دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

شبیه‌سازی رسوب معلق روزانه و بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر آن در حوزه آبخیز گل‌گل، ایلام

سمیه میرزایی[۱]، حسین زینی‌وند[۲] و علی حقی‌زاده[۳]

۱ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، دانشگاه لرستان
۲- استادیار، دانشگاه لرستان، (نویسنده مسوول: hzeinivand@gmail.com)
تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۱

چکیده

در این مطالعه توانایی مدل هیدرولوژیکی-توزیعی WetSpa در شبیه‌سازی غلظت رسوب معلق در گام زمانی روزانه با استفاده از داده‌های اقلیمی یک دوره آماری هفت ساله شامل: بارش، دما، تبخیر، دبی و رسوب معلق و استفاده از سه نقشه مرجع DEM، بافت خاک و کاربری اراضی با اندازه سلول ۲۵ متری مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با اجرای مدل با تغییر نقشه کاربری، تأثیرات تغییر کاربری اراضی روی تغییرات رسوب حوزه آبخیز گل‌گل به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت حوزه آبخیز بررسی شد. نتایج نشان داد که مدل WetSpa قابلیت مناسبی در شبیه‌سازی غلظت رسوب معلق را در گام زمانی روزانه دارا می‌باشد. به طوری که معیار ارزیابی ناش-ساتکلیف برای شبیه‌سازی غلظت رسوب معلق ٦٧/٤٥ درصد به دست آمد، که نتیجه قابل قبولی می‌باشد، همچنین نتایج نشان داد که با تغییر کاربری اراضی جنگلی و کشت آبی-باغی از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳ روند کاهشی به‌ترتیب به میزان ۳۳۲۲/۵۰۲ و ٣٩٣٤/٣٨٦ هکتار و اراضی مرتعی و کشت دیم روند افزایشی به‌ترتیب به میزان ۳۹٤۲/۹۹ و ۳۳۱۳/۹ هکتار را نشان می‌دهند. نتایج نشان داد که میانگین رسوب روزانه، رسوب ویژه سالانه و آورد رسوب سالانه با تغییر کاربری از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳ افزایش یافته است. نتایج حاصل از آنالیز آماری هم نشان داد که تغییر کاربری اراضی در سطح معنی‌داری یک درصد بر غلظت رسوب معلق در منطقه مورد مطالعه تأثیر دارد، به طوری که میانگین رسوب سالانه از ۱/۱٤۱ گرم بر لیتر در سال ۱۹۸۸ به ۱/۱۷۱ گرم بر لیتر در سال ۲۰۱۳ رسید، که به طور متوسط در هر هکتار باعث افزایش ٦٣/٨١٨٩ کیلوگرم رسوب شده است.

واژه‌های کلیدی: مدل هیدرولوژیکی-توزیعی، شبیه‌سازی، تغییر کاربری، آنالیز آماری، حوزه آبخیز گل‌گل

مقدمه

فرسایش و انتقال رسوب یک فرآیند پیچیده است که تحت تأثیر بافت خاک، توپوگرافی منطقه، اقلیم، کاربری اراضی، فعالیت‌های انسانی نظیر سیستم‌های کشت و اقدامات حفاظتی خاک می‌باشد (۱۲). در مناطقی که دارای خاک، توپوگرافی و اقلیم مشابه هستند اختلاف میزان فرسایش عموماً به نوع کاربری اراضی برمی‌گردد (۲۱،۹). برآورد میزان رسوب و اعمال مدیریت مناسب در یک حوزه آبخیز همانند هر پدیده طبیعی دیگر نیازمند شناخت کامل عوامل تأثیرگذار بر آن است. از آنجا که پدیده‌ی فرسایش و رسوب یکی از پیچیده‌ترین فرآیندهای طبیعی بوده و عوامل زیادی در آن دخیل می‌باشند، شناخت کامل عوامل مؤثر در این پدیده کاری بسیار مشکل است (۳۶،۳۵،۳،۱). در مدل‌سازی فرسایش، اهداف مختلفی مدنظر است، از مدل‌های فرسایش می‌توان به عنوان ابزار پیش‌بینی برای برنامه‌های حفاظتی، عوامل فرسایش خاک، طرح‌ریزی پروژه‌ها و آیین‌نامه‌ها استفاده کرد. مدل‌های فرسایش یک تصویر از فرآیند فرسایش، زمان و مقدار فرسایش در منطقه را ارائه می‌دهند، که به برنامه‌ریزها این قدرت را می‌دهند که منابع را در جهت کاهش فرسایش تقسیم کنند (۳۰،۱۰). مدل WetSpa یک مدل پیوسته هیدرولوژیکی- غالباً فیزیکی است که قابلیت پیش‌بینی سیلاب و شبیه‌سازی بیلان آبی، فرسایش و انتقال رسوب، کیفیت آب و مدیریت آبخیز در مقیاس حوزه آبخیز، زیرحوزه آبخیز و شبکه سلولی با گام‌های زمانی مختلف را داراست (۴۰). دسمت و همکاران (۱۰) با انجام پژوهشی در بلژیک با استفاده از مدل WetSpa به این نتیجه رسیدند که مدل، توانایی بالایی برای تعیین تأثیر تغییرات کاربری اراضی یا پوشش خاک بر رفتار هیدرولوژیکی حوزه آبخیز دارد. لیو و همکاران (۱۹) در آبخیز Alzitte در لوگزامبورگ مدل را با ۳۰ ماه داده‌ی ساعتی آزمون کردند و نتایج آنها نشان داد که این مدل توانایی بالایی برای بررسی تغییر کاربری اراضی یا پوشش خاک روی رفتار هیدرولوژیکی رودخانه دارد. همچنین آنالیز حساسیت مدل نشان داد که فراوانی سیلاب و ضریب زبری آبراهه، بیش‌ترین تأثیر را بر هیدروگراف خروجی آبخیز می‌گذارند. زینی‌وند (۳۹) از این مدل در حوزه‌های آبخیز Maarkebeek و Hornad با داده‌های ساعتی و روزانه استفاده کردند که نتایج مقایسه دبی و غلظت رسوب شبیه‌سازی شده در خروجی این حوزه‌ها و برای دوره‌های آماری متفاوت نشان داد که مدل توانایی شبیه‌سازی فرسایش و انتقال رسوب با دقت مناسب را دارد. بهره‌مند و دسمت (۷) در حوزه آبخیز Torysa در اسلواکی با استفاده از واسنجی، پارامترهای مدل WetSpa را تخمین و سپس آنالیزحساسیت و آنالیز پیش‌بینی انجام داده‌اند و به این نتیجه رسیدند که ضریب اصلاحی تبخیر بیشترین حساسیت را دارد و عدم قطعیت پارامترها و آنالیز پیش‌بینی تصور درستی از مجموعه پارامترها و بازه‌های آنها را در اختیار قرار داده است.

