

ارزیابی سناریوهای تغییر بهینه‌ی کاربری اراضی و تأثیر آن بر پارامترهای هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دینور)

علیرضا ایلدرمی*: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر، همدان
حمید نوری: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر، همدان
سهیلا آقاییگامین: گروه منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
افسانه حقیقی کرمانشاهی: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر، همدان

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۱۸)

چکیده

تغییرات کاربری اراضی یک حوضه در طول زمان، بر بسیاری از فرآیندهای فرسایش خاک و تولید رسوب اثر می‌گذارد و باعث از بین رفتن کیفیت و حاصل‌خیزی خاک می‌شود. از سوی دیگر، با افزایش تولید رسوب و تجمع آن در مخزن سدها به کاهش عمر مفید آنها می‌انجامد. هدف از این مطالعه، بررسی اثراتی است که اجرای سناریو تغییر کاربری اراضی در میزان رواناب و رسوب خروجی از حوضه اعمال می‌کند. شبیه‌سازی رواناب و رسوب با توجه به سناریوی تعریف شده برای حوزه آبخیز مورد بررسی، با استفاده از مدل SWAT براساس شاخص‌های آماری صورت گرفت. شاخص‌های ضریب تبیین و نش = ساتکلیف در مرحله‌ی واسنجی، به ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۶۰ و در مرحله‌ی اعتبارسنجی ۰/۵۸ و ۰/۶۲ به دست آمد که بیانگر کارایی مدل در این حوزه است. سناریوی ارائه شده، در جهت بهبود وضعیت پوشش حوضه بوده است؛ به این صورت که در اراضی فاقد پوشش حوضه - که طی دوره‌ی آماری وسعت آن به مرور بیشتر شده - مخلوطی از درختان همیشه سبز و خزان کننده با تراکم متوسط کشت شود. پس از بررسی نتایج حاصل از این سناریو و مقایسه‌ی رواناب و رسوب شبیه‌سازی شده، مشاهده شد که این تغییر کاربری به‌ویژه در نقاط اوج به کاهش رواناب و رسوب و در پی آن کاهش تخریب منجر شده؛ بدین صورت که رسوب معلق تولید شده به میزان ۵۲ درصد و رواناب به میزان حدود ۳۲ درصد کاهش یافته است.

واژگان کلیدی: پارامترهای هیدرولوژیکی، تغییر کاربری اراضی، سناریو.

۱- مقدمه

کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر کنترل فرایند بارش - رواناب در مقیاس وقایع سیل برای حوزه‌های آبخیز است. مطالعات ثابت کرده‌اند که تغییرات غیر یکنواخت در کاربری اراضی یا پوشش گیاهی با عکس-العمل هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز ارتباط تنگاتنگی دارد (Siriwardena et al, 2006)؛ به عبارت دیگر، کاربری اراضی یا الگوی نامناسب پوشش گیاهی، می‌تواند به هدر رفت شدید آب، خاک و مواد غذایی و تخریب اراضی منجر شود (Wei et al, 2007). هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر رژیم هیدرولوژیکی حوزه‌ی آبخیز

دینور به‌عنوان یکی از حوزه‌های مهم استان کرمانشاه است. برای فهم بهتر فرایند و سرنوشت آلودگی و همین‌طور رژیم هیدرولوژیکی، از مدل SWAT^۱ برای شبیه‌سازی دبی و رسوب تحت تأثیر تغییر کاربری طی دوره‌ی آماری مشخص براساس سناریوهای فرضی در حوزه‌ی آبخیز دینور استفاده شد (Trang et al, 2017).

تغییر کاربری اراضی، فرآیندی گسترده و سریع است که در بسیاری از موارد به‌طور منفی، منابع طبیعی مانند خاک و منابع آبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Saatchi, 2013). حوزه‌ی آبخیز دینور نیز از این امر مستثنی نبوده و تغییرات گسترده‌ای شاهد بوده‌است که ارزیابی این تغییرات و تأثیر آن بر توسعه و مدیریت منابع آب، در آینده بسیار مهم است. مدل SWAT در مطالعات زیادی استفاده شده‌است؛ کارآموز و همکاران^۲ (2009) از این مدل برای ارزیابی اثرات راهکارهای مدیریتی در کاهش بار فسفر ورودی و کاهش تغذیه‌گرایی مخزن سد ستارخان در آذربایجان شرقی استفاده کردند. پس از بررسی نتایج شبیه‌سازی مدل، سناریوهایی پیشنهاد شد؛ از قبیل کاهش ۶۰ درصدی بارهای نقطه-ای و استفاده از رسوب‌گیرهای محافظ در سطح حوزه‌ی آبخیز. سلمان و همکاران^۳ (2012) با استفاده از مدل SWAT، چهار سناریوی مدیریتی را با هدف بررسی پاسخ هیدرولوژیکی حوزه‌ی قزاقلی به تغییرات کاربری اراضی به‌کار بردند و به این نتیجه رسیدند که حفظ کاربری فعلی حوزه با مقدراتی اصلاحات مؤثر است که در جهت مدیریت رواناب سطحی در حوزه‌ی آبخیز صورت می‌گیرد. رضایی‌زمان^۴ (2012) راهبردهای تطبیق با تغییر اقلیم را در کشاورزی حوضه‌ی سیمینه‌رود مطالعه کردند. ارزیابی راهکارهای اعمال شده - که با توجه به نتایج مدل SWAT به دست آمده بود - نشان داد راهکارهایی که به تولید بیشتر محصولات کشاورزی منجر می‌شوند، نمی‌توانند نقشی در جبران کاهش آب ورودی به دریاچه داشته باشند و برعکس، راهکارهایی که ورودی دریاچه را بیشتر می‌کنند، کاهش عملکرد تولید را در پی دارند. Betrie و همکاران (2011) تأثیر فعالیت‌های مدیریتی رسوب را در شرق حوضه‌ی بلونایل بررسی کردند. سناریوهای ارائه شده شامل ایجاد سپرهای نواری، تراس‌های موازی و احیای جنگل‌ها بود. کاهش رسوب در خروجی حوضه به وسیله سپر نواری از ۲۹ درصد تا ۶۸ درصد، برای تراس‌ها از ۹ درصد تا ۶۹ درصد و به وسیله احیای جنگل‌ها از ۴۸ درصد تا ۷۷ درصد شبیه‌سازی شد که با واقعیت همخوانی داشت. Lopez-Vicente و همکاران (2011) از چهار سناریوی مدیریت کاربری اراضی و تأثیر آن بر فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز Estanque de Arriba در اسپانیا استفاده کردند و این امر با استفاده از مدل اصلاح شده‌ی مورگان - فینی صورت گرفت. نتایج به‌دست آمده، از تأثیر مثبت افزایش پوشش گیاهی و کشاورزی حفاظتی بر کاهش فرسایش و رسوب حکایت می‌کند. Santos و همکاران (2014) با استفاده از مدل SWAT، اثرات تغییر کاربری و تغییر اقلیم را بر فرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایش خاک در حوضه با اقلیم مدیترانه‌ای بررسی کردند. آنها همچنین از نتایج برای ارائه‌ی سناریوهایی در سال‌های 2100-2071 استفاده کردند. Fukhrudin و همکاران (2013) شدت هدررفت خاک و نسبت تحویل رسوب را با اجرای سناریوهای محیط زیستی کاربری اراضی، در حوزه‌ی رودخانه‌ی مینه سوتا در آمریکا بررسی کردند و در این راه از مدل Geo WEEP بهره بردند. همچنین، افراد دیگری بر موضوع تأثیر تغییر کاربری بر رواناب و رسوب

