مقاله پژوهشی

هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۳۰، سال نهم، بهار ۱۴۰۱، صص ۲۴-۱
Hydrogeomorphology, Vol. 9, No. 30, Spring 2022, pp (1-24)

تأثیر تغییرکاربری اراضی بر تغییرات دبی و رسوب حوضه‌ی آبریز اوجان‌چای با استفاده از مدل **SWAT** در حوضه‌ی آبریز اوجان‌چای

محمدحسین رضائی مقدم *[1]، داود مختاری [2]، نسرین سمندر [3]

۱-استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲-استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳-دانشجوی دکتری گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۲

چکیده

تغییرات کاربری اراضی یکی از عامل‌های مهم در تغییر جریان هیدرولوژیک و فرسایش حوضه است. به همین دلیل آگاهی ازمیزان اثر تغییرات کاربری اراضی بر روی دبی و رسوب یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. هدف اصلی این پژوهش، آشکارسازی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر دبی و رسوب شبیه‌سازی شده با مدل SWAT در حوضه‌ی آبریز اوجان‌چای از مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) و برنامه SUFI2 می‌باشد. شبیه‌سازی مدل برای مدت ۲۹ سال از سال ۱۹۸۷الی ۲۰۱۵ انجام شد، چهار شاخص آماری ، P_factor، r_factor نش-ساتکلیف (NS) و ضریب تبیین (R2)، نسبت خطای مجذور ریشه مربعات به انحراف معیار (RSR) و درصد اریبی (PBIAS) به صورت ماهانه برای ارزیابی مدل انتخاب شدند. دقت شبیه‌سازی ماهانه با استفاده شاخص ارزیابی NSدر مرحله‌ی واسنجی و اعتبارسنجی برای دبی و رسوب به ترتیب معادل ۰/۶۵ و ۰/۴۹ می‌باشد که با توجه به دامنه‌های تفسیری مورد استفاده در تحقیقات گذشته، قابل قبول ارزیابی شد و حاکی از کارایی رضایت بخش مدلSWAT در شبیه‌سازی مولفه‌های تأثیر تغییرات کاربری بر رسوب و دبی است. 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 ۱۹۸۷تا ۲۰۱۵ موجب افزایش ارتفاع رواناب سطحی به میزان ۱/۱۵ میلی‌متر و افزایش غلظت رسوب به میزان ۱/۵ تن در هکتار در سال شده است. شیوه‌های بهره‌برداری اراضی، تخریب مناطق مرتعی بر شدت جریان آب، شدت فرسایش و تولید رسوب اثر گذاشته و به همین دلیل آگاهی ازمیزان اثر تغییرات کاربری اراضی بر روی دبی و رسوب در این منطقه یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است تا در آینده از نتایج پژوهش حاضر در جهت بهبود شرایط فعلی منطقه بهره برد.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی، مدل SWAT، صحت‌سنجی، شاخص‌های آماری، اوجان چای، شمال‌غرب ایران.

* نویسنده‌ی مسئول
E-mail:rezmogh@gmail.com

۱- مقدمه

فرسایش و تولید رسوب در یک حوضه‌ی آبریز تابع عوامل مختلفی است که یکی از مهم‌ترین عوامل، تغییر در نوع استفاده از اراضی است. در یک حوضه‌ی آبریز بهره‌برداری‌های متفاوت از زمین و ایجاد تغییر در پوشش گیاهی و کاربری اراضی آن حوضه، بر پاسخ‌های هیدرولوژیک از جمله خصوصیات جریان و رسوب تاثیر می‌گذارد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۹۰). مقدار رواناب، فرسایش و انتقال رسوب بسته به شرایط هیدرولوژیکی، خاک و پوشش در سطح حوضه تغییر می‌کند و این باعث می‌گردد که شبیه‌سازی فرایندهای فوق نیازمند ارائه اطلاعات لازم از چگونگی تغییرات مکانی این عوامل باشد .یکی از روش‌های نوین برآورد رسوب که امروزه بسیار مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی است که در مهر و موم‌های اخیر توسعه زیادی یافته است (نظری و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۲۲). 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 نیمه‌توضیعی SWAT. در دهه‌ی اخیر در نقاط مختلف جهان از مدل SWAT استفاده‌های مختلفی شده است. نایکو و همکاران[1] (۲۰۱۳) با استفاده از مدل SWAT میزان بار رسوب در حوضه‌ی دانوب را برآورد کردند. براساس ارزیابی آنها با وجود کمبود داده‌های رسوب برای کالیبراسیون مدل، این مدل می‌تواند برای بررسی تأثیر مدیریت رسوب تحت شرایط فعلی و تغییرات آب وهوا مناسب میباشد .بسیاری از مطالعات مدلسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سری‌های زمانی تصاویر سنجش از دور برای استخراج پارامترهای تأثیرگذار بر تبدیل کاربری‌ها به صورت تجربی در سراسر منطقه انجام می‌گیرد (گانوی و لاثروب، ۲۰۰۵: ۲۷۹)[2]. در واقع مدل ابزار بسیار خوبی برای فهم و درک بهتر و سریع‌تر پیچیدگی‌های یک سیستم است (کومن و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۹۰)[3]. امروزه با توجه به عوامل زیادی گسترش جمعیت و شهرنشینی رو به افزایش است و به دنبال آن گسترش شهری می‌تواند به تغییرات کاربری زمین منجر شود (سپهری و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۹). با افزایش و پیشرفت این تغییرات در مناطق شهری، گستره‌ای از تغییرات زیست محیطی دیده می‌شود که بیشتر در ارتباط با تغییر کاربری زراعی و تخریب پوشش گیاهی در مناطق شهری است (گواردل و همکاران، ۱۹۸۵: ۱۳۱)[4]. در واقع آگاهی از پوشش سطح زمین و فعالیت‌های انسانی در قسمت‌های مختلف آن و به بیان دیگر نحو ه‌ی استفاده از زمین، به عنوان اطلاعات پایه برای برنامه‌ریزی‌های مختلف، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (خدابنده‌لو و همکاران، ۱۳۹۸: ۷۶). ارزیابی تغییرات کاربری و پوشش اراضی، به عنوان یکی از اصلی‌ترین تکنیک‌های ارزیابی تغییرات محیطی مطرح بوده و نقش عمده‌ای را در برنامه‌ریزی‌های

1- Nyeko-Ogiramoi, P.,
2- Conway & Lathrop
3- Koomen et al.,
4- Goward & et al.

محیطی ایفا نموده است (اخوان قالیباف و همکاران، ۱۳۹۸: ۹۸). در ارتباط با پیشینه تحقیق، می‌توان به پژوهش‌هایی اشاره کرد که از جمله: سامرلوت و همکاران[1] (۲۰۱۳) با استفاده از یک مطالعه مقایسه‌ای دقت سه مدل هیدرولوژیکی SWAT، HIT1 و 2RUSLE2 را در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی در مقیاس حوضه‌ای با شاخص‌های آماری P-factor و R-factor با هم مقایسه نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل SWAT با P-factor برابر ۰/۵۱ و R-factor برابر ۰/۳۱ از بیشترین دقت در بین ۳ مدل برخوردار است. مرادی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی تأثیر تغییرات کاربری در حوضه‌ی گالیش استان گلستان بر روی رسوب و دبی با مدل SWAT پرداختند. مدل مذکور برای شبیه‌سازی، واسنجی و اعتبارسنجی و در نهایت بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر بر دبی و رسوب در یک دوره‌ی ۲۷ ساله مورد استفاده قرار گرفت. لی و همکاران[2] (۲۰۰۷) در تحقیق خود در حوضه‌ای در غرب آفریقا با استفاده از مدل SWAT نشان دادند که تغییر مناطق با کاربری جنگل، مرتع و بوته‌زار به اراضی کشاورزی و یا مناطق شهری باعث تغییر شرایط هیدرولوژی طبیعی در یک حوضه آبریز می‌شود و نتیجه این تغییر به صورت افزایش در حجم رواناب سطحی، کاهش تغذیه‌ی منابع آب زیرزمینی و آب پایه رودخانه‌ها می‌باشد. عباسپور و همکارانش[3] (۲۰۰۷) با استفاده از مدل SWAT اقدام به شبیه‌سازی تمام پروسه‌های مؤثر بر کمیت آب، رسوب و بارهای مواد مغذی در حوضه تور با مساحتی حدود ۱۷۰۰ کیلومترمربع واقع در شمال شرق کشور سوئیس نمودند. میشرا و همکاران[4] (۲۰۰۷) با استفاده از مدل SWAT اقدام به شبیه‌سازی رواناب و روسوب در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه در یک حوضه کوچک در کشور هند نمودند. 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. 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. 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. تغییرات شدید کاربری اراضی می‌تواند از طریق افزایش جریان سیلاب، فرسایش و رسوب یا از طریق کاهش آنها باعث اختلال در سیستم هیدرولوژیکی بشود (مرادی و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۹۰). همچنین منابع طبیعی منطقه‌ی آذربایجان به دلیل دارا بود سطح قابل توجهی از اراضی مستعد، 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 مناطق توجه بشود. در همین راستا پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر تغییرات

1-Sommerlot, A & et al.
2-Li, K,Y, & et al.
3-Abbaspour, K.C.
4-Mishra, A., & et al.

