی ارتفاع تبدیل می‌کند. مـدل بـه کمـک مدل رقومی ارتفاع نقشـــهٔ شـــیب را با کلاس‌های مد نظر ما تهیه می‌کند. از تلفیق این سـه لایه، نقشهٔ واحدهای پاسخ هیدرولوژیک بدست می‌آید. با توجه به روش‌هایی که در برآورد رواناب و تبخیر و تعرق در نظر گرفته شـد، مدل SWAT به دادهٔ بارش روزانه و حداقل و حـداکثر دمای روزانه نیاز دارد. در این تحقیق از داده‌های ایستگاه‌های گنبد، گالیکش، کلاله و فارسیان استفاده شد. این داده‌هـا به صـــورت فایل‌های با فرمت dbf تهیه و در اختیار مدل قرار گرفت. همچنین مختصـات و ارتفاع محل قرارگیری ایســـتگاه‌های دما و بارش و نیز محل ایســـتگاه تولید کنندهٔ اقلیمی (ایســـتگاهی که به کمک داده‌های آن فـایـل userwgn.dbf برای مدل تهیه شـــد) با این فرمت تهیـه (بـه دلیـل طولانی‌تر بودن دورهٔ آمـاری ایســـتگـاه فارسـیان داده‌های این ایستگاه وارد مدل شد) و در مرحلهٔ بعد در اختیار مدل قرار گرفت. در این پژوهش ۳ سال اول (۱۹۸۷تا ۱۹۹۰) برای دورهٔ گرم کردن مدل[1] استفاده شد. در این دوره به مدل اجازه داده می‌شود مقداردهی اولیه‌ای برای پارامترها انجام دهد و ســـپس روش مناســـبی برای شـــروع مقـادیر متغیرهای مدل در پیش گیرد. دورهٔ گرم کردن اهمیت زیادی در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی دارد، به این دلیل که شـرایط اولیه، مخصـوصـاً رطوبت خاک در بسـیاری از شـرایط در سطح حوزه نامشخص است [۲۵]. در ابتـدا بـه دلیل اینکه مدل SWAT برای ایالات متحدهٔ آمریکـا طراحی شـــده اســـت لازم اســـت بر روی مدل، تنظیماتی صـورت بگیرد. برای اسـتفاده از مدل در ایران و در آبخیز گالیکش استان گلستان بعضی از فایل‌های پیش فرض مـانند crop.dat، usersoil.dbf و userwgn.dbf به روز رســانی شــدند. پس از جمع‌آوری داده‌های ایســتگاه هیدرومتری، ایســتگاه‌های هواشــناســی منطقه، اطلاعات هیدرولوژی و خاکشــناســی و همچنین تهیهٔ نقشــه‌های کاربری اراضـی ابتدا مدل ARC SWAT به صورت ماهانه اجرا شـــد و فـایل خروجی آن جهت واســـنجی و اعتبار ســـنجی مدل و پارامترها، وارد برنامهٔ SWATCUP 4.3.7 شـــد. ابتدا دبی و بار معلق حوضـــهٔ مورد نظر با توجه به توصـــیهٔ محققان [۴۰و ۴۵] با اســـتفاده از ســـه چهارم داده‌های ایستگاه هیدرومتری با استفاده از تکرارهای ۵۰۰ بـار شـــبیـه‌ســـازی در ۴ مرحلـه تکرار بـه روش لاتین هـایپرکیوب کـالیبره شـــد (۲۰۰۷- ۱۹۹۰). تـابع نـاش ســـاتکلیف به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شـــد و ۳۲ پـارامتر مؤثر بر دبی و رســـوب کـه برای واســـنجی و اعتبارســـنجی انتخاب شـد، با هر بار شـبیه‌ســازی دامنهٔ پـارامترها تعدیل گردید و در نهایت مقدار حســـاســـیت پارامترها ســـنجیده شـــد. در مرحلهٔ بعد با پارامترهایی که واســـنجی انجـام شـــد بـه عنوان پـارامترهـای بهینـه اعتبارســـنجی نیز صـورت گرفت (۲۰۱۳-۲۰۰۸). پس از واسـنجی و اعتبارسنجی مدل با ثابت در نظر گرفتن تمام

۱. Warm-up period

پارامترها به غیر از نقشهٔ کاربری اراضی از جمله پارامترهای اقلیمی و همچنین، خاک و مدل رقومی ارتفاعی که برای تمامی دوره‌ها داده‌های آن‌ها از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۷ ثابت در نظر گرفته شدند برای دو دورهٔ دیگر در سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۰ نیز با نقشهٔ کاربری جدید مدل اجرا شد. سپس نتایج حاصله در هر سه مقطع زمانی با یکدیگر مقایسه و ارزیابی شد.

جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT از روش SUFI2 در برنامهٔ SWAT-CUP استفاده شد. روش SUFI2 به منظور واسنجی مناسب و تحلیل عدم قطعیت بدون نیاز به تکرارهای زیاد طراحی شده است [۴۵]. در این نرم افزار ابتدا یک طیف بزرگ عدم قطعیت برای تمام پارامترها در نظر گرفته می‌شود، بنابراین در گام اول تمام پارامترها در محدودهٔ ۹۵ درصد عدم قطعیت قرار می‌گیرند، اما بعد از هر بار شبیه‌سازی این دامنهٔ عدم قطعیت کاهش می‌یابد تا دو شرط زیر برقرار شود:

۱- اکثر داده‌های مشاهده‌ای در سطح ppu ۹۵ واقع شوند (p-factor)

۲- فاصلهٔ متوسط بین حد بالا و حد پایین ۹۵ درصد تقسیم بر انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده تا حد ممکن کوچک شود (r-factor به سمت صفر میل کند). به منظور ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی دبی و رسوب از شاخص‌های p-factor، r-factor، ضریب تعیین (R2) و ناش ساتکلیف (NS) استفاده شد. ضریب ناش ساتکلیف ابزاری است که اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. مقدار ضریب ناش-ساتکلیف بین یک تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند. مقدار بهینهٔ این شاخص یک است. اگر مقدار این شاخص بیشتر از ۰/۵ باشد، می‌توان شبیه‌سازی مدل را خوب تلقی کرد، در حالی‌که اگر این ضریب منفی شود بهتر است به نتایج بسنده نشود و از متوسط مقادیر مشاهده‌ای استفاده شود [۲۵].

