



# پژوهش‌های فرسایش محیطی

journal homepage: <http://magazine.hormozgan.ac.ir>



## ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر میزان بارمعلق با استفاده از مدل SWAT

(مطالعه موردی: حوزه آبخیز یلفان - استان همدان)

به‌نوش فرخ‌زاده<sup>۱\*</sup>، علیرضا ایلدرمی<sup>۱</sup>، بهناز عطایان<sup>۱</sup>، مهناز نوروزی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

تاریخچه مقاله:

چکیده

دریافت:

۹۴/۰۳/۰۶

اصلاح:

۹۴/۱۱/۱۸

پذیرش:

۹۴/۱۲/۱۸

تغییرات کاربری اراضی یکی از عوامل اصلی تغییر پوشش زمین تحت تأثیر دخالت‌های انسان است که می‌تواند نقش قابل توجهی در تغییرات فرسایش و تولید بارمعلق ایفا کند. از این رو بررسی تأثیر کاربری اراضی بر روی بارمعلق تولیدی حوضه می‌تواند راه‌گشای تعیین استراتژی مناسب در توسعه پایدار منابع آب باشد. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر بارمعلق حوزه آبخیز یلفان در طی ۲۵ سال اخیر است. بدین منظور از مدل مفهومی SWAT به همراه داده‌های زمینی ایستگاه‌های باران‌سنجی، هواشناسی و ماهواره‌ای استفاده شد و کاربری اراضی در سال ۱۳۶۷ و ۱۳۹۱ به عنوان دو گزینه مبنای مقایسه نرخ آورد رسوب قرار گرفته است. جهت انجام واسنجی و اعتبارسنجی مدل از نرم افزار-SWAT CUP و الگوریتم SUFI2 استفاده شده است، واسنجی برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۸ و اعتبارسنجی نیز برای سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۲ صورت گرفت. پس از اجرای مدل، نتایج شبیه‌سازی با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه گردید. در مرحله واسنجی، مدل رسوب را با ضریب نش - ساتکلیف (NS=0/56) ، ضریب همبستگی ( $R^2=0/59$ ) و در مرحله اعتبارسنجی مدل رسوب را نیز با ضریب نش - ساتکلیف (NS=0/53)، ضریب همبستگی ( $R^2=0/55$ ) شبیه‌سازی نمود. پس از واسنجی و اعتبارسنجی، به منظور بررسی تأثیر کاربری اراضی بر بارمعلق حوضه، نقشه‌های کاربری‌های اراضی سال ۱۳۶۷ و ۱۳۹۱ به مدل معرفی و مدل اجرا شد. نتایج خروجی مدل با دو کاربری اراضی متفاوت حاکی از تأثیرات قابل توجه تغییر کاربری اراضی بر بارمعلق حوضه است، به طوری که تغییر در کاربری اراضی از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۱ منجر به افزایش مقدار بارمعلق در حدود ۳۰/۶۲ درصد شده است. نتایج نشان داد که مدل SWAT از قابلیت خوبی برای شبیه‌سازی رسوب حوضه مذکور برخوردار است.

واژگان کلیدی:

کاربری اراضی

رسوب

مدل SWAT

حوزه آبخیز یلفان

## ۱- مقدمه

تغییرات کاربری اراضی باعث تغییر در چرخه هیدرولوژیکی حوزه آبخیز شده و در نتیجه باعث برهم خوردن تعادل بین بارش، تبخیر و نفوذپذیری و ایجاد رواناب می‌شوند (مارکوس<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۳). پاسخ هیدرولوژیکی حوزه آبخیز به عنوان شاخص جامعی از شرایط فعلی آن و پیش‌بینی کننده اثرات تغییر کاربری اراضی بر کمیت و کیفیت آب (هرناندز<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۰) و نماد جامعی از شرایط و خصوصیات محیط طبیعی آن حوزه آبخیز است. در یک اکوسیستم طبیعی تغییر در شرایط محیطی آن اکوسیستم باعث تأثیرگذاری بر پاسخ‌های هیدرولوژی مانند میزان فرسایش و رسوب منطقه می‌گردد (سیکا<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۳). به عبارت دیگر فرآیندهای انتقال آب و رسوب از حوضه‌های کوهستانی نیمه خشک به سمت پایین‌دست، متأثر از دخالت‌های انسانی است. مهم‌ترین مداخله انسانی در چنین حوضه‌هایی، تغییرات کاربری اراضی است. کاربری اراضی و نوسانات آن از جمله عواملی هستند که بر چرخه طبیعی در اکوسیستم اثر می‌گذارند (برخورداری و خسروشاهی، ۱۳۸۷). هرچند تغییرات کاربری اراضی یک حوضه آشکار است اما تعیین دقیق مقدار کمیت این پیامدها بسیار دشوار است (پیکونیس<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۳). درک و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به رسوب و رواناب در پهنه‌های طبیعی به واسطه شرایط سخت فیزیکی حاکم بر حوزه‌های آبخیز، محدودیت‌های مالی و زمانی و نیز نوسانات غیرقابل پیش‌بینی اقلیمی از جمله خشکسالی‌های دراز مدت، در حد مورد نیاز امکان‌پذیر نیست. عقیده بر این است که شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژی در یک حوضه می‌تواند به عنوان راه حل مناسب برای آن‌ها بیان شود (رستمیان و همکاران، ۱۳۸۷، شیمیلز<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). به طوری که مدل‌های شبیه‌سازی در طول چند دهه اخیر جایگاه ویژه‌ای در دانش بشری به خود اختصاص داده‌اند و به عنوان ابزارهای مدیریتی، پایه‌ای و اجرایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند از جمله این مدل‌ها، مدل نیمه توزیعی SWAT<sup>۶</sup> است که توسط جف آرنولد<sup>۷</sup> در سال ۱۹۹۸ برای سرویس تحقیقاتی کشاورزی آمریکا<sup>۸</sup> به منظور پیش‌بینی تأثیر روش‌های مدیریتی متفاوت بر جریان، رسوب، چرخه عناصر و بیلان مواد شیمیایی در حوضه‌هایی با خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی ارائه شده است (نتیج<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۱) و از آن زمان به بعد پیوسته در حال توسعه بوده است. مدل SWAT که در این تحقیق از آن برای برآورد بارمعلق استفاده شده به خاطر جامع بودن و در نظر گرفتن بسیاری از پارامترهای هیدرولوژیکی مورد تأیید بسیاری از محققین قرار گرفته است. در این رابطه غفاری و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از این مدل به بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر میزان بارمعلق رودخانه زنجان‌رود پرداخته و بیان نمودند تغییر کاربری تأثیر قابل توجهی بر رسوب حوضه دارد به طوری که تغییر در کاربری اراضی از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۶ منجر به افزایش مقدار بارمعلق سالانه در حدود ۶۰ درصد شده است. در مطالعه‌ای دیگر عارفی اصل و همکاران (۱۳۹۲) کارایی مدل SWAT را در برآورد غلظت رسوب و دبی متوسط روزانه در حوزه آبخیز چهل چای در شرق استان گلستان مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد

