

## تأثیرپذیری رسوب معلق رودخانه از تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز دینور استان کرمانشاه

سهیلا آقابیگی امین<sup>۱\*</sup>، علیرضا ایلدرومی<sup>۲</sup>، حمیدرضا نوری<sup>۳</sup> و افسانه حقیقی کرمانشاهی<sup>۴</sup>

۱. استادیار گروه منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی

۲. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ملایر

۳. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ملایر

۴. دانش آموخته رشته آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ملایر

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۸/۲۹؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۰/۱۰)

### چکیده

از تأثیرات مخرب تغییر کاربری اراضی یک حوضه، افزایش تولید رسوب و ورود آن به رودخانه‌ها و تجمع آن در مخزن سدهاست. از این رو، بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر فرایندهای هیدرولوژی امری مهم و ضروری است. این پژوهش با هدف بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر رسوب معلق طی سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۰ در حوضه آبخیز دینور در استان کرمانشاه با استفاده از مدل SWAT صورت گرفت. واسنجی و اعتبارسنجی مدل با استفاده از برنامه SUFI-2 انجام شد. نتایج شاخص‌های آماری استفاده شده در ارزیابی مدل مد نظر در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی NS و  $R^2$  به ترتیب بیش از ۵۰ و ۶۰ درصد به دست آمد که دلالت بر کارایی مدل در شبیه‌سازی داده‌های هیدرولوژیکی در حوضه مطالعه شده است. بررسی کاربری اراضی طی یک دوره ۱۶ ساله نشان داد بیشترین تغییر مختص به کاربری کشاورزی است با افزایش بیش از ۳۰ درصد و کمترین تغییر در کاربری مناطق مسکونی و جاده ۳/۲۵ درصد رخ داده است. همچنین نتایج به دست آمده از بررسی رسوب معلق، گویای تأثیر چشمگیر رسوب تولید شده از تغییرات کاربری اراضی در دوره مطالعه شده است. طوری که بیشترین میزان رسوب در سال ۱۹۹۴، ۱/۱۸ گرم در لیتر بوده، اما این میزان در سال ۲۰۱۰ به ۱۲/۶۵ گرم در لیتر رسیده است.

**کلیدواژگان:** برنامه SUFI-2، دینور، مدل‌های هیدرولوژیکی، مدل SWAT.

## مقدمه

یکی از عواملی که به شدت فرسایش خاک دامن می‌زند، تغییرات کاربری اراضی در طول زمان است که پایین‌بودن سطح آگاهی مردم نسبت به عوارض این تغییرات، تأثیرات تخریبی آن را چندبرابر می‌کند. با زیر کشت بردن زمین‌هایی که مناسب کشاورزی نیستند و کاهش روزافزون وسعت جنگل‌ها و مراتع، فرسایش و تولید رسوب افزایش می‌یابد [۱]. یکی از راه‌کارهایی که برای برآورد میزان فرسایش و رسوب بیش از گذشته مورد توجه مدیران و محققان قرار گرفته، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی مانند SWAT<sup>۱</sup> است [۲] که با توجه به قابلیت‌های آن با اهداف متفاوتی در مطالعات مختلف به‌کار گرفته شده است. سعادت و همکارانش [۳] از مدل SWAT به‌منظور شبیه‌سازی دبی استفاده کرده‌اند. آنها برای بررسی تأثیر کاربری اراضی روی میزان دبی روزانه در حوضه کسلیان مدل SWAT را به‌کار بردند. براساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که مدل برای مقیاس سالانه و ماهانه نتایج قابل قبول‌تری را نسبت به مقیاس روزانه ارائه می‌دهد. غفاری و همکارانش [۴] با استفاده از مدل SWAT تأثیر تغییر کاربری اراضی را بر پاسخ هیدرولوژیکی حوضه آبخیز زنگان‌رود بررسی کردند. نتایج شبیه‌سازی آنها نشان داد تغییرات کاربری از مرتع به دیمزار طی بازه زمانی ۴۰ ساله به افزایش ۳۳ درصدی در مقدار رواناب منجر شده است. رضازاده و همکارانش [۵] با مقایسه کارایی مدل SWAT با HEC-HMS در حوضه آبخیز آب‌بخشا در شبیه‌سازی دبی جریان رودخانه به این نتیجه رسیدند که مدل SWAT نسبت به مدل دیگر برتری داشته و نتایج آن دارای ضریب کارایی بیشتری است. وفاخواه و همکارانش [۶] تأثیر تغییر کاربری اراضی بر رواناب حوضه آبخیز چالوس‌رود را با استفاده از مدل L-THIA و محمدی و همکارانش [۷] از مدل WetSpa برای بررسی تأثیر کاربری اراضی بر تولید رواناب در حوضه آبخیز باغ‌سالیان استفاده کردند. استفاده از مدل SWAT در زمینه بررسی رسوب حوضه‌های آبخیز نیز توسط محققان مختلف صورت گرفته است. از جمله رستمیان و همکارانش [۸] مدل SWAT را در حوضه بهشت‌آباد از زیرحوضه‌های کارون شمالی با هدف تخمین رواناب و رسوب اجرا کردند. نتایج بیانگر آن بود که در

