نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و دوم، شماره سوم، ۱۳۹٤
http://jwsc.gau.ac.ir

شبیه‌سازی اثرات سناریوهای توسعه مناطق مسکونی بر میزان رسوب معلق با استفاده از مدل WetSpa (مطالعه موردی: حوزه آبخیز زیارت استان گلستان)

***مهتاب فروتن‌دانش[۱]، عبدالرضا بهره‌مند[۲]، حسین زینی‌وند[۳]، مجید اونق[۴] و علی نجفی‌نژاد[۲]**

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳]استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه لرستان، [۴]استاد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۳/۵/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹٤/۱/۳۱

چکیده

سابقه و هدف: فرسایش و انتقال رسوب یک فرآیند پیچیده بوده که تحت‌تأثیر بافت خاک، توپوگرافی منطقه، اقلیم، کاربری اراضی، فعالیت‌های انسانی مانند سیستم‌های کشت و اقدامات حفاظتی خاک و توسعه شهرنشینی می‌باشد. در این پژوهش به بررسی اثرات توسعه مناطق مسکونی بر رسوب حوزه آبخیز زیارت واقع در استان گلستان پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها: نقشه‌های رقومی شامل مدل ارتفاع رقومی، پوشش اراضی و بافت خاک (با اندازه سلولی ۳۰ متر) و سری‌های زمانی پیوسته بارش، تبخیر و دمای هوا در گام زمانی ساعتی ٤ سال آماری (۹۰-۱۳۸٦) به‌عنوان ورودی‌های اصلی مدل WetSpa استفاده شد. داده‌های دبی جریان و رسوب معلق برای واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج: دقت شبیه‌سازی دبی جریان در دوره واسنجی بر اساس معیار نش- ساتکلیف ۰/٦۷ و ارزیابی شبیه‌سازی رسوب براساس معیار نش- ساتکلیف برای غلظت رسوب معلق و انتقال رسوب به‌ترتیب ۰/٦۳ و ۰/۷۲ بود. سپس سناریوهای توسعه مناطق مسکونی به‌عنوان ورودی به مدل واسنجی شده وارد شد. سپس با مقایسه مؤلفه‌های غلظت رسوب معلق و انتقال رسوب نتایج نشان داد که با افزایش وسعت مناطق مسکونی غلظت رسوب از ۰/۲۳ گرم بر لیتر در سناریوی پایه به ۲/۲۷ گرم بر لیتر در سناریو افزایش ۱۰۰٪ مناطق مسکونی می‌رسد و مقدار انتقال رسوب معلق از ۲۵۳ گرم بر ثانیه در سناریوی پایه به ۱۱٤۳ گرم بر ثانیه در سناریو افزایش ۱۰۰٪ مناطق مسکونی، افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: استان گلستان، تغییر کاربری اراضی، غلظت رسوب معلق، مدل هیدرولوژیکی- توزیعی WetSpa