¹ Soil and Water Assessment Tools

² Karamooz et al

³ Salmani et al

⁴ Rezaei Zaman

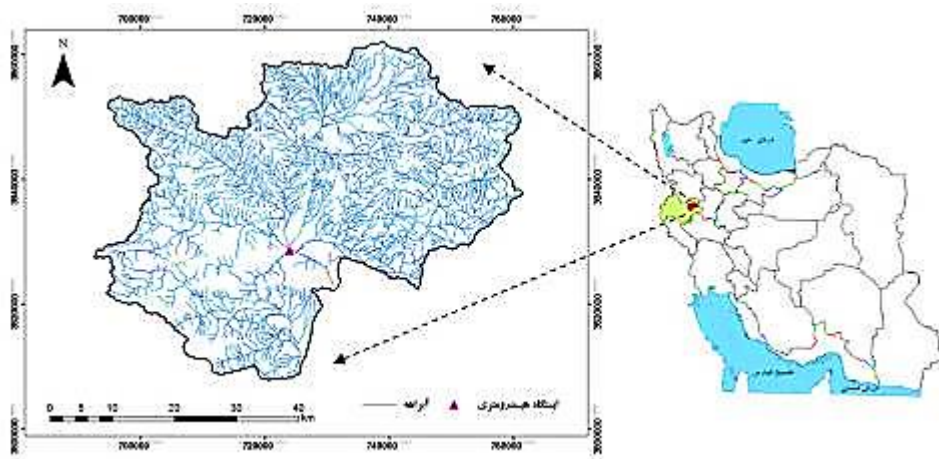
حوزه‌های آبخیز مطالعه انجام داده‌اند؛ از جمله Wang و همکاران (2008) در حوزه رودخانه زاموا در چین و Saadati و همکاران (2006) در حوزه آبخیز کسلیان.

در حوضه دینور طی دوره‌ی مورد بررسی، کاربری کشاورزی توسعه‌ی زیادی داشت و سطح وسیعی از کاربری‌های تحت تصرف و دخالت انسان است که با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه، در اثر تغییر کاربری‌های فرسایش و به تبع تولید رسوب در منطقه افزایش خواهد یافت. مطالعه‌ی مورد نظر با هدف بررسی دخالت‌های انسانی و تأثیر آن بر رژیم هیدرولوژیکی و امکان بهبود شرایط با اصلاح این دخالت‌ها با استفاده از نرم‌افزار SWAT صورت گرفت.

۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه دینور با مساحتی برابر با ۲۱۴۵۷۷ هکتار در شمال شرقی شهر کرمانشاه و حد فاصل طول شرقی ۶۹۴۲۱۶/۶۷ تا ۷۶۰۵۲۵/۸۸ UTM و عرض شمالی ۳۸۲۵۱۷۶/۷۱ تا ۳۸۶۱۹۶۳/۰۱ UTM واقع شده است (شکل ۱). میانگین بارش سالانه این حوزه طی دوره ۲۵ ساله، ۵۴۹/۱ میلی‌متر و دمای سالانه‌ی ۱۵/۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد است. حوضه دینور از نظر واحدهای ژئومورفولوژی به سه واحد کوهستانی، تپه‌ای و دشت تقسیم‌بندی می‌شود. اکثر سازندهای موجود در منطقه از نظر حساسیت به فرسایش، از درجه‌ی بالایی برخوردار هستند. انواع فرسایش‌های قابل مشاهده در منطقه شامل فرسایش سطحی، شیاری، آبراهه‌ای، خندقی و کنار رودخانه‌ای است. کاربری‌های موجود در حوزه آبخیز مورد مطالعه شامل موارد زیر است: کشاورزی ۳۴ درصد، باغ ۱ درصد، فاقد پوشش ۱۰ درصد، مرتع ۵۲ درصد، سنگ ۱ درصد، جاده و مناطق مسکونی ۲/۵ درصد.

۳- مواد و روش



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

۳-۱ معرفی مدل SWAT

یکی از مدل‌های مورد استفاده به منظور بررسی اثر تغییر کاربری اراضی و تغییر اقلیم بر رواناب و رسوب در مقیاس حوزه آبخیز، مدل SWAT است. در این مدل، امکان ارزیابی اثر تغییرات طبیعی یا مدیریتی متفاوت بر رواناب، رسوب، عناصر غذایی و بیلان مواد شیمیایی در حوضه‌هایی با خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی

متفاوت در دوره‌های زمانی طولانی به صورت سناریو وجود دارد (Neitch et al, 2005). با استفاده از شبیه‌سازی در این مدل می‌توان سناریوهای مختلف را قبل از اجرا، ارزیابی و از پیامدهای ناخواسته‌ی آن جلوگیری کرد. مدل SWAT در برآورد رسوب در مقایسه با سایر مدل‌های فیزیکی کارایی بهتری دارد؛ زیرا این مدل قادر است رسوب روزانه را شبیه‌سازی کند و در اراضی مرتعی و نواحی کوهستانی نیز قابلیت خود را نشان دهد (Gholami, 2003). اجزای اصلی SWAT اقلیم، هیدرولوژی، فرسایش، پوشش زمین، دوره‌ی رشد گیاه، مواد مغذی، سموم و آفت-کش‌ها و مدیریت اراضی است (Phomcha et al, 2012). این مدل فرایندهای هیدرولوژی را براساس معادلات بیلان آب (رابطه ۱) محاسبه می‌کند.

$$S_t = S_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad \text{رابطه ۱}$$

S_t محتوی نهایی آب خاک (میلی‌متر)، S_0 محتوی اولیه‌ی آب خاک (میلی‌متر)، t زمان (روز)، R_{day} مقدار بارندگی در روز i (میلی‌متر)، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در روز i (میلی‌متر)، E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز i (میلی‌متر)، w_{seep} مقدار آب گذری در پروفیل زیرین خاک در روز i (میلی‌متر) و Q_{gw} مقدار جریان پایه در روز i (میلی‌متر) را نشان می‌دهد.