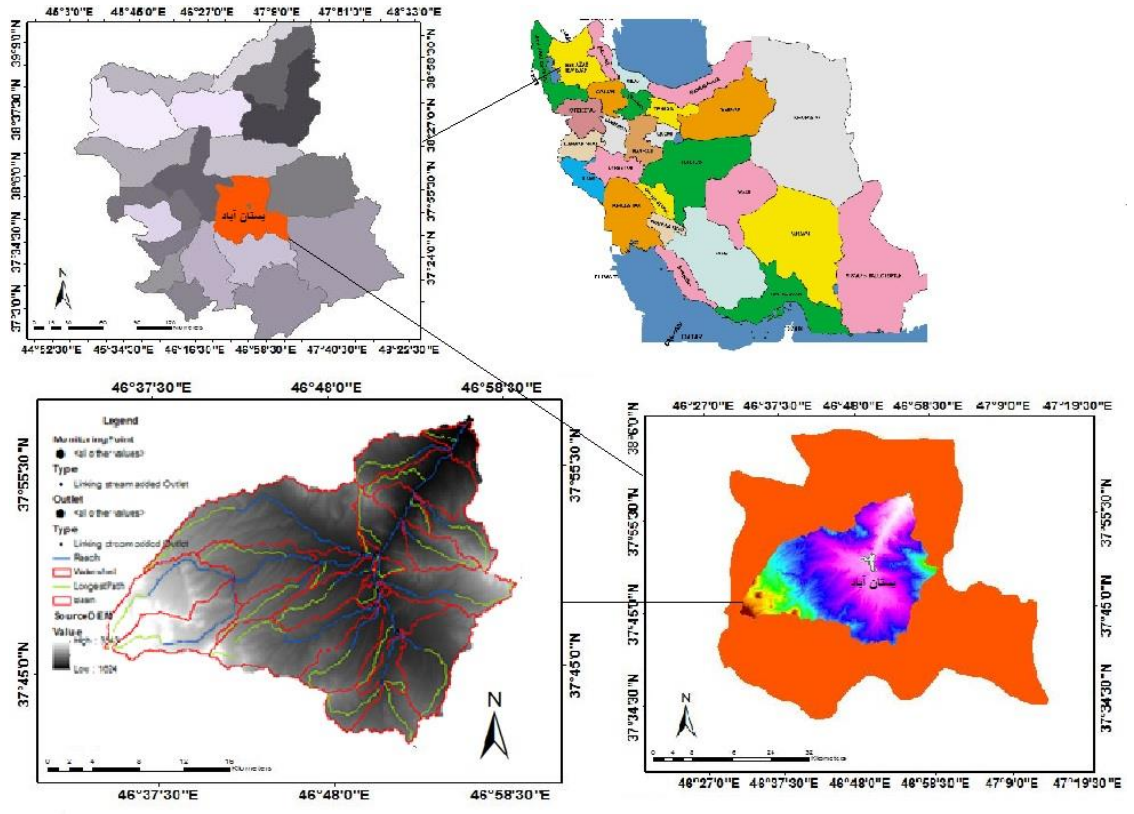
کاربری اراضی بر روی دبی و رسوب آبریز اوجان‌چای با استفاده از مدل نیمه‌توضیعی SWAT طی دوره ۲۹ساله انجام شد و نتایج نشان داد که تغییرات مولفه‌های بررسی شده در این پژوهش تأثیر مهمی در منطقه‌ی مورد مطالعه در طی ۲۹ سال گذشته گذاشته است که اگر همین روند ادامه یابد تخریبات زیست محیطی فراوانی به‌جای خواهد گذاشت که درواقع این پژوهش با هدف آشکارسازی تغییرات منطقه انجام شد که قبلاً چنین پژوهشی برای منطقه‌ی اوجان چای صورت نگرفته بود، امید است از نتایج این پژوهش استفاده بهینه برده شود.

۲-مواد و روش

۲-۱-معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز رودخانه اوجان‌چای در دامنه‌های شرقی سهند واقع شده است و آب‌های دامنه‌ی شرقی این توده کوهستانی را زهکشی می‌کند. این رودخانه به طول ۳۵/۷۷ کیلومتر و با مساحت حوضه آبریز۷۲۶۳۹/۴۲ هکتار در مختصات جغرافیائی ۳۷ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقـــی از نصف‌النهار گرینویچ در شمال غربی ایران گسترش یافته است. این رودخانه پس از زهکشی بخشی از دامنه شرقی کوهستان سهند در نهایت به رودخانه‌ی آجی‌چای تبریز می‌ریزد. بیشترین ارتفاع حوضه ۳۴۷۸ متر و پایین ترین ارتفاع در بخش خروجی حوضه به ارتفاع ۱۵۲۸متر میباشد.. محدوده‌ی حوضه با استفاده از لایه‌ی رقومی ارتفاعی نوع ASTER[1] با استفاده از توابع ARC Hydro استخراج گردیده است. با توجه به مواد خروجی که فوران‌های توده سهند در زمین‌های اطراف به جای گذاشته است، زمین‌های حاصلخیزی به وجود آورده و کمک شایانی به کشاورزی منطقه داشته است. واحدهای زمین‌شناسی منطقه اکثر از نوع توف، براش و پوموش آتشفانی و گدازه‌های تراکی-آندزتی می‌باشد. واحدهای توپوگرافیکی متشکل از کوهستان، فلات و دشت می‌باشند که این واحدها در حوضه‌ی مورد مطالعه قابل شناسایی هستند. حوضه آبریز دارای متوسط ارتفاع و متوسط بارش سالانه ۲۰۴۳/۷ متر و ۳۰۷/۵۹ میلی‌متر با متوسط دمای ۱۲/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. حداکثر و حداقل دمای مطلق حوضه‌ی مطالعاتی به ترتیب ۴۱ و ۱۹/۵- درجه سانتی‌گراد است و منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر اقلیم‌بندی به روش دومارتن دارای اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، ۱۳۹۳). و آبخیزداری آ-ش). شکل ۱ منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

1-Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection



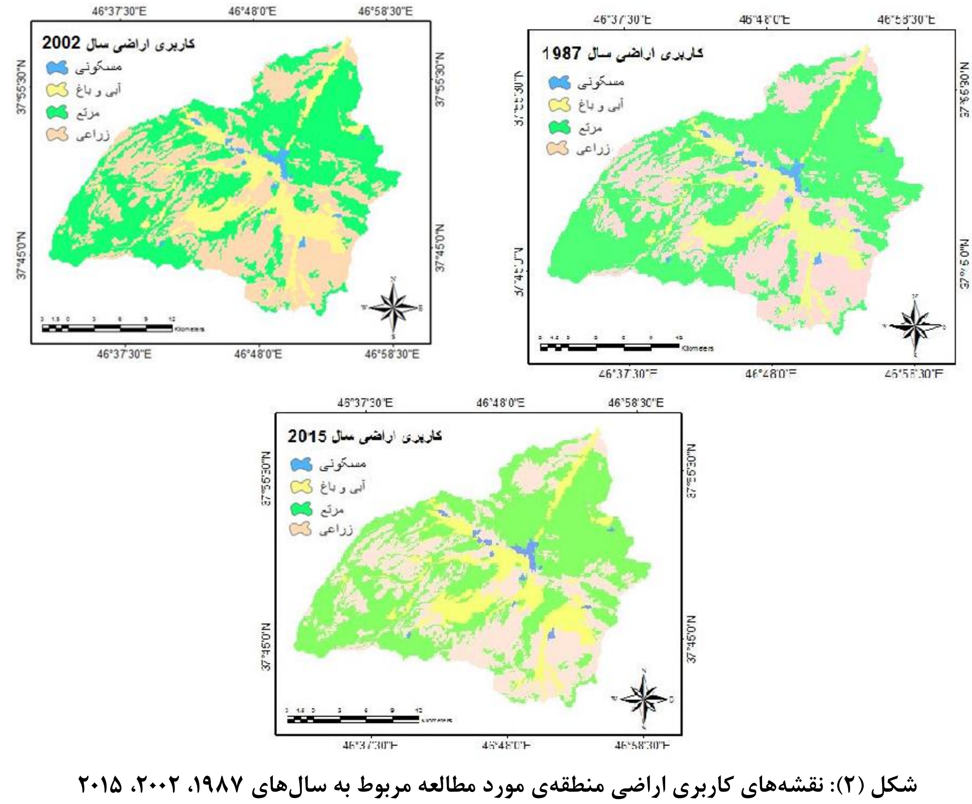
شکل (۱): موقعیت منطقه‌ی (محدوده) مورد مطالعه
Fig (1): The study area

۲-۲-روش تحقیق

به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی، از تصویر ماهواره‌ای لندست ۵ (TM) سال ۱۹۸۷و لندست ۷ (ETM^{+})[1] سال ۲۰۰۲و لندست۸ (ETM^{+}) برای سال ۲۰۱۵ استفاده شده است. از مدل رقومی ارتفاعی استر برگرفته شده از مشاهدات جهانی سازمان زمین‌شناسی امریکا[2] با اندازه پیکسل ۳۰ متری برای استخراج حوضه و تصحیح توپوگرافیکی تصویر انجام شد. بدین منظور مراحل پیش‌پردازش که شامل تصحیحات اتمسفری، هندسی و ارتفاعی است، بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. بعد از برش منطقه‌ی مطالعاتی از روی تصویر، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰و از طریق بازدید زمینی و تفسیر بصری، مناطق تعلیمی برای هر کلاس کاربری در دو مرحله‌ی قبل از طبقه‌بندی و بعد از طبقه‌بندی برداشت شد. در این مرحله سعی شد انتخاب مناطق تعلیمی از پراکنش خوبی برخوردار باشد. در مرحله‌ی بازدید میدانی از طریق مصاحبه حضوری با ساکنان منطقه،

1-Enhanced Thematic Mapper Plus
2-The USGS Global Visualization Viewer

جهت تعیین نقاط تعلیمی با استفاده از GPS، چندین نقطه که از کاربری آنها در سال ۱۳۶۶و ۱۳۸۰ اطمینان حاصل شده بود، استفاده شد. با در نظر گرفتن تفکیک‌پذیری باندها، باندهای مناسب برای طبقه‌بندی ۵، ۴و ۷ انتخاب شد. تصاویر مربوط به سال‌های مورد نظر به فرمت پلیگون تبدیل شده، مساحت پوشش‌های مورد نظر محاسبه شد. سپس تصاویر پوشش هر سال مورد طبقه‌بندی مجدد قرار گرفت و نقشه‌های نهایی هر سال به ۴ طبقه تقلیل یافت. در ادامه هر تصویر به فرمت‌برداری تبدیل و مساحت کاربری‌های آن به دست آمد. با وارد کردن جداول اطلاعات توصیفی هر سال به نرم‌افزار اکسل روند تغییرات مساحت پوشش‌های زمین در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۸۷تا ۲۰۱۵ تخمین زده شد. در راستای کاهش تعداد طبقه‌ها و ساده‌سازی روند محاسبات کلیه‌ی طبقه‌های مربوط به کاربری مرتعی مثل مراتع درجه ۱، مراتع درجه ۲و مراتع درجه ۳ همگی تحت عنوان یک طبقه واحد مرتع بررسی شده‌اند و از طرفی مراتع منطقه‌ی مورد مطالعه اکثراً از نوع ضعیف تا متوسط بودند و این خود دلیلی بر ادغام طبقات گردید. همچنین دو طبقه اراضی کشاورزی آبی و باغی به یک طبقه اراضی کشاورزی آبی و باغی تقلیل یافتند. جدول (۱) کلاس‌های قدیم و جدید تصاویر لندست را نشان می‌دهد.