1 Marcos

2 Hernandez

3 Sika

4 Pikounis

5 Shimelis

6 Soil and Water Assessment tool

7 Jeff Arnold

8 Agricultural Research Service

9 Neitsch

که مدل SWAT با توجه به کارایی مقبولی که در این حوضه داشته است، می‌تواند در بررسی اقدامات مدیریتی مورد استفاده قرار بگیرد. برزو و همکاران (۱۳۹۳) نیز به بررسی تأثیر کاربری اراضی بر نرخ رواناب و میزان آورد رسوب حوضه آبریز گیلارد استان تهران با بهره‌گیری از مدل SWAT پرداختند. پس از اجرای مدل، نتایج شبیه‌سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شد. مقایسه میزان نرخ رواناب و رسوب با سه نوع کاربری اراضی متفاوت بیانگر این امر بود که در اثر تغییر کاربری اراضی، از مرتع و جنگل به اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی، مقدار نرخ رواناب با افزایش حدود ۳۰ درصدی همراه بود و میزان آورد رسوب نیز تا ۴ برابر افزایش یافته است. در پژوهشی دیگر که توسط آل دین<sup>۱</sup> (۲۰۱۳) صورت گرفت. از مدل Arc SWAT جهت برآورد بار رسوب در اراضی ساحل چپ سد موصل در شمال شرق کشور عراق استفاده شد و در نهایت بیان شد که فاکتور ضریب رواناب تأثیر بسزایی در تعیین نرخ رواناب و رسوب دارد، البته این فاکتور در سطح حوزه آبخیز میزان متغیری دارد و میزان آن بسته به نوع خاک منطقه و کاربری اراضی می‌تواند دست‌خوش تغییراتی شود، همچنین میزان ضریب رواناب علاوه بر پوشش گیاهی منطقه به خصوصیات بافت خاک آن منطقه نیز وابسته است. یان<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر میزان رسوب و رواناب را در حوضه‌ای در چین با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیکی بررسی کردند و بیان کردند که تغییرات اصلی کاربری اراضی مؤثر بر میزان رسوب و جریان در حوضه مورد مطالعه مربوط به تغییرات زمین‌های کشاورزی و جنگل و مناطق شهری است. در مطالعه‌ای دیگر مدل‌سازی رسوب و رواناب حوضه ساتلوج<sup>۳</sup> با استفاده از مدل SWAT نشان داد که مدل کارایی بسیار بالایی در تخمین اجزای بیلان آب دارد (پانهالکار<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). زو<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر میزان رواناب و رسوب حوضه هوانگ فوجان<sup>۶</sup> واقع در کشور چین پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها مبین این امر بود که تغییرات کاربری اراضی در طول سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵ تأثیر قابل توجهی بر کاهش رسوب حوضه در مقایسه با رواناب داشت. از طرف دیگر آن‌ها میزان رسوب و رواناب را در بخش بالادست حوضه بیشتر از بخش پایین دست آن ارزیابی کردند. فرسایش حوزه‌های آبخیز و باررسوب رودخانه‌ها از چالش‌های جدی مدیریت منابع آب کشور است و تبعات منفی در بهره‌برداری از تأسیسات آبی و سدها دارد (جیرانی و همکاران، ۱۳۹۰). از جمله این چالش‌ها و مشکلات ته نشست رسوب در مزارع، دشت‌های سیلابی و سدها و آلودگی محیط زیست (یوسفی‌فرد و همکاران، ۱۳۸۶) است. ته نشست رسوبات در مخازن سدهای موجود بر روی رودخانه اصلی در یک حوزه آبریز نیز سبب کاهش ظرفیت ذخیره سد می‌شود (برزو و همکاران، ۱۳۹۳) این پدیده همچنین بر روی سازه‌های موجود در بخش‌های دیگر سد نیز اثر می‌گذارد (آل‌دین، ۲۰۱۳). با توجه به اهمیت دریاچه سد مخزنی اکباتان که بخش مهمی از آب آشامیدنی شهرستان همدان را تأمین می‌نماید، مطالعه زیرحوضه‌ها و برآورد رسوب ورودی از آن‌ها به مخزن سد به منظور انجام برنامه‌ریزی منابع آب از اهمیت بالایی برخوردار است. محدوده مطالعاتی این تحقیق یکی از زیرحوضه‌های اصلی حوضه آبخیز سد اکباتان است. در حوضه سد یلفان اشکال متفاوت فرسایش شامل فرسایش مکانیکی، فرسایش کناری رودخانه، سطحی و

1 Aldeen

2 Yan

3 Satluj

4 Panhalkar

5 Zuo

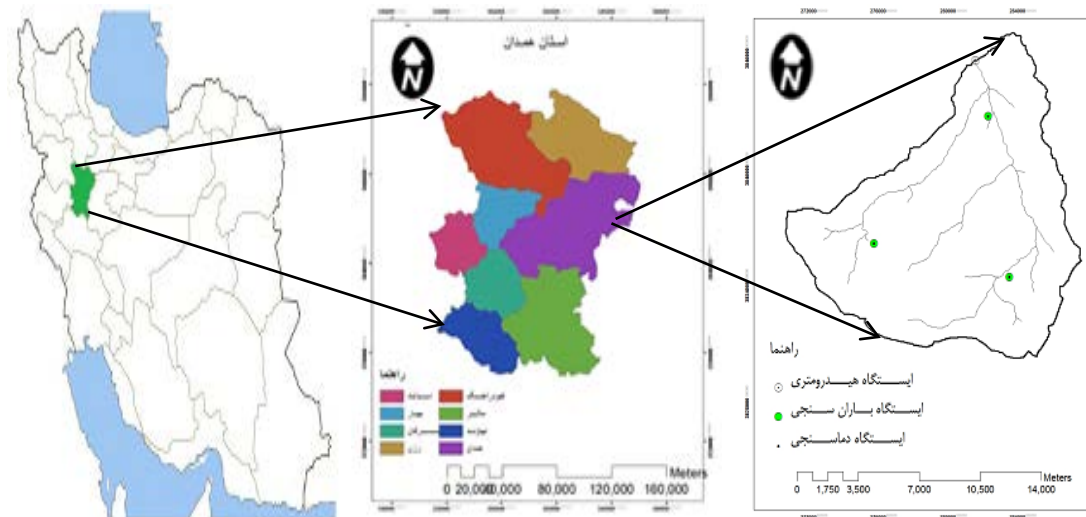
6 Huangfuchuan

شیاری-آبراهه‌ای و خندقی قابل مشاهده است (مهندسین مشاور طرح آبریز، ۱۳۸۷) که زمینه‌ساز تولید رسوب هستند، به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت، کاهش فرسایش و تولید رسوب ضرورت دارد که حجم کل بارمعلق در یک حوضه ارزیابی و برآورد گردد. از طرف دیگر اطلاع از میزان رسوبات معلق و تغییرات آن در دوره‌های زمانی علاوه بر افزایش راندمان پروژه‌های حفاظت آب و خاک به منظور برقراری شرایط پایدار در منطقه ضروری است. در این حوضه تا کنون بیشتر به ارزیابی مدل SWAT پرداخته شده است و به تأثیر تغییر کاربری کمتر توجه شده است لذا هدف از این تحقیق، بررسی کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی بارمعلق حوزه آبخیز یلفان، بررسی روند تغییرات کاربری به وجود آمده در طی ۲۵ سال اخیر و تعیین اثر این تغییرات بر بارمعلق در حوضه است.

## ۲- مواد و روش

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز یلفان، یکی از زیرحوضه‌های اصلی حوضه سد اکباتان است که با مساحت ۱۶۴۴۷ هکتار در شهرستان همدان قرار گرفته و موقعیت جغرافیایی آن در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی است. شیب متوسط حوضه حدود ۲۸ درصد و دارای حداقل و حداکثر ارتفاع ۱۹۷۸ و ۳۴۸۱ متر از سطح دریا است و از نظر آب و هوایی جز منطقه نیمه‌خشک و سرد است. حوضه یلفان از نظر تقسیمات کشوری در زون دگرگون سنندج-سیرجان قرار گرفته است. از نظر فرسایش انواعی از فرسایش در حوضه وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از فرسایش خندقی به صورت محدود، فرسایش شیاری، آبراهه‌ای و کنار آبراهه‌ای که در اکثر مناطق حوزه گسترش دارند و نقش مؤثری در نرخ رسوب‌زایی حوضه ایفا می‌کنند. این عامل به دلیل خصوصیات لیتولوژیکی و وجود چندین گسل اصلی از جمله گسل کشین-سیمین، یلفان-ارزانفود و گسل انجلاس-ورکانه در حوضه سبب تشدید ایجاد رسوب شده است. همچنین در مناطق دارای سنگ‌های نفوذناپذیر، عمق رواناب زیاد بوده و در مناطقی با سنگ‌های سست و نرم، تولید رسوب زیاد است. (مهندسین مشاور طرح آبریز، ۱۳۸۷). موقعیت حوزه آبخیز در استان همدان و ایران به همراه موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری، باران‌سنجی و هواشناسی و شبکه آبراهه‌های اصلی آن در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز یلفان در استان همدان به همراه موقعیت ایستگاهها

## ۲-۲- معرفی مدل SWAT

مدل SWAT یک مدل فیزیکی و توزیعی است که برای پیش‌بینی اثر تغییر کاربری، تغییر اقلیم و مدیریت‌ها در حوزه‌های آبخیز بزرگ و پیچیده توسعه داده شده است (وربتن<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷). هدف اصلی این مدل شبیه‌سازی اثر شیوه‌های مختلف مدیریتی زمین (مکانی-زمانی) بر کمیت و کیفیت آب و رسوب در حوزه‌های مختلف با توجه به شرایط متفاوت اقلیمی و کاربری اراضی و نوع خاک است (نینج، ۲۰۱۱). پیش‌بینی مقدار فرسایش خاک ناشی از باران و رواناب در مدل SWAT، بر اساس معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک (MUSLE<sup>۲</sup>) است. در این روش، از رواناب سطحی به عنوان عامل فرسایش استفاده می‌شود (ویلیامز<sup>۳</sup>، ۱۹۷۵). معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده به صورت رابطه (۱) است.

$$SED = 11.8 (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot areaHRU) 0.56K.C.P.LS. CFRG \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن  $sed$ : بار رسوب در روز معین (تن)،  $Q_{surf}$ : حجم رواناب سطحی (میلی متر در هکتار)،  $q_{peak}$ : نرخ رواناب اوج (مترمکعب بر ثانیه)،  $areaHRU$ : مساحت واحد پاسخ هیدرولوژیک (هکتار)،  $K$ : فاکتور فرسایش پذیری خاک،  $C$ : فاکتور مدیریت و پوشش،  $P$ : فاکتور عملیات حفاظتی،  $LS$ : فاکتور توپوگرافی و  $CFRG$ : فاکتور قطعات درشت است (نینج و همکاران، ۲۰۰۵). مدل روندیابی رسوب (آرنولد و همکاران، ۱۹۹۵) شامل دوجزء تجزیه و ته نشست است که به‌طور هم‌زمان عمل می‌کنند. رسوب‌گذاری در کانال اصلی و دشت سیلابی در زیر حوضه‌ها و براساس سرعت ته‌نشینی ذرات رسوب صورت می‌گیرد. سرعت ته‌نشینی براساس قانون استوکس به‌دست می‌آید (چو<sup>۴</sup> و همکاران، ۱۹۸۸). در الگوی SWAT، از حجم رواناب و بیشترین دبی ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری برای محاسبه حجم رسوب استفاده می‌شود (کاوایان و همکاران، ۱۳۹۴؛ نینج و همکاران، ۲۰۱۱).