۳. نتایج

۱.۳. واسنجی و صحت‌سنجی مدل

با توجه به شرایط تعیین شده برای مدل، در حین اجرای مدل ۱۹ زیر حوضه و ۲۶۲ واحد پاسخ هیدرولوژیک به دست آمد. پس از اولین اجرای مدل ARC-SWAT در محیط ARC-GIS، برای کاربری سال ۲۰۱۳ به عنوان کاربری فعلی با استفاده از داده‌های ماهانه دبی و رسوب ایستگاه هیدرومتری گالیکش واقع در زیر حوضهٔ شمارهٔ ۱ آبخیز گالیکش استان گلستان، خروجی مدل جهت انجام واسنجی و اعتبار سنجی به محیط برنامه SWAT-CUP وارد شد. در ابتدا به عنوان پارامترهای اولیه ورودی جهت واسنجی مدل، بیش از ۴۰ پارامتر برای دبی در نظر گرفته شد که در نهایت پس از انجام آنالیز حساسیت مطلق و پس از ۸ تکرار ۵۰۰تایی شبیه‌سازی، با بررسی پارامترهای حساس و حذف پارامترهای غیر حساس به منظور سریعتر شدن فرآیند شبیه‌سازی تعداد ۲۹ پارامتر (جدول ۳) برای انجام عمل واسنجی انتخاب شدند. برای واسنجی مدل SWAT در برنامهٔ SUFI2 هر پارامتر یک دامنهٔ اولیه دارد که به‌صورت پیش‌فرض برای پارامترها در نظر گرفته می‌شود. همچنین هر پارامتر یک مقدار نهایی دارد که بعد از واسنجی مشخص می‌شود. در جدول شماره ۳ مشخصات، حدود اولیه و مقدار نهایی پارامترها ارائه شده است.

در بسیاری از موارد همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقادیر اولیه و بهینه شباهت چندانی به هم ندارند که این نتایج ناشی از قرار دادن حروف r و یا v، قبل از پارامترها می‌باشد که مدل SWAT با استفاده از محاسبات تعریف شده برای این حروف و پارامترها و بر اساس داده‌های ورودی ایستگاه هیدرومتری، خروجی اولیهٔ مدل SWAT و همچنین سایر محاسبات مربوط به مرحلهٔ واسنجی که در نرم افزار SWAT-CUP انجام می‌شود دامنه‌های پارامترها را تغییر می‌دهد. مقادیر اولیهٔ پارامترها بر اساس راهنمای مدل SWAT انتخاب می‌شوند که لزوماً مقادیر نهایی نباید در بازهٔ مقادیر اولیه باشند.

جدول ۳. مشخصات، حدود اولیه و مقدار نهایی ۱۰ پارامتر حساس

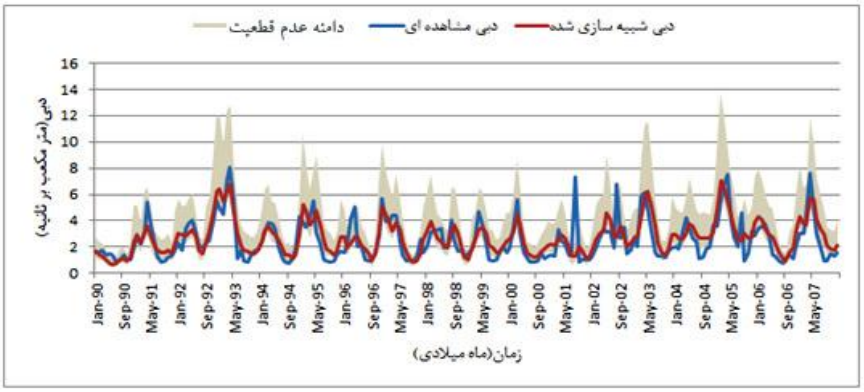
نام پارامتر	تعریف پارامترها	حداقل	حداکثر	مقدار بهینه
r__CN2.mgt	شمارهٔ منحنی SCS اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط (۲)	-۰/۳۳۵۲	۰/۳۶۳۶	-۰/۲۲۶۹
v__SMFMX.bsn	حداکثر فاکتور ذوب برف در تاریخ ۲۱ دسامبر (میلی‌متر آب بر درجهٔ سانتیگراد در روز)	۸/۹۹۱۳	۱۵/۰۷۹۵	۱۲/۱۸۷۶
r__USLE_K().sol	فاکتور فرسایش‌پذیری ذاتی در معادلهٔ جهانی فرسایش	-۰/۱۶۸۴	۰/۳۵۸۴	-۰/۱۰۷۸
v__PRF.bsn	فاکتور تعیین نرخ اوج برای روندیابی رسوب در کانال اصلی	۰/۳۰۹۷	۰/۴۸۹۷	۰/۴۵۱۰
v__CH_COV.rte	ضریب پوشش کانال	۰/۸۵۷۵	۰/۹۹۷۵	۰/۹۸۲۸
v__CANMX.hru	حداکثر ذخیره تاجی (میلی‌متر آب)	۰/۹۰۰۴	۳/۵۹۰۰	۱/۳۱۱۴
r__SOL_AWC().sol	ظرفیت رطوبت قابل استفادهٔ لایه‌های خاک (میلی‌متر آب بر میلی‌متر خاک)	۰/۱۳۵۴	۰/۱۳۸۱	۰/۱۳۷۰
v__EPCO.hru	فاکتور جبران جذب آب توسط گیاه	۰/۲۶۰۶	۰/۲۶۹۸	۰/۲۶۳۰
v__SPCON.bsn	پارامتر خطی برای محاسبهٔ ماکزیمم میزان رسوب برگشتی به مسیر کانال	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۳۹
v__ALPHA_BF.gw	فاکتور آلفا در جریان پایه (روز)	۰/۰۹۷۱	۰/۱۸۲۹	۰/۱۵۵۹

r یعنی مقدار اولیهٔ پارامتر در (۱+ مقدار تعیین شده) ضرب شود.