مجموع این مدل رواناب را بهتر از رسوب شبیه‌سازی کرده است. طالبی‌زاده و همکارانش [۹] در تحقیق خود برآورد رسوب را در دو مدل SWAT و شبکه عصبی در حوضه کسلیان مقایسه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مدل SWAT در برآوردهای بالای رسوب به‌طور مطلوب‌تری شبیه‌سازی را انجام داده و در برآوردهای کم شبکه عصبی بهتر عمل کرده است. علوی‌نیا [۱۰] برآورد رسوب را از حوضه آبریز رودخانه ابرو در بالادست سد اکباتان با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی کرد. براساس نتایج به‌دست‌آمده این مدل در شبیه‌سازی دقت مناسبی ارائه داد. کاظمی خالیدی [۱۱] با مقایسه مدل SWAT با مدل WEPP در برآورد رسوب به این نتیجه رسید که هرچند مدل SWAT پاسخ‌های هیدرولوژیکی حوضه، مانند بارش و رواناب را بهتر از مدل WEPP شبیه‌سازی کرده است، ولی نتایج شبیه‌سازی رسوب توسط مدل WEPP به مقادیر مشاهداتی نزدیک‌تر است. بذرکار [۱۲] در مطالعه‌ای کاربرد مدل SWAT را در شبیه‌سازی مواد مغذی به‌منظور تعیین سهم منابع آلاینده در حوضه آبریز سد چمگردلان در دو حالت جریان عادی و پرآب بررسی کرد که نتایج بیانگر افزایش میزان رسوب و مواد مغذی در مواقع پرآبی بود. در خارج از کشور نیز مطالعاتی در این زمینه انجام شده است. کیو و همکارانش [۱۳] رواناب و رسوب را در یک حوضه کوچک در چین با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی کردند. براساس یافته‌های آنها مدل برای برآورد رواناب و رسوب سیلاب‌های بزرگ دقت کمتری داشت. در مطالعه‌ای دیگر کیموگا و همکارانش [۱۴] تأثیر تغییرات کاربری اراضی را در میزان بار رسوبی حوضه تانزانیا با استفاده از مدل SWAT بررسی کردند. براساس نتایج به‌دست‌آمده افزایش مساحت کاربری زراعی در طول دوره مطالعه‌شده سبب افزایش میزان رسوب در منطقه شده است. موکوندان و همکارانش [۱۵] در شمال رودخانه فلور و آیانا و همکارانش [۱۶] در حوضه فینچا در اتیوپی کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی فرسایش و رسوب را مطالعه کردند. نتایج به‌دست‌آمده براساس شاخص‌های آماری قابل قبول تشخیص داده شد. سانتوس و همکارانش [۱۷] با استفاده از مدل SWAT تأثیرات تغییر کاربری و تغییر اقلیم را روی فرایندهای هیدرولوژیکی و فرسایش خاک در دو حوضه آبخیز مرطوب و خشک با اقلیم مدیترانه‌ای بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد تغییر اقلیم کاهش جریان رودخانه در

1. Soil and Water Assessment tools

شرقی شهر کرمانشاه و حد فاصل طول شرقی ۶۹۴۲۱۶/۶۷ تا ۸۸/۵۲۵ ۷۶۰ UTM و عرض شمالی ۳۸۲۵۱۷۶/۷۱ تا ۰۱/۳۸۶۱۹۶۳ UTM واقع شده است (شکل ۱). میانگین بارش سالانه این حوضه طی دوره ۲۵ ساله ۵۴۹/۱ میلی‌متر و دمای سالانه ۱۵/۲۵ درجه سانتی‌گراد است. حوضه دینور از نظر واحدهای ژئومورفولوژی به سه واحد کوهستانی، تپه‌ای و دشت تقسیم می‌شود. بیشتر سازندهای موجود در منطقه از نظر حساسیت به فرسایش درجه بالایی دارند. انواع فرسایش‌های قابل مشاهده در منطقه شامل فرسایش سطحی، شیاری، آبراه‌های، خندقی و کنار رودخانه‌ای است. کاربری‌های موجود در حوضه آبخیز مطالعه‌شده شامل کشاورزی ۳۴ درصد، باغ ۱ درصد، فاقد پوشش ۱۰ درصد، مرتع ۵۲ درصد، سنگ ۱ درصد، جاده و مناطق مسکونی ۲/۵ درصد است.

### روش کار

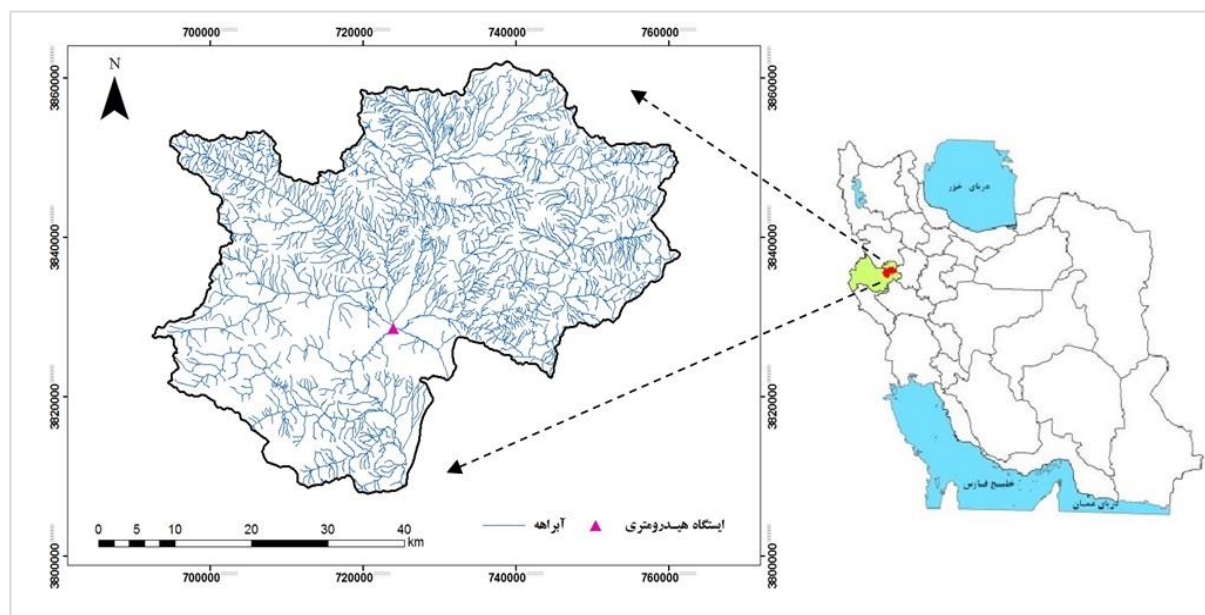
برای انجام پژوهش حاضر ابتدا داده‌ها و نقشه‌های مورد نیاز مدل تهیه شد. سپس، برای شبیه‌سازی دبی و رواناب مدل اجرا شد و در نهایت نتایج به‌دست‌آمده واسنجی و سپس اعتبارسنجی شدند. انجام مراحل اشاره‌شده به‌تفصیل در ادامه ارائه شده است.

دو حوضه را در پی دارد، اما کاهش رسوب فقط در حوضه مرطوب به‌وقوع پیوسته است. تغییر کاربری اراضی نیز سبب افزایش رواناب در هر دو حوضه شده، اما پاسخ فرسایش در دو زیرحوضه مطالعه‌شده متفاوت بود. بررسی مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد مدل SWAT برای شبیه‌سازی رسوب بسیار کمتر از رواناب استفاده شده است. به‌ویژه مطالعه رسوب و تأثیر تغییر کاربری بر آن با استفاده از این مدل در داخل کشور بسیار کم انجام شده است. بیشتر مطالعات، تغییر کاربری جنگل را به سایر کاربری‌ها مد نظر قرار داده‌اند و به تغییر کاربری مرتع بسیار کم توجه شده است. بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر میزان فرسایش و رسوب با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبخیز دینور که خاکی حساس و فرسایش‌پذیر داشت و همچنین تغییرات زیاد در الگوی کاربری اراضی در این حوضه طی ده‌های اخیر و توسعه کاربری کشاورزی در سطح وسیع بیانگر اهمیت این مطالعه است. نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند برای پروژه‌های اجرایی کنترل فرسایش و رسوب و حفاظت خاک در حوضه مطالعه‌شده به‌کار گرفته شود.