شکل (۲): نقشه‌های کاربری اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه مربوط به سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲، ۲۰۱۵
Fig (2): Land use maps of the study area related to the years 1987, 2002, 2015

جدول (۱): کلاس‌های قدیم و جدید لندست
Table (1): Old and new Landsat classes

کلاس‌های قدیمی	IGBP (Type 1)	کلاس‌های جدید
۱	مناطق مسکونی	۱
۲	کشاورزی آبی	۲
۲	مناطق باغی	۲
۴	اراضی زراعی دیم	۳
۵	مرتع درجه ۱	۴
۶	مرتع درجه ۲	۴
۷	مرتع درجه ۳	۴

شاخص پوشش گیاهی[1] (NDVI) ، شاخص خاک بایر[2] (BI) و تحلیل مؤلفه اصلی(PCA) به عنوان باند ورودی در طبقه‌بندی‌ها شرکت داده شد و دقت آنها مورد بررسی قرار گرفت.

نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاعی: جهت تهیه‌ی DEM محدوده حوضه از لایه رقومی ارتفاعی نوع ASTER[3] با استفاده از توابع ARC Hydro استخراج گردیده است. مدل SWAT با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی که به عنوان ورودی به مدل معرفی میگردد، نقشه شیب، شبکه جریان، تعداد زیرحوضه‌ها، تعداد واحدهای پاسخ هیدرولوژیک و خصوصیات مورفومتری حوضه را محاسبه می‌کند.

داده‌های هواشناسی: در محدوده‌ی مورد نظر ۱۰ ایستگاه باران‌سنجی و تبخیر سنجی وجود دارد که از اطلاعات دما و بارش روزانه ۲۹ سال این ایستگاه‌ها استفاده شد (داده‌های آب منطقه‌ای آ-ش).

جدول (۲): ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در تحقیق حاضر (مأخذ: داده‌های سازمان آب منطقه‌ای آ-ش)
Table (2): Sinoptic stations for study area

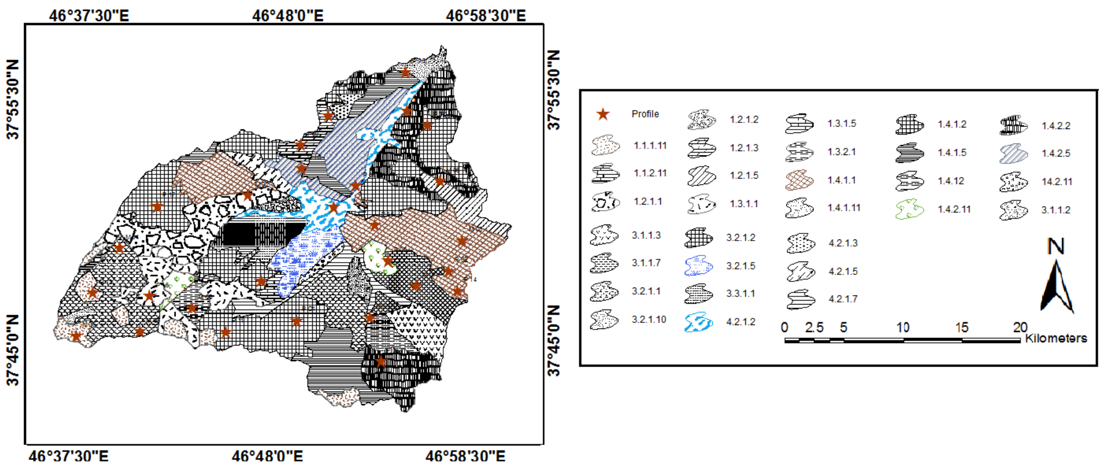
ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	سال تأسیس	دوره‌ی آماری
۱	تبریز	۴۶ ۱۷	۳۸ ۰۵	۱۳۶۴	۱۹۵۱	۱۳۳۰ -۱۳۸۷
۲	سراب	۴۷ ۲۳	۳۷ ۵۶	۱۶۸۲	۱۹۸۶	۱۳۶۵ – ۱۳۸۷
۳	میانه	۴۷ ۴۲	۳۷ ۲۷	۱۱۱۰	۱۹۸۷	۱۳۶۷ – ۱۳۸۷
۴	سهند	۴۶ ۰۷	۳۷ ۵۶	۱۶۴۱	۱۹۹۰	۱۳۷۵ – ۱۳۸۷
۵	بستان آباد	۴۶ ۵۱	۳۷ ۵۱	۱۷۵۰	۱۹۷۶	۱۳۵۵ – ۱۳۸۷

1- Normalize Difference Vegetation Index
2- Bare Soil Index
3-Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection

جدول (۳): ایستگاه‌های بارانسنجی مورد استفاده در تحقیق حاضر (مأخذ: داده‌های سازمان آب منطقه‌ای آ-ش)
Table (3): precipitation stations for study area

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	سال تاسیس
۱	زینجناب	۴۶ ۱۶	۳۷ ۵۱	۲۱۱۰	۱۳۴۵
۲	اسفهلان	۴۶ ۰۷	۳۷ ۵۹	۱۴۰۰	۱۳۴۶
۳	چرمخوران علیا	۴۶ ۵۹	۳۷ ۴۵	۲۰۶۶	۱۳۴۹
۴	باشسیز اوجان	۴۶ ۴۴	۳۷ ۴۲	۱۸۵۰	۱۳۴۹
۵	آغچه کهل زمان	۴۶ ۴۸	۳۷ ۴۱	۱۹۰۰	۱۳۴۹
۶	ذوالبین	۴۶ ۵۳	۳۷ ۲۸	۱۶۱۲	۱۳۷۳

نقشه‌ی خاک: شکل ۳ نقشه‌ی بافت خاک منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌هد که با استفاده از نقشه‌ی بافت خاک و اطلاعات لایه‌های خاک سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، ۱۳۹۳ و آبخیزداری استان آ-ش تهیه شد.



شکل (۳): پروفیل‌های برداشت شده و نقشه‌ی خاک حاصله (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، ۱۳۹۳ و آبخیزداری آ-ش)
Fig (3): Profiles and resulting soil map

داده‌های مشاهداتی مربوط به اقلیم و هیدرومتری: داده‌های مشاهداتی مربوط به اقلیم و هیدرومتری پژوهش حاضر عبارتند از: داده‌های دبی و رسوب رودخانه‌ای ایستگاه‌های بستان‌آباد و دیزناب، داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک تبریز، سراب، میانه، سهند و بستان‌آباد و داده‌های بارانسنجی ایستگاه‌ها در بازه‌ی زمانی ۱۹۸۷-۲۰۱۵ لازم به ذکر است که داده‌های رسوب از سال ۱۹۸۷-۲۰۱۵ مورد استفاده قرار گرفت و تاریخ‌هایی که با وجود برداشت دبی، برداشت رسوب صفر بود از بررسی‌ها حذف شد.