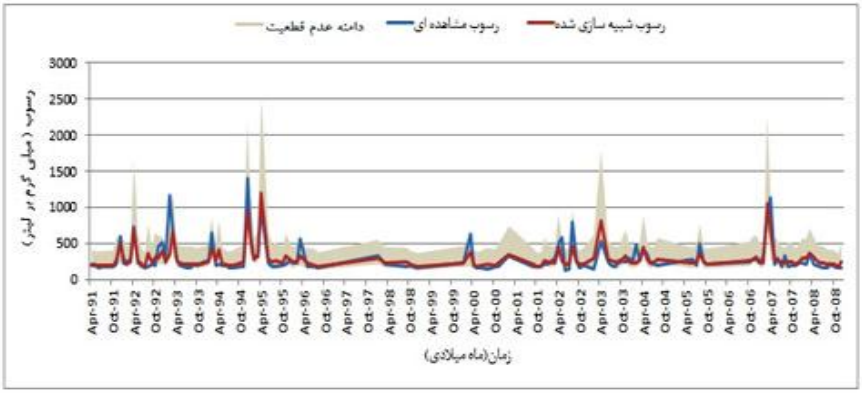
v یعنی مقدار تعیین شده جایگزین مقدار اولیه شود

مقادیر ناش ساتکلیف اولیه برای دبی و رسوب به ترتیب ۰/۰۳ و ۰/۱۱- به دست آمد که این مقادیر نیاز مدل را برای انجام واسنجی بیان می‌کند. شکل ۳ هیدروگراف جریان به دست آمده و شکل ۴ هیدروگراف غلظت رسوب را بر اساس مقادیر نهایی پارامترها نشان می‌دهد.

در جدول (۴) حساسیت نسبی پارامترها در مرحلهٔ واسنجی و اعتبارسنجی حاصل از اجرای SUFI2، ارائه شده است. در آنالیز حساسیت پارامترها، پارامتری که قدر مطلق مقدار t آن بیشتر باشد حساسیت بیشتری را نشان می‌دهد. مقدار p نیز معنی‌دار بودن حساسیت را نشان می‌دهد، که هرچه به صفر نزدیکتر باشد معنی‌دارتر می‌باشد.



شکل ۳. شبیه‌سازی دبی بعد از واسنجی



شکل ۴. شبیه‌سازی رسوب بعد از واسنجی

جدول ۴. حساسیت نسبی ۱۰ پارامتر حساس در شبیه‌سازی دبی و بار معلق

نام پارامتر	رتبهٔ حساسیت	واسنجی	اعتبار سنجی
		t-stat	t-stat
r__CN2.mgt	۱	-۹/۴۷	-۱۰/۲۳
v__SMFMX.bsn	۲	۲/۰۰	۱/۴۵
r__USLE_K().sol	۳	-۱/۹۴	-۱/۱۷
v__PRF.bsn	۴	-۱/۶۹	-۰/۷۳
v__CH_COV.rte	۵	-۱/۲۲	-۰/۳۷
v__CANMX.hru	۶	۱/۱۲	۰/۰۵
r__SOL_AWC().sol	۷	۱/۰۸	۰/۱۱۱
v__EPCO.hru	۸	-۱/۰۸	-۰/۴۴
v__SPCON.bsn	۹	۰/۹۵	۰/۵۶
v__ALPHA_BF.gw	۱۰	۰/۹۳	۲/۴۸

با توجه به اینکه در حوضهٔ مورد مطالعه فقط یک ایستگاه هیدرومتری وجود داشت، اطلاعات موجود در ایستگاه مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول (۵) مقادیر معیارهای ارزیابی مدل در برنامهٔ SWAT-CUP را که حاصل آنالیز شبیه سازی دبی و بار معلق آبخیز گالیکش استان گلستان، در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی است، نشان داده شده است.

جدول۵. مقادیر معیارهای ارزیابی مدل در برنامهٔ *SWAT-CUP*

معیار	واسنجی		اعتبار سنجی	
	دبی	رسوب	دبی	رسوب
ناش ساتکلیف(NS)	۰/۶۳	۰/۶۱	۰/۶۹	۰/۶۳
ضریب تعیین(R2)	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۷۹
r-factor	۰/۴۴	۰/۸۰	۰/۴۵	۰/۹۲
p-factor	۰/۵۰	۰/۸۲	۰/۴۹	۰/۸۷

جدول (۶) ضـرایب دقت طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری اراضی را نشان می‌دهد .