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت حوضه آبخیز دینور

حوضه دینور با مساحتی برابر ۲۱۴۵۷۷ هکتار در شمال



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز دینور و ایستگاه هیدرومتری حوضه

که از اداره کل منابع طبیعی استان کرمانشاه و سازمان آب منطقه‌ای استان کرمانشاه تهیه و آماده شدند.

### اجرای مدل

نخستین ورودی برای اجرای مدل، نقشه DEM است که مدل با استفاده از آن نقشه شبکه آبراهه‌ها را ترسیم و زیرحوضه‌ها را مشخص می‌کند. همچنین مدل نقشه طبقات شیب را هم با استفاده از نقشه DEM تهیه می‌کند. نقشه‌های کاربری و خاک ورودی‌های بعدی به مدل هستند. در نهایت، این سه نقشه توسط مدل SWAT با هم ترکیب و همپوشانی می‌شوند [۱۸]. در مرحله بعد مشخصات یک ایستگاه مرجع و چهار ایستگاه دیگر در حوضه وارد مدل شد که آمار بارش و دمای آنها موجود بود. مشخصات ایستگاه‌های استفاده‌شده در جدول ۱ آمده است. در نهایت، پس از مشخص کردن مقیاس زمانی شبیه‌سازی و سال‌های آماری منتخب برای شبیه‌سازی مدل اجرا شد. پس از اجرای مدل برای حساسیت‌سنجی پارامترهای مدل و صحت‌سنجی شبیه‌سازی از نرم‌افزار SWAT-CUP استفاده شد [۱۹].

### تهیه نقشه‌ها و داده‌های ورودی به مدل

با توجه به هدف مطالعه که ارزیابی و بررسی تأثیرات پوشش گیاهی و تغییرات کاربری بر میزان رسوب بود، باید نقشه کاربری حوضه در دو مقطع زمانی تهیه و مساحت کاربری‌ها محاسبه می‌شد. برای انتخاب دوره آماری مطالعه‌شده با بررسی نقشه‌های کاربری اراضی در مقاطع زمانی مختلف از حوضه و مقایسه آنها با کاربری اراضی کنونی و نیز بررسی آمارهای اقلیم، هیدرولوژیکی و رسوب، شروع دوره را یک مقطع زمانی که هم بیشترین اختلاف در کاربری اراضی با زمان حال داشته باشد و هم داده‌های کامل‌تری داشته باشد مد نظر قرار گرفت. بر این اساس، دوره آماری از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۰ در نظر گرفته شده و نقشه کاربری اراضی مختص به این دو سال تهیه شد. سایر اطلاعات و نقشه‌های مورد نیاز مدل برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب شامل نقشه مدل رقومی ارتفاع، نقشه خاک‌شناسی (به صورت رستری و با اندازه سلولی ۲۰ متر)، داده‌های اقلیمی (روزانه بارش، دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد، تابش خورشیدی و نقطه شبنم) و هیدرولوژیکی (آمار روزانه دبی آب و رسوب) هستند

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده‌شده

نام ایستگاه	سال تأسیس	ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی (UTM)	عرض جغرافیایی (UTM)
سینوپتیک کرمانشاه	۱۳۲۹	۱۳۱۸	۶۹۴۶۸۰	۳۸۰۲۹۹۴
باران سنج بیستون	۱۳۴۰	۱۵۰۰	۷۲۳۲۷۸	۳۸۲۵۸۳۱
باران سنج صحنه	۱۳۳۸	۱۳۸۲	۷۴۸۰۰۰	۳۸۱۷۲۰۹
باران سنج سنقر	۱۳۳۷	۱۷۰۰	۷۳۶۳۸۱	۳۸۵۲۰۵۷
باران سنج سفلی	۱۳۷۴	۱۳۹۲	۷۲۰۰۴۳	۳۸۳۳۱۵۳

### شبیه‌سازی رواناب و رسوب

برای انجام شبیه‌سازی، نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به ابتدا (سال ۱۹۹۴) و انتهای دوره (۲۰۱۰) به مدل معرفی شدند. برای این امر در هر بار اجرا همه ورودی‌های مدل ثابت در نظر گرفته و فقط نقشه کاربری به‌عنوان ورودی متغیر وارد مدل شد.

### صحت‌سنجی و اعتبارسنجی مدل

در این مطالعه آمار داده‌های دبی آب و رسوب سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۶ برای صحت‌سنجی و سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شده است. برای کالیبره مدل SWAT از نرم‌افزار SWAT-CUP و الگوریتم

SUFI-2 استفاده شد. این الگوریتم که در چهارچوب نرم‌افزار SWAT-CUP است روشی برای کالیبراسیون و آنالیز عدم قطعیت هم‌زمان مدل SWAT است [۱۶]. ابتدا ۱۸ پارامتر با دامنه اولیه برای مشخص شدن پارامترهای حساس در نظر گرفته شدند و در نهایت از بین این پارامترها حساس‌ترین و مؤثرترین پارامترها پس از رسیدن به نتیجه مطلوب مشخص شدند [۲۱]. نتایج قابل قبول با توجه به معیارهای آماری مختلف شامل ضریب تبیین<sup>۱</sup> ( $R^2$ )، ضریب نش-ساتکلیف<sup>۲</sup> (NS)، R فاکتور و P فاکتور مشخص شدند [۲۲ و ۲۳].