1 Verbeeten  
2 Modified Universal Soil Loss Equation  
3 Williams  
4 Chow

## ۲-۳- لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در مدل SWAT

الف- داده‌های هواشناسی: در این تحقیق داده‌های اقلیمی روزانه در طول دوره آماری ۱۵ ساله از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۲ به مدل معرفی شد. اطلاعات هواشناسی مورد استفاده در مدل SWAT شامل بارش، دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد، نقطه شبنم و تابش خورشیدی به صورت روزانه است (نیتچ و همکاران، ۲۰۰۳).

ب- نقشه مدل ارتفاع رقومی<sup>۱</sup> (DEM): نقشه مدل ارتفاعی رقومی (DEM) با اندازه پیکسل ۲۰ در ۲۰ متر از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه که از اداره کل منابع طبیعی همدان تهیه شده بود، استخراج شد.

ج- نقشه‌های کاربری اراضی: از آن‌جا که هدف این تحقیق بررسی میزان تأثیرپذیری بارمعلق حوضه یلفان از تغییرات کاربری اراضی است، دو نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۹۱ با استفاده از نقشه‌های موجود در اداره کل منابع طبیعی استان همدان و با بهره از تصاویر ماهواره‌ای IRS، 7، 4، LANDSAT و ۱۰۴ نقطه برداشت شده به وسیله GPS از سطح حوضه در محیط نرم‌افزار ENVI ۴،۷ تهیه شدند. پس از اعمال تصحیحات اتمسفری و رادیومتریک تصاویر برای طبقه‌بندی آماده شدند، سایت‌های تعلیمی برای هر کاربری با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی قدیمی منطقه بسته شد و تصاویر مذکور با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده (Maximum Likelihood) طبقه‌بندی شدند و در نهایت نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۹۱ حوزه آبخیز مورد مطالعه با سه کاربری مرتع، اراضی آبی و اراضی دیم تهیه شدند. با توجه به استفاده از اطلاعات و منابع مختلف در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی منطقه و دقت به عمل آمده در تهیه هر نقشه، در نهایت امکان مقایسه و بررسی روند و مقدار تغییر کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه، فراهم شد.

د- نقشه خاک: از نقشه خاک همراه با نقشه کاربری اراضی برای تقسیم‌بندی حوضه به زیرحوضه و واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی<sup>۲</sup> استفاده می‌شود. به طوری که از این نقشه و جدول‌های مربوطه برای وارد کردن خصوصیات خاک هر منطقه و پارامترهای خاک مرتبط با لایه‌های مختلف استفاده می‌گردد در این مطالعه اطلاعات خاک‌شناسی منطقه، که براساس واحدهای اراضی منطقه، در ۲۵ پلی‌گون و در ۱۳ کلاس طبقه‌بندی شده است، از اداره کل منابع طبیعی استان همدان تهیه گردید. مهم‌ترین پارامترهای خاک مؤثر بر خروجی‌های مدل مانند چگالی ظاهری خاک، هدایت هیدرولیکی خاک، ضریب آلودوی خاک و فاکتور جزء سنگ‌ریزه خاک نیز در مرحله واسنجی دخالت داده شدند و مقدار بهینه آن‌ها تعیین گردید...

## ۲-۴- اجرای مدل:

در این پژوهش از نسخه SWAT 2009 که قابلیت نصب بر روی ArcGIS 9.3 را دارد، استفاده شد. بدین منظور ابتدا نقشه DEM به مدل معرفی و با استفاده از آن رسم شبکه آبراهه‌ای توسط مدل انجام شد پس از آن حداقل مساحت ۲۵۰ هکتار برای تشکیل زیرحوضه‌ها انتخاب شد، محل ایستگاه هیدرومتری به عنوان خروجی برای شکل‌گیری مرز حوضه برای مدل تعریف شد. در نهایت مدل حوضه مورد نظر را به ۳۳ زیرحوضه تقسیم نمود. موقعیت زیرحوضه‌های یلفان در شکل (۲) نشان

1 Digital Elevation Model  
2 HRU

داده شده است. در مرحله بعد نقشه کاربری اراضی با ۳ کلاس و نقشه خاک با ۱۳ کلاس به مدل معرفی شد. نقشه طبقات شیب نیز در همین مرحله به کمک نقشه DEM در پنج طبقه شیب ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و بیش‌تر از ۴۰ درصد با استفاده از مدل فراهم گردید. سپس از تلفیق این سه نقشه در محیط نرم‌افزار، نقشه واحدهای پاسخ هیدرولوژیک به‌دست آمد. در مرحله بعد مشخصات ایستگاه مرجع (ایستگاه فرودگاه همدان)، به همراه مختصات جغرافیایی، ارتفاع و داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی و دماسنجی که به صورت مجازی ساخته شدند در فرمت dbf به مدل معرفی شد. در این پژوهش دو سال اول دوره آماری (۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹) برای گرم کردن<sup>۱</sup> مدل و آمار سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۸ برای واسنجی و ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۲ برای اعتبارسنجی استفاده شد. در دوره گرم کردن به مدل اجازه داده می‌شود که برای پارامترها مقداردهی اولیه انجام دهد، دوره گرم کردن مدل اهمیت زیادی در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی دارد زیرا شرایط اولیه به‌ویژه رطوبت خاک در بسیاری از شرایط در حوضه نامشخص است (ملو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۸).

واسنجی مدل با استفاده از الگوریتم SUFI2<sup>۳</sup> روی پارامترهای حساس در قالب نرم‌افزار SWAT-CUP انجام گرفت. مراحل اجرای برنامه SUFI2 به صورت زیر است: ۱- تعیین تابع هدف ۲- مشخص کردن مقادیر حداقل و حداکثر مطلق پارامترها ۳- آنالیز حساسیت تمامی پارامترها در مرحله اول واسنجی ۴- تعیین نخستین دامنه عدم قطعیت هر پارامتر ۵- نمونه‌برداری به روش لاتین هایپرکیوب ۴ (LH) در هر مرحله شبیه‌سازی، انجام می‌گردد. در روش نمونه‌برداری لاتین هایپرکیوب ابتدا توزیع احتمال یک متغیر تصادفی (اختلاف حداکثر و حداقل) به N بازه، تقسیم می‌گردد. سپس بازه‌های ایجاد شده روی توزیع احتمال متغیرها به صورت کاملاً تصادفی درجه‌بندی می‌شود. آن‌گاه در هر کدام از این بازه‌ها به صورت تصادفی یک مقدار برای هر متغیر استخراج شده و برای هر متغیر تصادفی، مقدار N با توزیع کاملاً تصادفی حاصل می‌شود (دیلاها و بیسلی<sup>۵</sup>، ۱۹۸۳). پس از تعیین حساس‌ترین پارامترهای مدل، واسنجی مدل با استفاده از آخرین ویرایش مدل SUFI2 (عباسپور و همکاران، ۲۰۰۴) برای سال‌های آماری ۱۳۸۰ الی ۱۳۸۸ صورت گرفت. در این مدل برای به دست آوردن بهترین واسنجی و محدود کردن جواب‌ها به سمت جواب یگانه علاوه بر ضریب تبیین و ضریب نش - ساتکلیف، بازه تغییرات ۲/۵ و ۹۷/۵ درصد نیز به عنوان محدوده جواب و یا محدوده اطمینان ۹۵ درصد (95PPU) در نظر گرفته شد. از معیارهای P-factor (درصد قرارگیری داده‌های مشاهداتی درون باند عدم قطعیت 95 PPU<sup>۶</sup>) و R-factor (ضخامت باند 95 PPU تقسیم بر انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده) برای سنجش میزان عدم قطعیت مدل استفاده شد. برای P-factor مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۵ و برای R-factor مقادیر کم‌تر از یک مطلوب هستند (عباس‌پور، ۲۰۰۷؛ ۲۰۱۵). همچنین به منظور تحلیل کیفیت نتایج مدل ضرایب همبستگی (R<sup>2</sup>) و نش - ساتکلیف<sup>۷</sup> (NS) مطابق معادلات ۲ و ۳ مورد استفاده قرار گرفتند (عباس‌پور، ۲۰۰۷).

1 Warm-up

2 Mello

3 Sequential Uncertainty Fitting Version2

4 Latin Hypercube Sampling

5 Dillaha &amp; Beasley

6 Percent Prediction Uncertainty

7 Nash Satklif

$$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m) (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2 \sum_i (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)^2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_i (Q_m - Q_s)_i^2}{\sum_i (Q_{mi} - \bar{Q}_m)^2} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن،  $\bar{Q}_m$  میانگین مقادیر مشاهداتی و  $\bar{Q}_s$  میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده است.