حجم رواناب سطحی با استفاده از روش شماره منحنی SCS حاصل می‌شود. رواناب حداکثر با روش منطقی اصلاح شده به‌دست می‌آید. برای روندیابی رواناب در کانال، از روش روندیابی ماسینگام استفاده می‌شود. همچنین سه روش پنمن-مانتیس، پریستلی-تیلور و هاسگریو، برای تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل در این روش ارائه شده‌است. فرسایش خاک در این مدل براساس روش MUSLE صورت می‌گیرد. این مدل، پارامتر فرسایشی باران در مدل USLE را با فاکتور رواناب، جایگزین کرده‌است. رسوب در این مدل با استفاده از معادله‌ی زیر (رابطه ۲) به‌دست می‌آید:

$$sed = 11.8(Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0.56} \cdot K \cdot C \cdot P \cdot LS \cdot CFRG \quad \text{(رابطه ۲)}$$

sed میزان رسوب‌دهی در روز مورد نظر (تن)، Q_{surf} حجم رواناب سطحی (میلی‌متر بر ساعت)، q_{peak} شدت رواناب حداکثر (مترمکعب بر ثانیه)، $area_{hru}$ سطح واحدهای هیدرولوژیکی (هکتار)، K فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (تن مترمربع ساعت بر مترمعب تن سانتی متر)، C فاکتور پوشش گیاهی و مدیریت، P فاکتور اقدامات حفاظتی، LS فاکتور توپوگرافیکی و $CFRG$ فاکتور قطعات درشت خاک.

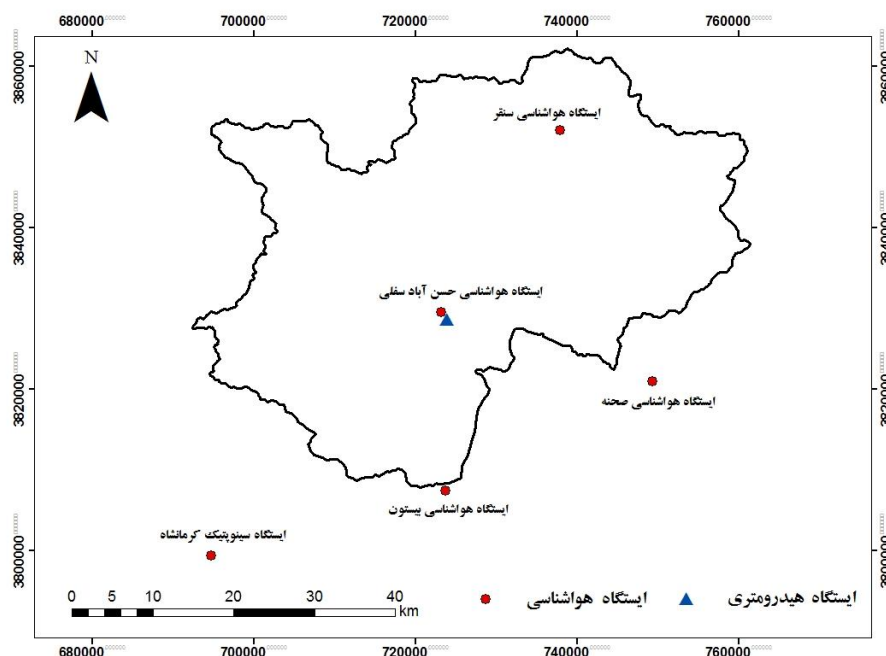
۲-۳- مراحل مدل‌سازی

مدل SWAT با اتصال به نرم‌افزار GIS قابل استفاده‌است و می‌توان حجم زیادی از داده‌ها و اطلاعات را در مقیاس‌های مختلف به عنوان ورودی برای آن در نظر گرفت. در واقع، این مدل قادر است در حوضه‌هایی با مقیاس بزرگ با صرف هزینه‌ی کم و زمان کوتاه، پارامترهای گوناگون را با جزئیات زیاد شبیه‌سازی کند.

۳-۲-۱- آماده‌سازی داده‌های ورودی

۳-۲-۱-۱- داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی

مدل SWAT برای شبیه‌سازی به آمار روزانه‌ی بارش، دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد، تابش خورشیدی و نقطه شبنم یک ایستگاه سینوپتیک و چند ایستگاه باران‌سنجی و دماسنجی در داخل یا اطراف حوضه نیاز دارد. در این مطالعه از آمار ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه و از ایستگاه‌های هواشناسی صحنه، بیستون، سنقر و حسن‌آباد سفلی استفاده شد (شکل ۲). برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب در مراحل اعتبارسنجی و صحت‌سنجی، آمار روزانه‌ی دبی آب و دبی رسوب یک یا چند ایستگاه هیدرومتری مورد نیاز است. در این مطالعه از آمار ایستگاه هیدرومتری حیدرآباد که در خروجی حوضه قرار دارد، استفاده شد.



شکل ۲: موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورد استفاده

۳-۲-۱-۲- نقشه‌ی زیرحوضه‌ها و خطوط جریان

کوچکترین واحدکاری در این مدل، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی یا HRU¹ است که از ترکیب نقشه‌های کاربری اراضی، خاک و شیب حاصل می‌شود (Arnold and Allen, 1996). در ابتدای شبیه‌سازی مدل SWAT با استفاده از نقشه‌ی DEM خطوط آبراهه‌ها را رسم کرده و پس از مشخص کردن نقطه‌ی خروجی روی آبراهه‌ی اصلی با توجه به ایستگاه هیدرومتری موردنظر، حوضه را به زیرحوضه‌هایی تقسیم‌بندی می‌کند. سپس با همپوشانی این نقشه با نقشه‌های خاک و کاربری اراضی، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی به دست می‌آید.

¹ Hydrologic Response Unit

پیش‌بینی خوب و دقیق مدل، به در نظر گرفتن اثر کاربری‌های اراضی و خاک‌های متفاوت در ایجاد واحدهای پاسخ هیدرولوژیک بستگی دارد (Panhalkar et al, 2012). بنابراین، تأثیر هر کاربری اراضی در مدل‌سازی برای محاسبه‌ی رواناب و بار رسوبی در حوضه در نظر گرفته می‌شود. نقشه‌ی کاربری اراضی حوزه‌ی مورد مطالعه برای سال ۲۰۱۰ و نقشه‌ی خاک‌شناسی حوضه، از اداره‌ی منابع طبیعی استان تهیه شد.