1. Coefficient of Determination  
2. Nash- Sutcliffe coefficient

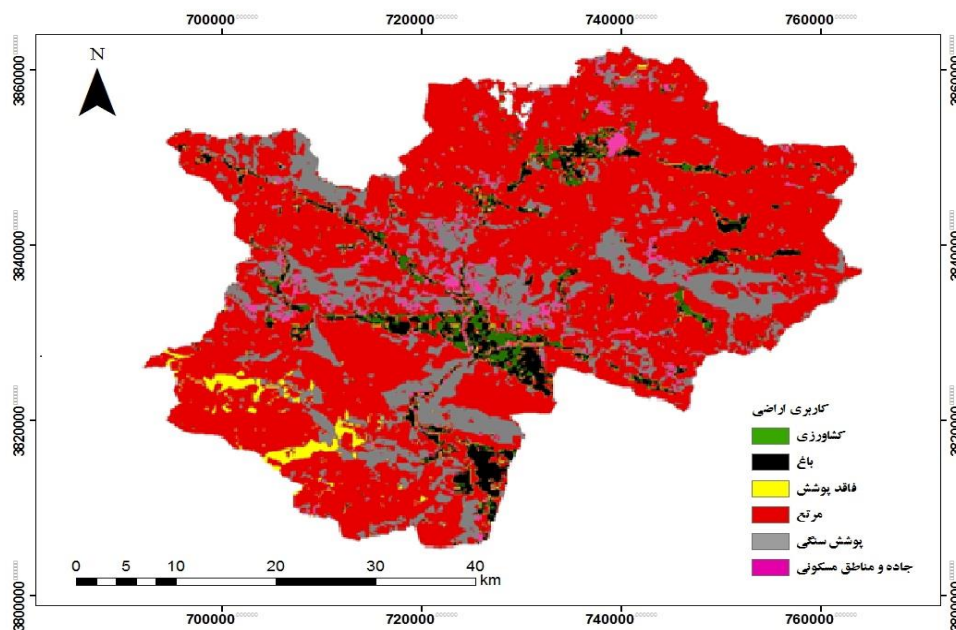
نتایج و بحث

[۲۴] و نقشه کاربری اراضی مربوط به این دو سال در محیط ARC GIS تهیه شد (شکل های ۲ و ۳).

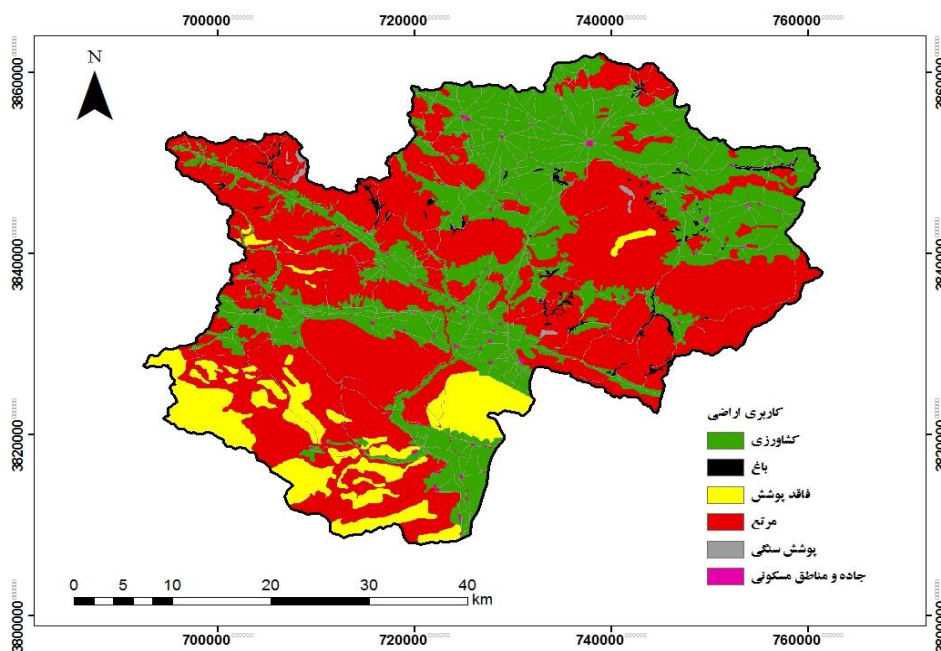
براساس نقشه های موجود، انواع کاربری ها و مساحت آنها در منطقه مطالعه شده در ابتدا و انتهای دوره به صورت جدول ۲ است.

نقشه های ورودی مورد نیاز مدل

نوع و مساحت کاربری اراضی در دو مقطع زمانی مشخص شده مربوط به ابتدای دوره آماری (۱۹۹۴) و انتهای دوره (۲۰۱۰) از اداره کل منابع طبیعی استان اخذ



شکل ۲. کاربری اراضی حوضه دینور در سال ۱۹۹۴



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی حوضه دینور در سال ۲۰۱۰

جدول ۲. وسعت انواع کاربری اراضی حوضه مطالعه شده در دوره شبیه سازی

نوع کاربری	مساحت (درصد) در سال ۱۹۹۴	مساحت (درصد) در سال ۲۰۱۰	تغییرات کاربری (درصد)	نوع تغییر
کشاورزی	۳/۱۲۶	۳۴/۰۱۲	۳۰/۸۹	افزایشی
باغ	۵/۲۰۹	۰/۹۷۵	-۴/۲۳	کاهشی
مناطق فاقد پوشش	۱/۶۳	۹/۱۰۴	۷/۴۷	افزایشی
مراتع	۷۲/۱۹۱	۵۱/۸۱۹	-۲۰/۳۷	کاهشی
پوشش سنگ	۱۵/۴۴	۰/۲	-۱۵/۲۴	کاهشی
مناطق مسکونی و جاده	۲/۳۹۹	۳/۸۹۱	۱/۴۹	افزایشی

سنگ ریزه خاک، گیاهی و مدیریت، روندیابی رسوب در آبراهه فرعی، شماره منحنی در شرایط، ضریب آلفای پایه جریان ساحلی، چگالی ظاهری خاک، ذوب برف در ۲۱ ژوئن، تأخیر دمای بارش برف و تغییرات سرعت بارش در ارتفاع) که وارد کالیبره مدل شدند، ۸ پارامتر (جدول ۳) به ترتیب بیشترین شاخص حساسیت را نشان دادند که مقادیر بهینه آنها در جدول ۳ قابل مشاهده است.

با توجه به جدول ۳ مدل SWAT بیشترین حساسیت را به فاکتور پیک برای روندیابی رسوب در کانال اصلی با مقدار بهینه ۰/۸۱ دارد و پس از آن به پارامتر شماره منحنی در شرایط رطوبتی با مقدار بهینه ۰/۱۲ نشان داد. پارامتر شماره منحنی می تواند با تأثیر بر میزان رواناب، رسوب را تحت تأثیر قرار داده و آن را افزایش دهد؛ به این ترتیب که با افزایش مقدار شماره منحنی، میزان جریان پایه کاهشی افت ولی میزان رواناب سطحی افزایش پیدا کرد، افزایش شماره منحنی کاهش نفوذپذیری و به دنبال آن افزایش مقدار رواناب را در پی خواهد داشت [۲۵ و ۴]. این افزایش رواناب به تبع با توجه به اینکه خاک های منطقه آهکی و مستعد فرسایش هستند میزان بار معلق را نیز افزایش خواهد داد. شکل های ۴ و ۵ نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل در شبیه سازی دی رسوب روزانه و جدول ۴ نیز نتایج معیارهای آماری عملکرد مدل را نشان می دهد.