شکل ۲: زیرحوضه‌های حوزه آبخیز یلفان

### ۳- یافته‌ها

۳-۱ نتایج آنالیز حساسیت: از آن‌جا که اساس کار مدل SWAT بر اساس چرخه هیدرولوژیکی است، واسنجی مدل در دو مرحله انجام پذیرفت ابتدا واسنجی دبی و سپس واسنجی رسوب. برای شبیه‌سازی رسوب ابتدا پارامترهای مربوط به جریان روزانه بعد از واسنجی ثابت شدند و سپس آنالیز حساسیت نسبت به پارامترهای رسوب انجام شد. قبل از مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل، با انجام فرآیند تحلیل حساسیت بر اساس دو معیار  $p$ -value و  $t$ -state حساسیت پارامترها سنجیده شد.  $t$ -state نشان‌دهنده حساسیت پارامتر است، هر چقدر قدر مطلق مقدار  $t$ -state بیشتر باشد، حساسیت پارامتر بیشتر خواهد بود. معیار  $p$ -value نیز اهمیت  $t$ -state را نشان می‌دهد به طوری که هر چه مقدار  $p$ -value کمتر باشد با درجه اطمینان بالاتری می‌توان گفت که پارامتر حساس است (عباسپور، ۲۰۰۷). پارامترهای تأثیرگذار در برآورد بارمعلق به همراه  $t$ -state و  $p$ -value محاسبه و به شرح جدول (۱) ارائه گردیده است.



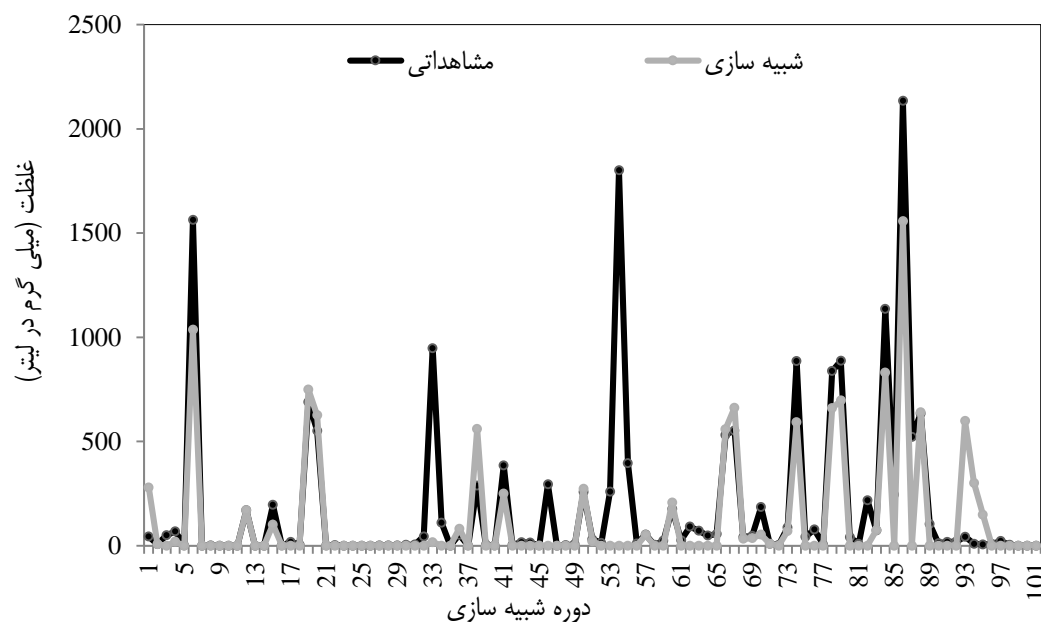
جدول ۱: نتایج آنالیز حساسیت پارامترها نسبت به رسوب (منبع: یافته‌های تحقیق)

p-value	t-test	مقدار بهینه	محدوده جدید پارامترها		درجه حساسیت	پارامتر
۰/۰۲۵۵۲۳	۲/۷۳۸۱۲	۰/۳۳	۰/۱۵	۰/۴۷۲	۱	شماره منحنی در شرایط رطوبتی
۰/۰۶۱۴۱۴	۲/۱۷۴۲۱۷	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۲	روندیابی رسوب در کانال
۰/۱۳۵۴۸۶	۱/۶۶۰۰۴۴	۰/۲۶۷	۰/۱۴۸	۰/۳۰	۳	پارامتر فرسایش‌پذیری کانال
۰/۳۳۱	-۱/۰۳۲	۰/۶۹۵	۰/۵۱۶	۰/۸۹۱	۴	فاکتور پیک برای روندیابی رسوب در کانال اصلی
۰/۳۶۱	۰/۹۶۸	۱/۴۱۶	۱/۱۸۱	۱/۴۸۹	۵	پارامتر نمایی روندیابی رسوب در کانال
۰/۴۷۳	۰/۷۵۱	۱/۷۵	۱/۳۳۸	۱/۹۸۷	۶	پارامتر روندیابی رسوب در در آبراهه فرعی
۰/۵۳۷	-۰/۶۴۴	۰/۸۷۶	۰/۳۳۱	۰/۸۹۸	۷	فاکتور اقدامات حفاظتی
۰/۶۵۲	۰/۴۶۷	۱۲۶/۶۶۶	۹۱/۰۶۲	۱۶۹/۳۰۴	۸	غلظت رسوب در جریان جانبی و آب زیرزمینی

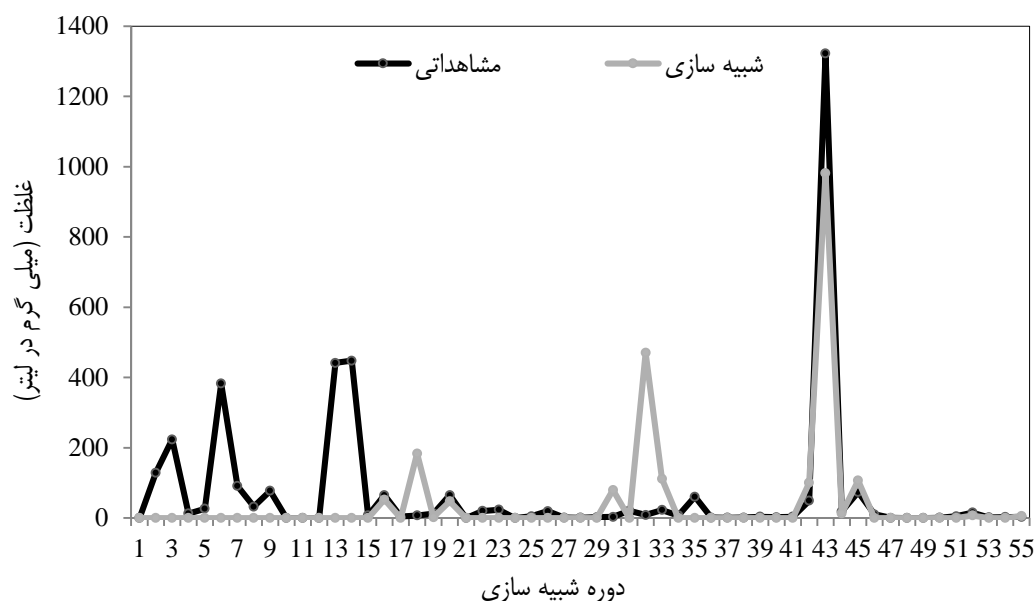
با توجه به جدول (۱) مشخص می‌شود که پارامتر شماره منحنی در شرایط رطوبتی حساس‌ترین پارامتر در شبیه‌سازی رسوب است. پارامترهای روندیابی رسوب در کانال و فرسایش‌پذیری کانال به ترتیب در رده دوم و سوم حساسیت قرار دارند.

### ۳-۲- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

شبیه‌سازی رسوب با استفاده از داده‌های مشاهداتی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ صورت گرفت. داده‌های موجود شامل ۱۰۱ داده بارمعلق مربوط به سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۸ برای واسنجی و ۵۵ داده بارمعلق مربوط به سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۲ جهت اعتبارسنجی می‌باشد در شکل‌های ۳ و ۴ نتایج شبیه‌سازی رسوب در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی و در جدول شماره ۲ نتایج شاخص‌های ارزیابی آورده شده است.



شکل ۳: بارمعلق مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل در دوره واسنجی (۱۳۸۸-۱۳۸۰)



شکل ۴: بارمعلق مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل در دوره اعتبارسنجی (۱۳۸۹-۱۳۹۲)