۳-۳ روش تجزیه و تحلیل

۳-۳-۱- واسنجی و تحلیل فقدان قطعیت مدل

واسنجی شامل انتخاب و تصحیح پارامترهای تأثیرگذار مدل برای انطباق هر چه بیشتر خروجی شبیه‌سازی بر مشاهدات واقعی است. تحلیل فقدان قطعیت یک مدل نیز تعیین مشخصات آماری خروجی‌های آن مدل، به عنوان تابعی از فقدان قطعیت پارامترهای ورودی است (Kavyanpour, 2010). فقدان قطعیت در مباحث علمی، به معنای دامنه‌ای از تغییرات است که می‌توان برای یک پارامتر در نظر گرفت (Kati and Chaubey, 2005). در این مطالعه برای واسنجی، اعتبارسنجی و تحلیل فقدان قطعیت، الگوریتم SUFI-2 به کار گرفته شد. این برنامه در بسته‌ی نرم‌افزاری SWAT-CUP به مدل SWAT پیوند داده شده که واسنجی و فقدان قطعیت را ترکیب کرده و با توجه به نحوه‌ی انتخاب پارامترهای فقدان قطعیت، ابتدا یک دامنه‌ی بزرگ برای هر پارامتر فرض می‌شود، سپس این فقدان قطعیت در گام‌های متوالی کاهش می‌یابد تا زمانی که بیشترین مقادیر مشاهده شده بین باندهای فقدان قطعیت قرار گیرد و متوسط فاصله‌ی بین باندهای بالا و پایین، مقدار کوچکی باشد.

مدل SUFI2 در واقع از روش مدل‌سازی معکوس برای این کار استفاده می‌کند. در روش مدل‌سازی معکوس^۱ (IM)، از خروجی مدل‌های شبیه‌سازی برای تخمین پارامترهای ورودی مدل استفاده می‌شود. این برنامه در واقع برعکس مدل SWAT عمل می‌کند؛ به این معنی که با گرفتن داده‌های مشاهده‌ای همچنین محدوده‌ی مجاز پارامترهای مدل SWAT - که در واسنجی نمودن مدل نسبت به حوزه‌ی مطالعاتی نقش دارند - مانند شماره منحنی خاک، میزان دما، ذوب برف و بسیاری پارامترهای دیگر، میزان بهینه پارامترهای مذکور را برآورد می‌کند (Abbaspour et al, 2007).

۳-۳-۲- معیارهای عملکرد مدل

تکرار دفعات واسنجی و کوچک کردن دامنه‌ی پارامترها تا جایی ادامه پیدا می‌کند که معیارهای عملکرد مدل به اعداد قابل قبولی برسند. در روش SUFI-2 سنجش میزان فقدان قطعیت در مدل‌سازی شامل فقدان قطعیت در ورودی‌ها، مدل مفهومی، پارامترها و داده‌های اندازه‌گیری شده است و توسط معیار «P فاکتور» ارزیابی می‌شود. این روش، درصد داده‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد که درون باند فقدان قطعیت ۹۵ درصد قرار گرفته‌اند (Jeirani et al, 2011). هرچه این فاکتور بزرگتر و به یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر نتیجه‌ی مطلوب‌تر است. همچنین در این برنامه از فاکتوری به نام «R فاکتور» - که معیاری برای برآورد نزدیکی فاصله بین باندهای بالا و پایین است - برای برآورد کیفیت نتایج حاصل از مدل‌سازی استفاده می‌شود که هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، شبیه‌سازی مناسب‌تری را نشان می‌دهد.

¹ Inverse Modeling

همچنین برای ارزیابی عملکرد نتایج مدل، از دو پارامتر آماری ضریب تعیین (R^2) و نش-ساتکلیف^۱ (et al, 2012) (Pmhochma) نیز استفاده شد.

ضریب تبیین، نشان‌دهنده‌ی همخوانی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی با استفاده از روش تجزیه‌ی رگرسیونی است. مقدار این ضریب بین صفر تا یک است؛ هرچه مقدار این تابع به یک نزدیک باشد، بیانگر این است که مقدار شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهداتی نزدیک به یکدیگرند و نتیجه مطلوب‌تر است (Abbaspour et al, 2007). Moriasi و همکاران (2007) بر این عقیده‌اند که نتایج قابل قبول ضریب تعیین باید بین ۰/۶۰ تا ۰/۷۰ باشد. ضریب نش-ساتکلیف نیز اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد و مقدار آن بین یک تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند. هرچه مقدار این ضریب به یک نزدیک‌تر شود، نتیجه‌ی مناسب و هر چه به منفی بی‌نهایت نزدیک شود، بیانگر شبیه‌سازی نامناسب است. رسیدن به مقادیر NS بیش از ۷۵ درصد، عالی است (Geza and Gray, 2008). اما مقدار این شاخص باید از ۵۰ درصد بیشتر باشد تا بتوان نتایج شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی را پذیرفت (Moriasi et al, 2007)، هرچند در برخی موارد، مقادیر بین ۳۶ تا ۷۵ درصد را نیز قابل قبول می‌دانند (Geza and Gray, 2008).

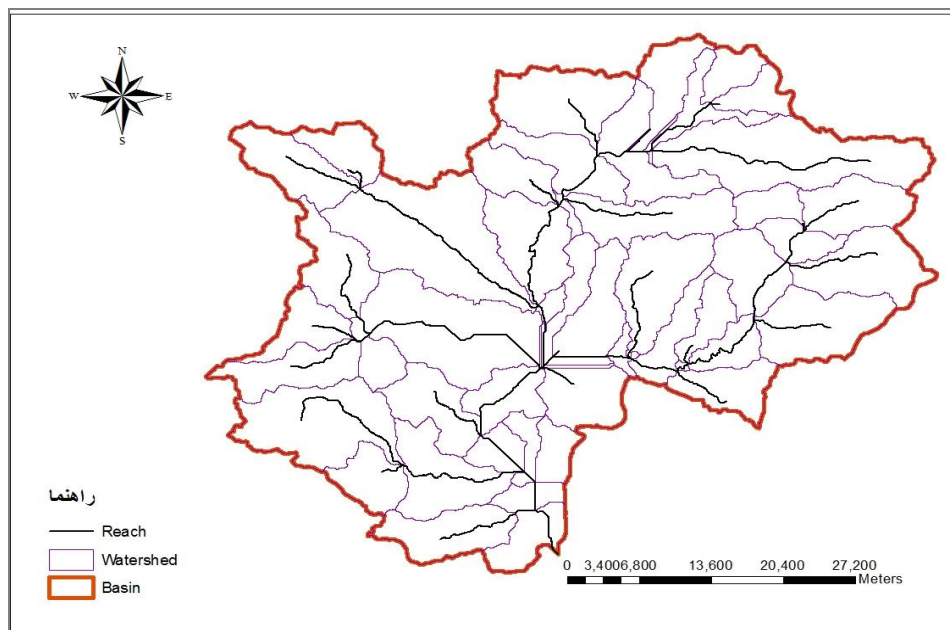
۴-۳- بررسی اثرات سناریو تغییر کاربری اراضی بر وضعیت هیدرولوژی حوزه مورد مطالعه