جدول۶. ضرایب ارزیابی صحت طبقه‌بندی به روش کنترل زمینی (۴۲)

سال طبقه‌بندی	ضریب کاپا	صحت کلی	صحت کاربر مسکونی	صحت تولید کنندهٔ مسکونی	صحت کاربر بایر	صحت تولید کنندهٔ بایر	صحت کاربر مرتع	صحت تولید کنندهٔ مرتع	صحت کاربر کشاورزی	صحت تولید کنندهٔ کشاورزی	صحت کاربر جنگل نیمه متراکم	صحت تولید کنندهٔ جنگل نیمه متراکم	صحت کاربر جنگل متراکم	صحت تولید کنندهٔ جنگل متراکم
۱۹۸۷	۰/۷۹	۸۲/۷	۸۴/۸	۸۷/۲	۷۵/۲	۷۴/۵	۷۱/۲	۷۰/۳	۷۱	۷۵	۸۱/۸	۸۵/۵	۸۸/۷	۹۱/۶
۲۰۰۰	۰/۸۴	۸۸/۵	۹۵/۴	۹۳/۱	۷۶/۰	۸۲/۳	۸۳/۲	۸۵/۶	۸۸	۸۲/۵	۸۷/۷	۸۶/۹	۹۵/۶	۹۶/۲
۲۰۱۳	۰/۸۹	۹۱/۷	۹۶/۳	۹۴/۶	۸۶/۴	۸۵/۳	۸۴/۸	۸۷/۸	۸۵	۸۶/۴	۹۲/۹	۹۰/۳	۹۴/۵	۹۸/۲

طبق جـدول (۷) کـه میزان رونـد تغییرات کـاربری اراضی را نشان می‌دهد، بیشترین کاربری منطقه مربوط به اراضـی کشـاورزی و جنگل متراکم اسـت. همچنین نتایج میزان رواناب و رسـوب کاربری اراضـی در حال حاضـر (سال۲۰۱۳) در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول۷. روند تغییرات کاربری اراضی

کاربری	مساحت ۱۹۸۷		مساحت ۲۰۰۰		مساحت ۲۰۱۳		مساحت تغییر یافته	
							۱۹۸۷-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۲۰۱۳
	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	درصد	درصد
جنگل متراکم	۱۱۱۴۰	۲۸/۶۴	۱۰۹۶۰	۲۸/۱۸	۱۰۸۱۶	۲۷/۸۱	-۰/۴۶	-۰/۳۷
جنگل نیمه متراکم	۸۱۹۶	۲۱/۰۷	۸۰۶۶	۲۰/۷۴	۷۸۰۰	۲۰/۰۶	-۰/۳۳	-۰/۶۸
کشاورزی	۱۶۳۹۰	۴۲/۱۴	۱۶۵۳۰	۴۲/۵۰	۱۶۷۹۰	۴۳/۱۶	+۰/۳۶	+۰/۶۶
اراضی بایر	۸۸۰	۲/۲۶	۱۰۷۰	۲/۷۵	۱۲۷۰	۳/۲۷	+۰/۴۹	۰/۵۲
مرتع و بوته زار	۲۱۰۰	۵/۴۰	۲۰۷۰	۵/۳۲	۲۰۱۰	۵/۱۷	-۰/۰۸	-۰/۱۵
مسکونی	۱۹۰	۰/۴۸	۲۰۰	۰/۵۱	۲۱۰	۰/۵۳	+۰/۰۳	+۰/۰۲
مجموع	۳۸۸۹۶	۱۰۰	۳۸۸۹۶	۱۰۰	۳۸۸۹۶	۱۰۰	۰	۰

جدول ۸. میزان رواناب و رسوب در هر یک از پوشش اراضی

کاربری	مساحت (Km^2)	ضریب رواناب(CN)	حجم رواناب (mm)	غلظت رسوب (ton/ha)
جنگل متراکم	۱۰۸/۲	۳۵	۰/۲۴	۰
جنگل نیمه متراکم	۷۷	۳۶/۵۷	۰/۸۰	۰/۰۰۰۶
کشاورزی	۱۶۷/۹	۶۲/۳۴	۱۶/۹۷	۱۴/۲۶
اراضی بایر	۱۲/۷	۷۷/۱۲	۱۱۸/۵۹	۱۵۰/۶۱
مرتع و بوته‌زار	۲۱/۱	۳۹	۰/۵۲	۰/۳۵
مسکونی	۲/۱	۴۳/۰۱	۴۳/۰۱	۶/۵۳
کل	۳۸۸/۹۶۵	۴۸/۷	۱۱/۷۲	۱۱/۱۱۸

این مقادیر با استفاده از نرم افزار check swat به دست آمدند.

جدول (۹)، میزان رواناب و غلظت رسوب کاربری‌های‌اراضی در دوره‌های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول۹. میزان رواناب و رسوب کاربری اراضی در دوره‌های مختلف

نقشهٔ کاربری اراضی	تعداد HRU	ضریب رواناب (CN)	حجم رواناب (mm)	غلظت رسوب (ton/hec)
سال ۱۹۸۷	۲۷۵	۴۸	۱۰/۳۲	۹/۱۸
سال ۲۰۰۰	۲۵۸	۴۸/۴	۱۱/۰۳	۱۰/۲۳
سال ۲۰۱۳	۲۶۲	۴۸/۷	۱۱/۷۲	۱۱/۱۸