نقشه زیرحوضه ها و خطوط جریان در مدل SWAT براساس نقشه DEM ساخته شد. با استفاده از این نقشه مدل ابتدا خطوط آبراهه ها رسم و پس از مشخص کردن نقطه خروجی روی آبراهه اصلی که با توجه به ایستگاه هیدرومتری مد نظر مشخص شده بود، حوضه را به زیرحوضه هایی تقسیم کرد. در نهایت، مدل حوضه آبخیز مطالعه شده را به ۵۱ زیرحوضه تقسیم کرد. برای هر نقشه مدل به طور جداگانه اجرا و خروجی ها بررسی شدند.

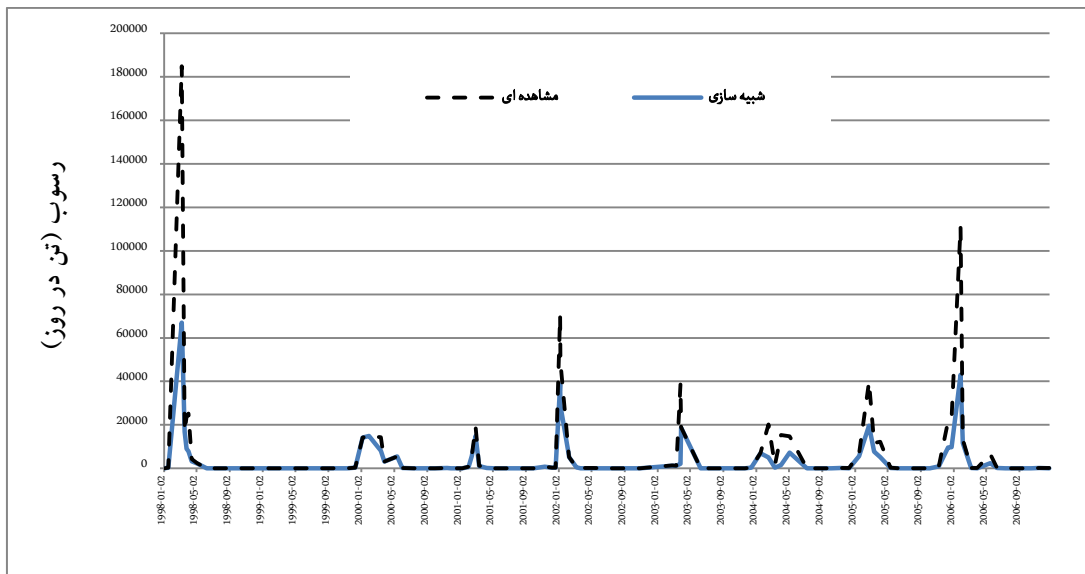
### نتایج شبیه سازی

برای بررسی نتایج شبیه سازی باید نتایج حساسیت سنجی، واسنجی و اعتبارسنجی را بررسی کرد که این نتایج همگی در محیط SWAT-CUP به دست می آیند. طی آنالیز حساسیت، پارامترهایی مشخص می شوند که تغییر در مقدار آنها نتایج را بیشتر از بقیه پارامترها تحت تأثیر قرار می دهد و از این پارامترها در روند واسنجی استفاده می شود.

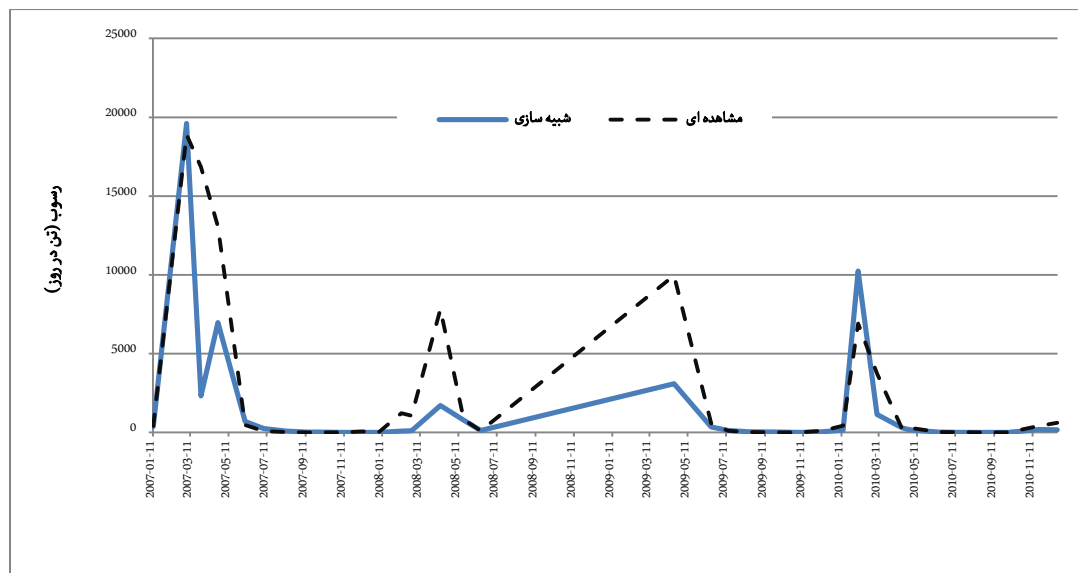
براساس نتایج آنالیز حساسیت، از بین ۱۸ پارامتری (روندیابی رسوب در دامنه، روندیابی رسوب در کانال، پیک برای روندیابی رسوب در کانال، اقدامات حفاظتی معادله USLE، فرسایش پذیری کانال، پوشش کانال، غلظت رسوب در جریان جانبی و آب، پیک برای روندیابی رسوب در زیرحوضه، فرسایش پذیری خاک در معادله USLE،