* مسئول مکاتبه: mahtab.forootan@yahoo.com

مقدمه

شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب در حوزه آبخیز از نقطه نظر درک بهتر مسائل هیدرولوژیکی، مدیریت منابع آب، مهندسی رودخانه، سازه‌های کنترل سیل و ذخیره سیلاب اهمیت ویژه‌ای دارد. در این راستا مدل‌های بسیاری جهت شبیه‌سازی فرآیندهای حوزه آبخیز وجود دارد که مدل‌های توزیعی از جمله آن‌ها می‌باشند. روابط بارش- رواناب حوزه آبخیز نتیجه اثر متقابل بسیاری از فرآیندها مانند اقلیم، کاربری اراضی و عوامل خاک‌شناسی می‌باشند. فرسایش از طریق تلفات بخش حاصلخیز خاک منجر به کاهش حاصلخیزی آن شده و به‌خاطر ته‌نشینی رسوبات در سواحل رودخانه‌ها، خلیج‌ها و دریاچه‌ها باعث کاهش کیفیت آب سطحی می‌گردد. در مناطقی که دارای خاک، توپوگرافی و اقلیم مشابه می‌باشند اختلاف میزان فرسایش عموماً به نوع کاربری اراضی برمی‌گردد (11). فرسایش و انتقال رسوب یک فرآیند پیچیده بوده که تحت‌تأثیر بافت خاک، توپوگرافی منطقه، اقلیم، کاربری اراضی، فعالیت‌های انسانی مانند سیستم‌های کشت و اقدامات حفاظتی خاک می‌باشد (7). بیات (2009) با استفاده از مدل WetSpa[1] به شبیه‌سازی جریان رودخانه و تحلیل اثرات تغییر کاربری روی آن در آبخیز مرک در کرمانشاه پرداخت. نتایج شبیه‌سازی حاصل از کاربرد مدل در حوزه، دقتی معادل ۰/۷۷ بر اساس ضریب نش- ساتکلیف نشان می‌دهد. شبیه‌سازی جریان رودخانه تحت سناریوی کاربری بهینه نشان داد که هیدروگراف جریان رودخانه اندکی با تأخیر به اوج خود رسیده و از طرف دیگر این مقدار در مقایسه با هیدروگراف کاربری فعلی دیرتر فروکش کرده و همچنین دبی اوج هیدروگراف نیز بعد از تغییر کاربری بهینه، کم‌تر شده است (5). مرادی‌پور (2010) شبیه‌سازی فرسایش خاک و انتقال رسوب را با استفاده از مدل هیدروژیکی- توزیعی WetSpa در حوزه آبخیز طالقان (استان البرز) انجام داد. این مدل مقدار رواناب روزانه را بر اساس معیار ناش- ساتکلیف با دقت ۰/۸۵ و مقدار رسوب روزانه را با دقت ۰/٦۵ برآورد کرد. نتایج مطالعه نشان داد این مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی فرسایش و رسوب حوزه آبخیز دارد (11). پیشداد و همکاران (۲۰۱۰) نقش کاربری نامناسب اراضی در ایجاد فرسایش و تولید رسوب و پیش‌بینی تأثیر بهره‌برداری مناسب در کاهش فرسایش با استفاده از مدل EPM در حوزه آبخیز چراغ ویس واقع در جنوب شهرستان سقز را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اعمال مدیریت مناسب و آمایش می‌تواند به‌طورکلی میزان فرسایش و رسوب آبخیز نام‌برده را حدود ۷۱۳۳ هزار تن در سال کاهش دهد (12). شعبانی (2010) به بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر مقدار فرسایش و رسوب با استفاده از مدل MPSIAC[2] در حوزه آبخیز زاخرد فارس پرداخت. نتایج نشان داد که با اعمال سناریوهای تغییر کاربری بهینه مقدار فرسایش ۱٦/۱۳ درصد کاهش می‌یابد (13). له و همکاران (2011) به بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر فرسایش و رسوب با استفاده از مدل USPED[3] در حوزه آبخیز ازارک در آمریکا پرداختند و برای بررسی این موضوع ۵ سناریو تغییر کاربری اراضی در حوزه تهیه شد و با استفاده مدل USPED فرسایش حوزه شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که با افزایش مناطق مسکونی به‌میزان ۹/۵ درصد از سال ۱۹۸٦ تا ۲۰۰٦، میزان فرسایش حدود ۱۸ درصد افزایش می‌یابد (10).

یکی از عوامل مؤثر بر فرسایش، میزان پوشش گیاهی است. در حوزه آبخیز زیارت عدم توجه به مسأله قابلیت و تناسب کاربری زمین، به‌دلیل مسائل اقتصادی و افزایش مناطق تفرجگاهی، بیش‌تر اراضی

1- Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere

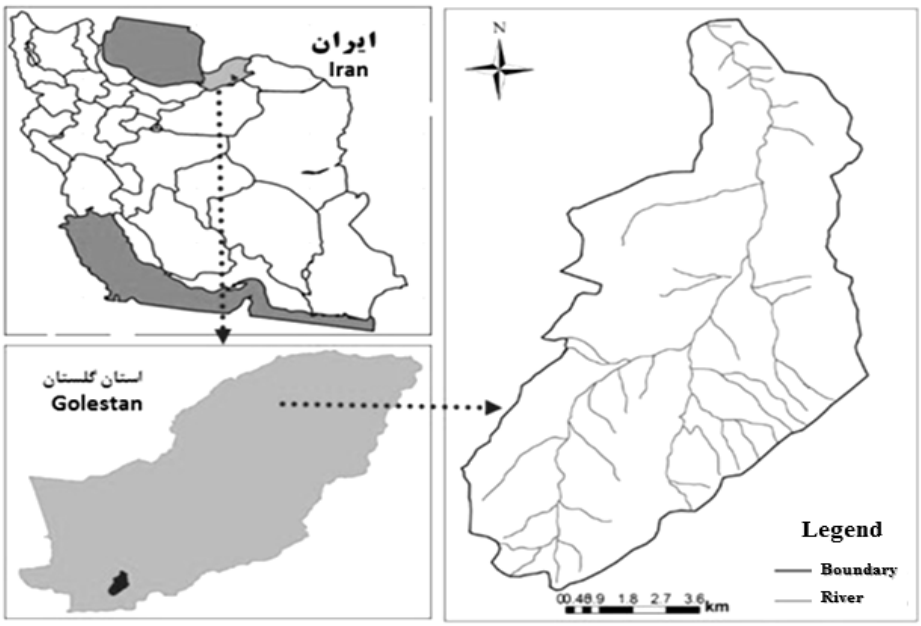
2- Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee

3- Unit Stream Power based Erosion/Deposition

به‌صورت نامناسب و نامعقول استفاده می‌شوند که این استفاده نادرست از حوزه آبخیز زیارت باعث کاهش پوشش گیاهی و افزایش سرعت جریان و ضریب رواناب و در نهایت افزایش فرسایش و رسوب شده است. با مرور پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه‌های مختلف و مزایای مدل WetSpa و نظر به این‌که در برآورد فرسایش و رسوب آبخیز زیارت، تاکنون مدل توزیعی- مکانی با گام زمانی ساعتی مورد آزمون قرار نگرفته، در این پژوهش قابلیت شبیه‌سازی غلظت رسوب و انتقال رسوب در آبخیز زیارت و اثرات توسعه مناطق مسکونی بر روی رسوب حوزه آبخیز زیارت با استفاده از مدل هیدرولوژیکی- توزیعی WetSpa بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه: محدوده مورد مطالعه حوزه آبخیز زیارت می‌باشد که با مساحت ۹۸/٤ کیلومترمربع و محیط ٤۰/۵۱ کیلومتر در استان گلستان، در شهرستان گرگان و بین طول جغرافیایی ٥٤ درجه ۲۳ دقیقه ۵۳ ثانیه تا ٥٤ درجه ۳۱ دقیقه ۱۱ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳٦ درجه ۳٦ دقیقه ۵۱ ثانیه و تا ۳٦ درجه ٤۳ دقیقه ۵۹ ثانیه شمالی قرار گرفته است. حداکثر ارتفاع حوضه ۳۰۳۰ متر و حداقل آن ۵۷۰ متر و بارندگی متوسط سالانه، ۷۵۰ میلی‌متر می‌باشد (شکل ۱). نقشه کاربری اراضی، بافت خاک و مدل رقومی ارتفاعی (مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰) حوزه آبخیز زیارت از اداره منابع طبیعی استان گلستان تهیه شد. نقشه کاربری اراضی پس از مطالعه و بازدید از منطقه و بررسی با نرم‌افزار Google Earth با پوشش منطقه تطبیق داده شد. در حوزه آبخیز زیارت کاربری جنگل حدود ٦۲/٤٪، بوته‌زار ۱۵/۲٪، مرتع ۱٤/۲٪، زراعت ۵/۹ و مسکونی ۲/۲٪ از مساحت حوضه را در برمی‌گیرد. منطقه مورد مطالعه از نظر خاک‌شناسی دارای ٤ بافت لومی شنی، لومی سیلتی، لومی رسی سیلتی و رسی لومی می‌باشد، که بیش‌ترین درصد از سطح حوزه مربوط به سیلت لوم می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز زیارت.

Figure 1. Location of the study area.