۴. بحث و نتیجه‌گیری

۱.۴. واسنجی و صحت‌سنجی مدل

آبخیز گالیکش استان گلستان با توجه به کوهستانی بودن منطقه، بارش‌های شدید، تغییرات کاربری اراضی رخ داده در آن و همچنین کاربری‌های موجود که مستعد ایجاد سیل، فرسایش و تولید رسوب هستند، انجام مطالعات شبیه سازی رواناب و رسوب ضروری به نظر می‌رسد محققان مختلف [۳۲] نیز به نتایج مناسبی برای توانایی مدل SWAT در آبخیزهای کوهستانی و پرشیب دست یافتند. در این مطالعه برای ارزیابی نتایج واسنجی، از الگوریتم SUFI2 استفاده شد، چرا که این الگوریتم به راحتی به SWAT متصل می‌شود و حجم عظیمی از داده‌ها را می‌تواند پردازش کند و این امکان را فراهم می‌سازد که واسنجی پارامترها بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده در متغیرهای مختلف هم‌زمان انجام گیرد. اولین مرحله در مورد واسنجی مدل انجام آنالیز حساسیت بود. روش‌های مختلفی جهت انجام آنالیز حساسیت وجود دارد که در این تحقیق مجدد از نرم‌افزار SUFI2 استفاده شد که استفاده از این روش جهت آنالیز حساسیت مدل SWAT توسط محققان زیادی صورت پذیرفته است [۳، ۳۰و ۳۵]. بعد از انجام عملیات آنالیز حساسیت پارامترهای حساس به میزان رواناب و رسوب منطقه شناسایی شدند. در مجموع با استفاده از بیش از ۴۰ پارامتر آنالیز حساسیت انجام شد و در نهایت ۲۹ پارامتر انتخاب شد. حساس‌ترین پارامترها شامل: SCS (شماره منحنی)، SMFMX (حداکثر فاکتور ذوب برف در تاریخ ۲۱ دسامبر (میلی‌متر آب بر درجهٔ سانتیگراد در روز))، USLE_K (فاکتور فرسایش‌پذیری خام در معادلهٔ جهانی فرسایش)، PRF (فاکتور تعیین نرخ اوج برای روندیابی رسوب در کانال اصلی)، ALPHA_BF (فاکتور آلفا در جریان پایه (روز)) تشخیص داده شدند. با توجه به محدودیت سیستم رایانه‌ای مدل با استفاده از تکرارهای ۵۰۰ بار شبیه‌سازی با ۵۰۰ نمونه برداری کالیبره شد. تعداد نمونه برداری به روش لاتین هایپرکیوب و با استفاده از مطالعات گذشته و نظر متخصصین انتخاب شد. آخرین شبیه‌سازی ۵۰۰ تایی به کمک ۲۹ پارامتر که تابع هدف قابل قبول با دامنهٔ عدم قطعیت محدودتری را در اختیار دارند به عنوان نتیجهٔ واسنجی تعیین شد. در این تحقیق برای ارزیابی نتایج مدل از ضرایب R2، NS، r-factor و P-factor استفاده گردید. همچنین [۱، ۱۴، ۳۴و ۳۵] از ضریب R2 و [۱۱و ۲۳] از ضریب NS و [۱، ۲، ۳، ۱۰، ۱۹، ۴۲ و ۴۵] از ضرایب NS، R2 ، NS، r-factor و P-factor برای ارزیابی توانایی مدل SWAT استفاده کردند. پس از انجام واسنجی مقادیر این ضرایب برای رواناب توسط مدل به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۶۳ و ۰/۴۴ و ۰/۵۰ و برای رسوب ۰/۶۴ و ۰/۶۱ و ۰/۸۰ و ۰/۸۲ تخمین زده شد. ضریب ناش ساتکلیف به عنوان تابع هدف تعیین شد. از آن‌جا که یکی از اهداف SUFI2 تعیین دامنهٔ عدم قطعیت است، دو تابع P-factor و R-factor نیز بررسی

شدند. مقدار P-factor در مرحلهٔ واسنجی برای دبی نشان داد که ۵۰ درصد از داده‌های مشاهداتی دبی ماهانه در دامنهٔ عدم قطعیت تعیین شده قرار دارد. همچنین ۸۲ درصد از داده‌های مشاهداتی رسوب در ناحیهٔ عدم قطعیت تعیین شده قرار دارد. این موضوع ممکن است به دلیل دامنهٔ انتخاب شده برای پارامترها باشد و یا لازم است در انتخاب پارامترها تجدید نظر شود. همچنین مقادیر ناش ساتکلیف برای دورهٔ اعتبارسنجی دبی و رسوب به ترتیب ۰/۶۹ و ۰/۶۳ ارزیابی شد. نتایج کلی پژوهش مربوط به شبیه‌سازی رواناب و رسوب در راستای مطالعات [۳، ۲۰، ۲۹، ۳۸و ۴۱] می‌باشد و با نتایج محققی همچون [۳۷] مطابقت ندارد که علت آن مربوط به محدودیت اطلاعات مورد نیاز برای شبیه‌سازی بیان گردیده است. این محققان نیز مدل SWAT را مدلی با کارایی مناسب جهت شبیه‌سازی رواناب و رسوب دانستند. با توجه به نتایج آماره‌های ارزیابی مدل، نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل قابل قبول ارزیابی شد.