جدول ۳. معرفی و بیان مقادیر بهینه پارامترهای حساس مدل آنالیز حساسیت

مقدار بهینه	توضیحات	نام پارامتر
۰/۸۱۰	فاکتور پیک برای روندیابی رسوب در کانال	V_PRF.bsn
۰/۱۱۹	شماره منحنی در شرایط رطوبتی	r_CN2.mgt
۱/۰۹۹	پارامتر روندیابی رسوب در کانال	V_SPEXP.bsn
۱۷/۶	فاکتور ذوب برف در ۲۱ ژوئن	V_SMFMX.bsn
۰/۳۴۵	فاکتور پوشش کانال	V_CH_COV.rte
۰/۴۵	فاکتور فرسایش پذیری خاک در معادله USLE	r_USLE_K.sol
-۴۶۰/۲۹	تغییرات سرعت بارش در ارتفاع	V_PLAPS.sub
۰/۲۳	فاکتور اقدامات حفاظتی معادله USLE	V_USLE_P.mg



شکل ۴. منحنی مقادیر رسوب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی حوضه آبخیز دینور در مرحله واسنجی



شکل ۵. منحنی مقادیر رسوب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی حوضه آبخیز دینور در مرحله اعتبارسنجی

جدول ۴. نتایج معیارهای آماری استفاده شده در ارزیابی شبیه‌سازی رسوب معلق

نام شاخص	واسنجی	اعتبارسنجی
نش-ساتکلیف (NS)	۰/۵۵	۰/۵۸
ضریب تبیین (R2)	۰/۶۰	۰/۶۲
R فاکتور	۰/۵۶	۰/۳۳
P فاکتور	۴۵	۶۸

نسبت به مقدار واقعی آن است. این نتایج با یافته‌های تولسون و شومیکر [۲۶] و کیمواگا و همکارانش [۱۴]، چو و شیرمحمدی [۲۷] و رستمیان و همکارانش [۸] مبنی بر برآورد مدل کمتر از مقدار رسوب مشاهده‌ای مطابقت دارد.

همان طور که ملاحظه می‌شود منحنی مقادیر رسوب مشاهداتی بیشتر از منحنی مقادیر شبیه‌سازی شده قرار گرفته‌اند به خصوص این اختلاف در نقاط اوج بیشتر نمایان است و نشان‌دهنده تخمین کمتر رسوب توسط مدل SWAT

(شکل ۶) براساس نقشه کاربری اراضی در سال ۱۹۹۴ و سال ۲۰۱۰ نشان می‌دهد تغییرات صورت گرفته در کاربری اراضی منطقه سبب افزایش تولید رسوب در حوزه مطالعه شده است. مطابق شکل ۶ بیشترین اختلاف در میزان رسوب معلق روزانه در دو مقطع زمانی بررسی شده در نقاط اوج دیده می‌شود. بیشترین مقدار رسوب معلق در سال ۱۹۹۴، ۱/۱۸ گرم در لیتر بوده است، اما این میزان در سال ۲۰۱۰ به ۱۲/۶۵ گرم در لیتر رسیده است. به بیان دیگر، دوره مطالعه شده اختلافی برابر ۱۱/۴۷ گرم در لیتر در تولید رسوب معلق را در دو مقطع زمانی بررسی شده نشان می‌دهد.

پژوهش بیشتر محققانی که تغییرات کاربری اراضی را با میزان رواناب و رسوب بررسی کرده‌اند، روی تغییر وسعت جنگل و تبدیل آن به سایر کاربری‌ها بوده است و اعلام کرده‌اند که کاهش مساحت جنگل، افزایش این دو پارامتر را در بر داشته است [۳۰ و ۳۱]. مطالعات در زمینه تغییر مراتع به سایر کاربری‌ها بسیار محدود است، با این حال این نتایج با یافته‌های محققانی مانند لی و همکارانش در تغییر کاربری از جنگل و مرتع به مناطق کشاورزی و شهری و سعادت و همکارانش در تغییر کاربری از جنگل و مرتع به اراضی دیم، و مرتع به زراعت مطابقت دارد. همچنین آرنولد و همکارانش طی بررسی‌های خود نشان دادند کاهش سطح اراضی جنگلی و مراتع، به افزایش رواناب سطحی منجر شده است. تبدیل اراضی مرتعی به اراضی کشاورزی و دیم‌زار در مطالعات غفاری و همکارانش نیز نتایج مشابهی با مطالعه حاضر ارائه داد.

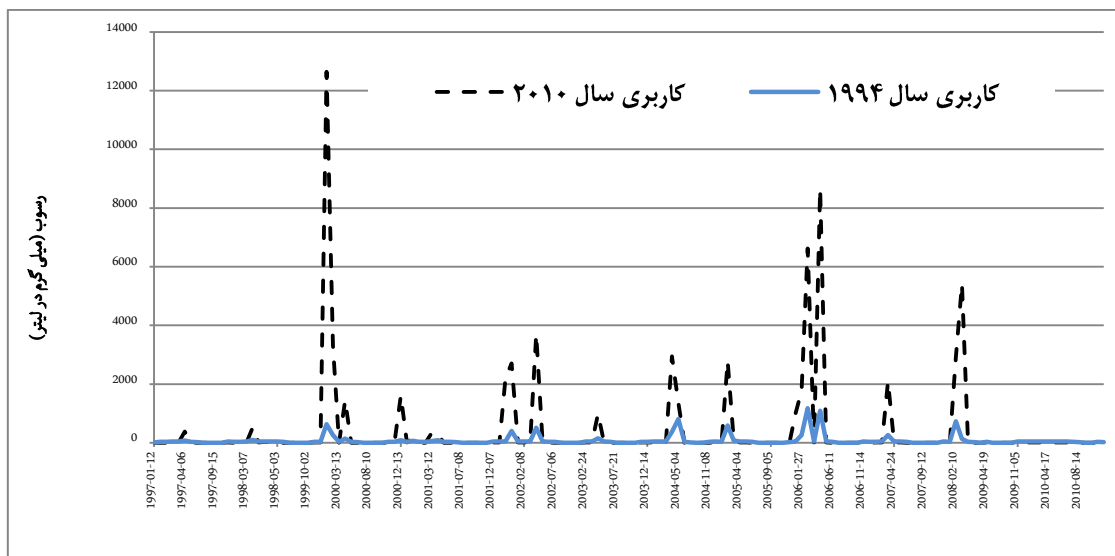
افزایش رسوب معلق در انتهای دوره بررسی شده علاوه بر تأثیرپذیری از تغییر نوع کاربری‌ها، می‌تواند ناشی از نوع خاکی باشد که این تغییرات در آن پیشروی کرده‌اند. اراضی کشاورزی در مناطق وسیعی از حوضه جای اراضی مرتعی را گرفته است و این گسترش بیشتر در مناطقی صورت گرفته است که براساس نقشه خاک حوضه فرسایش‌پذیرترین خاک منطقه را دارد. اراضی کشاورزی به دلیل اینکه در بیشتر ماه‌های سال به‌ویژه فصول بارندگی بدون پوشش است، تأثیرات این کاربری در جلوگیری از برخورد قطرات باران به سطح خاک، کاهش ساقاب، کاهش نفوذپذیری خاک و افزایش رواناب و فرسایش و در نتیجه رسوب را در پی دارد. رواناب و به تبع آن رسوب بیشتری را نسبت به مرتع تولید می‌کند.