در این مطالعه، از مدل هیدرولوژیکی توزیعی مکانی WetSpa جهت شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی استفاده گردیده است. مدل اولین بار توسط ونگ و همکاران (1997) ابداع و سپس توسط دسمت و همکاران (2000) و لیو و همکاران (2003) برای پیش‌بینی سیل توسعه داده شد. ورودی‌های مدل WetSpa بافت خاک، کاربری اراضی و مدل رقومی ارتفاع (شکل‌های ۲، ۳ و ٤)، سری‌های زمانی بارش (میلی‌متر)، تبخیر (میلی‌متر)، دما (درجه سانتی‌گراد)، دبی (مترمکعب بر ثانیه) و غلظت رسوب (گرم بر لیتر) است. با کمک جداول مرجع و اسکریپ‌های مختلف نوشته شده به زبان Avenu در محیط نرم‌افزار ArcView مدل اجرا و پارامترهای مکانی مدل در هر شبکه سلولی محاسبه شد (3). در این پژوهش سری‌های زمانی مورد استفاده دارای گام زمانی ساعتی و مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی زیارت و نهارخوران و ایستگاه هواشناسی زیارت می‌باشد. برای شبیه‌سازی دبی جریان دوره آماری سه‌ساله (۸۹-۱۳۸٦) برای واسنجی و دوره یک ساله (۹۰-۱۳۸۹) برای اعتبارسنجی مدل انتخاب شد. برای واسنجی مدل WetSpa از ۵۰ نمونه غلظت رسوب معلق و انتقال رسوب (۸۹-۱۳۸٦) و برای اعتبارسنجی مدل از ۱۵ نمونه غلظت رسوب معلق اندازه‌گیری شده استفاده شد. به‌منظور ارزیابی کارایی مدل WetSpa از معیارهای آماری انحراف مدل (رابطه ۱) و نش- ساتکلیف (رابطه ۲) استفاده شد.

$$MB = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(Q_{si} - Q_{oi})}{\sum_{i=1}^{N} Q_{oi}}\right] \qquad (۱)$$

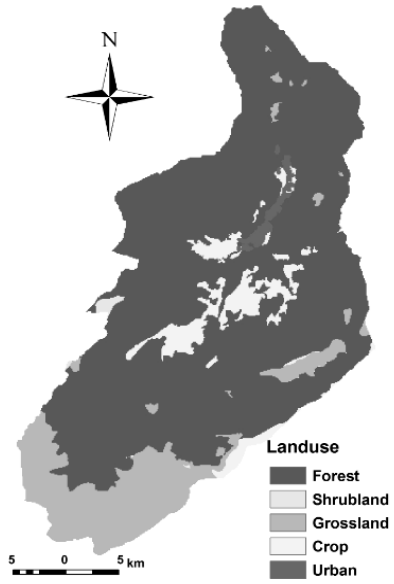
$$NS = 1 - \sum_{i=1}^{N}(Q_{si} - Q_{oi})^2 \Big/ \sum_{i=1}^{N}(Q_{oi} - \overline{Q_o})^2 \qquad (۲)$$

که در آن‌ها، Q_{si} و Q_{oi} جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در گام زمانی i (مترمکعب بر ثانیه)، N: تعداد گام‌های زمانی در طول دوره شبیه‌سازی است.

مقادیر انحراف معیار پایین نشان‌دهنده برازش بهتر و میزان صفر نمایانگر شبیه‌سازی کامل میزان جریان مشاهده‌ای می‌باشد. مقدار معیار نش- ساتکلیف از یک مقدار منفی تا ۱ در تغییر است و زمانی که میزان آن به ۱ رسید، نمایانگر انطباق کامل بین هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده می‌باشد (14).

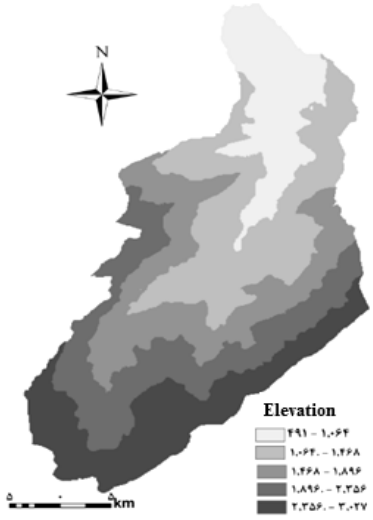
شکل ۲- نقشه بافت خاک حوزه آبخیز زیارت.

Figure 2. Soil type map of Ziarat Watershed.



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز زیارت.

Figure 3. Land use map of Ziarat Watershed.



شکل ٤- مدل رقومی ارتفاعی حوزه آبخیز زیارت (متر).