جدول ۲: نتایج شاخص‌های ارزیابی برای واسنجی و اعتبارسنجی رسوب

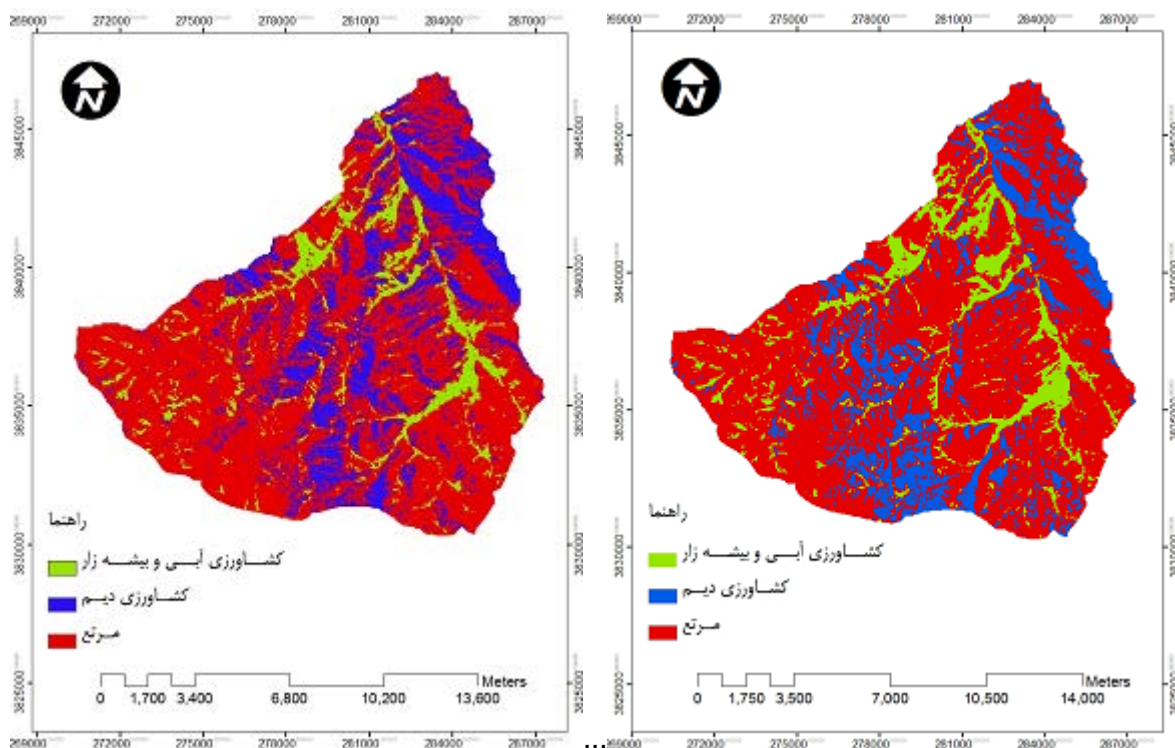
اعتبارسنجی	واسنجی	نام شاخص
۰/۵۳	۰/۵۶	NS
۰/۵۵	۰/۶۱	P-factor
۰/۲۹	۰/۳۶	R-factor
۰/۵۵	۰/۵۹	R <sup>2</sup>

نتایج واسنجی روزانه نشان می‌دهد که شاخص‌های NS، R<sup>2</sup>، P-factor، R-factor به ترتیب برابر ۰/۵۶، ۰/۵۹، ۰/۶۱ و ۰/۳۶ هستند. همچنین نتایج اعتبارسنجی مدل مشخص می‌کند که در این مرحله شاخص‌های NS، R<sup>2</sup>، P-factor، R-factor به ترتیب دارای مقادیر ۰/۵۳، ۰/۵۵، ۰/۵۵ و ۰/۲۹ هستند (جدول ۲). با توجه به شکل‌های ۳، ۴ و جدول ۲ مشاهده می‌شود که کیفیت برازش مدل در دوره اعتبارسنجی نسبت به دوره واسنجی تا اندازه‌ای کاهش یافته است و ضریب نش - ساتکلیف کاهش سه درصدی نسبت به مرحله واسنجی داشته است، مقدار R-factor در این دوره نسبت به مرحله واسنجی کاهش یافته که نتیجه‌ی خوبی است. هرچند مقدار P-factor نیز در مقایسه با مرحله واسنجی کاهش یافته است ولی با توجه به این‌که مقادیر بالاتر از ۰/۵۰ برای P-factor مطلوب هستند (عباسپور، ۲۰۰۷) پس مقدار P-factor در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی رضایت‌بخش است.

### ۳-۳- نتایج تغییرات کاربری

با مشاهده نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۹۱ می‌توان مشاهده کرد که تغییر هر کاربری در طول این دوره چه روندی داشته است (شکل ۵). بررسی‌ها در طول دوره مورد نظر نشان داد که در طی ۲۵ سال گذشته از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۱ تغییرات اندکی در کاربری اراضی حوضه به وجود آمده است و این تغییرات تقریباً روند ثابت و یکنواختی را نشان می‌دهند. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در سال ۱۳۶۷ اراضی دیم نسبت به سال ۱۳۹۱، ۴/۲۲ درصد کاهش داشته و به

ترتیب توسط اراضی آبی (۱/۶۶ درصد)، اراضی رها شده (۲/۵۵ درصد) و مقدار بسیار ناچیزی مناطق مسکونی جایگزین شده که در این مطالعه به خاطر مساحت بسیار اندک این کاربری در طبقه‌بندی نقشه کاربری اراضی از آن صرف نظر شده است.

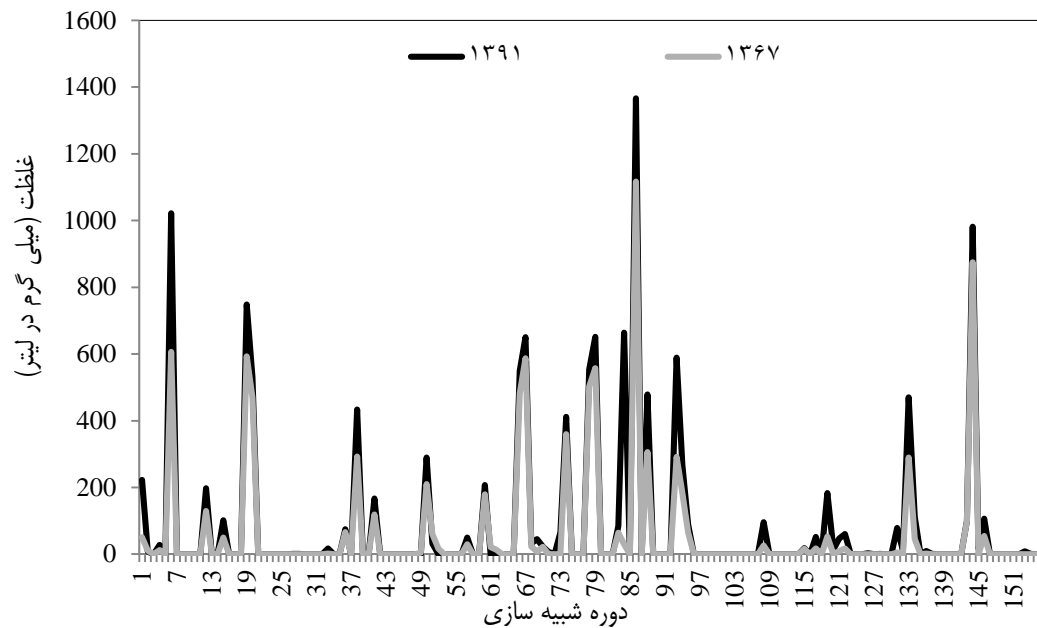


شکل ۵: نقشه‌های کاربری اراضی سال ۱۳۹۱ (راست) و ۱۳۶۷ (چپ)

جدول ۳: نتایج بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز یلفان

کاربری اراضی	مساحت سال ۱۳۶۷		مساحت سال ۱۳۹۱		درصد مساحت تغییر یافته
	هکتار	درصد	هکتار	درصد	
کشاورزی آبی و بیشه‌زار	۱۴۶۳/۱۶	۸/۸۶	۱۷۳۵/۵۴	۱۰/۵۲	+۱/۶۶
کشاورزی دیم	۳۶۲۸/۷۶	۲۱/۹۹	۲۹۳۱/۷۶	۱۷/۷۷	-۴/۲۲
مراتع و اراضی رها شده	۱۱۳۰۴/۹۲	۶۹/۱۵	۱۱۸۲۹/۵۲	۷۱/۷۰	+۲/۵۵

باتوجه به نتایج مراحل واسنجی و اعتبارسنجی، مدل در محدوده پارامترهای واسنجی شده، جهت شبیه‌سازی بارمعلق ناشی از تغییرات کاربری اراضی حوضه یلفان اجرا گردید. در شکل ۶ تغییرات بارمعلق در اثر تغییر کاربری اراضی در طی دوره مطالعاتی نشان داده شده است.



شکل ۶: اثر تغییر کاربری اراضی بر میزان بارمعلق حوضه یلفان

بررسی و مقایسه میزان بارمعلق در ۳۳ زیرحوضه یلفان در دو مقطع زمانی ۱۳۶۷ و ۱۳۹۱ نشان می‌دهد که تغییر کاربری اراضی موجب تغییرات قابل توجهی در مقدار بارمعلق زیرحوضه‌های مختلف شده است. به طوری که در کل دوره شبیه‌سازی میزان بارمعلق ثبت شده برای کاربری سال ۱۳۹۱ بیشتر از کاربری سال ۱۳۶۷ است (شکل ۶).