نتایج شاخص‌های آماری بیانگر آن است که مدل SWAT توانایی و دقت لازم برای شبیه‌سازی رسوب را در حوضه دینور دارد. معمولاً در صورتی که شاخص NS بیشتر از ۷۵ درصد باشد، نتایج مدل عالی و اگر بین ۳۶ تا ۷۵ درصد باشد نتایج آن را رضایت‌بخش می‌دانند. مقدار  $p$  فاکتور بین صفر تا صد است که هرچه به صد نزدیک‌تر باشد شبیه‌سازی دقیق‌تر صورت گرفته است. مقدار  $R$  فاکتور نیز بین صفر تا بی‌نهایت است و مقادیر نزدیک به صفر نشان‌دهنده شبیه‌سازی بهتر توسط مدل است. بر این اساس می‌توان گفت که مدل SWAT با ضریب نش-ساتکلیف بیش از ۰/۵۵ و  $P$  فاکتور بیشتر از ۴۵ و  $R$  فاکتور کمتر از ۱ عملکرد رضایت‌بخشی داشته است. هرچند با نگاهی به نمودارهای ۴ و ۵ می‌توان دریافت که مدل هم در مرحله واسنجی و هم در مرحله اعتبارسنجی نقاط اوج را کمتر از مقدار واقعی شبیه‌سازی کرده است. پژوهشگران مختلف [۲۷، ۱۵، ۸، ۲۸ و ۲۹] دلیل این مسئله را ضعف مدل در شبیه‌سازی رواناب ذوب برف و وقایع سیلابی اعلام کرده‌اند.

بررسی نقشه‌های کاربری اراضی ابتدا (سال ۱۹۹۴) و انتهای (سال ۲۰۱۰) دوره بررسی شده، نشان داد کاربری‌های موجود در منطقه تغییرات زیادی داشته است به طوری که در سال ۱۹۹۴ کاربری‌های کشاورزی، باغ، مناطق فاقد پوشش، مراتع، پوشش سنگ و مناطق مسکونی و جاده به ترتیب با درصد مساحت ۳/۱۳، ۵/۲۱، ۱/۶۳، ۷۲/۱۹، ۱۵/۴۴ و ۲/۴۰ در سال ۲۰۱۰ به مساحت‌های به ترتیب ۳۴/۰۱، ۰/۹۸، ۹/۱۰، ۵۱/۸۲ و ۰/۲۰ و ۳/۸۹ تغییر یافته‌اند. مشاهده می‌شود که بیشترین تغییر مربوط به کاربری کشاورزی است که افزایشی بیشتر از ۳۰ درصد داشته است و کمترین تغییر در کاربری مناطق مسکونی و جاده رخ داده است که مقدار این تغییرات حدود ۱/۴۹ درصد بوده است. همچنین بیشترین کاهش سطح در مراتع با بیش از ۲۰ درصد ملاحظه شد. بیشتر باغ‌های منطقه به اراضی کشاورزی تبدیل شده و مناطقی که اکنون فاقد پوشش هستند، در ابتدای دوره جزئی از مراتع منطقه بوده‌اند. از طرفی بخش وسیعی از مراتع زیرکشت دیم و آبی برده شده‌اند که مشهودترین تغییر طی این دوره نیز هست. علاوه بر آن، توسعه مناطق مسکونی نیز در اراضی مرتعی بوده است.

نتایج مقادیر رسوب معلق خروجی به دست آمده از مدل





شکل ۶. مقادیر رسوب خروجی از حوضه دینور تحت تأثیر کاربری سال ۱۹۹۴ و سال ۲۰۱۰

river basin. Hydrology Earth System. 2009; 6: 7581-7609.

- [3]. Saadati, H., Gholami, S.A. Sharifi, F. and Ayoubzadeh, S. A. An investigation of the effects of land use change on simulating surface runoff using SWAT mathematical model (Case Study: Kasilian Catchment Area), Iranian Journal of Natural Resources. 2006; 59(2): 301-313. (In Persian)
- [4]. Ghafari, G., Ghodosi, J., Ahmadi, H. The effect of land use changes on watershed hydrology reactions, Journal of water and soil conservation. 2009; 16(1):163-180. (In Persian)
- [5]. Rezazade, M. S., Ganjali khani, M. and Kermani, M. Z. N. Comparing the performance of semi-distributed hydrological model SWAT and integrated model HEC - HMS in the simulation flow rate (Case study: Ab bakhsha watershed), Ecohydrology journal. 2015; 2:(4), 479-467. (In Persian)
- [6]. Vafakhah, M., Javadi, M. R. and Najafi Majd, J. The impact of land use change on the runoff in the watershed of the river Chalus, Ecohydrology journal. 2015; 2:(2), 211-220. (In Persian)
- [7]. Mohamadi, M., Moradi, H. R., Pourghasemi, H. R. and Farazjoo, H. The impact of land use change on the runoff by using WetSpa, Ecohydrology journal. 2015; 2:(4), 357-369. (In Persian)
- [8]. Rostamian, R., Mosavi, F., Heidarpour, M., Efyoni, M. and AbaspourK. Runoff and sediment estimation by using SWAT 2000 in Behesht Abad watershed. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 2008; 12 (46): 517-531. (In Persian)

### نتیجه گیری

نتایج بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر میزان رسوب معلق روزانه در حوضه آبخیز دینور نشان داد روند تغییر کاربری اراضی حوضه در دوره زمانی بررسی شده (۱۹۹۴ - ۲۰۱۰) که شامل تبدیل مراتع و باغ‌ها به اراضی کشاورزی و مناطق شهری بوده است به افزایش مقدار رسوب معلق روزانه به میزان ۱۱/۴۷ گرم در لیتر منجر شده است. به‌طور کلی، نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق هم‌راستا با نتایج غفاری و همکارانش [۴] نشان داد تأثیرات نامطلوب تغییر کاربری اراضی تنها محدود به اراضی جنگلی نیست و تبدیل اراضی مرتعی به کاربری‌هایی که عامل حفاظت خاک (پوشش گیاهی) آنها تنها در زمان محدودی از سال وجود دارد نیز می‌تواند تأثیرات چشمگیر و مخربی بر وضعیت منابع آب، فرسایش و رسوب منطقه داشته باشد. نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند برای پروژه‌های اجرایی کنترل فرسایش و رسوب و حفاظت خاک در منطقه به‌کار گرفته شود.