آماده‌سازی و فرایند اجرای مدل: با توجه به راهنمای مدل طی مراحل کار ابتدا مدل رقومی ارتفاع محل به مدل معرفی شده و شبکه‌ی 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 ۱۰۰۰۰هکتار که مدل به عنوان پیش فرض در نظر گرفت برای تشکیل زیرحوضه ها و شبکه آبراهه ای که معرف شرایط حوضه باشد با در نظر گرفتن محدودیت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری تعیین شد. مدل با توجه به شرایط تعیین شده تعدادی زیر حوضه وHRU را برای منطقه مورد مطالعه در نظر گرفت. جهت تشکیل مرزها محل ایستگاه هیدرومتری به عنوان خروجی آبریز تعریف و مرزها تشکیل شد. در مراحل بعدی نقشه‌ی کاربری اراضی با ۴ کلاس و خاک با ۳ کلاس به کمک کدهایی به مدل معرفی شد. مدل این نقشه‌ها را به نقشه‌های رستری با اندازه‌ی سلول‌هایی برابر مدل رقومی ارتفاع تبدیل می‌کند. به کمک مدل رقومی ارتفاع نقشه‌ی شیب تهیه شد. از تلفیق این سه لایه، نقشه‌ی واحدهای پاسخ هیدرولوژیک بدست می آید. با توجه به روشهایی که در برآورد رواناب و تبخیر و تعرق در نظر گرفته شد، مدل SWAT به داده‌ی بارش روزانه و حداقل و حداکثر دمای روزانه نیاز دارد. در این تحقیق از داده های ایستگاه‌های تبریز، باشسیز اوجان، سراب، میانه، سهند و بستان‌آباد استفاده شد. این داده‌ها به صورت فایل های با فرمت dbf تهیه و در اختیار مدل قرار گرفت. همچنین مختصات و ارتفاع محل قرارگیری ایستگاه های دما و بارش و نیز محل ایستگاه تولید کننده‌ی اقلیمی ایستگاهی که به کمک داده‌های فایل userwgn.dbf برای مدل تهیه شد با این فرمت تهیه شد (به دلیل طولانی تر بودن دورۀ آماری ایستگاه بستان آباد داده های این ایستگاه وارد مدل شد) و در مرحله بعد در اختیار مدل قرار گرفت. در این پژوهش ۵ سال اول برای دوره گرم کردن مدل استفاده شد. در این دوره به مدل اجازه داده می‌شود مقدار اولیه‌ای برای پارامترها انجام دهد و سپس روش مناسبی برای شروع مقادیر متغیرهای مدل در پیش گیرد. دوره‌ی گرم کردن اهمیت زیادی در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی دارد، به این دلیل که شرایط اولیه، مخصوصاً رطوبت خاک در بسیاری از شرایط در سطح حوضه نامشخص است. پس از جمع‌آوری داده‌های ایستگاه هیدرومتری، ایستگاه‌های هواشناسی منطقه، اطلاعات هیدرولوژی و خاکشناسی و همچنین تهیه نقشه‌های کاربری اراضی ابتدا مدل ARC SWAT به صورت ماهانه اجرا شد و فایل خروجی آن جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل و پارامترها، وارد برنامه SWATCUP 5.1.6.2 شد. با توجه به توصیه محققان از جمله مرادی و همکاران (۱۳۹۷)، حبیبی و گودرزی (۱۳۹۷) با استفاده از سه چهارم داده‌های ایستگاه هیدرومتری و استفاده از تکرارهای ۵۰۰ بار شبیه‌سازی در ۴ مرحله تکرار به روش لاتین هایپر کیوب کالیبره شد (۱۹۸۷-۲۰۰۲) تابع ناش ساتکلیف به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شد و ۳۲ پارامتر مؤثر بر دبی و رسوب که برای واسنجی و اعتبارسنجی انتخاب شد، با هر بار شبیه‌سازی دامنه پارامترها تعدیل گردید و در نهایت مقدار حساسیت پارامترها سنجیده شد. در مرحله‌ی بعد با پارامترهایی که واسنجی انجام شد به عنوان پارامترهای بهینه اعتبارسنجی نیز صورت گرفت (۲۰۰۲-۲۰۱۵)

پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل با ثابت در نظر گرفتن تمام پارامترها به غیر از نقشه‌ی کاربری اراضی از جمله پارامترهای اقلیمی و همچنین، خاک و مدل رقومی ارتفاعی که برای تمامی دوره‌ها داده‌های آنها از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۸ ثابت در نظر گرفته شدند برای دو دوره‌ی دیگر در سال‌های ۱۹۸۷و ۲۰۰۲ نیز با نقشه‌ی کاربری جدید مدل اجرا شد. سپس نتایج حاصله در هر سه مقطع زمانی با یک دیگر مقایسه و ارزیابی شد. جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT از روش SUFI2 در برنامه SWAT-CUP استفاده شد. روش SUFI2 به منظور واسنجی مناسب و تحلیل عدم قطعیت بدون نیاز به تکرارهای زیاد طراحی شده است (یانگ و همکاران[1]، ۲۰۰۸: ۱۸) در این نرم افزار ابتدا یک طیف بزرگ عدم قطعیت برای تمام پارامترها در نظر گرفته می‌شود، بنابراین در گام اول تمام پارامترها در محدوده ۹۵ درصد عدم قطعیت قرار می‌گیرند، اما بعد از هر بار شبیه‌سازی این دامنه عدم قطعیت کاهش میباید تا دو شرط زیر برقرار شود (ملو و همکاران[2]، ۲۰۰۸: ۲۴۵): ۱-اگر داده‌های مشاهده‌ای در سطح ppu ۹۵ واقع (p-factor) شوند فاصله ی متوسط بین حد بالا و حد پایین ۹۵درصد 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.۲- ضریب ناش ساتکلیف ابزاری است که اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. مقار ضریب ناش- ساتکلیف بین یک تا منفی بی نهایت تغییر می‌کند. مقدار بهینه این شاخ 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 (ملو و همکاران، ۲۰۰۸: ۲۴۵).

به دلیل وجود خطاهای اندازه‌گیری در ورودی مدل و تأثیر آن در خروجی مدل، همچنین وجود خطا در ساختار مدل و حجم بسیار زیاد پارامترها در مدل‌های توزیعی و نیمه توزیعی که معمولاً قابل شناسایی نیستند، واسنجی مدل‌های هیدرولوژیکی مشکل است. برای رفع این نقیصه در سال‌های اخیر واسنجی مدل از طریق مدل‌سازی معکوس صورت می‌پذیرد. در این روش پارامترهای مؤثر در متغیرهایی مانند دبی یا رسوب، بر اساس داده‌های مشاهداتی واسنجی می‌گردند. با توجه به اینکه اندازه‌گیری چنین پارامترهایی به‌صورت مستقیم و دقیق دشوار و وقت‌گیر است لذا از مدل‌سازی معکوس استفاده می‌شود (عباسپور، ۲۰۰۹). در مطالعه‌ی حاضر از روش SUFI-2 و نرم‌افزار SWAT_CUP جهت آنالیز حساسیت‌ها، واسنجی و اعتبارسنجی مدل هیدرولوژیک حوضه اوجان چای استفاده گردید. این روش تمام عدم قطعیت‌های مدل‌سازی اعم از عدم قطعیت ورودی‌ها، مدل مفهومی، پارامترها و داده‌های اندازه‌گیری شده را در نظر می‌گیرد. در تحقیق حاضر تنظیم مدل طوری بود که واسنجی

1-Yanh. J & et al.
2-Mello .C.R. & et al.

مدل یک بار ولی اعتبارسنجی آن در دو بازه‌ی زمانی متفاوت و با کاربری اراضی متفاوت صورت گرفت تا تأثیر تغییر لایه‌ی کاربری اراضی در اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شود؛ چراکه با توجه به موضوع تحقیق، نیاز به تعویض کاربری اراضی در بازه‌های متفاوت وجود داشت. بدین طریق که شبیه‌سازی و پایه مدل از سال ۱۹۸۵ پایه‌ریزی گردید و تا سال ۱۹۹۰ پنج سال برای گرم کردن[1] مدل با کاربری اراضی ۱۹۸۷ در نظر گرفته شد تا مدل بتواند با داده‌های ورودی سازگار گردد. بازه‌ی زمانی ۱۹۹۰-۱۹۹۴ برای دوره‌ی واسنجی و بازه‌ی زمانی ۱۹۹۵-۱۹۹۹ برای دوره‌ی اعتبارسنجی با کاربری اراضی ۱۹۸۷ در نظر گرفته شد. در مرحله‌ی بعد با کاربری اراضی برای سال ۲۰۰۲ اعتبارسنجی مدل صورت گرفت. طوری که از سال ۱۹۹۹-۲۰۰۳ پنج سال برای گرم کردن مدل و فاصله‌ی سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۱۲ برای اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد. به‌طورکلی برای تمام بازه‌ها (گرم کردن مدل، واسنجی و اعتبارسنجی) ۵ سال مدنظر قرار گرفته است. واسنجی و اعتبارسنجی مدل به‌وسیله‌ی شاخص‌های ضریب تبیین[2] (R^2)، ضریب نش‌ساتکلیف[3] (ENS)، نسبت خطای مجذور ریشه مربعات به انحراف معیار[4] (RSR) و درصد اریبی[5] (PBIAS) صورت گرفت (موریاسی و همکاران[6]، ۲۰۰۷: ۸۸۹). روابط مربوط به این شاخص‌ها در زیر بیان گردیده‌اند (رابطه‌ی ۴-۱).

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{obs}-\overline{Q}_{obs}\right)\left(Q_{sim}-\overline{Q}_{sim}\right)\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{obs}-\overline{Q}_{obs}\right)^2\left(Q_{sim}-\overline{Q}_{sim}\right)^2} \qquad (۱)$$

$$Ens = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{obs}-Q_{sim}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{obs}-\overline{Q}_{obs}\right)^2} \qquad (۲)$$

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{obs}-Q_{sim}\right)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{obs}-\overline{Q}_{obs}\right)^2}} \qquad (۳)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{obs}-Q_{sim}\right)*100}{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{obs}\right)} \qquad (۴)$$

در روابط فوق:

Q_{obs} و Q_{sim} به ترتیب دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، $\overline{Q}_{obs}$ و $\overline{Q}_{sim}$ به ترتیب میانگین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده و n تعداد داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده است (موریاسی و همکاران، ۲۰۰۷). لازم به ذکر است که از این شاخص‌ها برای واسنجی و اعتبارسنجی متغیر رسوب نیز استفاده شد. ارزیابی نتیجه واسنجی

1-Warm up
2-Coefficient of determination
3-Nash-Sutcliffe efficiency coefficient
4-Percent bias
5-Root Mean Square Error-Observations Standard Deviation Ratio
6- Moriasi, et al.

و اعتبارسنجی دامنه‌ی عددی تعیین شده برای هر یک از شاخص‌ها طبق جدول ۳ (موریاسی و همکاران، ۲۰۰۷) صورت گرفت.