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت و کمبود منابع آبی در کشور ایران یکی از مهم‌ترین روش‌های حفظ این منابع آبی، انجام مدیریت صحیح در جهت کاهش فرسایش و تولید رسوب است که لازمه آن آگاهی از نرخ رسوب‌زایی در حوضه بالادست سدها است از طرف دیگر با توجه به نقش تغییر کاربری اراضی بر منابع آب و خاک (سیکا و همکاران، ۲۰۰۳)، اثرات کمی و کیفی آن بر فرسایش و رسوب حوضه از گذشته تا حال بسیار مهم است زیرا میزان، شدت و روند تغییرات ایجاد شده و اثر آن بر فرآیندهای هیدرولوژی حوضه، راه‌گشای پیش‌بینی وضعیت تغییرات در آینده و ارائه برنامه‌های مناسب در قالب طرح‌های آبخیزداری و یا حفاظت خاک است (محسنی و همکاران، ۱۳۹۰). برای بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر بارمعلق حوضه یلفان، مدل بر مبنای دو نقشه کاربری اراضی واسنجی و هر یک به تفکیک برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ اجرا شد. در این نقشه به جز نقشه کاربری اراضی، همه‌ی اطلاعات ورودی از جمله داده‌های هواشناسی، یکسان در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده مربوط به آنالیز حساسیت مدل مشخص شد که پارامترهای شماره منحنی در شرایط رطوبتی، روندیابی رسوب در کانال و فرسایش‌پذیری کانال بیشترین حساسیت را داشتند. فاکتور اقدامات مدیریتی نیز جزء پارامترهای حساس نسبت به میزان غلظت بارمعلق بود. جزئیات کمی در مورد اطلاعات دقیق مربوط به فرآیند آنالیز حساسیت در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT در منابع مختلف علمی وجود دارد (صالحی، ۱۳۹۳)، با این حال پارامترهای حساس شناسایی شده در این مطالعه در

مطالعات جیرانی و همکاران (۱۳۹۰)، عارفی اصل و همکاران (۱۳۹۲)، جانزاده (۱۳۹۳) و ساوج<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۱) و ویجیاک<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۵) نیز جزء پارامترهای حساس بودند. با توجه به شکل ۳ و ۴ نتایج مدل در اکثر روزهای سال‌های آماری انطباق خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده دارد ولی در برخی نقاط نیز این انطباق مشاهده نمی‌شود و میزان رسوب شبیه‌سازی شده کوچک‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده است که این موضوع می‌تواند به دلیل ضعف مدل در شبیه‌سازی فرآیندهای مربوط به ذوب برف در حوضه باشد (رستمیان و همکاران، ۱۳۸۷؛ وانگ و ملس<sup>۳</sup>، ۲۰۰۵). این امر باعث می‌شود مدل توانایی دقیق شبیه‌سازی نقاط اوج را نداشته باشد، این موضوع در کارهای محققان دیگر چون یافته‌های بنامن و شوماکر (۲۰۰۵)، ساوج و همکاران (۲۰۱۱) نیز مشاهده شد. در تعداد محدودی از روزهای سال‌های آماری نیز میزان بارمعلق شبیه‌سازی شده بیش‌تر از بارمعلق اندازه‌گیری شده است که این امر برای مدل ضعف محسوب نمی‌شود زیرا می‌تواند به عنوان یک ضریب اطمینان در زمان به وقوع پیوستن سیلاب (دولت‌آبادی و زمردیان، ۱۳۹۲) در نظر گرفته شود. این مطلب با یافته‌های ساوج و همکاران (۲۰۱۱)، سینگ و همکاران (۲۰۱۲)، پانهالکار و همکاران (۲۰۱۴) و ویجیاک و همکاران (۲۰۱۵) روند مشابهی دارد. از طرف دیگر بررسی هیدروگراف‌های ۳ و ۴ در سال‌های شبیه‌سازی اوج‌هایی را نشان می‌دهد که در هیچ یک از تکرارهای صورت گرفته توسط مدل شناسایی نشده است. احتمال خطا در داده‌ی این مقادیر اوج می‌تواند باعث کاهش مقدار نش - ساتکلیف در شبیه‌سازی‌ها گردد. شبیه‌سازی سالانه و ماهانه رسوب در حوضه‌های کوهستانی بهتر از دوره‌های روزانه است (غلامی، ۱۳۸۲)، بنابراین با توجه به این‌که حوضه مورد مطالعه در منطقه کوهستانی واقع شده است رسیدن به نتایج رضایت‌بخش در شبیه‌سازی رسوب نیازمند آمار طولانی مدت است. نتایج تحلیل‌های آماری انجام شده در خصوص میزان انطباق بین مقادیر بارمعلق مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در حوزه آبخیز یلفان ارائه شد و جهت ارزیابی کارایی مدل از توابع هدف شامل  $NS$ ،  $R^2$  استفاده شد. ضریب  $NS$  در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب برابر ۰/۵۶ و ۰/۵۳ به دست آمد. از آن‌جا که موریاسی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۷) پیشنهاد کردند اگر مقدار این فاکتور از ۰/۵ بیشتر شود، مدل شبیه‌سازی خوبی داشته است، همچنین گزا و کری<sup>۵</sup> (۲۰۰۸) نیز معیار نش - ساتکلیف بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ را رضایت‌بخش اعلام کردند. بنابراین بر اساس این شاخص طیفی ارائه شده، مقادیر شاخص  $NS$  به دست آمده در طبقه قابل پذیرش قرار می‌گیرد، معمولاً همین مقادیر نیز برای پارامتر  $R^2$  مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین  $R^2$  برای بارمعلق مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در واسنجی و اعتبارسنجی ۰/۵۹ و ۰/۵۵ بدست آمد که این رقم نیز پذیرفتنی و در محدوده ارقامی است که در تحقیقات قدوسی و همکاران (۱۳۹۳)، موریاسی و همکاران (۲۰۰۷) و جین<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۰) بیان شده است. پس از انجام واسنجی توزیع میزان بارمعلق در زیرحوضه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که زیرحوضه شماره ۱۰ با ۳۱/۶ تن در هکتار در سال بیشترین میزان تولید بارمعلق در حوضه را دارد (شکل ۲). با انطباق نقشه شیب، کاربری و خاک مشاهده می‌شود که بخش‌های مرکزی این زیرحوضه به کشاورزی دیم تغییر کاربری یافته‌اند و همچنین بیش از نیمی از مساحت این زیرحوضه در کلاس شیب بالای ۴۰ درصد قرار

1 Sauvage

2 Vigiak

3 Wang &amp; Melesse

4 Moriasi

5 Geza &amp; Cray

6 Jain

گرفته است. این مطلب بیانگر این موضوع است که بیشترین نواحی فرسایشی، اراضی زراعی با شیب تند هستند، همانطور که عمانی و همکاران (۱۳۸۵) و کیم<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعات خود بر نقش فوق العاده شیب تأکید کردند. در زیرحوضه‌های ۱۴، ۱۹، ۲۴ و ۳۳ (شکل ۲) که بیشترین نواحی از مساحت آن‌ها در کلاس شیب بالاتر از ۴۰ درصد قرار دارند نیز میزان بارمعلق بیشتر از سایر زیرحوضه‌ها است. در این زیرحوضه‌ها علاوه بر غلبه عامل شیب بر سرعت جریان، افزایش درصد اراضی کشاورزی دیم را در زیرحوضه‌های ۱۴ و ۳۳ نسبت به بقیه زیرحوضه‌ها در کاربری ۲۰۱۳ و کاربری قدیم می‌توان دلیل دیگر این امر برشمرد. در زیرحوضه‌های ۱۹ و ۲۴ نیز با وجود اراضی مرتعی میزان فرسایش بالاست علت آن را می‌توان تبدیل اراضی مرتعی به اراضی دیم، آبی، بیشه‌زارها، چرای بیش از حد و از بین رفتن بیشه‌زارهای موجود در آن‌ها دانست. نتایج حاصل از بررسی روند تغییر کاربری اراضی حوضه در ۲۵ سال اخیر که شامل تبدیل اراضی دیم به اراضی آبی، اراضی رهاشده و افزایش ۲/۵۵ درصدی مراتع بود بیانگر افزایش میزان بارمعلق در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال ۱۳۶۷ است. با توجه به این که در طی دو مقطع بررسی شده تنها عامل متغیر کاربری اراضی بوده است، چنین استنباط می‌شود که کاهش سطح اراضی کشاورزی دیم و افزایش سایر کاربری‌ها به ویژه مراتع که به دلیل نداشتن پتانسیل لازم برای این نوع کشت به اراضی لخت و رها شده تبدیل می‌شوند، منجر به این تغییرات گردیده است. به عبارت دیگر در این حوضه تبدیل مراتع به اراضی مزروعی، احداث جاده، نواحی مسکونی و غیره از یک‌سو و بهره‌گیری تک بعدی از مراتع از سوی دیگر، باعث کاهش بخش عمده‌ای از گونه‌های مرتعی و حتی نابودی برخی از آنها شده است (مهندسین مشاور طرح آبریز، ۱۳۸۷). لذا تغییر کاربری اراضی با دخالت در میزان جذب و نگهداشت آب بر میزان رواناب و بارمعلق مؤثر است و با تبدیل کاربری‌های مختلف به کاربری‌های دیگر و اعمال تغییر در پارامترهای دخیل در طول فرآیند شبیه‌سازی تأثیر خود را بر بارمعلق در یک حوضه نشان می‌دهد. این موضوع که تغییر کاربری اراضی پاسخ هیدرولوژی حوضه از جمله بارمعلق را تحت تأثیر قرار می‌دهد با نتایج یان و همکاران (۲۰۱۳) در چین که تغییرات کاربری اراضی مؤثر بر میزان جریان و رسوب را مربوط به تغییرات زمین‌های کشاورزی، جنگل و مناطق شهری دانستند، هم‌سو است. هم‌چنان‌که نتایج دیگر مطالعات انجام شده مانند غفاری و همکاران (۱۳۸۹) در حوضه آبخیز زنجان رود، سلمانی و همکاران (۱۳۹۰) در حوضه آبخیز قزاقلی استان گلستان، سلیمانخانی و همکاران (۱۳۹۲) در اطراف روستای کدیر از توابع کجور، کپنر<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۴) در حوضه سن‌پدرو<sup>۳</sup> آمریکا، محمد و آدام<sup>۴</sup> (۲۰۱۰) در شمال غربی شهر هربن<sup>۵</sup>، پالامولنی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۱) در حوضه آپرشیر<sup>۷</sup>، ویجیاک و همکاران (۲۰۱۵) در حوضه دانوب<sup>۸</sup> اسلواکی و زو و همکاران (۲۰۱۶) در حوضه آبخیز حوضه هوانگ فوجان واقع در کشور چین مبین این موضوع هستند. در حوضه آبخیز یلفان عدم توجه به مسأله قابلیت و تناسب کاربری زمین، بیشتر اراضی به صورت نامناسب و نامعقول استفاده می‌شوند (مهندسین مشاور طرح آبریز، ۱۳۸۷)، که این استفاده نادرست باعث کاهش پوشش گیاهی و افزایش سرعت جریان و ضریب رواناب