اکثر مدل‌های شبیه‌سازی، توانایی ارزیابی و بررسی اثرات پوشش گیاهی و کاربری‌های مختلف در تولید رسوب را ندارند و در محاسبات خود نمی‌توانند تغییرات پوشش گیاهی را اعمال کنند. اما مدل SWAT در این زمینه، توانایی منحصر به فردی دارد؛ بدین منظور می‌توان کاربری‌های مختلف را در قالب نقشه به مدل داد و تأثیر آن را بر مقدار متغیرهای هیدرولوژیکی بررسی کرد. در این مطالعه برای ارائه‌ی سناریوی کاربری جدید، پس از بررسی کاربری منطقه در گذشته همچنین مطالعه‌ی جریان تغییرات کاربری طی دوره‌ی مشخص، یک سناریو در جهت بهبود روند تخریب در حوضه ارائه و اثرات آن بررسی شد. برای این امر تمام ورودی‌های مدل، ثابت در نظر گرفته و نقشه‌ی کاربری جدید (سناریو) به‌عنوان ورودی متغیر وارد مدل شد. بعد از مدل‌سازی سناریوی تعریف شده، نتایج شبیه‌سازی با موقعیت فعلی (سال 2010) برای درک بهتر این تغییرات بر میزان رواناب و رسوب مقایسه شد.

۴- یافته‌ها (نتایج)

حوزه‌ی آبخیز مورد مطالعه براساس روش ذکر شده و با استفاده از نقشه‌های DEM، کاربری اراضی و خاک‌شناسی به ۵۱ زیر حوضه تقسیم شد (شکل ۳). بدین ترتیب، رواناب و رسوب معلق در هر HRU به‌طور مستقل محاسبه و روندیابی می‌شود تا در نهایت، مقدار کل رواناب حوضه به‌دست بیاید.

¹ Nash-Sutcliffe coefficient

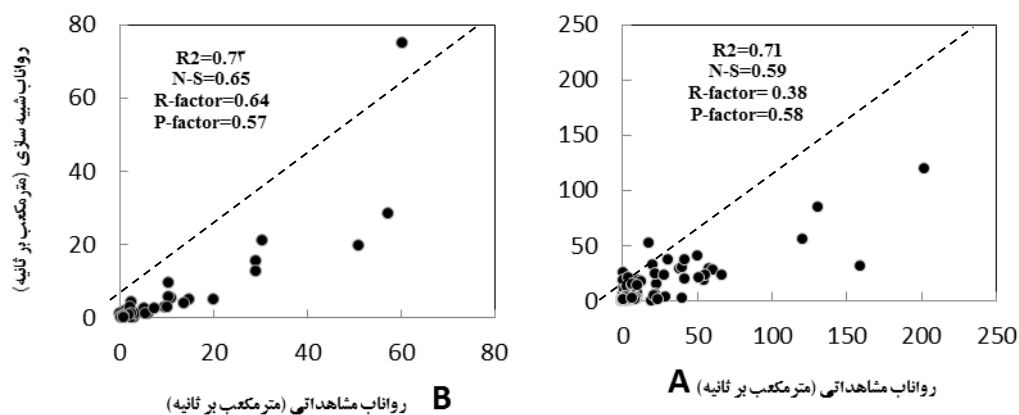


شکل ۳: نقشه‌ی زیر حوضه‌ها و خطوط جریان حاصل از اجرای مدل در حوزه‌ی آبخیز دینور

۴-۱- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی

۴-۱-۱- واسنجی و اعتبارسنجی رواناب

اعتبارسنجی برای آزمودن حساسیت لازم پارامترهای استفاده شده، در دوره‌ی واسنجی اجرا می‌شود. در اعتبارسنجی نیز همانند واسنجی باید نتایج خوبی برای معیارهای عملکرد مدل به دست آید تا بتوان شبیه‌سازی را پذیرفت. در این مطالعه، دبی‌های روزانه در سال‌های ۲۰۰۶ - ۱۹۹۸ برای مرحله‌ی واسنجی و آمار سال‌های ۲۰۰۷ - ۲۰۱۰ برای اعتبارسنجی استفاده و نتایج، هم به صورت گرافیکی و هم آماری ارزیابی شد. نتایج نشان داد که مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی، از نظر گرافیکی بسیار نزدیک هستند (شکل ۴). به علاوه، از نظر آماری نیز مقدار ضریب تبیین در هر دو مرحله بالاتر از ۰/۷۰ و ضریب نش - ساتکلیف حدود ۰/۶ و بالاتر است که در محدوده‌ی رضایت‌بخشی قرار دارند.



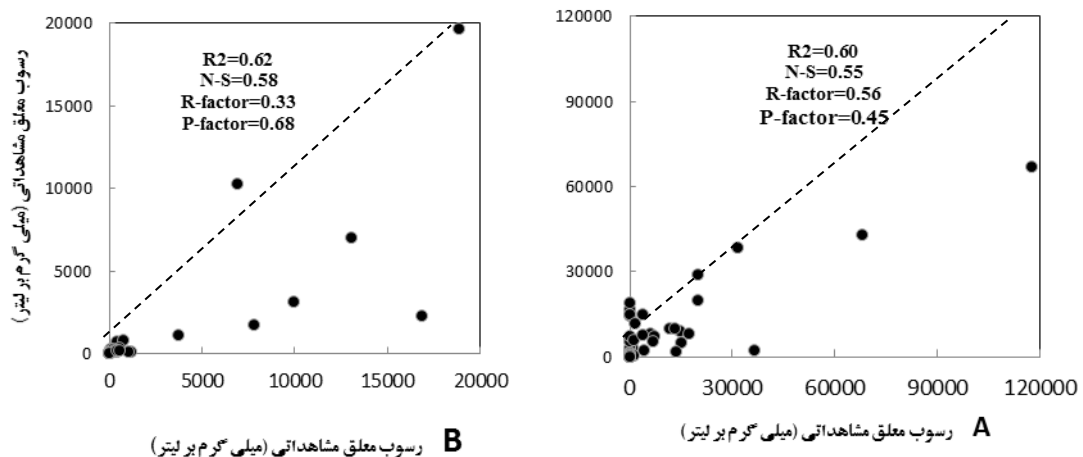
شکل ۴: منحنی رابطه‌ی بین مقادیر رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی حوزه‌ی آبخیز دینور

در دوره‌ی واسنجی (A) و اعتبارسنجی (B)

مقدار p و R فاکتور نیز در محدوده‌ی قابل قبول قرار دارند.