پرایس و همکاران (۲۷) در مطالعه‌ای که در شمال غربی کارولینا واقع در ایالات متحده امریکا و با استفاده از مدل

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.5.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.59]

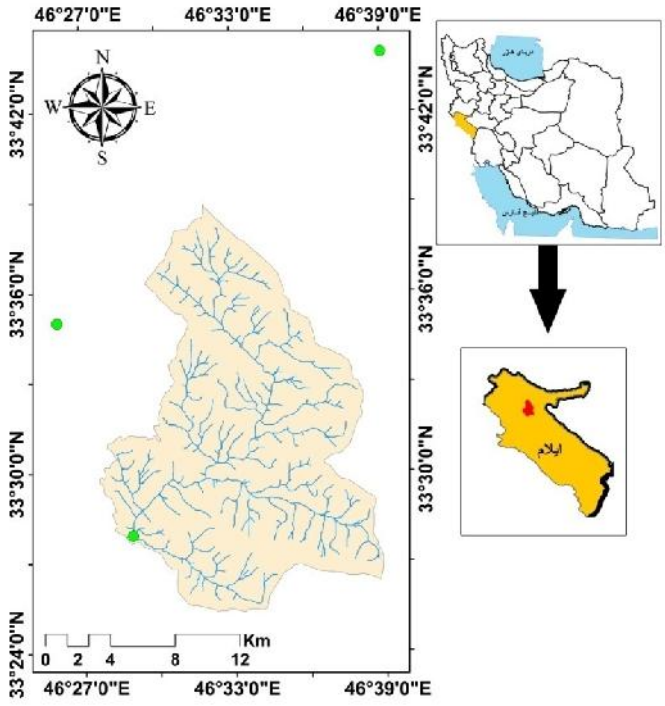
WetSpa انجام دادند به این نتیجه رسیدند که تغییر کاربری اراضی ازجنگل‌های طبیعی به مراتع و چراگاه‌های متوسط و ضعیف ارتباط معنی‌داری با کاهش جریان پایه دارد. زینیوند و دسمت (۴۰) مدل را در حوزه آبخیز سد لتیان واقع در کوه‌های البرز در شمال ایران جهت شبیه‌سازی فرسایش خاک و انتقال رسوب آزمون کردند که معیار ناش ساتکلیف برای دبی ۸۵٪ به‌دست آمد که نشان داد مدل در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل، دقت بالایی دارد این معیار برای رسوب معلق ۶۵٪ به‌دست آمد که نشان‌دهنده تطابق قابل قبول بین رسوب مشاهده شده و شبیه‌سازی شده می‌باشد. متکان و همکاران (۲۵) در حوزه آبخیزمرک، استان کرمانشاه توانایی مدل را در شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه و تحلیل اثرات تغییر کاربری بهینه روی آن، بررسی کردند که معیار ارزیابی ناشساتکلیف با دقتی معادل ۷۷٪ به دست آمد. همچنین شبیه‌سازی جریان رودخانه تحت کاربری بهینه نشان داد که هیدروگراف جریان رودخانه با تأخیر به اوج خود رسیده و در مقایسه با هیدروگراف کاربری فعلی، دیرتر فروکش می‌کند. به علاوه دبی اوج هیدروگراف نیز بعد از تغییر کاربری بهینه، پایین‌تر آمده است. صادقی و همکاران (۲۹) در مطالعه‌ای در حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس، غلظت رسوب معلق ۱۰۸ گرم در لیتر را ثبت کردند. با توجه به شرایط مطلوب جنگلی شمال و تثبیت خاک، ثبت چنین داده‌ای احتمال ثبت رسوب ۲۱۰ گرم بر لیتر با توجه به رخدادهای فرسایشی چون زمین لغزش در حوزه آبخیز مورد مطالعه در ایلام طبیعی به نظر می‌رسد. کانگ (۱۶) در مطالعه‌ای در مصب رودخانه زرد در چین غلظت رسوب معلق ۱۴۰ گرم در لیتر را ثبت کردند. مرادی‌پور و همکاران (۲۴) در حوزه آبخیز طالقان توانایی مدل در شبیه‌سازی توزیعی مکانی سیل را بررسی کردند که معیار ارزیابی ناش ساتکلیف برای برآورد رواناب ۸۴/۸۵ درصد به‌دست آمد و نتایج نشان داد که با توجه به خروجی مدل و فاکتورهای هیدرولوژیکی با توزیع مکانی در هر گام زمانی، مدل قابلیت آنالیز اثرات توپوگرافی، بافت خاک و کاربریاراضی در رفتار هیدرولوژیکی آبخیز را داشت.

با توجه به مطالب گفته شده هدف از انجام این پژوهش، شبیه‌سازی فرسایش خاک و رسوب معلق و تحلیل اثرات کاربری اراضی بر آن با استفاده از مدل WetSpa و بررسی دقت این مدل در پیش‌بینی فرسایش و رسوب می‌باشد. در همین راستا حوزه آبخیزگل‌گل یکی از سرشاخه‌های اصلی سد ایلام در استان ایلام برای این تحقیق انتخاب شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز گل‌گل یکی از زیرحوزه‌های حوزه آبخیز سد ایلام می‌باشد به مساحت حدود ۲۵۲ کیلومتر مربع که در محدوده جغرافیایی ´۲۷ °۴۶ تا ´۳۹ °۴۶ طول شرقی و ´۲۴ °۳۳ تا ´۳۹ °۳۳ عرض شمالی واقع است. متوسط دمای منطقه ۱۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، و متوسط ارتفاع آن از سطح دریانیز ۱۷۲۱ متر است (شکل ۱).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

Figure. 1 Study area

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.5.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.59]

نرم‌افزارهای مورد استفاده

در مراحل مختلف انجام این پژوهش، به‌منظور پیش‌پردازش داده‌های اصلی ورودی مدل، تحلیل داده‌های مکانی مورد نیاز، تولید نقشه‌های توزیعی به منظور اجرای مدل و تهیه خروجی از نقشه‌ها از نرم‌افزار ArcGIS 9.3، ArcView 3.2 و ENVI 4.7 استفاده شده است. نرم‌افزارهای SPSS 17.0 و Excel 2007 نیز به منظور تجزیه و تحلیل آماری و پیش‌پردازش داده‌های هواشناسی و هیدرومتری مورد استفاده قرار گرفتند.

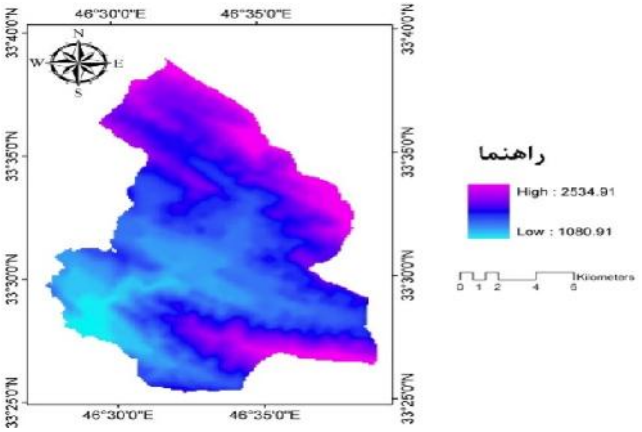
داده‌های مورد نیاز مدل WetSpa

داده‌های مورد نیازمدل WetSpa به ترتیب زیر می‌باشند:

۱- سه نقشه پایه: شامل مدل رقومی ارتفاعی (DEM) که از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و با دقت ۱۰ متر تهیه شد، نقشه بافت خاک منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ با توجه به استانداردهای موجود تهیه گردید و نقشه کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۹۸۸، ۲۰۰۳، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ با استفاده از تصاویر سنجنده ETM^+ ماهواره لندست با روش طبقه‌بندی نظارت شده و ماشین بردار پشتیبان تهیه شد (۲۸،۳۸) (شکل‌های ۲ تا ۷). جهت ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری تولید شده از صحت کلی و ضریب کاپا استفاده شد (۱۸،۳۲) (جدول ۱).