همان‌گونه که در نمودار شبیه‌سازی رواناب (شکل۳) مشاهده می‌شود، به طور کلی مدل مقادیر شبیه‌سازی را بیشتر از مقادیر مشاهداتی پیش‌بینی کرده است. در همین رابطه محققانی همچون [۹] بیان می‌دارند که این موضوع به علت محدودیت مدل در توزیع مکانی بارش است، به همین دلیل وقتی در قسمت کوچکی از حوضه، باران بسیار شدیدی روی می‌دهد مدل این تأثیر را برای کل حوضه در نظر می‌گیرد و باعث شبیه‌سازی بیش از حد رواناب در مقایسه با مقادیر حقیقی می‌شود. از دلایل این امر همچنین می‌توان به عدم تعداد کافی ایستگاه‌های هواشناسی اشاره کرد. تعداد ایستگاه‌های هواشناسی و اقلیم‌سنجی در استان از تراکم خوبی برخوردار نیست و احداث ایستگاه‌ها بر اساس نیاز ارگان‌هایی مثل سازمان آب یا اداره هواشناسی صورت می‌گیرد و این تراکم در مناطق دور از شهرها به شدت کاهش می‌یابد. با نگاهی اجمالی به نمودار شبیه‌سازی دبی پس از واسنجی می‌توان به این نتیجه دست یافت که مدل به طور کلی رواناب را خوب شبیه‌سازی کرده است اما ضعف مدل در شبیه‌سازی نقاط اوج به خصوص در ماه‌های مارچ و آوریل که مصادف با ماه‌های اسفند و فروردین است قابل مشاهده می‌باشد، چراکه مدل برای شبیه‌سازی وقایع شدید طراحی نشده و معمولاً در این موارد مقداری را که شبیه سازی می‌کند کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده می‌باشد. محققانی همچون [۳۶]، بزرگترین خطای مدل را شبیه‌سازی دبی اوج گزارش کردند. همچنین [۳۶]، بیان کرد که مدل در ماه‌هایی که ذوب برف ناگهانی، سیلاب‌های ناگهانی ایجاد کرده به خوبی عمل نمی‌کند. وی دلیل ضعف مدل در شبیه‌سازی ضعیف بعضی قسمت‌ها را شبیه‌سازی ضعیف ذوب برف در حوضه‌های کوهستانی، فرضیات مدل در انتقال جریان در لایه‌های یخ زده و اشباع و طول دورهٔ آماری کوتاه دانسته‌اند. لازم به ذکر است که مسئلهٔ ضعف مدل در شبیه‌سازی نقاط اوج در سیل‌های سال ۱۳۸۱ مصادف با سپتامبر ۲۰۰۲ و سال ۱۳۸۴ مصادف با سپتامبر ۲۰۰۵ در نمودار شبیه‌سازی دبی قابل مشاهده است. از عوامل دیگری که باعث عدم شبیه‌سازی با دقت بالا می‌شوند را می‌توان خطای اندازه‌گیری دبی در ایستگاه هیدرومتری، در نظر نگرفتن برداشت آب برای مصارف کشاورزی و صنعتی و در نظر نگرفتن تغییرات کاربری اراضی و خاک در سال‌های مختلف شبیه‌سازی عنوان کرد [۱۷]. علاوه بر شبیه‌سازی دبی‌های اوج مدل در شبیه‌سازی مقادیر کم جریان نیز از خود عملکرد ضعیفی نشان داد. این مشکل را می‌توان به ساده سازی این گونه مدل‌ها در شبیه‌سازی و تعامل پیچیدهٔ بین رواناب و جریان زیرسطحی در وقایع بارندگی با ارتفاع کم دانست [۱۵]. همچنین [۲۷] معتقد است که کیفیت دبی شبیه‌سازی شده بسیار مهم می‌باشد، چرا که یک دبی شبیه‌سازی شدهٔ خوب نتایج شبیه‌سازی بهتر پارامترهای دیگر مانند رسوب را به‌دنبال خواهد داشت. به همین دلیل در این مطالعه با توجه شبیه‌سازی قابل قبول دبی پارامتر رسوب نیز در مجموع با نتایج قابل قبولی شبیه‌سازی شد. شبیه‌سازی رسوب نیز همانند دبی تحت تأثیر ضعف مدل

در شبیه‌سازی جریان‌های حداکثر قرار دارد. [۳۶]. دلایل ضعف مدل در شبیه‌سازی ضعیف‌تر رسوب نسبت به رواناب را کمبود دادهٔ رسوب استفاده شده در مرحلهٔ واسنجی، صحت داده‌های رسوب استفاده شده و مهم‌تر از همه پیوسته نبودن اطلاعات رسوب بیان می‌کند.

پس از اطمینان از نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل از مقادیر به‌دست‌آمده در این قسمت برای ارزیابی نتایج اثرات کاربری اراضی توسط تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد.

۲.۴. تحلیل جریان و رسوب تحت تأثیر نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده در دوره‌های مختلف

همان‌گونه که پیش از این اشاره شد، برای مطالعهٔ مورد نظر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ نقشه‌های کاربری اراضی به کمک نرم افزارهای ENVI4/5 و ARC-GIS9/3 تهیه شد. ضریب کاپا برای نقشه‌های فوق به ترتیب ۰/۷۸، ۰/۸۲ و ۰/۸۰ به‌دست آمد. در جدول (۵) میزان مساحت و روند تغییرات کاربری‌ها در سال‌های تعیین شده آمده است.

روند تغییرات کاربری‌های کشاورزی، اراضی بایر و مناطق مسکونی افزایشی بوده است. به طوری که از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳ مساحت این کاربری‌ها به ترتیب ۰/۶۶، ۰/۵۲ و ۰/۰۲ درصد افزایش داشته است. این در حالی است که کاربری‌های جنگل متراکم، جنگل نیمه‌متراکم و مرتع و بوته زار به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۶۸ و ۰/۱۵ درصد روند کاهشی را داشته‌اند. برای بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر دبی و بار معلق آبخیز گالیکش استان گلستان، مدل SWAT بر مبنای سه نقشهٔ کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ اجرا شد. برای این مطالعه تمام داده‌های ورودی مدل SWAT به غیر از نقشهٔ کاربری اراضی از جمله داده‌های هواشناسی، اطلاعات خاکشناسی، نقشهٔ شیب، نقشهٔ شبکهٔ زهکشی برای دوره‌های مختلف یکسان در نظر گرفته شد. مقادیر رواناب و رسوب تولیدی و همچنین سایر اطلاعات هیدرولوژیکی در هر کاربری برای هرکدام از نقشه‌ها محاسبه و با یکدیگر مقایسه شد.