جدول (۴): عملکرد عمومی برای هر یک از شاخص‌ها در مقیاس ماهانه

Table (4): General performance for each of the indicators on a monthly scale

Simulation Performance	RSR	NSE	PBIAS(%)
Very good	0/0 ≤ RSR ≤0/50	0/75 < NSE ≤1/00	PBIAS < ±10
Good	0/50 < RSR ≤ 0/60	0/65 < NSE ≤ 0/75	±10 ≤ PBIAS < ±15
Satisfactory	0/60 < RSR ≤ 0/70	0/50 < NSE ≤ 0/65	±15 ≤ PBIAS < ±25
Unsatisfactory	RSR > 0/70	NSE ≥ 0/50	PBIAS ≥ ±25

۳-یافته‌ها و بحث

۳-۱-واسنجی و صحت‌سنجی مدل

با توجه به شرایط تعیین شده برای مدل، زیر حوضه ها و واحدهای پاسخ هیدرولوژیک به دست آمد. پس از اولین اجرای مدل ARC-SWATدر محیط ARC-GIS، برای کاربری سال ۲۰۱۵ به‌عنوان کاربری فعلی با استفاده از داده‌های ماهانه دبی و رسوب ایستگاه هیدرومتری اوجان چای واقع، 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 ۵۰۰ تایی شبیه‌سازی، با بررسی پارامترهای حساس و حذف پارامترهای غیرحساس به منظور سریع‌تر شدن فرآیند شبیه‌سازی تعداد ۳۳ پارامتر برای انجام عمل واسنجی انتخاب شدند. برای واسنجی مدل SWAT در برنامه SUFI2 هر پارامتر یک دامنه اولیه دارد که به صورت پیشفرض برای پارامترها در نظر گرفته می‌شود. همچنین هر پارامتر یک مقدار نهایی دارد که بعد از واسنجی مشخص می‌شود (مرادی و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۹۰). در جدول شماره ۵ 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 براساس داده‌های ورودی ایستگاه هیدرومتری، دامنه‌های پارامترها را تغییر می‌دهد. مقادیر اولیه پارامترها بر اساس راهنمای مدل SWAT انتخاب می‌شوند که لزوماً مقادیر نهایی نباید در بازه‌ی مقادیر اولیه باشند (عباسپور، ۲۰۰۹).

جدول (۵): مشخصات، حدود اولیه و مقدار نهایی پارامترهای حساس مدل در شبیه‌سازی رواناب و دبی وبارمعلق

Table (5): Specifications, initial limits and final values of model sensitive parameters in simulation of runoff and flow and suspended load

ردیف	پارامترها	پایگاه داده‌پارامترها*	شرح پارامتر	حداقل	حداکثر	مقداربهینه
۱	R**-OV_N	hru	ضریب مانینگ جریان روزمینی[1]	۲/-۰	۲/۰	۰/۱
۲	V***_ESCO	hru	ضریب تصحیح تبخیر از خاک	۷/۰	۹۵/۰	۰/۸۶
۳	V_EPCO	hru	ضریب جبران جذب گیاه	۷/۰	۰/۱	۰/۶
۴	R_SOL_K(1-4)	sol	هدایت هیدرولیکی خاک (m/hr)	۴/۰-	۴/۰	۰/۲
۵	R_SOL_BD(1-4)	sol	چگالی ظاهری خاک (g/cm^3)	۲/۰-	۲/۰	۰/۱
۶	R_SOL_AWC(1-4)	sol	ظرفیت آب در دسترس خاک (mm)	-۰/۲	۲/۰	۰/۱
۷	R_SOL_ALB(1-4)	sol	ضریب آلبدو خاک	۲/-۰	۲/۰	۰/۱
۸	V_SPCON	bsn	پارامتر خطی برای محاسبه حداکثر مقدار رسوب در مسیر کانال	۰۰۰۱/۰	۰۰۵/۰	۰/۰۰۳
۹	V_TIMP	bsn	ضریب تأخیر دمای حد برف	۷/۰	۰/۱	۰/۴
۱۰	V_SMFMN	bsn	حداکثر دمای ذوب برف در (c°)	۳	۶	۴
۱۱	V_SMFMX	bsn	حداقل دمای ذوب برف (c°)	۳	۶	۳
۱۲	V_PRF	bsn	ضریب تعدیل کننده نرخ پیک رسوب در کانال اصلی	۳/۰	۰/۱	۰/۲
۱۳	V_MSK_CO1	bsn	ضریب واسنجی زمان ذخیره برای جریان نرمال در روش ماسکینگهام	۵/۰	۰/۵	۳/۰
۱۴	V_SFTMP	bsn	متوسط دمای هوا برای تبدیل باران به برف (c°)	۸/۰	۸/۱	۱/۲
۱۵	V_MSK_CO2	bsn	ضریب واسنجی زمان ذخیره برای جریان کم در روش ماسکینگهام	۲/۰	۰/۵	۰/۳
۱۶	V_SURLAG	bsn	زمان تأخیر رواناب سطحی (hr)	۰/۲	۲۵	۱۴
۱۷	V_SMTMP	bsn	دمای ذوب توده برف (c°)	۲/۰	۰/۱	۰/۲
۱۸	V_CH_N2	Rte	ضریب مانینگ آبراهه اصلی هر حوضه	۰۱/۰	۳/۰	۰/۰۲
۱۹	V_CH_K2	Rte	هدایت هیدرولیکی مؤثر در کانال اصلی (mm/hr)	۵۰	۹۰	۸۵
۲۰	R_CN2	mgt	شماره منحنی رواناب در شرایط رطوبتی متوسط	۳/۰-	۳/۰	۰/۲
۲۱	V_PLAPS	sub	افزایش بارندگی بر اثر ارتفاع(mm/km)	۹۰	۱۲۲	۱۰۳
۲۲	V_USLE_P	mgt	فاکتور اقدامات حفاظتی در مدل فرسایش	۱/۰	۷/۰	۰/۴
۲۳	R_USLE_K(1-4)	sol	فاکتور K در مدل فرسایش جهانی	۲/-۰	۲/۰	-۰/۱
۲۴	R_HRU_SLP	hru	متوسط شیب تند (mm/mm)	۲/۰-	۲/۰	-۰/۱
۲۵	V_LAT_SED	hru	تمرکز رسوب در جریان زیرسطحی و آب‌های زیرزمینی(mg/L)	۳	۳۰	۱۸
۲۶	V_CH_COV2	Rte	ضریب پوششی کانال	۰	۱	۰/۹۹
۲۷	V_CH_COV1	Rte	ضریب فرسایش‌پذیری کانال	۰	۶/۰	۰/۲
۲۸	V_CH_S2	Rte	میانگین شیب در کانال اصلی (m/m)	۱/۰	۵	۳
۲۹	R_SLSUBBSN	Hru	متوسط طول هر شیب (m)	۳/-۰	۳/۰	۰/۱
۳۰	R_USLE_C	crop	مقدار حداقل برای فاکتور پوشش گیاهی در مدل فرسایش	۲/۰-	۲/۰	۰/۱
۳۱	V_SPEXP	Bsn	ضریب ویژه برای محاسبه رسوب دوباره وارد شده به کانال	۰۱/۰	۰/۱	۰/۰۱
۳۲	V_ROCK	Sol	درصد سنگ در خاک	۰/۰	۶۰	۲۰
۳۳	v__ALPHA_BF	gw	فاکتور آلفا در جریان پایه روز	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۱۸

* hru = واحد واکنش هیدرولوژیک، sol = خاک، gw = آب‌های زیرزمینی، bsn = حوضه، rte = ویژگی‌های فیزیکی کانال اصلی، sub = زیرحوضه

** R = ضرب عدد به دست آمده (a) در اعداد موجود در پایگاه داده (x) به‌صورت ((x+(x*a)

V*** = جایگذاری به‌جای اعداد موجود در پایگاه داده

1-Overland

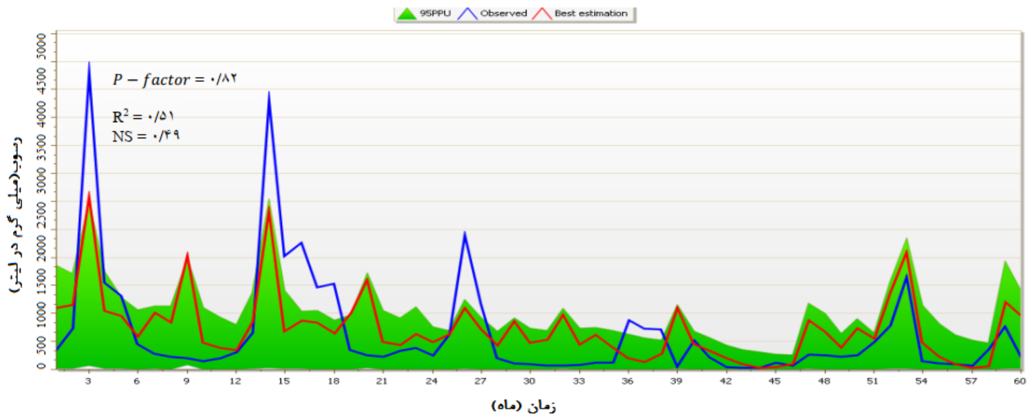
مقادیر ناش ساتکلیف اولیه برای دبی و رسوب به ترتیب ۰/۲ و ۰/۱۲- بهدست آمد که این مقادیر نیاز مدل را برای انجام واسنجی بیان میکند. در جدول ۶ حساسیت نسبی پارامترها در مرحلهی واسنجی و اعتبارسنجی حاصل از اجرای SUFI2 ارائه شده است. در آنالیز حساسیت پارامترها، پارامتری که قدر مطلق مقدار t آن بیشتر باشد حساسیت بیشتری را نشان میدهد. مقدار p نیز معنیدار بودن حساسیت را نشان میدهد. که هر چه به صفر نزدیکتر باشد معنیدارتر است (مرادی وهمکاران، ۱۳۹۷: ۴۹۰). جدول ۶ نتایج آنالیز حساسیت پارمترها را برای دبی و رسوب نشان میدهد.