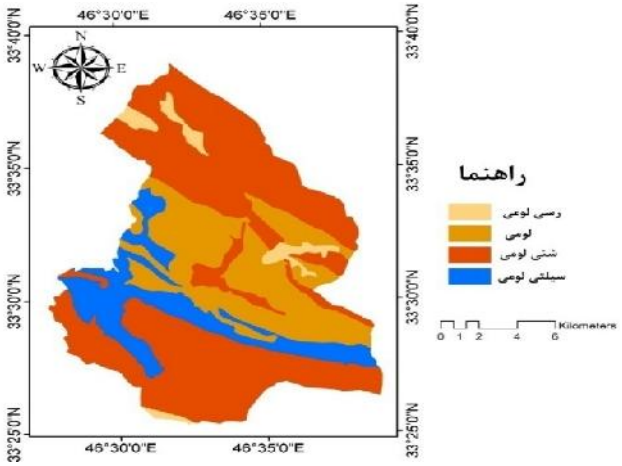
۲- داده‌های اقلیمی: برای منطقه مورد مطالعه از داده‌های اقلیمی یک دوره آماری ۷ ساله (۱۳۸۲ تا ۱۳۸۹) شامل ۸ ایستگاه باران‌سنجی، سه ایستگاه دماسنجی، سه ایستگاه تبخیر سنجی و یک ایستگاه هیدرومتری (دبی و رسوب) استفاده شد. داده‌های مربوط به بارش، دبی، دما و تبخیر برای تمام روزهای سال، اما تعداد داده‌های استفاده شده در این پژوهش برای رسوب ۸۰ داده بود.

برای اطمینان از دسترسی به آمار و اطلاعات اقلیمی کافی و دقیق یک حریم جغرافیایی بیشتر از مرز حوزه آبخیز در نظر گرفته شد که در نهایت با استفاده از روش تیسنپلی‌گون و مرز حوزه آبخیز، ایستگاه‌های مؤثر جهت استفاده در مدل مشخص و ایستگاه‌های دور و با فاصله زیاد حذف شد و نهایتاً ۷ ایستگاه باران‌سنجی، دو ایستگاه دماسنجی و دو ایستگاه تبخیرسنجی انتخاب شد. در این پژوهش پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات پایه هواشناسی و اطمینان از صحت آنها، دوره آماری مشترک از اول مهر سال ۱۳۸۲ تا ۳۱ شهریور ۱۳۸۹ تعیین شد.



شکل ۲- نقشه رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه

Figure 2. Digital elevation map of study area



شکل ۳- نقشه بافت خاک منطقه مورد مطالعه

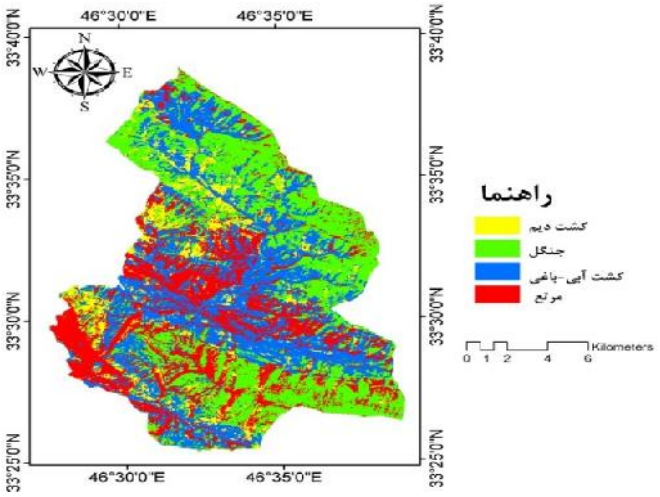
Figure 3. Soil texture map of study area

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.5.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.59]

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]

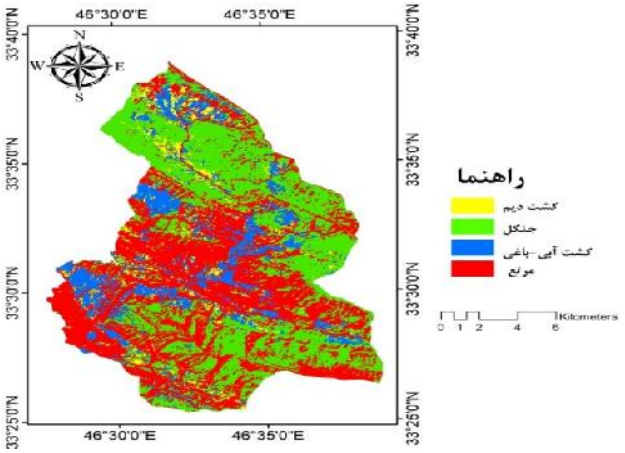
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.5.7]

[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.59]



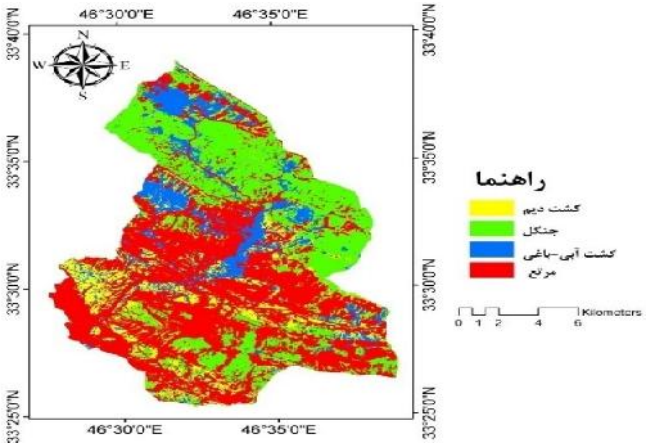
شکل۴- نقشه کاربری منطقه مورد مطالعه در سال ۱۹۸۸

Figure 4. Land use map of the study area for 1988



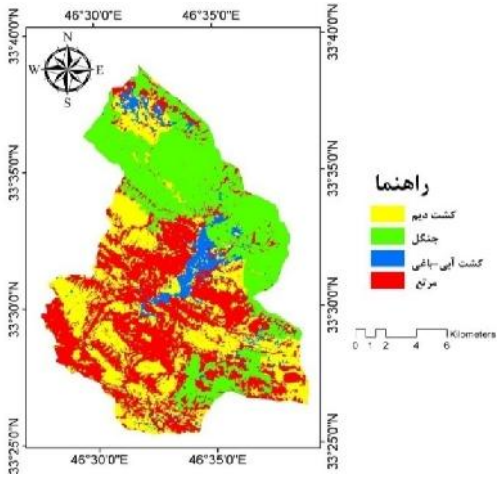
شکل ۵- نقشه کاربری منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۰۳

Figure 5. Land use map of the study area for 2003



شکل۶- نقشه کاربری منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۰۷

Figure 6. Land use map of the study area for 2007



شکل ۷- نقشه کاربری منطقه مورد مطالعه در ۲۰۱۳

Figure 7. Land use map of the study area for 2013

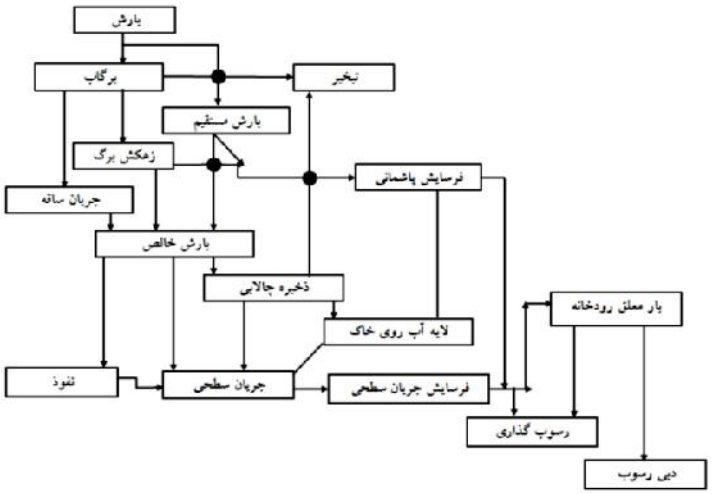
جدول ۱- صحت کلی و ضریب کاپا برای کاربری‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳

Table 1. Overall accuracy and Kappa coefficient for 1988- 2013 land use maps

سال کاربری	صحت کلی (٪)	ضریب کاپا
۱۹۸۸	۷۷/۷۵	۰/۶۴۲
۲۰۰۳	۸۰/۷	۰/۶۸۳۴
۲۰۰۷	۸۹/۲۲	۰/۸۱۸۵
۲۰۱۳	۹۱/۶	۰/۸۵۵۴

شرح ماژول فرسایش و رسوب مدل WetSpa

این ماژول، یک ماژول فیزیکی و توزیعی مکانی است که برای شبیه‌سازی فرسایش، انتقال رسوب و ته‌نشست رسوب، در چهارچوب مدل هیدرولوژیکی WetSpa توسعه داده شده است (۴۰،۳۶،۳۵). جدا شدن ذرات توسط اثر کوبندگی باران توسط روابط بین جداشدگی ذرات خاک و انرژی جنبشی بارش محاسبه می‌شود. جدا شدن ذرات خاک توسط جریان سطحی، به‌وسیله تنش برشی واقعی و بحرانی محاسبه می‌شود. آب و رسوب در طول پستی و بلندی‌های معین مسیر جریان بر سطح زمین می‌غلتند که زمان پیمایش و شدت جریان معین توسط روابط فیزیکی به‌دست می‌آید. این ماژولبه جز رسوب اندازه‌گیری شده برای واسنجی مدل، به داده‌های بیش‌تری نسبت به مدل WetSpa نیاز ندارد. این ماژول نه تنها می‌تواند غلظت رسوب معلق را شبیه‌سازی کند، بلکه می‌تواند تغییرات بار رسوب را در زمان به ما بدهد. فرآیندهای فرسایش و انتقال رسوب در شکل ۸ نشان داده شده‌اند. تعدادی ازاین فرآیندها در مدل قبلی WetSpa گنجانده شده، مابقی مربوط به ماژول فرسایش و انتقال رسوب است.



شکل ۸- نمودار فرآیندفیزیکی-توزیعی در نظرگرفته شده درماژول فرسایش و انتقال رسوب (۳۹)

Figure 8. Physical- distributed process flow chart in erosion and sediment transport module (39)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.5.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.59]

گیرش گیاهی

رابطه (۱) برای گراس‌ها

$$SF = \frac{1}{2} TIF \cos\alpha (\sin\alpha)^2$$

رابطه (۲) برای دیگر گیاهان

$$SF = \frac{1}{2} TIF \cos\alpha$$

رابطه (۳)

$$LD = TIF - SF$$

بارش سطح زمین مجموعه‌ای از تروفال، ساقاب و زهکشی برگ می‌باشد (۲۶،۳۴،۴۰).

جداشدن ذرات خاک توسط قطره باران

مدل‌سازی جدا شدن ذرات خاک توسط قطره باران بر روابط بین جدا شدن و انرژی جنبشی بارش مبتنی است. انرژی جنبشی باران رسیده به سطح زمین به شرح زیر است (۸،۱۷،۳۲):

رابطه (۴)

$$KE_r = \max(8.95 + 8.44 \log I_r, 0)(1 - \lambda_c) P_r$$

رابطه (۵)

$$KE_l = \max(15.8\sqrt{H_c} - 5.87, 0)\lambda_c LD$$

که، KE_r: شدت انرژی جنبشی حاصل از باران مستقیم ($Jm^{-2}s^{-1}$) که به سطح خاک رسیده، KE_l: شدت انرژی جنبشی حاصل از زهکشی برگ از تاج پوشش است ($Jm^{-2}s^{-1}$)، Ir: شدت باران است (mm/h)، Pr: مقدار باران است (mm)، λ_c: قسمتی از سطح زمین که توسط تاج پوشش گیاه پوشیده شده (-) و Hc: ارتفاع تاج پوشش می‌باشد (m). توجه داشته باشید که اگر ارتفاع تاج پوشش کمتر از ۱۴ سانتی‌متر باشد KE_l: در معادله ۵ برابر با صفر می‌شود.

ترکیبی از فرآیندهای فوق به معادله زیر برای جدا شدن قطره باران منجر می‌شود (۲۶،۱۷):

رابطه (۶)

$$DR = k(KE_r + KE_l)\exp(-Z_s h)$$

که در آن، DR: شدت جدا شدن ذرات خاک توسط اثر قطره باران است ($gm^{-2}s^{-1}$)، k: شاخصی از قابلیت جدا شدن خاک است (gJ^{-1}) که ارزش آن باید به طور تجربی به‌دست بیاید، Zs: پارامتری است که بسته به بافت خاک بین ۰/۹ و ۳/۱ تغییر می‌کند (mm^{-1})، اما از mm^{-1}۲/۰، می‌توان برای طیف گسترده‌ای از شرایط استفاده کرد (۳۳) و h: متوسط عمق لایه آب سطحی است (mm). پاشمان برای هر یک از طبقات اندازه ذرات، محاسبه می‌شود (۲۶). برای سطوح بدون فرسایش‌پذیری، مانند رخ نمون سنگ‌ها، سطح قطعات سنگ، بتن و آسفالت، نرخ جدا شدن به‌صورت زیر اصلاح شده است:

رابطه (۷)

$$DR_r = DR(1 - \lambda_f)$$

که DR_f: نرخ کاهشی جدا شدن ($gm^{-2}s^{-1}$)، با در نظر گرفتن سطوح بدون فرسایش و λ_f: بخشی از سطح خاک که توسط سطوح بدون فرسایش پوشیده شده است (بین صفر و ۱).

جدا شدن خاک به وسیله جریان سطحی

جریان سطحی توسط تنش برشی اضافی ذرات خاک را جدا می‌کند و به این وسیله پیوستگی ذرات را می‌شکند. جدا شدن ذرات خاک توسط جریان سطحی ($kgm^{-2}s^{-1}$) مانند زیر محاسبه می‌شود (۳۹،۵،۴):

رابطه (۸)

$$DF = K_f \max\left(0, \frac{\tau}{\tau_c} - 1\right)$$

که DF شدت جدا شدن ذرات خاک به وسیله جریان ($gm^{-2}s^{-1}$)، K_f: قابلیت فرسایش‌پذیری جریان سطحی ($gm^{-2}s^{-1}$)، τ: تنش برشی(Nm^{-2})، τ_c: تنش برشی بحرانی است (Nm^{-2}) که به‌وسیله نمودار اصلاح شده شیلد محاسبه می‌شود (۲۳). تنش برشی به صورت زیر محاسبه می‌شود (۳۹،۱۸):

رابطه (۹)

$$\tau = \rho g h S$$

که ρ: چگالی آب است (kgm^{-3})، g شتاب گرانشی است (ms^{-2}) و S: شیب سطح آب است (-). تنش برشی مؤثر در سطح خاک لخت به علت تقسیم‌بندی تنش برشی بین گیاه، خاک و دیگر عوامل زبری مانند موانع و بی‌نظمی‌های سطح است (۱۱،۱۵،۲۵).