۴-۱-۲- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی رسوب معلق

واسنجی رسوب با آمار سال‌های ۲۰۰۶ - ۱۹۹۸ و اعتبارسنجی نیز با آمار سال‌های ۲۰۰۷ - ۲۰۱۰ از ایستگاه هیدرومتری واقع در خروجی حوضه انجام گرفت. نتایج حاصل از آن در شکل ۵ ذکر شده‌است.



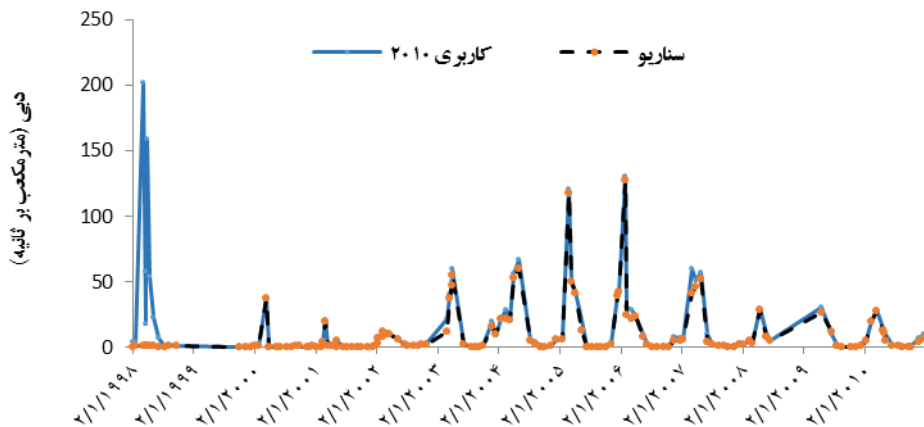
شکل ۵: منحنی رابطه بین مقادیر رسوب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی حوزه‌ی آبخیز دینور

در دوره‌ی واسنجی (A) و اعتبارسنجی (B)

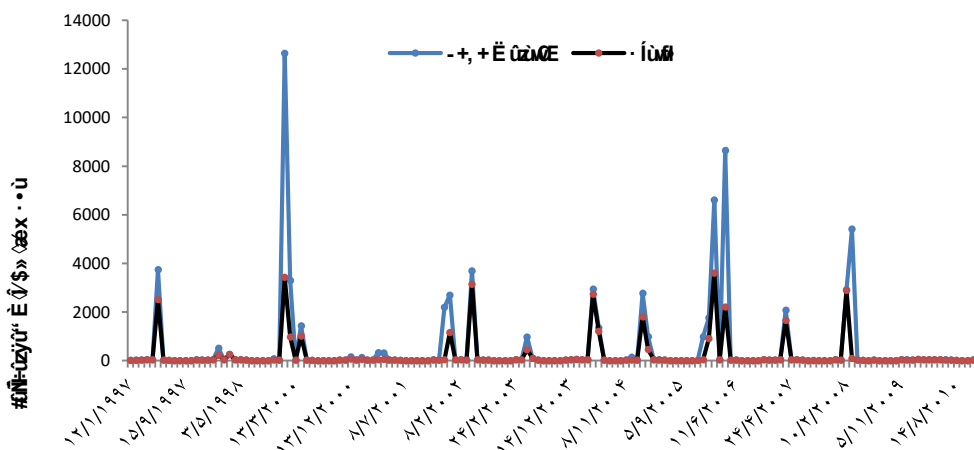
با توجه به شکل ۵ نتایج شاخص‌های آماری در دوره‌ی اعتبارسنجی رسوب، وضعیت بهتری را نسبت به دوره‌ی واسنجی نشان می‌دهد.

۴-۲- نتایج تأثیر تغییرات کاربری بر میزان رواناب و رسوب در حوزه‌ی آبخیز مورد مطالعه

برای ارائه‌ی سناریوی کاربری جدید، نقشه‌ای به‌عنوان نقشه‌ی شاهد در نظر گرفته و نقشه‌ی جدید با توجه به کاربری‌های موجود در این نقشه ایجاد می‌شود. در این مطالعه، نقشه‌ی کاربری اراضی مربوط به سال ۲۰۱۰ به‌عنوان نقشه‌ی شاهد در نظر گرفته شد که شامل موارد زیر است: کاربری‌های کشاورزی ۳۴ درصد، باغ ۱ درصد، فاقد پوشش ۱۰ درصد، مرتع ۵۲ درصد، سنگ ۱ درصد، در صد جاده و مناطق مسکونی نیز ۲/۵ درصد. همان‌طور که ملاحظه شد، در نقشه‌ی سال ۲۰۱۰، اراضی فاقد پوشش گیاهی وجود دارند که در اثر بهره‌برداری شدید، به مرور پوشش خود را از دست داده و به این وضعیت درآمده‌اند. بر همین اساس در سناریوی جدید برای این قسمت از کاربری فعلی حوضه، ترکیب درختان همیشه سبز و خزان‌کننده با تراکم متوسط تغییر داده شد. سپس نقشه‌ی جدید به مدل داده می‌شود تا تأثیر ترکیب جدید کاربری اراضی بر رسوب خروجی را اعمال کند. در شکل ۶، تأثیر این سناریو بر میزان رواناب خروجی حوضه به صورت مقایسه‌ای با وضعیت کنونی مشاهده می‌شود و در شکل ۷، تأثیر آن بر مقدار رسوب معلق خروجی از حوضه.



شکل ۶: مقایسه‌ی رواناب خروجی متأثر از سناریو و رسوب خروجی در وضعیت فعلی حوضه‌ی دینور



شکل ۷: مقایسه‌ی رسوب خروجی متأثر از سناریو و رسوب خروجی در وضعیت فعلی حوضه‌ی دینور

۵- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج خوبی در مراحل مختلف شبیه‌سازی به‌دست آمد. بالا بودن مقدار معیارهای برازش به کار رفته در ارزیابی مدل در بخش دبی، بیانگر این است که مدل از توانایی خوبی در شبیه‌سازی رواناب روزانه در این حوضه برخوردار است. همچنین مقدار شاخص نش- ساتکلیف و ضریب تبیین در شبیه‌سازی رسوب نیز در محدوده‌ی قابل قبول قرار داشته و مقدار P فاکتور به یک نزدیکتر شده‌است. این امر، درصد قرارگیری داده‌های مشاهداتی بیشتری را در باند فقدان قطعیت نشان می‌دهد و نزدیک بودن مقدار R به صفر نیز بیانگر شبیه‌سازی بهتر در این مرحله است. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی در این مرحله، بیانگر این است که مدل سوات می‌تواند برای مدل‌سازی سناریوی ارائه شده به منظور مدیریت رواناب و فرسایش خاک در حوزه‌ی آبخیز دینور مورد استفاده قرار گیرد. شبیه‌سازی، مبتنی بر سناریو توانست میزان رواناب و رسوب خروجی از حوضه را کاهش دهد، به شکلی که رسوب معلق متوسط روزانه به میزان ۲۴۵/۹۸ میلی‌گرم بر ثانیه (۵۲/۸۳ درصد) و حداکثر مقدار رسوب معلق را به میزان ۹۰۵۰ میلی‌گرم بر ثانیه (۷۱/۵۴ درصد)