جدول (۶): نتایج حاصل از آنالیز حساسیت
Table (6): Results of sensitivity analysis

ردیف	حساسترین پارامترها به دبی رسوب	حساسترین پارامترها به دبی جریان
۱	R_CN2 شماره منحنی رواناب در شرایط رطوبتی متوسط	R_CN2 شماره منحنی رواناب در شرایط رطوبتی متوسط
۲	V_SMFMX حداقل دمای ذوب برف (c°)	V_CH_N2 ضریب مانینگ آبراهه اصلی هر حوضه
۳	V_SMTMP دمای ذوب توده برف (c°)	V_SPCON پارامتر خطی برای محاسبه حداکثر مقدار رسوب در مسیر کانال
۴	V_CH_K2هدایت هیدرولیکی مؤثر در کانال اصلی (mm/hr)	V_CH_COV1 ضریب فرسایشپذیری کانال
۵	v__ALPHA_BF فاکتور آلفا در جریان پایه روز	V_USLE_P فاکتور اقدامات حفاظتی در مدل فرسایش
۶	V_LAT_SED تمرکز رسوب در جریان زیرسطحی و آبهای زیرزمینی (mg/L)	R_USLE_K(1-4) فاکتور K در مدل فرسایش جهانی

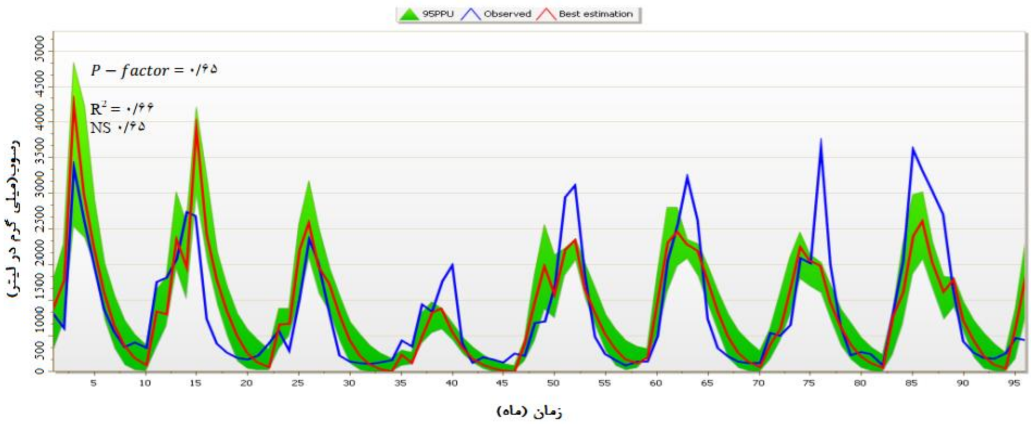
نتایج حاصل از آنالیز حساسیت نشان داد که از ۳۳ پار امتر مورد استفاده در مرحلهی واسنجی، برای دبی جریان هشت پارامتر و برای دبی رسوب ۱۲ پارامتر حساس بودند که در جدول ۶ حساس ترین پارامترها نشان داده شده است. با توجه به رژیم بارانی–برفی حوضهی آبریز اوجان چای، دو پارامتر حساس مدل در برآورد دبی جریان، مربوط به خصوصیات برف میباشد.

با توجه به اینکه در حوضه مورد مطالعه فقط یک ایستگاه هیدرومتری با دادههای کامل وجود داشت، اطلاعات موجود در ایستگاه مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول ۷ و شکل های ۴ و ۵ مقادیر معیارهای ارزیابی مدل در برنامه SWAT-CUP را که حاصل آنالیز شبیهسازی دبی و رسوب آبریز اوجان چای، در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی است، نشان داده شده است.



شکل(۴): نتایج واسنجی رسوب در حوضه اوجان چای بستان آباد

Fig (4): Results of sediment calibration in Ojan Chay Bostanabad basin



شکل(۵): نتایج اعتبارسنجی رسوب در حوضه‌ی اوجان چای بستان‌آباد

Fig (5): Results of sediment validation in Ojan Chay Bostanabad basin

جدول (۷): مقادیر معیارهای ارزیابی مدل در برنامه SWAT-CUP

Table (7): Values of model evaluation criteria in SWAT-CUP program

	اعتبارسنجی		واسنجی	
معیار	رسوب	دبی	رسوب	دبی
ناش ساتکلیف (NS)	۰/۶۵	۰/۷۰	۰/۴۹	۰/۵۵
ضریب تعیین (R2)	۰/۶۶	۰/۷۲	۰/۵۱	۰/۷۶
r-factor	۱/۸۲	۱/۵۵	۱/۶۵	۱/۳۴
p-factor	۰/۶۵	۰/۷۷	۰/۸۲	۰/۸۷
PBIAS	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱۲
RSR	۰/۵۱	۰/۵۸	۰/۶۳	۰/۵۸

مطابق جدول ۷ مقادیر ضریب NSE برای دبی جریان و رسوب در دوره‌ی اعتبارسنجی بر اساس معیارهای (ASCE، ۱۹۹۳) می‌توان گفت که شبیه‌سازی دبی و رسوب توسط مدل SWAT در حوضه‌ی آبریز اوجان چای به ترتیب در کلاس کارایی خیلی خوب و خوب قرار می‌گیرند. ضریب R2 در اکثر موارد، بیانگر تبیین درصد بالای واریانس مقادیر دبی و رسوب (بالاتر از ۵۰درصد) به وسیله‌ی مدل SWAT می‌باشد. مقادیر PBIAS و RSR در مورد دبی نسبت به رسوب خیلی کم بوده و بیانگر دقت بالاتر مدل در تخمین دبی ماهانه جریان یا مطابقت بیشتر مقادیر تخمینی با داده‌های مشاهده‌ای می‌باشد. با توجه به جدول و شکل‌های ۴ و ۵ ۷ مقادیر R2 در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی برای شبیه‌سازی دبی جریان به ترتیب برابر ۰/۶۶ و۰/۵۱ و برای تخمین دبی رسوب برابر ۰/۷۶ و ۰/۷۲ می‌باشند که بیانگر کارایی رضایت بخش مدل در شبیه‌سازی رواناب و رسوب در هر دو مرحله است. همچنین مقادیر P-factor در این مراحل به ترتیب برابر ۰/۶۵ و ۰/۸۲ می‌باشد. در طول زمان، الگوهای پوشش زمین و به تبع آن کاربری اراضی دچار تغییر و دگرگونی اساسی می‌شوند و عامل انسانی می‌تواند بیشترین نقش را دراین فرآیند ایفا نماید (اخوان قالیباف و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۰۱) در این تحقیق جهت بررسی تاثیر تغییرات مساحت پوشش زمین بر رسوب و دبی حوضه‌ی آبریز اوجان چای از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵-۷ و ۸ بعد از اعمال تصحیحات لازم استفاده شد. و به بررسی دقت الگوریتم SVM با کرنل چندجمله‌ای و روش حداکثر احتمال در استخراج تغییرات کاربری اراضی در این محدوده پرداخته شد که تبدیل اراضی و تغییرکاربری در سطح آن اتفاق افتاده که مغایر با اصول زیست محیطی و توسعه‌ی پایدار می‌باشد. نتایج حاکی از تغییرات کاربری اراضی در سال‌های مختلف و تبدیل انواع کاربری‌ها می‌باشد. بیشترین تغییرات کاربری اراضی از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ از کاربری زراعی به مرتع و بالعکس مشاهده می‌شود. تغییرات رخ داده به صورت آمار و ارقام در جداول ۶ و ۷ به طور مفصل ارائه شده‌اند. در بین این تغییرات نزدیک به ۹۴ درصد از سطح کاربری‌های قبلی در سال ۱۹۸۷ بدون هیچ‌گونه تغییری در سال ۲۰۰۲ نیز یافت شده‌اند. در واقع تبدیل اراضی از شرایط مرتع به دیم‌زار و زراعی و همچنین از دیم‌زار به مرتع نیز در درجه بعدی اهمیت قرار دارد و در شرایط فعلی بیش از ۵۰ درصد منطقه مرتع می‌باشد. علاوه بر موارد فوق موارد مختلفی در حد زیر یک درصد (اعم از تبدیل اراضی مرتعی به باغات و همچنین باغ به اراضی زراعی نیز به دست آمده است). این ارقام، از یک‌سو می‌تواند نشانه تغییرات در این نوع کاربری‌ها باشد و از سوی دیگر می‌تواند شامل خطاهای مربوط به هر کدام از این کلاس‌های کاربری اراضی باشد. جدول ۸ نتایج مربوط به میزان تغییرات رخ داده در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۲-۱۹۸۷ (۱۳۸۱-۱۳۶۶) را بر حسب هکتار نشان می‌دهد.