### منابع

- [1]. Shi, P.J., Yuan, Y., Zheng, J., Wang, J.A., Ge, Y. and Qiu, G.Y. The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region, China, Catena. 2007; 69:31-35.
- [2]. Alansi, A.W., Amin, M.S.M., Abdul Halim, G., Shafri, H.Z.M., and Aimrun, W. Validation of SWAT model for stream flow simulation and forecasting in Upper Bernam humid tropical

- [9]. Talebizadeh, M., Morid, S., Ayyoubzadeh, S.A., and Ghasemzadeh, M. Uncertainty Analysis in Sediment Load Modeling Using ANN and SWAT Model. *Water Resour Manage.* 2009; DOI 10.1007/s11269-009-9522-2. (In Persian)
- [10]. Alavinia M. and Nasiri S. Simulation sediment yield using SWAT Model, 8th International River Engineering Conference Shahid Chamran University. 2010; 26-28 Jan, Ahwaz. (In Persian)
- [11]. Kazemi Khaledi, H. Sediment estimation using WEPP model and comparing with SWAT (Case study: Ammame watershed), M.Sc. thesis, Tarbiat modares university. 2009; 123p. (In Persian)
- [12]. Bazrkar, M. Mathematical model SWAT application in nutrients simulation to determine the contribution of pollution sources in Ilam dam basin, M.Sc. thesis, Tarbiat modares university. 2011; 154p. (In Persian)
- [13]. Qiu, L.J., Zheng, F.L., and Yin, R.Sh. SWAT-based runoff and sediment simulation in a small watershed, the loessial hilly-gullied region of China: capabilities and challenges, *International Journal of Sediment Research.* 2012; 27: 226-234.
- [14]. Kimwaga, R. J., Bukirwa, F., Banadda, N., Wali, U.G., Nhapi, I., and Mashauri D.A. Modeling the Impact of Land Use Changes on Sediment Loading Into Lake Victoria Using SWAT Model: A Case OF Simiyu Catchment Tanzania, *The Open Environmental Engineering Journal.* 2012; 5: 66-76.
- [15]. Mukundan, R., Radcliffe, D.E., and Risse, L. M. Spatial resolution of soil data and channel erosion effects on SWAT model predictions of flow and sediment, *Jurnal of soil and water conservation.* 2012; 65 (2): 92-104.
- [16]. Ayana. A.B., Edossa.D.C. and Kositsakulchai, E. Simulation of Sediment Yield using SWAT Model in Fincha Watershed, *Ethiopia Kasetart Journal.* 2012; 46 : 283 - 297.
- [17]. Santos, J., Nunes, J., sampaio, E., Moreira, M., Lima, J., Jacinto, R. and Corte-Real J. Climate and Landuse Change Impacts on hydrological processes and soil erosion in a dry Mediterranean agro-forested catchment, southern Portugal. *Hydrology and earth system sciences discussions.* 2014; 16: 714-730.
- [18]. Abbaspour, K. C., C. A. Johnson and M. Th. Van Genuchten. Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure, *Vadose Zone.* 2004; 3: 1340-1352.
- [19]. Schuol, J., Abbaspour, K.C., Srinivasan, Y.H., and A., Zehnder. Modeling blue and green water availability in Africa. *Water resources research.* 2008; 32: 18.
- [20]. Ayana. A.B., Edossa.D.C. and Kositsakulchai, E. Simulation of Sediment Yield using SWAT Model in Fincha Watershed, *Ethiopia Kasetart Journal.* 2012; 46 : 283 - 297.
- [21]. Abbaspour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J. et al. Modeling of hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal Hydrology.* 2007; 333: 413-430.
- [22]. Franchini, M., Bernini, A., Barbetta, S., Moramarco, T. Forecasting discharges at the downstream end of a river reach through two simple Muskingum based procedures, *Journal of Hydrology.* 2011; 399: 335-352.
- [23]. Song, X., Kong, F., Zhu, Z. Application of Muskingum routing method with variable parameters in ungauged basin, *Water Science and Engineering.* 2011; 4(1): 1-12
- [24]. Justification studies of watershed management and renewable natural resources of Dinevar watershed. Department of natural resources of Kermanshah province, Saman Ab e Sarzamin consulting engineers. 2010; 230p. (In Persian)
- [25]. Anwar, N.S. Simulated impact of land use dynamics on hydrology during a 20-year-period of Beles Basin in Ethiopia, Student thesis, School of Architecture and the Built Environment (ABE), Land and Water Resources Engineering, 2010; 1-33.
- [26]. Tolson, B. A. and Shoemaker, C. A. Watershed modeling of the Cannonsville basin using SWAT2000: Model development, calibration and validation for the prediction of flow, sediment and phosphorus transport to the Cannonsville reservoir. Technical Report, School of Civil and Environmental Engineering, Cornell University. 2004; 159pp.
- [27]. Chu, T. W. and Shirmohammadi, A. Evaluation of the SWAT model's hydrology component in the piedmont physiographic region of Maryland Transition ASAE. 2004; 47(4): 1057-1073.
- [28]. Spruill, C.A., Workman, S.R. and Taraba, J.L. Simulation of daily and monthly stream discharge from small watershed using the SWAT model. *Soil and Water Division of ASAE*, 2000; 98(5): 1431-1440.
- [29]. Wang, X. and Melesse, A.M. Evaluation of the SWAT model's snowmelt hydrology in a northwestern Minnesota watershed, *Transactions of the ASAE.* 2005; 48(4): 1-18.

- [30]. Saadati, H., S.A. Gholami, F. Sharifi and S.A. Ayoubzadeh. An investigation of the effects of land use change on simulating surface runoff using SWAT mathematical model (Case Study: Kasilian Catchment Area), Iranian Journal of Natural Resources. 2006; 59(2): 301-313. (In Persian)
- [31]. Wang, S., Kang, S., Zhang L. and Li, F. Modelling hydrological response to different land-use and climate change scenarios in the Zamu River basin of northwest China. Journal of Hydrological Processes. 2008; 22: 2502-2510.