Figure 4. Digital Elevation Model of Ziarat Watershed(m).

معادلات شبیه‌سازی فرسایش و انتقال رسوب: در مدل WetSpa، جداشدن ذرات خاک توسط قطرات باران بر اساس انرژی جنبشی باران، شبیه‌سازی می‌گردد. مقدار انرژی جنبشی باران که به سطح زمین می‌رسد با استفاده از روابط ۳ و ٤ محاسبه می‌شود (15).

$$KE_r = Max(8.95+8.44\log I_r, O)(1-y_c)P_r \quad (۳)$$

$$KE_l = Max(15.8\sqrt{H_c} - 5.87, O)y_c LD \quad (٤)$$

که در آن‌ها، KE_r: انرژی جنبشی بارش مستقیم که با سطح خاک برخورد کرده (ژول در مترمربع در

ثانیه)، KE_l: انرژی جنبشی زهکش برگ از تاج پوشش (ژول در مترمربع در ثانیه)، I_r: شدت بارش (میلی‌متر در ساعت)، P_r: مقدار بارش (میلی‌متر)، y_c: بخشی از سطح زمین پوشیده شده توسط تاج پوشش، H_c: ارتفاع تاج گیاه (متر) می‌باشد. برای سطوح فرسایش‌ناپذیر مانند صخره‌های بدون پوشش، سنگفرش‌های بتونی و آسفالته، مقدار فرسایش اصلاح شده با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود (15).

$$DR_r = DR\,(1 - y_c) \qquad (۵)$$

که در آن، DR_r: فرسایش اصلاح‌شده (کاهش یافته) مناطق فرسایش‌ناپذیر (گرم در مترمربع در ثانیه) و y_c: بخشی از سطح خاک پوشیده شده توسط فرسایش‌ناپذیر متغیر بین صفر و یک می‌باشد.

جداشدن ذرات خاک توسط رواناب سطحی از رابطه ٦ محاسبه می‌گردد (15).

$$DF = K_f \max(o, \frac{\tau}{\tau_c} - 1) \qquad (٦)$$

که در آن، DF: فرسایش خاک توسط جریان رواناب سطحی (گرم در مترمربع در ثانیه)، K_f: فرسایندگی جریان رواناب سطحی (گرم در مترمربع در ثانیه)، τ: تنش برشی (نیوتن در مترمربع)، τ_c: تنش برشی بحرانی (نیوتن در مترمربع) که بر اساس دیاگرام شیلدز اصلاح شده محاسبه می‌شود، می‌باشد.

انتقال رسوب در یک آبراهه معمولاً با استفاده از معادله موج سینماتیک و سینماتیک مرتبه اول برای استقرار برآورد می‌شود. معادله دیفرانسیل جزیی برای انتقال مواد در آب در طول مسیر جریان یک‌بعدی به‌صورت زیر می‌باشد (15) (رابطه ۷).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D(x)\frac{\partial^2 C}{\partial X^2} - V(x)\frac{\partial C}{\partial} - y(x)C \qquad (۷)$$

که درآن، C: غلظت رسوب معلق (گرم در مترمکعب)، x: مسافت طی شده در جریان (متر)، D(x): ضریب انتشار طولی (مترمربع در ثانیه)، V(x): سرعت انتقال (متر در ثانیه) و $y(x)$: ضریب ته‌نشست (عکس ثانیه) می‌باشد.