ارزیابی کارایی مدل WetSpa

برای ارزیابی نتایج خروجی مدل از معیار آماری ناش و ساتکلیف (۲۶) استفاده شد. این معیار که به صورت رابطه ده تعریف می‌شود، نشان دهنده دقت شبیه‌سازی مدل بوده و شامل استاندارد واریانس باقی مانده‌ها می‌شود. این معیار از مقادیر منفی تا یک تغییر می‌کند و هرچه به یک نزدیک شود نشان‌دهنده تناسب بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر شبیه‌سازی شده می‌باشد (۲۷).

رابطه (۱۰)

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(Qs_i - Qo_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(Qo_i - \overline{Qo})^2}$$

نتایج و بحث

شبیه‌سازی غلظت رسوب معلق روزانه با نقشه کاربری سال ۲۰۰۷

از آمار رسوب مشاهداتی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۹ برای شبیه‌سازی رسوب معلق استفاده شد. در میان رسوب‌های مشاهداتی دو غلظت ۲۰۳ و ۱۹۰ گرم بر لیتر مشاهده شد، که مقادیر بالایی هستند با توجه به مطالعاتی که قبلاً در ایران و جهان صورت گرفته شده است مقادیر بالایی از غلظت رسوب معلق گزارش شده است بنابراین دو عدد فوق‌الذکر در روند شبیه‌سازی استفاده شد و کنار گذاشته نشدند.

واسنجی و اعتبار سنجی مدل WetSpa

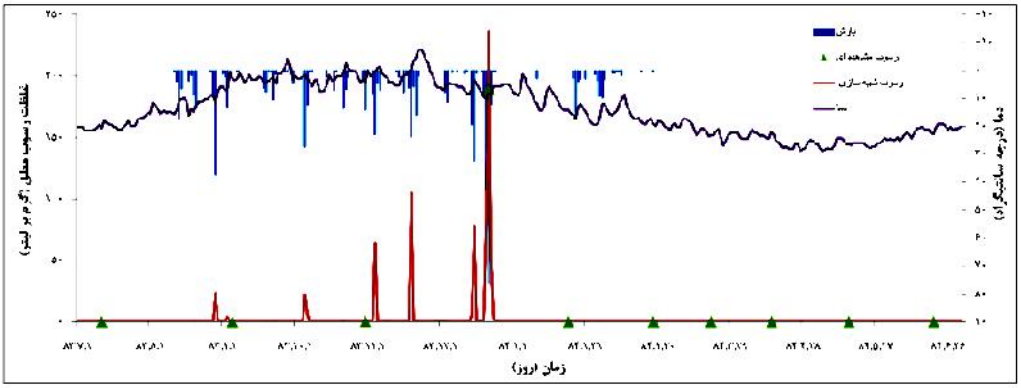
از آمار بارندگی، دما، تبخیر، دبی و رسوب روزانه، یک مهر ۱۳۸۶ تا ۳۱ شهریور ۱۳۸۹ برای اعتبارسنجی و از آمار یک مهر ۱۳۸۲ تا ۳۱ شهریور ۱۳۸۶ برای واسنجی مدل استفاده شد. در این مرحله با تغییر دادن مؤلفه‌های اصلی مدل اقدام به اجرای مدل به دفعات متعدد می‌شود در پایان هر دوره اجرای مدل اگر نتایج رضایت بخش نبود یعنی رسوب و معیارها و شاخص‌های آماری به صورت مناسبی شبیه‌سازی نشده باشد دوباره اقدام به بهینه‌سازی ۱۱ مؤلفه اصلی مدل می‌شود و تا رسیدن به نتیجه قابل قبول مدل دوباره واسنجیو سپس با استفاده از مابقی آمار اقدام به شبیه‌سازی غلظت رسوب معلق شد. میزان شاخص‌های ارزیابی مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی در جدول دو ارائه شده است. شکل ۹ قسمتی از گراف غلظت رسوب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را توسط مدل نشان می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.5.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.59]

جدول ۲- شاخص‌های ارزیابی مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی غلظت رسوب معلق

Table 2. Model evaluationcriteria in sediment calibration and validation steps

معیار ارزیابی	واسنجی (٪)	اعتبارسنجی (٪)
ناش- ساتکلیف (NS)	۶۷/۴۵	۶۸/۷۸



شکل ۹- بخشی از داده‌های غلظت رسوب معلق مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل در ۱۳۸۳-۱۳۸۴

Figure 9. A part of observed and simulated suspended sediment data by model during 1383-1384

نتایج اجرای مدل با تغییر نقشه کاربری

در ابتدا برای اجرای مدل و صحت آن از نقشه کاربری سال ۲۰۰۷ استفاده شد در این مرحله با تغییر نقشه کاربری و ثابت گرفتن سایر پارامترها اقدام به اجرای مدل و مشاهده نتایج شد (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج انتقال رسوب و رسوب ویژه در دوره واسنجی (۱۳۸۹-۱۳۸۲)

Table 3. Sediment transport and specific sediment results in calibration period (1382-1389)

سال کاربری	۱۹۸۸	۲۰۰۳	۲۰۰۷	۲۰۱۳	مشاهداتی
بار کل یا رسوب انتقالی (kg/s)	۱۰/۱۷	۱۰/۶۳	۱۰/۷۴	۱۰/۸۸	۱۵/۵۹
رسوب ویژه (تن در هکتار در سال)	۱۲/۷۳	۱۳/۳۰	۱۳/۴۴	۱۳/۶۲	۱۹/۵۱

آنالیز آماری جهت بررسی تأثیر تغییرات کاربری بر تغییر رسوب

جهت بررسی وجود تغییرات معنی‌دار بین مقدار غلظت رسوب روزانه توسط مدل به واسطه تغییر نقشه کاربری اراضی از آزمون آماری t جفتی در محیط نرم‌افزار SPSS 17.0 استفاده شد. نتایج آنالیز آزمون t جفتی جهت بررسی تأثیر تغییرات کاربری بر تغییر رسوب در دو بازه زمانی، در جدول ۴ نشان داده شده است (۶).

جدول ۴- نتایج آنالیز آزمون t جفتی جهت بررسی تأثیر تغییرات کاربری بر تغییر رسوب در دو بازه زمانی

Table 4. Paired T test for investigation of effects of land use changes on sediment change

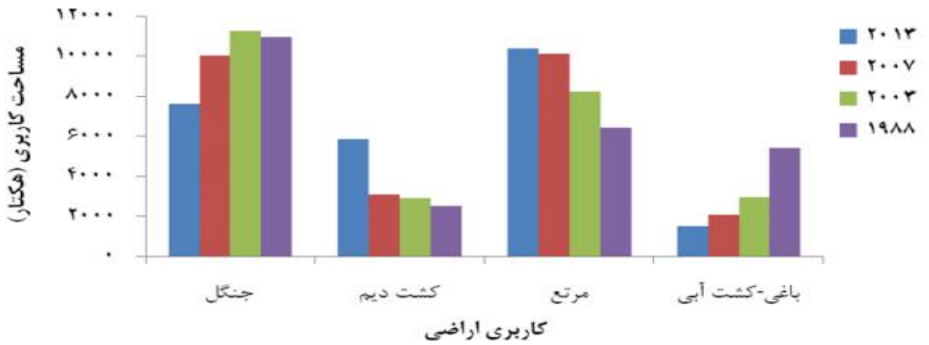
سال کاربری‌ها	درجه آزادی (df)	انحراف از معیار	Sig	مقدار t	میانگین
۱۹۸۸-۲۰۰۳	۲۵۵۶	۰/۰۰۳۵۵	۰/۰۰۰	۴/۱۷۵	۰/۰۱۴۸۲
۲۰۰۳-۲۰۱۳	۲۵۵۶	۰/۰۰۵۰۳	۰/۰۰۰	-۳/۹۴۱	-۰/۰۱۹۸۴

با توجه به جدول ۴ نتایج نشان داد که به طور کلی تأثیر تغییر کاربری بر روی رسوب در همه دوره در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار می‌باشد. معیار نش-ساتکلیف، در مرحله واسنجی برای شبیه‌سازی غلظت رسوب معلق روزانه رودخانه ۶۷/۴۵ درصد به‌دست آمد که نشان از کارایی مدل در شبیه‌سازی غلظت رسوب می‌باشد.