همان‌گونه که در (جدول۷) ملاحظه می‌شود تغییر کاربری اراضی از سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۱۳ در منطقهٔ مورد مطالعه موجب افزایش رواناب سطحی به میزان ۱/۴۰ میلیمتر و همچنین موجب افزایش میزان شدت تولید رسوب به میزان ۲ تن در هکتار در سال شده است، به‌طوری‌که حجم آب خروجی از حوضه از ۱۰/۳۲ میلیمتر درسال ۱۹۸۷ به ۱۱/۷۲ میلیمتر در سال ۲۰۱۳ افزایش یافته است. این مقادیر برای رسوب در دورهٔ ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳ از ۹/۱۸ تن در هکتار در سال به ۱۱/۱۸ تن در هکتار در سال افزایش یافته است.محققانی همچون [۱۳] نیز با مطالعهٔ خود در حوضهٔ آجی چای و ورودی آن به دریاچهٔ ارومیه دریافتند که تغییر کاربری اراضی از سال ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۸ موجب کاهش چشمگیر حجم آب خروجی حوضه و افزایش تبخیر و تعرق حوضه شده است. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که به طور کلی از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳ افزایش اراضی بایر و اراضی کشاورزی و همچنین کاهش مناطق جنگلی و مرتعی باعث افزایش رواناب و افزایش غلظت رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری گالیکش شده است.

نتایج فوق نشان می‌دهد که تصاویر ماهواره‌ای به طور دقیق تغییرات کاربری اراضی را در بازه‌های زمانی کوتاه نشان نمی‌دهد و به همین دلیل میزان تغییرات رواناب بسیار ناچیز تخمین زده شده است. با توجه به اینکه آب رودخانه اوغان در این حوضه در انتها به حوزهٔ آبخیز قزاقلی می‌پیوندد و در نهایت به سد گلستان می‌ریزد، لازم است با توجه به افزایش غلظت رسوب حوضه از گذشته تا کنون مدیریت و نظارت بهتری در راستای تغییرات کاربری اراضی با توجه به قابلیت‌ها و استعدادهای زمین ارائه شود.

سپاس گزاری

بدین‌وسیله از زحمات بی‌کران جناب آقای دکتر چوقی بایرام کمکی در راستای نگارش و پذیرش مقاله تقدیر و تشکر بعمل می‌آید.

References

[1] Abbaspour, K.C. (2009). SWAT-CUP, SWAT Calibration and Uncertainty Programs, Version 2 (user manual), EAWAG, 105p.

[2] Akbari, H., A. Bahremand., A. Najafinejad and V. Berdisheykh. (2013). Sensitivity analysis SWAT model in the watershed Chehelchai. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 18(67):279-287.(in Persian)

[3] . Arefi, a., A. Najafinejad, F. Kyani and A. Mahini. (2013). Simiulation runoff and Sediment by use SWAT model Data (Case Study: Chehelchai Watershed, Golestan Province). Jurnal of Rangeland and Watershed. 66(3): 433-446.(in persian)

[4] . Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S. and Williams, J.R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. J. American Water Resources Association 34 (1): 73-89.

[5] Bailey, D. J. (2015). Sing SWAT (Soil Water and Assessment Tool) to Evaluate Streamflow Hydrology in a Small Mountain Watershed in the Sierra Nevada, Ca. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements For the degree of Master of Arts in Geography, GIS Program. California State University, Northridge. 68 pp.

[6] Bathurst, J.C., Ewen, J., Parkin, G., Oconnell, PE. and Copper, J.D. (2004). Validation of Catchment models of Pridicting Land-Use and Climate Change impact .3. Blind Validation for internal and Outlet responses. J. Hydro, 287: 74-94.

[7] Bingner, R.L., J. Garbrecht, J.G. Arnold and R. Srinivasan. (1997). Effect of watershed subdivision on simulation runoff and finesediment yield. Trans. ASAE. 40, 1329- 1335.

[8] Birhanu, BZ., Ndomba, PM., and Mtalo, FW. 2007. Application of SWAT Model for Mountainous Catchment. FWU Water Rescource Publications: Volume No: 06/2007.ISSN No. 1613-1045: pp 182-187.

[9] Bouraoui, F., Benabdallah, S., Jrad, A. and Bidoglio,G. 2005. Application of the SWAT model on the Medjerda River basin (Tunisia). Phys. Chem. Earth 30(8 -10): 497 -507.

[10] Faramarzi, M., Abbaspour, K., Schulin, R. and Yang, H. 2009. Blue and Green water resources in Iran. Hydrol. Process. 23, 486–501 (2009).

[11] Fohrer, N., Eckhardt, K., Haverkamp, S. and Frede, H. G. (2001). Applying the SWAT Model as a Decision Support Tool for Land Use Concepts in Peripheral Regions in Germany, 10th International Soil Conservation Organizatio Meeting: 994-999.

[12] Ghaffari, G., J. Ghodousi and H. Ahmadi. (2009). Investigating the hydrological effects of land use change in catchment (Case study: Zanjanrood basin). Journal of Water and Soil Conservation, Vol. 16(1): 163-180.

[13] Ghodousi. M., M. Delavar and S. Marid. (2013). The effect of land use changes on watershed hydrology Ajichay and its entrance to Urmia Lake. Journal of Iran Soil and Water Research. 45(2):123-133.

[14] Golami, SH. (2003). Sediment simulation model by using distributed model SWAT in mountainous areas (watershed Amameh). Journal of Research and Construction. 59: 28-33.(in Persian)

[15] Hantush, M. M. and L. Kalin. (2005). Uncertainty and sensitivity analysis of runoff and sediment yield in a small agricultural watershed with KINEROS2. Hydrological Sciences Journal, 50 (6): 1151-1172.

[16] Hematjo, M.H. (2008). Planning, land use sub-watershed Zayandehrud by using the SWAT model and land evaluation. MSC Thesis. Of the soil science-Faculty of Agriculture-University of Esfihan Technology.

[17] Izadi, M., KH. Azhdari, S. Akhavan and S. Emamgholizadeh. (2013). Assesing Then application SWAT2009 in Simulation Discharge on Shirindareh River. First international conference Challenges Water Resourses and Agriculature, Azad Khorasegan-Esfahan University.2013.(in persian).

[18] Jaleh, A. (2007). Evaluation of runoff and sediment estimation in Vanak watershed from northern Karun using SWAT2000. MS. Isfahan University of technology, Isfahan. (In Farsi).