1 Kim

2 Kepner

3 San Pedro

4 Adam

5 Herban

6 Palamuleni

7 Upper Shire

و در نهایت افزایش فرسایش و رسوب شده است، همان‌طور که (همت‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸؛ فروتن دانش و همکاران، ۱۳۹۴؛ میاتا ۱ و همکاران، ۲۰۰۷؛ باکر ۲ و همکاران، ۲۰۰۸) به نقش پوشش گیاهی و درختی بر میزان رواناب و رسوب تولیدی تأکید کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد علی‌رغم تغییرات خفیفی که کاربری اراضی در طول دوره مطالعاتی داشته است (جدول ۳) ولی همین تغییرات اندک در کاربری ۱۳۹۱ موجب افزایش ۳۰/۶۲ درصدی میزان رسوب‌زایی حوضه نسبت به کاربری سال ۱۳۶۷ شده است. تبدیل اراضی مرتعی به کاربری‌هایی که دارای توانایی کمتر در پوشاندن سطح خاک (در تمام فصول) دارند، را می‌توان از عوامل افزایش رسوب زیرحوضه‌های حوضه یلفان دانست. از این رو با توجه به این که سطح قابل توجهی از حوضه یلفان به کاربری مرتع اختصاص دارد، لازم است که با مدیریت پوشش گیاهی، روند تغییر کاربری اراضی (تبدیل مراتع خوب و متوسط به سایر کاربری‌ها) کنترل و در جهت احیاء، اصلاح و توسعه مراتع گام برداشته شود. از سوی دیگر هر چند به دلیل وابستگی شدید مردم منطقه به زراعت نمی‌توان به احیای مراتع، باغات و جنگل‌کاری در کل منطقه پرداخت لذا پیشنهاد می‌گردد پس از بررسی منطقه مورد مطالعه با توجه به کاربری‌های موجود در حوضه، کاربری‌های باغ‌کاری و آگروفارستری در ترکیب با ترانس‌بندی، قرق و احیای مراتع در اراضی با شیب بیش از ۵۰ درصد جهت برآورد رسوب در صورت امکان اجرا شود و با توجه به کارایی مدل SWAT در این حوضه اثر این اقدامات مدیریتی بر کاهش فرسایش و رسوب‌زایی مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان برنامه‌ریزی آگاهانه‌تری برای کنترل و حفاظت از اراضی حوضه در برابر فرسایش ارائه کرد. استفاده از مدل SWAT به دلیل کاهش هزینه عملیات صحرایی و کاهش زمان مورد نیاز برای تحلیل مسائل، می‌تواند جز راه‌کارهای ممکن به منظور ارتقاء سطح مدیریت منابع آب و خاک تلقی گردد. علاوه بر این پژوهش‌گران و مدیران اجرایی می‌توانند با بهره‌گیری از این ابزار، سناریوهای مختلف مدیریتی را که امکان اجرای آن‌ها در بازه‌ی زمانی کوتاه و بدون صرف هزینه سنگین وجود ندارد را مورد ارزیابی قرار داده و با بررسی و تحلیل نتایج حاصل از آن بهترین تصمیم‌های مدیریتی را اتخاذ نمایند.

### فهرست منابع

۱. برخورداری، ج.، و خسروشاهی، م. (۱۳۸۷). بررسی اثرات پوشش زمین و تغییر آب و هوا در آب رودخانه (مطالعه موردی: حوضه آبخیز میناب). مجله پژوهش و سازندگی، ۷۷، ۱۹۱-۱۹۹.
۲. برزو، ن.، عبدالعظیمی، ه.، و افشین شریفان، ر. (۱۳۹۳). بررسی تأثیر کاربری اراضی بر نرخ رواناب و میزان آورد رسوب حوضه آبریز گیلارد استان تهران با استفاده از مدل ArcSWAT 10.1. سومین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار، فرصت‌ها و چالش‌های پیش رو، ۱۴۹-۱۴۲.
۳. جیرانی، ف.، مرید، س.، و مریدی، ع. (۱۳۹۰). اثر دقت مکانی نقشه رقمی ارتفاع در واسنجی و برآورد رواناب و رسوب با استفاده از مدل SWAT-CUP. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۸(۴)، ۱۰۲-۸۱.

۴. دولت آبادی، س.، و زمردیان، س.م.ع. (۱۳۹۲). شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه فیروزآباد با استفاده از مدل SWAT. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۴(۱۴)، ۳۸-۴۸.
۵. رستمیان، ر.، موسوی، س.ف.، حیدرپور، م.، افیونی، م. و عباسپور، ک. ۱۳۸۷. کاربرد مدل SWAT 2000 در تخمین رواناب و رسوب حوضه بهشت‌آباد از زیر حوضه‌های کارون شمالی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۴۶)، ۵۱۷-۵۳۱.
۶. سلمانی، ح. محسنی ساروی، م. روحانی، ح. سلاجقه، ع. (۱۳۹۰). ارزیابی تغییر کاربری و تأثیر آن بر رژیم هیدرولوژیکی در حوضه آبخیز قزاقلی استان گلستان. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، ۳(۶)، ۶۰-۴۳.
۷. سلیمانخانی، ز. صادقی، س.ح.ر.؛ میرنیا، س.خ.؛ غلامی‌گوهره، ر. (۱۳۹۲). مقایسه تغییرات درون و میان رگباری رواناب و رسوب در پلات‌های مستقر در کاربری‌های مرتع و جنگل احیا شده. مجله پژوهش آب ایران، ۷(۱۳)، ۱۱-۱۹.
۸. عارفی اصل، ا.، نجفی نژاد، ع.، کیانی، ف.، و سلمان ماهینی، ع. (۱۳۹۲). شبیه‌سازی رواناب و رسوب با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبخیز چهل چای استان گلستان. نشریه مرتع و آبخیزداری، ۶۶(۳)، ۴۳۳-۴۴۶.
۹. صالحی، ص.، نوری، ح.، ایلدرمی، ع.ر.، و چپی، ک. (۱۳۹۳). بررسی اثر شدت‌های مختلف بارندگی در شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد گرین). دانشگاه ملایر، ایران.
۱۰. عمانی، ن.، تجربی، م.، ابریشم‌چی، آ. (۱۳۸۵). شبیه‌سازی جریان ودخانه با استفاده از مدل SWAT و GIS. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اواز، ۸ ص.
۱۱. غفاری، گ. (۱۳۸۹). استفاده از مدل هیدرولوژی AVSWAT جهت بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر میزان بار رسوب رودخانه زنجان‌رود. نخستین کنفرانس پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی کرمانشاه.
۱۲. غلامی، ش. (۱۳۸۲). مدل شبیه‌سازی رسوب روزانه با استفاده از مدل توزیعی SWAT در حوضه‌های کوهستانی (حوضه آبخیز امامه). فصل‌نامه پژوهش و سازندگی، ۵۹، ۲۸-۳۳.
۱۳. فروتن دانش، م.، بهره‌مند، عبدالرضا، زینی‌وند، حسین.، اوتق، مجید.، و نجفی‌نژاد، علی. (۱۳۹۴). شبیه‌سازی اثرات سناریوهای توسعه مناطق مسکونی بر میزان رسوب معلق با استفاده از مدل WetSpa (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زیارت استان گلستان). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۲(۳)، ۲۰۷-۲۲۰.
۱۴. قدوسی، م.، دلاور، م.، و مرید، س. (۱۳۹۳). اثر تغییرات کاربری اراضی بر هیدرولوژی حوضه آبریز آجی‌چای و ورودی آن به دریاچه ارومیه. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۵(۲)، ۱۳۳-۱۲۳.
۱۵. کاویان، ع.، گلشن، م.، رحمانی، ح.، اسمعیلی عوری، ا. (۱۳۹۴). شبیه‌سازی رواناب و بار رسوب حوضه آبخیز رودخانه هراز مازندران با بهره‌گیری از الگوی SWAT. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷(۲)، ۱۹۷-۲۱۱.
۱۶. محسنی، ب.؛ قدوسی، ج.؛ احمدی، ح.، و طهماسبی، ر. (۱۳۹۰). ارزیابی دقت و کارایی مدل‌های EPM، MPSIAC، ژئومورفولوژی و هیدروفیزیکی در برآورد فرسایش و رسوب حوضه معرف کسلیان استان مازندران. مجله جغرافیا و توسعه، ۲۲، ۱۲۷-۱۰۷.
۱۷. مهندسین مشاور طرح آب‌ریز. (۱۳۸۷). مطالعات تفصیلی-اجرائی باقیمانده سد اکباتان. اداره کل منابع طبیعی آبخیزداری استان همدان. ۱-۱۲۳.
۱۸. همت‌زاده، ی.، بارانی، ح.، و کبیر، آ. (۱۳۸۸). نقش مدیریت پوشش گیاهی بر میزان رواناب سطحی. (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کچیک، استان گلستان). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۶(۲)، ۳۳-۱۹.