جدول(۸): توزیع سطوح انواع کاربری و پوشش اراضی به تفکیک در سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲
Table (8): Distribution of land use types and land cover separately in 1987 and 2002

نوع پوشش گیاهی و کاربری زمین	مساحت هکتار	مساحت در سال ۱۹۸۷ به درصد	مساحت در سال ۲۰۰۲به هکتار	مساحت در سال ۲۰۰۲ به درصد	مساحت میزان تغییرات کاربری و پوشش زمین به هکتار	مساحت میزان تغییرات کاربری و پوشش زمین به درصد
مناطق مسکونی	۹۲۰/۸۷۰	۱/۱۹	۸۵۹۲/۹۱۰	۲۵/۱	۹۳/۳۹	۰۶/۰
اراضی کشاورزی آبی	۹۲۹/۹۶۶۸	۱۳/۳۱	۲۶/۱۰۰۳۸	۱۳/۸۱	۲۷۱/۳۶۹	۰/۵
مرتع	۵۷/۳۷۴۶۸	۵۱/۵۸	۱/۳۶۰۷۲	۴۸/۵۶	-۱۳۹۶/۴۷	۱/۹۳
اراضی زراعی	۰۰۸۲/۲۴۶۳۱	۳۳/۹۰	۱/۲۷۲۹۸	۳۶/۳۸	۰۹۱۸/۲۶۶۷	۳/۶۸
مجموع	۴۲۷۲/۷۲۶۳۹	۱۰۰	۴۲۷۲/۷۲۶۳۹	۱۰۰	-	-

بر اساس نتایج به دست آمده از نقشه‌ی کاربری اراضی در سال ۱۳۶۶ بیشترین کاربری متعلق به اراضی مرتعی و زراعی و همچنین بر اساس نقشه کاربری اراضی سال های ۱۳۸۱و ۱۳۹۵ مشابه سال ۱۳۶۶بیشترین کاربری متعلق به اراضی مرتعی و زراعی می‌باشد. در بین این تغییرات نزدیک به ۹۷ درصد از سطح کاربری‌های قبلی در سال ۲۰۰۲ بدون هیچ‌گونه تغییری در سال ۲۰۱۵ نیز یافت شده‌اند. در واقع تبدیل اراضی از شرایط زراعی به مرتع در این بازه نیز مشهود است .براین اساس مشخص می‌شود که بیشترین حد افزایش، مربوط به کاربری مرتع و برعکس بیشترین کاهش مربوط به کاربری زراعی می‌باشد. جدول ۹ نیز مقادیر کاربری اراضی و میزان تغییرات آنها در منطقه‌ی مورد مطالعه را بر حسب هکتار در طی بازه‌ی زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۲ (۱۳۹۵-۱۳۸۱) نشان می‌دهد.

جدول(۹): توزیع سطوح انواع کاربری و پوشش اراضی به تفکیک در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵
Table (9): Distribution of land use types and land cover separately in 2002 and 2015

نوع پوشش گیاهی و کاربری زمین	مساحت در سال ۲۰۰۲ به هکتار	مساحت در سال ۲۰۰۲ به درصد	مساحت در سال ۲۰۱۵به درصد	مساحت در سال ۲۰۱۵ به درصد	مساحت میزان تغییرات کاربری و پوشش زمین به هکتار	مساحت میزان تغییرات کاربری و پوشش زمین به درصد
مناطق مسکونی	۸۵۹۲/۹۱۰	۲۵/۱	۸۵۹۲/۹۱۰	۲۵/۱	۰	۰
اراضی کشاورزی آبی	۲/۱۰۰۳۸	۸۱/۱۳	۴۳۸/۹۵۳۴	۱۲/۱۳	- ۵۰۳/۷۶۲	-۰/۶۹
مرتع	۱/۳۶۰۷۲	۴۸/۵۶	۵۷/۳۶۷۰۲	۵۲/۵۰	۶۲۸/۴۷	۰/۸۷
اراضی زراعی	۱/۲۷۲۹۸	۳۶/۳۸	۵۶/۲۵۴۹۱	۰۹/۳۵	-۵۱۰۸۶/۵۴	-۲/۴۹
مجموع	۴۲۷۲/۷۲۶۳۹	۱۰۰	۴۲۷۲/۷۲۶۳۹	۱۰۰		

به منظور ارزیابی دقیق تغییرات کاربری اراضی در منطقه‌ی مورد مطالعه روش انطباق جداول و مقایسه‌ی سه تصویر طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵ مورد استناد قرار گرفت. نتایج حاصله نشان‌دهنده‌ی

۱۰/۲۲ درصد تغییر در کاربری اراضی منطقه می‌باشد که بیشترین تغییر مربوط به کلاس اراضی زراعی با ۶/۱۷درصد و کمترین تغییر مربوط به مناطق مسکونی با ۰/۰۶درصد می‌باشد.

۳-۲-بررسی صحت طبقه‌بندی

یافته‌های مربوط به صحت طبقه‌بندی برای تصاویر زمان‌های مختلف مطابق جدول ۱۰ می‌باشد. بر اساس این جدول در هر دو تصویر میزان صحت کلی از میزان ضریب کاپا بیشتر است. از طرف دیگر میزان ضرایب به دست آمده بیانگر این است که تصاویر ماهواره با دقت قابل قبول قادر به تهیه نقشه‌های کاربری اراضی است. بالاتر بودن میزان ضریب صحت کلی نسبت به ضریب کاپا به ماهیت محاسبه ضرایب فوق مربوط است (فاطمی، ۲۰۰۵). معمولاً صحت کلی یک برآوردگر خوش‌بینانه است و بالاتر از مقدار واقعی به‌دست می‌آید در حالیکه ضریب کاپا میزان دقت را نسبت به یک طبقه‌بندی تصادفی محاسبه می‌نماید (لیو و ماسون[1]، ۲۰۰۴: ۲۸۰).

جدول (۱۰): نتایج کلی دقت طبقه بندی تصاویر
Table (10): General results of image classification accuracy

سال	تصویر	صحت کلی ٪	ضریب کاپا
۱۹۸۷	TM	۹۱/۳۸	٪۸۸
۲۰۰۲	ETM^+	۸۵/۴۲	٪۷۶
۲۰۱۵	ETM^+	۸۹/۶۵	٪۸۷

این مقادیر ضریب کاپـا و صحت کلی بالای ۸۰ درصد نشان‌دهنده‌ی این است که به طورکلی توافق خوبی بین طبقه‌بندی و انواع طبقات کاربری موجود در زمین وجود دارد (صالحی و همکاران ۱۳۹۸: ۱۱۰).

جدول (۱۱) : میزان رواناب و رسوب در هر یک از پوشش اراضی حال حاضر
Table (11): The amount of runoff and sediment in each of the current land cover

کاربری اراضی	مساحت (ha)	ضریب رواناب (CN)	حجم رواناب (mm)	غلظت رسوب (ton/ha)
مسکونی	۲۶۰۹۷/۹۳	۴۳/۰۲	۴۳	۷/۰۱
کشاورزی آبی و باغ	۹۷۵/۴۲	۳۷/۵۴	۰/۶۹	۰/۰۰۰۴
اراضی زراعی و دیم	۳۴۳۹۱/۸۸	۶۵/۳۲	۱۷/۲	۱۵/۸۲
مرتع	۹۶۹۷/۴۱	۳۹	۰/۶۱	۰/۴۲

1- Lu, D., Mausel, P.,

این مقادیر با استفاده از نرم‌افزار SWAT Check به دست آمدند. جدول زیر میزان رواناب و غلظت رسوب در کاربری‌های اراضی در دوره‌های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول (۱۲): میزان رواناب و رسوب کاربری اراضی در دوره‌های مختلف

Table (12): The amount of runoff and land use sediment in different periods

کاربری اراضی	تعداد زیرحوضه	تعداد HRU	حجم رواناب (mm)	غلظت رسوب (ton/ha)
سال ۱۹۸۷	۲۷	۴۷۲	۹/۸۵	۸/۹۱
سال ۲۰۰۲	۲۷	۵۴۴	۱۰/۳۹	۹/۲۷
سال ۲۰۱۵	۲۷	۵۷۰	۱۱/۲۸	۱۰/۱۸

با توجه به مقادیر بدست آمده از حجم رواناب و غلظت رسوب در طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ نشان از افزایش هر دو می‌باشد که با توجه به تغییرات کاربری اراضی صورت گرفته در منطقه می‌توان چنین نتیجه گرفت که این امر در افزایش رسوب و غلظت رواناب بی تاثیر نمی‌باشد.

۴-نتیجه‌گیری

بررسی نتایج مدل SWATدر شبیه‌سازی رسوب نشان داد که قابلیت مدل در شبیه‌سازی رسوب خوب است. علیرغم عدم قطعیت زیاد در تعیین رسوب، مدل SWAT توانسته است در دوره‌ی کالیبراسیون و دوره‌ی صحت‌سنجی به خوبی زمان وقوع حداکثر آورد رسوب را شبیه‌سازی نماید. آبریز اوجان‌چای با توجه به کوهستانی بود منطقه، بارش‌های شدید، تغییرات کاربری اراضی رخ داده در آن و همچنین کاربری های موجود که مستعد ایجاد سیل، فرسایش و تولید رسوب هستند، انجام مطالعات شبیه‌سازی رواناب و رسوب ضروری به نظر می‌رسد محققان مختلف از جمله آذرخشی و خلج (۱۳۹۸)، نظری و همکاران (۱۳۹۷) و مرادی و همکاران (۱۳۹۷) نیز به نتایج مناسبی برای توانایی مدل SWATدر آبریزهای 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 داده های اندازه گیری شده در متغیرهای مختلف همزمان انجام گیرد (آذرخشی و خلج، ۱۳۹۸: ۶۹). اولین مرحله در مورد واسنجی مدل انجام آنالیز حساسیت بود. روش‌های مختلفی جهت انجام آنالیز حساسیت وجود دارد که در این تحقیق از نرم‌افزار SUFI2استفاده شد که استفاده از این روش جهت آنالیز حساسیت مدل SWATت وسط محققان زیادی توصیه شده است. بعد از انجام عملیات آنالیز حساسیت پارامترهای حساس به میزان رواناب و رسوب منطقه شناسایی شدند. در مجموع با استفاده بیش از ۴۰ پارامتر آنالیز حساسیت انجام شد و در نهایت ۳۳ پارامتر انتخاب شد. حساس‌ترین پارامترها شامل R_CN2 شماره‌ی منحنی رواناب در شرایط