کاهش یافت. این تأثیر، به خصوص در نقاط اوج رسوب معلق بیشتر به چشم می‌خورد و در نقاطی که میزان رسوب کمتر است، تأثیر چندانی مشاهده نمی‌شود. علاوه بر این، رواناب متوسط روزانه به میزان ۴/۸۶ مترمکعب بر ثانیه (۳۲/۷۲ درصد) و حداکثر دبی در دوره‌ی مورد مطالعه، به مقدار ۷۴/۱۳ مترمکعب بر ثانیه (۳۶/۶۹) نیز کاهش یافت. این نتیجه در اجرای سناریو، مشابه نتایج سلمانی و همکاران (2012) است که در مطالعه‌ی خود با تغییر کاربری اراضی در جهت بهبود کاربری حوضه، به تأثیر مثبت بر رژیم هیدرولوژیکی منجر شدند. همچنین نتایج به دست آمده در این مطالعه با یافته‌های Betrie و همکاران (2011) - که بیانگر تأثیر فعالیت‌های مدیریتی حفاظت خاک بر رسوب با توجه به نوع عملیات حفاظتی در نظر گرفته شده از ۲۹ تا ۶۸ درصد است - Santos و همکاران (2014)، Wang و همکاران (2008)، سعادت و همکاران (2006)، Lopez-Vicente و همکاران (2011) مبنی بر تأثیر مثبت افزایش پوشش گیاهی و کشاورزی حفاظتی بر کاهش رواناب، فرسایش و رسوب هم‌راستا است.

در سناریوی تعریف شده در این مطالعه، تغییری در کاربری اعمال شد که اجرای آن در واقعیت ممکن باشد؛ زیرا بسیاری از تغییرات را نمی‌توان در واقعیت روی کاربری‌ها اجرا کرد. در اکثر حوضه‌ها تغییراتی مانند کم کردن سطح زیر کشت یا کم کردن وسعت مناطق مسکونی و صنعتی، به صورت عملی قابل اجرا نیستند. علاوه بر این، نتایج شاخص‌های آماری به کار گرفته شده در این مطالعه حاکی از کارایی بالای مدل SWAT در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی و نشان دادن تأثیر انواع اقدامات مدیریتی و کاربری اراضی بر این فرایندها در حوزه‌ی آبخیز مورد مطالعه است.

منابع

1. Abbaspour, K. C.; Yang, J.; Maximov, I.; Siber, R.; Bogner, K.; & J. Mieleitner et al, 2007. Modeling of hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT, *Journal Hydrology*, 333, 413-430.
2. Arnold, J.G., & P.M. Allen., (1996). Estimating Hydrologic Budgets for three Illinois watersheds. *Journal of Hydrology*. 176, 57-77.
3. Betrie. G. D.; Mohamed, Y. A.; Griensven, A. V.; & R. Srimivasan, 2011. Sediment management modeling in the Blue Nile Basin using SAWT model, *Hydrology Earth syst em Science Discuss*, 15, 807-818.
4. Fukhrudin, K.; Assefa, M.; Melesse, M.; Patrick Belmont, b; & B. Karen, 2013. Modeling the impact of land use changes on runoff and sediment yield in the Le Sueur watershed, *Minnesota using GeoWEP Catena*, 107, 35-45.
5. Geza, m., & J. E. Mc Cray., (2008). Effects of soil data resolution on SWAT model stream flow and water quality predictions. *J. Environ. Manage.* 88, 393-406.
6. Gholami, Sh., 2003. Daily Sediment simulation by semi-distributed SWAT in Mountain watershed (Amame watershed), *Pazhouhesh sazandegi Journal*, 59, 28-33.
7. Jeirani, F.; Morid, S.; & A. Moridi, 2011. Impact of DEM cell size on calibration and predictions of runoff and sediment, using SWAT-CU P, *J. of Water and Soil Conservation*, Vol. 18(4), 2011 *J. of Water and Soil Conservation*, 18(4), 81-101. (In Persian)
8. Karamooz, M.; Ahmady, A.; & M. Taheryoun, 2009. Evaluation of the best management in watersheds on reservoirs quantity and quality usage, *Sciences and waterd=shed engineering of Iran*, 3(9), 9-16. (In Persian)

9. Kati, L. W., & I. Chaubey., (2005). Sensitivity Analysis, Calibration, and Validations for a Multisite and Multivariable SWAT Model. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. 41(5), 1077-1089.
10. Kavyanpour, M., 2010. Calibration and validation SWAT model by SUFI-2, 8th international Symposium of river engineering , *Shahid Chamran university*. (In Persian)
11. López-Vicente M.; Poesen, J.; Navas, A.; Gasparb, L.; & B. Gaspar. 2011. Predicting runoff and sediment connectivity and soil erosion by water for different land use scenarios in the Spanish Pre-Pyrenees, *Catena*, 201-215.
12. Moriasi, D. N.; Arnold, J. G.; Liew , M. W.; LBingner, R.; Harmel, R. D.; & T. L. Vaitj, 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulation. *Transactions in American, Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3), 885-900.
13. Neitch, S. L.; Arnold, J. G.; Kiniry, J. R.; & J. R. Williams, 2005. Soil and Water assessment tool documentation, (user's manual), 494p.
14. Panhalkar, S. S., 2014. Hydrological modeling using SWAT model and geoinformatic techniques, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*.
15. Phomcha, P.; Wirojanagud, P.; Vangpaisalb, T.; & T. Thaveevouthtib, 2012. Modeling the impacts of alternative soil conservation practices for an agricultural watershed with the SWAT model, *Procedia Engineering*, 32, 1205–1213.
16. Rezaei Zaman, M., 2012. Strategies for adapting to climate change in agriculture by SWAT model (case study: Simine Rood), M. Sc. Thesis, *Tarbiat Modares*. (In Persian)
17. Saadati, H.; Gholami, S. A.; Sharifi, F.; & S. A. Ayoubzadeh, 2006. 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*, 59(2), 301-313. (In Persian)
18. Saatchi, M., 2013. Study on land use of west of Mazandaran Province and its influencing factors, MSc. Thesis of RS, *Tarbiat Modares*. (In Persian)
19. Salmani, H.; Mohseni Saravi, M.; Rouhani, H.; & A. Salajeghe, 2012. Evaluation of Land Use Change and its Impact on the Hydrological Process in the Ghazaghli Watershed, Golestan Province, *watershed management Journal*, 3(6), 43-59. (In Persian)
20. Santos, J.; Nunes, J.; sampaio, E.; Moreira, M.; Lima, J.; Jacinto, R.; & J. Corte-Real, 2014. 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*, 16, 715-730.
21. Siriwardena, L.; Finlayson, B. L.; & T. A. McMahon, 2006. The impact of land use change on catchment hydrology in large catchment: The Comet River, Central Queensland, Australia, *Journal of Hydrology*, 326, 199-214.
22. Trang N. T. T.; Shrestha, S.; Shrestha, M.; Datta, A.; & A. Kawasaki, 2017. Evaluating the impacts of climate and land-use change on the hydrology and nutrient yield in a transboundary river basin: A case study in the 3S River Basin (Sekong, Sesan, and Srepok), *Science of the Total Environment*, 576, 586-598.
23. Wang, S.; Kang, S.; Zhang, L.; & F. Li, 2008. Modelling hydrological response to different land-use and climate change scenarios in the Zamu River basin of northwest China, *Journal of Hydrological Processes*, 22, 2502-2510.
24. Wei, W.; Chen, L.; Fu, B.; Huang, Z.; Wu, D.; & L. Gui, 2007. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China, *Journal of Hydrology*, 335, 247- 258.