[19] Kavian, A., M. Golshan, H, Rohani and A, Esmali. (2013). Mazandaran Haraz River watershed runoff and sediment load simulation using the SWAT model. Journal of Physical Geography. 47(2):197-211.(in Persian)

[20] Li, C., Ql, J., Feng, Z., Yin, R., Zou, S. and Zhang, F. 2010. Parameters optimization based on the combination of localization and auto-calibration of SWAT model in a small watershed in Chinese Loess Plateau. Earth Sci. China: 4(3): 296–310.

[21] Li, K.Y., M.T. Coe, N. Ramankutty and R. De Jong. (2007). Modeling thehydrological impact of land-use change in West Africa. Journal of Hydrology, 337:258-268.

[22] .Luzio, M.Di., Srinivasan, R., Arnold, J.G., and Neitsch, S.L. 2002. ArcView Interface for AVSWAT, User's Guide 245p.

[23] Lin, Z., and Radcliffe, D. E. (2006). Automatic calibration and predictive uncertainty analysis of a semidistributed watershed model. Vadose Zone J. 5(1): 248-260.

[24] Marcos, H.C., B. Aurelie and A.C. Jeffrey. (2003). Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Rocantins River, Southeastern Amazonia. Journal of Hydrology. 283: 206-217.

[25] Mello, C.R., M.R. Viala, L.D. Norton, A.M. Silva and F.A. Weimar. (2008) "Development and application of a simple hydrologic model simulation for a Brazillian headwater basian." Catena 75 (2008): 235-247.

[26] Moriasi, D. N., J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Binger, R. D. Harmel and T. Veith. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 50 (3): 885-900.

[27] Morgan, R.P.C. (2005). Soil erosion and conservation. Black well publication. 304Pp.

[28] Narayan, K.Sh., P.C. Shakti and G. Pabitra. (2010). Calibration and Validation of SWAT Model for Low Lying Watersheds: A Case Study on the Kliene Nete Watershed, Belgium. HYDRO Nepal journal, 6: 46-51.

[29] Ndomba, PM. and Birhanu, BZ. (2008). Problems and Prospects of SWAT Model Applications in NILOTIC Catchments: A Review, Nile Basin Water Engineering Scientific Magazine: 1: 41-52.

[30] Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniri & J.R. Williams. (2005). Soil and water assessment tool theoretical documentation, version 2005. Grassland, Soil and water research laboratory, Agricultural research service. 476p.

[31] Omani, N., Tajrishy, M. and Abrishamchi, A.(2007). Modeling of a river basin using SWAT model and GIS. International conference on managing rivers on the 21 century, Reversid Kuching, Saravak, Malaysia: 510-517.

[32] Ouyang, W., F.H. Hao, X.L. Wang and H.G. Cheng. (2008). Nonpoint Source Pollution Responses Simulation for Conversion Cropland to Forest in Mountains by SWAT in China. Environmental Management, 41: 79–89.

[33] Pikounis, M., E. Varanou, E. Baltas, A. Dassaklis and M. Mimikou. (2003). Application of the SWAT Model in the pinos river basin under different Scenarios. International Conference on Environmental Science and Technology. 5 (2): 71-79.

[34] Pohlert, T., Huisman, J. A., Breuer, L. and Freude, H.G. (2007). Integration of a detailed biogeochemical model into SWAT for improved nitrogen predictions: Model development, sensitivity, and GLUE analysis. Ecol. Model. 203(3-4): 215-228.

[35] Rosenthal, W. D., Shrinivasan, R., Arnold, J. G. (1996). Alternative river managementusing a linked GIS hydrology model. Trans. ASAE 38 (3), 783–790

[36] Rostamian, R., S.F. Mosavi, M. Haidarpour, M. Afioni and K. Abbaspour. (2006). Assessment of runoff and sediment in Beheshtabad watershed, Northern Karun by SWAT 2000. M.Sc. Thesis. Irrigation and drainage Faculty, Isfahan University of Technology. 192pp.

[37] Saleh, DK., Kratzer, CR., Green, CH. and Evans, DG. (2009). Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to Simulate Runoff in Mustang Creek Basin, California, Scientific Investigations Report 2009–5031, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, the American water resources association: 44(1): 48-61.

[38] Salmani, H., M. Mohseni Saravi, H. Rouhani and A. Salajeghe. (2012). Evaluation of Land Use Change and its Impact on the Hydrological Process in the Ghazaghli Watershed, Golestan Province. Kurnal Journal of Watershed Management Research. 3(6): 43-60.

[39] response to converting natural grassland into bluegum (Eucalyptus globulus) in Nilgiris watersheds of south India. Journal of Hydrology, 270 (1-2), pp 12–26.

[40] 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.

[41] Thampi, SG., Raneesh, KY., Surya, TV. (2010). Influence of scale on SWAT model calibration for streamflow in a river basin in the humid tropics. Water Resour Manag 24:4567–4578. doi:10.1007/s11269-010-9676-y.

[42] Ustin S. (2004). Remote sensing for natural resource management and environmental monitoring.

Third Edition, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. USA, 736 p.

[43] Wang, Z. H., Zhao, D. Z., Cao, B. & Liang, D. Y. (2014). Research on simulation of non-point source pollution in Qingjiang river basin based on SWAT model and GIS. J. Yangtze River Scientific Research Institute 27 (1), 57–61.

[44] Winchell, M., R. Srinivasan, M.Di. luzio and J. Arnold. (2009). ArcSWAT 2.3 Interface for SWAT 2005, User, s guide, Black land research center, 465p.

[45] Yang, J., P. Reichert, K.C. Abbaspour, J. Xia and H. Yang. (2008). Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to the Chaohe Basin in China. Journal of Hydrology, 358: 1–23.