۱۹. یوسفی فرد، م.، جلالیان، ا.، و خادمی، ح. (۱۳۸۶). تخمین هدررفت خاک و عناصر غذایی در اثر تغییر کاربری اراضی مرتعی با استفاده از باران‌ساز مصنوعی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۱(۴۰)، ۹۶-۱۰۳.

20. Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H & Klove, B. (2015). A Continental-scale hydrology and water quality model for Europe: calibration and uncertainty of a high resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*, 524, 733-752.
21. Abbaspour, K.C., Johnson, A., & Van Genuchten, M.Th. (2004). Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. *Vadose Zone J.*, 3, 1340-1352
22. Abbaspour, K. C. (2007). User manual for SWAT-CUP (SWAT calibration and uncertainty analysis programs). Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. Eawag. Dubendorf. Switzerland, 95p.
23. Aldeen, M. (2013). Application of Swat model to estimate the sediment load from the left bank of Mosul dam. *Journal of advanced science and engineering research*. 3, 47-61.
24. Arnold, J. G., Williams, J. R., & Maidment, D. R. (1995). Continuous-time water and sediment-routing model for large basins. *Journal of Hydrauliv Engineering*, 183(2), 121.
25. Bakker, M. M., Govers G., Doorn A. V., Quetier F., Chouvardas, D., & Rounsevell, M. (2008). The response of soil erosion and sediment export to land-use change in four areas of Europe: The importance of landscape pattern. *Geomorphology*. 98, 213-226.
26. Benaman, J., & Shoemaker, C.A., (2005). An analysis of high-flow sediment event data for evaluating model performance. *Hydrological Processes*, 19, 605-620.
27. Chow, V. T., Maidment, D. R.; & Larry, W. M. (1988). *Applied Hydrology*. Mc Graw-Hill Book Company, New York.
28. Geza, M., & McCray, J.E. (2008). Effects of soil data resolution on SWAT model stream flow and water quality predictions. *Journal of Environmental Management*, 88, 393-406
29. Hernandez, M., S.N. Miller, D.C. Goodrich, B.F. Goof, W.G. Kepner, C.M. Edmands and K.B. Jones. (2000). Modeling runoff response to land cover and rainfall spatial variability in semi-arid watershed. *Environmental Monitoring and Assessment*. 64, 285-298.
30. Jain, S. K., Tyagi, J., & Singh, V. (2010). Simulation of runoff and sediment yield for a Himalayan Watershed using SWAT model. *Water Resource and Protection*, 2, 267-281.
31. Kepner, W. G., Semmens, D. J., Bassett, S. D., Mouat, D. A., & Goodrich, D. C. (2004). Scenario analysis for the San Pedro River, analyzing hydrological consequences of a future environment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 94, 115-127.
32. Kim, J., Noh, J., Son, K., & Kim, I. (2010). Analysis of the impacts of spatial input data quality on determination of runoff and suspended sediment in the Imha Watershed using SWAT Model. 2010 international SWAT conference-Seoul, book of abstracts, 81p.
33. Marcos, H.C., Aurelie, B., & Jeffrey, A.C. (2003). Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Rocantins River, Southeastern Amazonia. *Journal of Hydrology*, 283, 206-217.
34. Mello, C. R., Viala, M. R., Norton, L. D., Silva, A. M., & Weimar, F. A. (2008) Development and application of a simple hydrologic model simulation for a Brazilian headwater basin. *Catena*, 75, 235-247.
35. Miyata, S., Kosugi, K., Gomi, T., Onda, Y. & Mizuyama T. (2007). Surface runoff as affected by soil water repellency in a Japanese cypress forest. *Hydrological Processes*. 21(17):2365-2376.
36. Mohammad A. G., & Adam, M. A. (2010). The impact of vegetative cover type on runoff and erosion under different landuses. *Catena*. 81, 97- 103.
37. Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Binger, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. (2007). Modevaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 50 (3), 885-900.

38. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., & Williams, J.R. (2003). Soil and Water Assessment Tool, User's Manual, Version, 2000, 289.
39. Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R. & Willams, J. R. (2005). Soil and water assessment tool theoretical documentation. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 494 p.
40. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., & King, K.W. (2011). Soil and water assessment tool. Theoretical documentation: Version 2009. Grassland, soil and water research laboratory. Agricultural Research Service. 647p.
41. Palamuleni, L.G., Ndomba, P.M., & Annegarn, H.J. (2011). Evaluating land cover change and its impact on hydrological regime in Upper Shire river catchment, Malawi. *Journal of Regional Environmental Change*, 11(4), 845-855.
42. Panhalkar, S.S. (2014). Hydrological modeling using SWAT model and geo-informatics techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2014.03.001>.
43. Pikounis, M., Aranou, E., Baltas, E., Dassaklis, A., & 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.
44. Sauvage, S., Oeurng, C., & Sánchez-Pérez J.M. (2011). Assessment of hydrology, sediment and yield in a large agricultural catchment using the SWAT model. *Journal of Hydrology*, 401, 145-153.
45. Shimelis, G.S., Dargahi, B., Srinivasan, R., & Melesse, A. (2010). Modeling of sediment yield from Anjeni-Gauged Watershed, ETHIOPIA using SWAT model. *The American Water Resources Association*. 46(3). 514-526.
46. Sikka, A.K., Sarma, J., Sharda, S.V.N., Samraj, P., & 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.
47. Singha, A., Imtiyaz, M., Isaac, R.K., & Denis, D.M. (2012). Comparison of soil and water assessment tool (SWAT) and multilayer perceptron (MLP) artificial neural network for predicting sediment yield in the Nagwa agricultural watershed in Jharkhand, India. *Agricultural Water Management*, 104, 113-120.
48. Verbeeten, E., & Barendregt, A., (2007) the impacts of climate change on hydrological services provided by dry forest ecosystems in West Africa, 4th International SWAT Conference.
49. Vigiak, O., Malago, A., Bouraoui, F., Vanmaercke, M., & Poesen, J. (2015). Adapting SWAT hillslope erosion model to predict sediment concentrations and yields in large Basins. *Science of the Total Environment*, *Science of the Total Environment*, 538, 855–875.
50. Wang, X., & Melesse, A.M. (2005). Evaluation of the SWAT model's snowmelt hydrology in a northwestern Minnesota watershed. *Transactions of the ASAE*. 48, 4. 1-18.
51. Williams, J.R. (1975). Sediment- yield prediction with universal equation using runoff energy factor. *Proceedings of the sediment- Yield Workshop*. USDA sedimentation Laboratory, Oxford, Mississippi.
52. Yan, B., Fang, N.F., Zhang, P.C., Shi, Z.H. (2013). Impacts of land use change on watershed streamflow and sediment yield: An assessment using hydrologic modelling and partial least squares regression (The Case Study :China) .*Journal of Hydrology*, 484, 26–37.
53. Zuo, D., Xu, Z., Yao, W., Jin, S., Xiao, P., & Ran, D. (2016). Assessing the effects of changes in land use and climate on runoff and sediment yields from a watershed in the Loess Plateau of China. *Science of the Total Environment*, 544, 238-250.



## Environmental Erosion Research

journal homepage: <http://magazine.hormozgan.ac.ir>



### Evaluation of the Effects of Land Use Changes on Suspended Load Using SWAT Model (Case Study: Yalfan Watershed, Hamadan Province)

Farokhzadeh, B.<sup>1\*</sup>, Ildoromi, A.<sup>1</sup>, Attaeian, B.<sup>1</sup>, Nourouzi, M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>. Rangeland & Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources & Environmental Sciences, Malayer University

#### Abstract

Land use change and consequently land cover change is one type of anthropogenic interference that is influencing soil erosion and suspended sediment load in watersheds. Therefore, the evaluation of land use effects on suspended load can help to develop strategies for sustainable water management. This study aimed to evaluate the effect of land use changes on suspended sediment in the Yalfan watershed during the last 25 years. For this purpose, the SWAT model along with satellite data and in situ measurements from several ground stations (rain gauge and thermometer) was used and 2012 and 1988 land use maps were selected as main basis to compare sediment rate. Calibration and validation of the model were conducted for 2001 -2009 and 2010 – 2013; respectively, using SUFI2 algorithm in SWAT-CUP software. Then, simulation results were compared with measured values. Nash - Sutcliff coefficient (NS) and the correlation coefficient ( $R^2$ ) were respectively 0.56 and 0.59 for calibration phase and 0.53 and 0.55 for validation phase. Following by calibration and verification procedures, 1987 and 2012 land use maps were used to run the model to evaluate the impacts of land use change on suspended load in the Yalfan watershed. The simulation results showed that land use changes during 1987 to 2012 significantly affected suspended sediment load with a 30.62% increase in suspended load in the watershed. In overall, SWAT model is capable to simulate sediment loads in the Yalfan watershed

#### Article History:

Received:  
27, May 2015

Revised:  
07, February 2016

Accepted:  
27, February 2016

#### Keywords:

Land use  
Sediment  
SWAT model  
Yalfan watershed

\* Corresponding Author Email: [b.farokhzadeh@malayeru.ac.ir](mailto:b.farokhzadeh@malayeru.ac.ir)