رطوبتی متوسط، SMFMX حداکثر فاکتور ذوب برف (میلی‌متر آب بر درجه سانتی‌گراد در روز)(USLE_K،) فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در معادله‌ی جهانی فرسایش، ALPHA_BF فاکتور آلفا در جریان پایه (روز)، V_SMTMP دمای ذوب توده برف (c°)، ، V_SPCON پارامتر خطی برای محاسبه حداکثر مقدار رسوب در مسیر کانال، V_CH_K2 هدایت هیدرولیکی مؤثر در کانال اصلی (mm/hr)، V_CH_COV1 ضریب فرسایش‌پذیری کانال، V_USLE_Pفاکتور اقدامات حفاظتی در مدل فرسایش و V_LAT_SED تمرکز رسوب در جریان زیرسطحی و آب‌های زیرزمینی (mg/L) تشخیص داده شدند. با توجه به محدودیت سیستم رایانه‌ای مدل با استفاده از تکرارهای ۵۰۰ بار شبیه‌سازی با ۵۰۰ نمونه‌برداری کالیبره شد. تعداد نمونه‌برداری به روش لاتین هایپرکیوب و با استفاده از مطالعات گذشته و نظر متخصصین انتخاب شد. آخرین شبیه‌سازی ۵۰۰ تایی به کمک ۳۳ پارامتر که تابع هدف قابل قبول با دامنه‌ی عدم قطعیت محدودتری را در اختیار دارند به عنوان نتیجه واسنجی تعیین شد. مقادیر ضریب NSE برای دبی جریان و رسوب در دوره‌ی اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت. می‌توان گفت که شبیه‌سازی دبی و رسوب توسط مدل SWAT در حوضه‌ی آبریز اوجان چای به ترتیب در کلاس کارایی خیلی خوب و خوب قرار می‌گیرند. ضریب R2 در اکثر موارد، بیانگر تبیین درصد بالای واریانس مقادیر دبی و رسوب (بالاتر از ۵۰درصد) به وسیله مدل SWAT میباشد. مقادیر PBIAS وRSR در مورد دبی نسبت به رسوب خیلی کم بوده و بیانگر دقت بالاتر مدل در تخمین دبی ماهانه جریان یا مطابقت بیشتر مقادیر تخمینی با داده های مشاهده‌ای میباشد. مقادیر R2 در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی برای شبیه‌سازی دبی جریان به ترتیب برابر ۰/۶۶و۰/۵۱ و برای تخمین دبی رسوب برابر ۰/۷۶ و ۰/۷۲ می‌باشند که بیانگر کارایی رضایت بخش مدل در شبیه‌سازی رسوب در هر دو مرحله است. همچنین مقادیر P-factor در این مراحل به ترتیب برابر ۰/۶۵ و ۰/۸۲ می‌باشد. در این تحقیق جهت بررسی تاثیر تغییرات مساحت پوشش زمین بر رسوب و دبی حوضه‌ی آبریز اوجان چای از تصاویر ماهواره ای لندست ۵-۷و ۸ بعد از اعمال تصحیحات لازم استفاده شد. نقشه‌های کاربری اراضی از سه تصویر ماهواره لندسدت سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲و ۲۰۱۵ تهیه شدند. نتایج نشان داد که روند تغییرات کاربری اراضی مرتع و کشاورزی از سال ۱۹۸۷تا ۲۰۱۵ افزایشی بوده است. ضریب کاپا و صحت کلی بالای ۸۰ درصد نیز نشاندهنده‌ی این است که به طورکلی توافق خوبی بین طبقه‌بندی و انواع طبقات کاربری موجود در زمین وجود دارد. برای این مطالعه تمام داده های ورودی مدل SWATبه غیر از نقشه کاربری اراضی از جمله داده‌های هواشناسی، اطلاعات خاکشناسی، نقشه شیب، نقشه شبکه زهکشی برای دوره‌های مختلف هر سال 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. میزان رواناب و رسوب از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ افزایش یافته است و این امر موجب افزایش ارتفاع رواناب سطحی به میزان ۱/۱۵ میلی‌متر و افزایش غلظت رسوب به میزان ۱/۵ تن در هکتار در سال شده است. به طوری که حجم

اب خروجی از حوضه از ۹/۸۵ میلی‌متر در سال ۱۹۸۷ به ۱۱/۲۸ میلیمتر در سال ۲۰۱۵ افزایش یافته است و غلظت رسوب حوضه از ۸/۹۱ تن در هکتار در سال ۱۹۸۷ به ۱۰/۱۸تن در هکتار در سال ۲۰۱۵ افزایش یافته است. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که افزایش زمین‌های زراعی و کاهش مراتع در افزایش رواناب و غلظت رسوب حوضه‌ی مورد مطالعه تاثیر گذاشته است. بنابراین باید در امر مدیریت اراضی و علی‌الخصوص نحوه‌ی بهره‌برداری از اراضی مرتعی دقت بیشتری در منطقه‌ی مورد مطالعه صورت پذیرد تا از تخریب‌های بیشتر جلوگیری به عمل آید.

۵-منابع

Akhavan Qlalibaf.M, Hamid.A, Alvast.G, Kornova.M, Mokhtari.M.H. (2019). Investigation of changes in land cover area and land use of Lake Urmia watershed using MODIS images. *Hydrogeomophology*, 5 (18): 97-113. (In Persian)

Andaryani. S, Trolle. D, Nikjoo. M.R, Rezaei Moghadam. M.H, mokhtari, D. (2019). Forecasting near-future impacts of land use and climate change on the Zilbier river hydrological regime, northwestern Iran, *Environmental Earth Sciences*, 78: 188.455. (In Persian)

Azarakhshi.M, Rostami Khalaj.M. (2019). Evaluation of the effects of land suitability on runoff values using SWAT model (Case study: Abkhair Kardeh Basin), *Journal of Ecology*, 6(1): 76-65. (In Persian)

Abbaspour, K. C., J. Yang, I. Maximov, R. Siber, K. Bogner, J. Mieleitner, J. Zobrist, R. Srinivasan and P. Reichert. (2007). Modelling of hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Jurnal of Hydroligy*, 333 ،413-430.

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

ASCE, Criteria for evaluation of watershed models (1993). *Journal of Irrigation and Drainage Engineering,* 119: 429-442.

Batokhteh. B, Mohammadi.F, Ghaleh Ney.M, Ababaei. B. (2018). Estimation of runoff and sediment volume in the Gerati dam basin using the SWAT model, *Soil and Water Conservation Research*, 25(4): 330-321. (In Persian)

Conway, T.M. and Lathrop R.G.Jr. (2005). Modeling the ecological consequences of landuse policies in an urbanizing region. *Environmental Management*, 35 (3):278-291.

Fatemi.S.B, Rezaei.Y. (2010).Fundamentals of Remote Sensing, *Azadeh Publications*. (In Persian)

Goward, S. N., G. D. Cruickshanks.A. S.Hope (1985).*Observed relation between thermal emission and reflected spectral radiance of a complex vegetated landscape,* Remote Sensing of Environment, 1985; *18* (2): 137-146.

Gumeh, Z.Monitoring land use changes in Karaj and its association to landscape profiles. (2012). M. Sc. thesis, University of Shahid Chamran, *Ahvaz*.

Habibi.A, Goodarzi. M. (2018). Application of SWAT Semi-Distributed Model in Simulation of Hablehroud Basin Runoff, *Iranian Watershed Management Science and Engineering*, 12 (43): 49-40. (In Persian)

Khodabandeh Lou.B, Khavarban Nahzak.H, Ghorbani.A. (2019). Detection of land use / land cover changes using object-oriented classification of satellite images (Case study: Gharehso catchment, Ardabil province, *remote sensing and GIS in natural resources*, 10 (3): 76-92. (In Persian)

Koomen, E., Stillwell, J., Bakema, A. and Schol ten, H.J. (2007). Modeling Land-Use Change, Progress and Applications. Springer*, Dordrecht, the Netherlands*.

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

Lu, D., Mausel, P., Brondi'Zio, E., Moran, E. (2004). Change detection techniques, *International Journal of Remote Sensing*, 25(12): 2365–2407.

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.

Mishra, A., Froebrich, j, and Gassman, P.W. (2007). Evaluation of the SWAT Model for Assessing Sediment Control Structures in a Small Watershed in India. *Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers),* 50: 469-477.

Moradi.A, Najafinejad. A, Onagh.A, Kamaki Ch.B, Fooladi Mansouri.M. (2018). Revealing the trend of land use change and its effect on discharge and suspended load simulated with SWAT model (Case study: Watershed Galikesh Golestan Province), Rangeland and Watershed Management, *Iranian Journal of Natural Resources*, 17 (2): 504-489. (In Persian)

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

Nazari Samani, A.A, Ghorbani.M, Kouhbanani.H. (2010). Evaluating the trend of land use changes in Taleghan watershed in the period 1987 to 2001, *Rangeland Scientific Research Journal*, 4 (3): 442-451. (In Persian)

Nyeko-Ogiramoi. P, Willems.P, Ngirane-Katashaya, G. (2013). Trend and variability in observed hydrometeorological extremes in the Lake Victoria basin. Hydrology, 489: 56–73.

Report of the Forests and Rangelands Organization of the Country - Detailed-Executive Studies of Ojan Chay Olya Basin, 2014, Volume 3 (Geology Soil Science), Report Code: 307503-03, 82-1

Saadati.H, Gholami.Sh, Sharifi.A, Ayubzadeh.S.A. (2006). Investigation of land use effects in surface runoff of simulation model, *Iranian Journal of Natural Resources*, 56 (2): 313-301. (In Persian)

Salehi.N, Ekhtesasi. M.R, Talebi.A. (2019). Predicting Land Use Change Using the CA-MARKOV Markov Chain Model (Case Study: Safarood Ramsar Watershed), *Remote Sensing and GIS in Natural Resources*, 10 (1): 106-120. (In Persian)

Sepehri.A.R, Jamali. A.A, Hassanzadeh.M. (2019). Analysis and comparison of land use / land cover changes using artificial neural network (case study of Taft and Mehriz lands), *remote sensing and GIS in natural resources*, 10 (4): 90-105. (In Persian)

Sommerlot, A., Nejadhashemi, A., Woznicki, S., Giri, S. and Prohaska, M. (2013). Evaluating the capabilities of watershed-scale models in estimating sediment yield at feldscale. *Journal of Environmental Management*, 127: 227-236.