مدل قابلیت خوبی در شبیه‌سازی مقادیر حداکثر غلظت رسوب معلق نشان داده است. معیار نش در مرحله اعتبار سنجی مدل برای شبیه‌سازی غلظت رسوب معلق روزانه در رودخانه ۶۸/۷۸ درصد به‌دست آمد که این نکته نیز تأکید بر دقت قابل قبول نتایج مدل دارد. مدل‌های یکپارچه تغییرات زمانی کوتاه مدت را در نظر نمی‌گیرند و از تغییرات میانگین‌گیری می‌کنند همچنین در مرحله شبیه‌سازی تغییرات هم از میانگین داده‌های مشاهداتی استفاده می‌کنند و طبیعی است که به دقت‌های بالا برسند اما در مدل‌های توزیعی مکانی مانند مدل WetSpa که تغییرات متغیرها را در گام‌های

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.5.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.59]

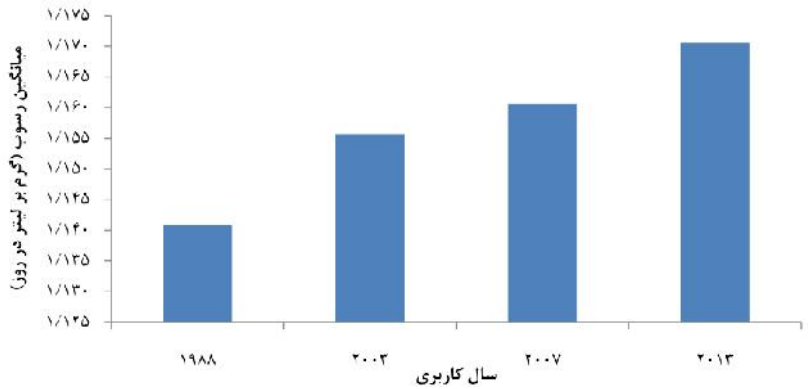
زمانی روزانه و حتی ساعتی و با دقت اندازه سلولی شبیه‌سازی می‌کنند رسیدن به دقت بالای ۵۵٪ می‌تواند بسیار رضایت بخش باشد (۳۱)، به این دلیل که دقت زمانی و توزیعی- مکانی بسیار سخت‌گیرانه‌تر از مدل‌های یکپارچه است. از منابع خطا در شبیه‌سازی رسوب می‌توان به شبیه سازی نامناسب جریان رواناب سطحی در درجه اول، عدم صحت داده‌ها و عدم پیوستگی اطلاعات رسوب اشاره کرد. بهره‌مند و دسمت (۵) در تأیید این موضوع بیان داشتند دست‌یابی به داده‌های عاری از خطا (بارش، دبی جریان، توپوگرافی و غیره) غیرمحتمل است. نتایج حاصل از تغییر کاربری بر اساس شکل ۱۰ نشان داد که اراضی جنگلی و کشت آبی-باغی از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳ روند کاهشی به ترتیب به میزان ۳۳۲۲/۵۰۲ و ۳۹۳۴/۳۸۶ هکتار و اراضی مرتعی و کشت دیم روند افزایشی به‌ترتیب به میزان ۳۹۴۲/۹۹ و ۳۳۱۳/۹ هکتار را نشان می‌دهند. با توجه به این مسئله سال به سال در منطقه جنگل‌زدایی صورت گرفته و این اراضی به کشت دیم تخصیص داده شده که بعد از مدتی به علت بازدهی پایین و فقر خاک به علت فرسایش و رسوب رها شده و به اراضی بایر تبدیل شده‌اند.



شکل ۱۰- تغییر مساحت کاربری‌ها از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳

Figure 10. Land use area change during 1988-2013

در نتیجه استفاده بیش از حد از زمین و با کاهش عمق و حجم ریشه دوانی از استحکام خاک کاسته شده و میانگین غلظت رسوب روزانه در رودخانه مورد نظر از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳ به ترتیب از ۱/۱۴۱ گرم بر لیتر به ۱/۱۷۱ گرم بر لیتر افزایش یافته است (شکل ۱۱). لیو و همکاران (۱۹،۱۸)، بیان داشته‌اند که کم‌ترین رواناب در نتیجه فرسایش و رسوب مربوط به علفزارها و مناطق جنگلی است. که علت آن ناشی از فاکتورهایی از قبیل گیرش بارش توسط تاج پوشش گیاهان، تراکم شبکه ریشه‌ها که ظرفیت نفوذ و تخلخل خاک را افزایش می‌دهد، به علاوه مواد آلی انباشته شده در سطح که موجب افزایش ظرفیت ذخیره چالابی و افزایش زمان جریان سطحی می‌شود. در نتیجه کاهش سطح جنگل و مرتع باعث افزایش فرسایش و رسوب در حوزه آبخیزمی‌شود که مطالعه حاضر نیز این نتیجه را تصدیق می‌کند.



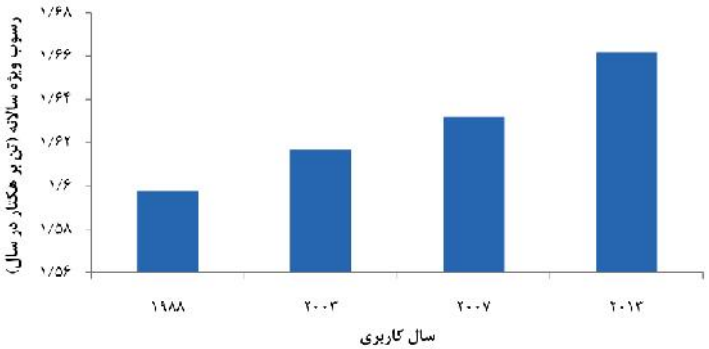
شکل ۱۱- میانگین رسوب سالانه از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳

Figure 11. Average of annual sediment during 1988- 2013

با تبدیل اراضی جنگلی به دیم نرخ رسوب‌زایی افزایش پیدا می‌کند. درصد تاج پوشش باعث کاهش تولید رسوب و درصد اراضی لخت موجب افزایش تولید رسوب می‌شود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تغییر کاربری باعث افزایش رسوب ویژه سالانه به میزان ۰/۰۶۳۸۱۸ تن بر هکتار در سال از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳ شده است یعنی در این دوره زمانی

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.5.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.59]

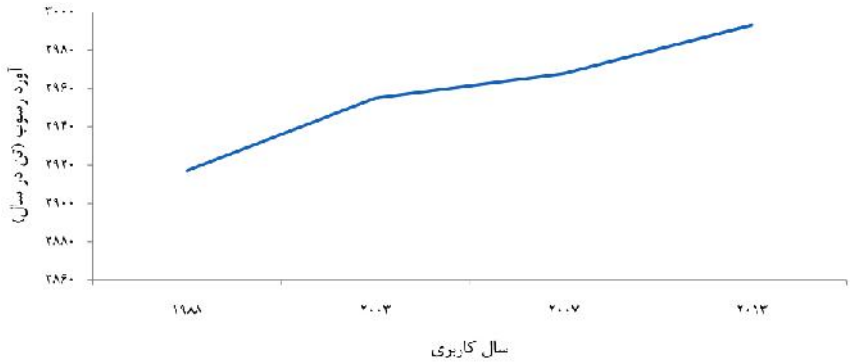
۶۳/۸۱۸ کیلوگرم در هر هکتار افزایش رسوب صورت گرفته است (شکل ۱۲). در این راستا جباری (۱۴) به این نتیجه رسیدند که درصد تاج پوشش بالا باعث کاهش تولید رسوب ویژه و کاربری نامناسب اراضی و افزایش اراضی لخت باعث افزایش تولید رسوب و در نتیجه رسوب ویژه سالانه می‌شود.