An Evaluation of the Optimal Change Scenarios of Land Use and their Impacts on the Hydrological Parameters: A Case Study of Dinevar Watershed

Alireza Ildoromii¹: *Associate professor of Rangeland and Watershed Department, Faculty of Natural Resources, Malayer University, Malayer, Iran*

Hamid Nouri²: *Assistant professor, Rangeland and Watershed Department, Faculty of Natural Resources, Malayer University, Malayer, Iran*

Soheila Aghabeigi³: *Assistant professor, Natural Resources Department, Faculty of Agricultural, Razi University, Kermanshah, Iran*

Afsaneh Haghighi Kermanshahi⁴: *Graduated Student, Rangeland and Watershed Department, Faculty of Natural Resources, Malayer university, Malayer, Iran*

Article History (Received: 8/27/2016

Accepted: 10/10/2017)

EXTENDED ABSTRACT

The land use change of watersheds has entailed many impacts on the processes of erosion and sediment yield over the time, and has caused the loss of soil quality and fertility. On the other hand, an increase in the sediment generation and its accumulation would reduce the capacity of the reservoirs. In this respect, the purpose of this study was to evaluate the effects of the implementation of land-use change scenarios on runoff and suspended sediment from the outlet of the watershed. The simulation of runoff and sediment was investigated according to the defined scenario for the Dinevar watershed with a focus on SWAT model based on the statistical indicators. The results of NS and R2 indicators above 50 and 60 percent for both calibration and validation steps, respectively, imply the model efficiency regarding the hydrological data simulating in the watershed. The results of the coefficient of determination and Nash-Sutcliffe were 0.55 and 0.6, respectively, in the calibration, and were 0.58 and 0.62, respectively in the validation, implying the model efficiency in the watershed. The suggested scenario was applied to improve the lands. This means that the bare land, which increased during this period, was planted by the evergreens and deciduous. The results of this scenario showed that the implementation of this land use change in the scenario reduced the suspended sediment and runoff into 52 and 32 percent, respectively.

1- INTRODUCTION

Land use with inappropriate vegetation patterns can cause severe water, soil and food losses and land degradation. Land use change is a large and fast process and assessing such changes and their impacts on the development, and management of the water resources in the future is very important. In order to better understand the process and the fate of the pollution and also the hydrologic regime, the SWAT model was used to simulate the runoff and suspended sediment under the influence of land use change over time during a given period based on the hypothetical scenarios in Dinevar watershed.

2- METHODOLOGY

Dinevar watershed with 214577 hectares is located in the northeast of Kermanshah. The average of the annual precipitation of this area during a 25-year period is 549.1 mm. The types of visible erosion in this watershed include surface erosion, rill erosion, water way erosion, gully and bank river erosion. The existing land use in the watershed included 34% agriculture, 1% garden, 10% free, 52% rangeland, 1% stone, 2.5% roads and residential areas. One of the models used to investigate the

¹ Corresponding Author: ildoromi@gmail.com

effects of land use change and climate change on runoff and sediment in the watershed scale was SWAT model. In the SWAT model, there is a possibility to assess the effects of different natural or managerial changes on runoff, sediment, nutrients and chemical balance in the watershed. With regard to runoff and sediment simulation, the data pertained to the synoptic station of Kermanshah and the meteorology stations of Sahne, Bisotun, Sonqor and Hasan Abad Sofla were utilized. Also, with regard to calibration, the validation and uncertainty analysis of results, i.e. the SUFI-2, was applied. To evaluate the simulated results, the performance criteria of the model including "P factor" and "R factor" as well as the two parameters of determination coefficient (R²) and Nash-Sutcliff were used. The new scenario was defined based on the previous and current proceeding land uses and the results of the simulation were compared to the current situation related to 2010.

3- RESULTS

Flood and suspended sediment data of 1998 to 2006 were used for calibration, and 2007-2010 were used for validation. The results for flow data showed that determination coefficients of both the calibration and validation steps were higher than 0.77, and the Nash-Sutcliff coefficient was about 0.6 and higher. The results of the calibration step for sedimentation data were also equal to 0.55 in the determination coefficient and 0.66 in the Nash-Sutcliff coefficient, and the results of the statistical indices during the validation period increased 0.1 percent. The P factor is closer to the one that implied a higher percentage of observation data in the uncertainty band and the R factor is closer to zero that implied better simulation at this step. In the new scenario, degraded and no vegetation areas were replaced by the evergreen and shrubby trees with moderate density, and the simulations were carried out based on a new scenario. The land use map for 2010 was taken as a control map. The results of the simulation based on the new land use scenario showed that the daily average runoff is 4.86 m³ / s (32.72%), and the maximum discharge rate during the studied period decreased to 74.13 m³/s (36/69 %). The proposed scenario can also reduce the daily average suspended sediment in the study period by 252.98 mg / s (52.83%) and decrease the maximum suspended sediment rate by 9050 mg / sec (71.54%).

4- DISCUSSION and CONCLUSIONS

In the defined scenario in this study, a change was made whose implementation is possible in reality. Many changes, such as reducing the area under the cultivation, residential and industrial areas, are not applicable in most of the watersheds. The new scenario, which aims at improving the vegetation cover and soil conservation, reduces sediment yield from the watershed, and this effect is especially noticeable at the peak of the simulation curves, and little effect is observed in places where the amount of sediment is lower. In addition, the results of the statistical indicators implied the high performance of the SWAT model in simulating hydrological processes which demonstrates the impact of various management measures and land use on these processes in the studied watershed.

Key Words: Hydrologic parameter, Land use change, Scenario.