شکل ۱۲- تغییرات رسوب ویژه سالانه از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳

Figuer 12. Specific sediment change during 1988-2013

مجموع رسوب سالانه از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳ افزایش یافته است که علت آن را می‌توان تخریب جنگل‌ها به منظور کشاورزی دیم دانست، افزایش حساسیت این زمین‌ها در برابر زمین لغزه‌ها را می‌توان خاطر نشان نمود که خود می‌تواند اثر غیر مستقیم تغییر کاربری زمین در میزان تولید رسوب دانست (شکل ۱۳). نتایج به دست آمده با مطالعه آقارضی (۲) که رابطه کاربری اراضی و شیب با فرسایش خاک و تولید رسوب را بررسی کرده و به این نتیجه رسیده است که در هر شیبی، کاربری مرتع کمترین فرسایش، کاربری شخم رها شده بیش‌ترین فرسایش و کاربری زراعت حد وسط فرسایش را به خود اختصاص داده‌اند هم‌خوانی دارد.



شکل ۱۳- تغییرات مجموع رسوب سالانه از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳

Figure 13. Annual cumulative sediment change during 1988-2013

با توجه به جدول ۴ نتایج نشان داد به طور کلی تأثیر تغییر کاربری بر روی رسوب در همه دوره در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار می‌باشد. به طوری که میانگین رسوب سالانه از ۱/۱۴۱ گرم بر لیتر در سال ۱۹۸۸ به ۱/۱۷۱ گرم بر لیتر در سال ۲۰۱۳ رسید، که به طور متوسط در هر هکتار باعث افزایش ۶۳/۸۱۸۹ کیلوگرم رسوب شده است. این نتایج با یافته‌های زینی‌وند (۳۹)، مرادی‌پور (۲۴)، همت‌زاده و همکاران (۱۳) ولوپز و همکاران (۲۰) که رابطه بین تغییرات کاربری اراضی و تولید رسوب را معنی‌دار اعلام کرده‌اند هم‌خوانی دارد. در کشور ما به دلیل نقص آماری در ایستگاه‌های هواشناسی ضرورت شبیه‌سازی نواقص آماری و به‌دست آوردن روند تغییرات احساس می‌شود. مدل‌های یکپارچه و تجربی به دلیل نداشتن گام‌های زمانی کوتاه‌مدت و غیرتوزیعی بودن دقت بالایی ندارند، مدل‌های توزیعی مکانی پیچیده نیز به علت نیاز به ورودی‌های زیاد و گسترده، با توجه به اینکه در کشور آمار طولانی مدت در دست نداریم قابل استفاده نمی‌باشند. اما مدل WetSpa به دلیل توزیعی بودن، دقت بالا به میزان اندازه سلولی، نیاز به ورودی‌های کم و گام زمانی کوتاه مدت روزانه، ساعتی و دقیقه از دقت مناسبی برای شبیه‌سازی تغییرات برخوردار می‌باشد. مدل هیدرولوژیکی- توزیعی WetSpa، غلظت رسوب معلق رودخانه گل‌گل را با دقت قابل قبول در گام زمانی روزانه شبیه‌سازی کرد. WetSpaیک مدل پیوسته هیدرولوژیکی- غالباً فیزیکی است که دید مدیریتی خوبی جهت تخصیص کاربری‌های بهینه و شناسایی اولویت‌های مدیریتی جهت برنامه‌ریزی‌های حفاظتی به مدیران حوزه‌های آبخیز کشور می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.5.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.59]

منابع

1. Adams, R. and S. Elliott. 2006. Physically based modelling of sediment generationand transport under a large rainfall simulator. Hydrological Processes, 20: 2253-2270.
2. Agharazi, H.A. 2001. Investigation relationship among land use and slope with soil erosion and sediment production. National Conferences Soil Erosion Management and Stable Development, 369-327.
3. Ahmadi, H., M. Jafari, A. Golkarian, A. Abrisham and J. Lafin. 2007. Estimation erosion and sediment by WEPP model, case study in Bararieh Naishabor watershed. Pazhohesh va Sazandegi dar Manabe Tabie, 75: 161-172 (In Persian).
4. Ariathurai, R. and K. Arulanandan. 1978. Erosion rates of cohesive soil. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Journal of the Hydraulics Division, 104: 279-283.
5. Bahremand, A. and F. De Smedt. 2010. Predictive analysis and simulation uncertainty of a distributed hydrological model. Water Resource Management, 24: 2869-2880.
6. Bihamta, M.R. and M.A. Zare Chahouki. 2010. Principle Statistics in Natural Resources, Tehran University Press, 300 pp.
7. Brandt, C.J. 1989. The size distribution of through fall drops under vegetation canopies. Catena, 16: 507-524.
8. Brandt, C.J. 1990. Simulation of the size distribution and erosivity of raindrops and through fall drops Earth Surface Processes and Landforms, 15: 687-698.
9. Chmelová, R. and B. Šarapatka. 2002. Soil erosion by water: Contemporary research methods and their use. Geographica, 37: 23-30.
10. De Smedt, F., Y.B. Liu and S. Gebremeskel. 2000. Hydrologic modeling on a catchment scale using GIS and remote sensed land use information, In Risk Analysis II, Brebbia, C.A., Ed., WTI press: Southampton, Boston, pp: 295-304.
11. Foster, G.R., L.J. Lane, M.A. Nearing, S.C. Finkner and D.C. Flanagan. 1989. Erosion component, in USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile Model Documentation, edited by L.J. Lane and M.A. Nearing, NSERL Rep. 2, National Soil Erosion Research, Agricultural Research Service, U. S. Department of Agriculture, West Lafayette, Ind. 10: 1-10.
12. Galton, F. 1853. The narrative of an explorer in tropical southem Africa. London: John Murray, 344 pp.
13. Hematzadeh, Y., H. Barani and A. Kabir. 2009. The role of vegetation management on surface runoff (Case study: Kechik catchment in north-east of Golestan Province). Water and Soil Conservation, 16: 18-32 (In Persian).
14. Jabbari, I. 2010. Deposition and a decrease in the expected life of Mahabad dam and some indications of changes on environmental systems in its upstream area. Geographical Research, 1: 1-20.
15. Kong, Q.R., C.B. Jiang, J.J. Qin and B. Guo. 2009. Sediment transportation and bed morphology reshaping in Yellow River Delta, Science in China Series E: Technological Sciences, 52: 3382-3390.
16. Koo, B.K., S.M. Dunn and R.C. Ferrier. 2005. A distributed continuous simulation model to identify critical source areas of phosphorus at the catchment scale- model description, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2: 1359-1404.
17. Kuznetsov, M.S., V.M. Gendugov, M.S. Khalilov and A.A. Ivanuta. 1998. Anequation of soil detachment by flow. Soil and Tillage Research, 46: 97-102.
18. Liu, Z. 2001. Sediment transport, Laboratoriet for Hydraulikog Havne by gning Instituttet for Vand, Jordog Miljøteknik, Aalborg Universitet. Online: http://www.civil.auc.dk/~i5mb/B8/ kysthydr/Sediment %20 transport.pdf
19. Lull, H.W., 1964, Ecological and silvicultural aspects, in: Handbook of applied hydrology, VenTe Chow (ed.), 6.1-6.30, McGraw-Hill, New York. 13: 78-90.
20. Liu, Y.B., S. Gebremeskel, F. De Smedt, L. Hoffmann and L. Pfister. 2006. Predicting storm runoff from different land-use classes using a geographical information system-based distributed model. Hydrological Processes, 20: 533-548.
21. Lopez, T.D.M., T.M. Aide and F.N. Scatena. 1998. The effect of land use on soil erosion in the Guadiana Watershed in Puerto Rico. University of Puerto Rico. Caribbean Journal of Science, 34: 298-307.
22. Madsen, O.S. and W.D. Grant. 1976. Sediment transport in the coastal environment .In: Report No. 209, Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, Department of Civil Engineering, M.I.T. 105 pp.
23. Matkan, A.A., H. Zeinivand, B. Bayat, A. Ghafourie and B. Mirbagheri. 2012. Simulation of Daily Stream Flow and the Effects of Land Use Changes Using WetSpa Model in GIS (Case Study: Merek Watershed, Kermanshah Province). Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, 2: 1-20 (In Persian).
24. Moffet, C.A., F.B. Pierson, P.R. Spaeth, K.E. Robichaud and S.P. Hardegree. 2007. Modeling soil erosion on steep sagebrush rangeland before and after prescribed fire. Catena, 71: 218-228.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.5.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.59]

25. Moradipor, S., A.R. Bahremand, H. Zeinivand and A. Najafinejad. 2011. Spatio- emporal simulation of flood by WetSpa hydrological model in TaleghanWatershed.7th National Watershed management conference. Esfahan, 7: 25-33(In Persian).
26. Morgan, R.P.C., J.N. Quinton, R.E. Smith, G. Govers, J.W.A. Poesen, K. Auerswald, G. Chisci, D. Torri and M.E. Styczen. 1998. The European soil erosion model (Eurosem): A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. Earth Surf. Process. Landforms, 23: 527-544.
27. Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting though conceptual models. Part 1-A discussion of principles. Journal of hydrology, 10: 282-290.
28. Price, K.C.R., A.J. Jackson, T. Parker, J. Reitan and M.J. Dowd. 2010. Effects of Watershed Land Use and Geomorphology on Stream Base flows in the Southern Blue Ridge Mountains, Presented at Coweeta long Term Ecological Research Program Summer Research Meeting. Otto, NC, June. 28-29.
29. Pudasaini, M. 2003. Erosion modelling under different land use management practices, M.Sc. Thesis, University of Western Sydney. School of Engineering and Industrial Design, Sudan.78 pp.
30. Sadeghi, S.H.R, H. Noor and S. Fazli. 2011. Storm –Wise sediment yield prediction using rainfall and runoff variable at educational and research watershed of Tarbiat Modares University. Journal of Soil and Water Science, 21: 149-158 (In Persian).
31. Safari, A., F. De Smedt and F.Moreda. 2009. WetSpa model application in the distributed model intercomparison project (DMIP2). Journal of Hydrology, 318: 1-12.
32. Smeeton, N.C. 1985. Early History of the Kappa Statistic. Biometrics, 41, 795.
33. Torri, D., M. Sfalanga and M. Del Sette. 1987. 'Splash detachment: runoff depth and soil cohesion. Catena. 14: 149-155.
34. VanElewijck, L. 1989a. Influence of leaf and branch slope on stemflow amount. Catena, 16: 525-533.
35. VanElewijck, L. 1989b. Stemflow on maize: a stemflow equation and the influence of rainfall intensity on stemflow amount. Soil Technology, 2: 41-48.
36. Vansteenkiste, T.M. Tavakoli, V. Ntegeka, F. De Smedt, O. Batelaan, F. Pereira and P. Willems. 2014. Intercomparison of hydrological model structures and calibration approaches in climate scenario impact projections. Journal of Hydrology, 519: 743-755.
37. Vansteenkiste, T., M. Tavakoli, N. van Steenbergen, F. De Smedt, O. Batelaan, F. Pereira and P. Willems. 2014. Intercomparison of five lumped and distributed models for catchment runoff and extreme flow simulation. Journal of Hydrology, 511: 335-349.
38. Wicks, J.M. and J.C. Bathurst. 1996. SHESED: a physically based, distributed erosion and sediment yield component for the SHE hydrological modeling system. Journal of Hydrology, 175: 213-238.
39. Yousefi, S., M. Tazeh, S. Mirzaee, H.R. Moradi and SH. Tavangar. 2011. Comparison of different classification algorithms in satellite imagery to produce land use maps (Case study: Noor city). Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science, 2: 15-25 (In Persian).
40. Zeinivand, H. 2009. Development of spatially distributed hydrological WetSpa modules for snowmelt, soil erosion and sediment transport. PhD. Thesis, Vrije University Brussel, Belgium.
41. Zeinivand, H. and F. De Smedt. 2009. Spatially distributed modeling of soil erosion and sediment transport at watershed scale, World Environmental & Water Resources Congress (EWRI), 17-21 May, Kansas City, USA, pp: 17-21.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.5.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.59]

Simulation of Daily Suspended Sediment and Investigation of the Impact of land Use Change in GolGol Watershed, Ilam

Somayeh Mirzaee[1], Hussein Zienivand[2] and Ali Haghizade[3]

1 and 3- M.Sc. Student and Assistant Professor, Lorestan University
(Corresponding author: hzeinivand@gmail.com)
2- Associate Professor, Lorestan University
Received: January 13, 2014 Accepted: January 21, 2015

Abstract

In this study, the ability of spatially distributed hydrological WetSpa model for simulation of suspended sediment concentration in a daily time step was investigated. Hydro-climate daily data for a period of 7 years including: precipitation, temperature, evaporation, discharge and suspended sediment and three basic basic digital maps of DEM, soil texture and land use, with the cell size of 25 meters was used. Also, with the implementation of the model by changing the land use map, we determined the impact of land use change on sediment of GolGol watershed. The results showed that the WetSpa model has potential to simulate suspended sediment concentration at the daily time step based on Nash-Sutcliffe (%67.45) as an important evaluation index. Moreover, the change detection of land use showed that by changes in forest and irrigated agriculture-garden from 1988 to 2013 there is a reduction amount of 3322.5 and 3934.3 hectares respectively, while, for rangeland and dry farming increased 3942.99 and 3313.9 hectares respectively. The results showed that the mean daily sediment concentration, annual specific sediment and annual suspended sediment yield by changing land use from 1988 to 2013 has increased. Statistical analysis results showed that the land use changes have effect on suspended sediment concentration in 1% significant level in the study area, so that the mean annual sediment concentration of 1.141 g/l in 1988 increased to 1.171 g/l in 2013. Finally the yearly average of sediment yield increased 63.8189 kilograms per hectares.

Keywords: GolGol Watershed, Land use Change, Spatially-distributed Hydrological, WetSpa Model, Sediment Simulation

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.5.7]

[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.59]