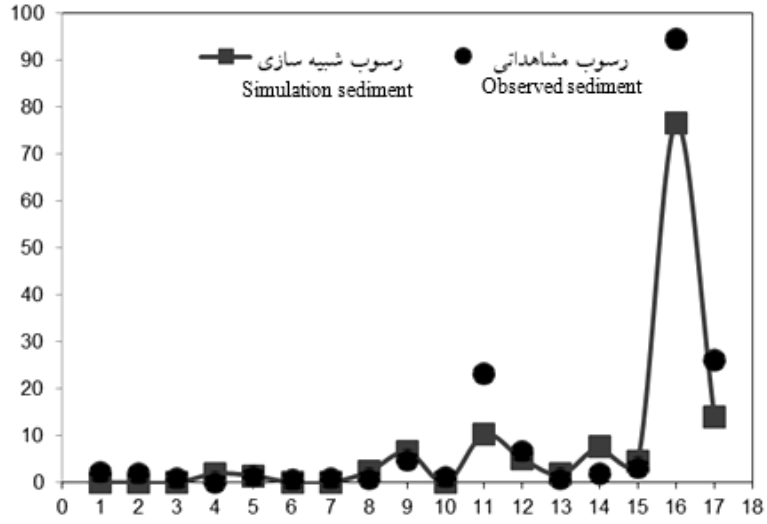
نتایج

پس از اجرای مدل با گام زمانی ساعتی از داده‌های دبی جریان و رسوب معلق و انتقال رسوب برای دوره سه‌ساله برای واسنجی (به‌صورت دستی و سعی و خطا) استفاده شد. مقدار بهینه پارامترهای مدل پس از واسنجی در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج گرافیکی مقایسه رسوب حاصل از اجرای مدل با پارامترهای واسنجی شده و رسوب اندازه‌گیری شده برای دوره آماری ۸۸-۱۳۸۷ در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج آماری ارزیابی مدل در شبیه‌سازی دبی با استفاده از معیارهای ارزیابی در جدول ۲ ارائه شده است. پس از واسنجی و اعتبارسنجی ماژول فرسایش مدل WetSpa نتایج ارزیابی مدل نشان‌دهنده شبیه‌سازی خوب غلظت رسوب و انتقال رسوب است. نتایج ارزیابی آماری غلظت رسوب و انتقال رسوب و شبیه‌سازی فرسایش مدل در جدول‌های ۳ و ٤ ارائه شده است.

جدول ۱- مقادیر بهینه پارامترهای مدل **WetSpa** پس از واسنجی.

Table 1. The calibrated values for the global parameters.

پارامترها parameters	مقادیراولیه پارامتر primary value	مقادیر بهینه پارامترها Calibrated value
Ki	0.45	0.47
Kss	0.93	0.85
Kep	0.83	0.91
Kg	0.0001	0.00001
Go	14.9	20.5
Gmax	105.9	205
Krun	4.9	4.95
Pmax	377	501.5
Kdet	1.02	0.064
Kf	0.003	1.059



شکل ۵- مقایسه رسوب مشاهداتی و رسوب شبیه‌سازی شده برای دوره‌ای از سال ۸۷.

Figure 5. Graphical comparison between observed and calculated hourly sediment for the year 2008 from the calibration period.

جدول ۲- مقادیر معیارهای کارایی مدل در شبیه‌سازی دبی در دوره واسنجی (۸۹-۱۳۸۶) و اعتبارسنجی (۹۰-۱۳۸۹).

Table 2. Evaluation criteria for simulation flow the year 2007-2010 from the calibration period and the year 2010-2011 from the validation period.

فرآیند / معیار Criterion	واسنجی Calibration	اعتبارسنجی validation
انحراف مدل Model bias	0.02	-0.04
نش- ساتکلیف Nash-Sutcliffe efficiency	0.67	0.74

جدول ۳- نتایج ارزیابی مدل در شبیه‌سازی غلظت رسوب و انتقال رسوب در دوره (۹۰-۱۳۸٦).

Table 3. Evaluation criteria for simulation suspended sediment and sediment transport(2007-2011).

مؤلفه / معیار	غلظت رسوب		انتقال رسوب	
	واسنجی	اعتبار سنجی	واسنجی	اعتبار سنجی
انحراف مدل Model bias	-0.11	-0.12	0.03	-0.1
نش- ساتکلیف Nash-Sutcliffe efficiency	0.63	0.51	0.42	0.41

جدول ٤- نتایج شبیه‌سازی فرسایش و انتقال رسوب در دوره واسنجی (۸۹-۱۳۸٦).

Table 4. Simulation erosion and sediment transport (2007-2010).

مؤلفه (واحد)	مشاهداتی Observed	شبیه‌سازی شده Simulated
کنش خاک ناشی از قطرات باران (کیلوگرم در ثانیه) soil loss due to raindrops	-	381.54
کنش خاک ناشی از رواناب سطحی (کیلوگرم در ثانیه) soil loss due to surface runoff	-	222.715
انتقال رسوب (گرم در ثانیه) sediment transport (g/s)	233.04	253.9
غلظت رسوب معلق (گرم در لیتر) suspended sediment (g/l)	0.23	0.26

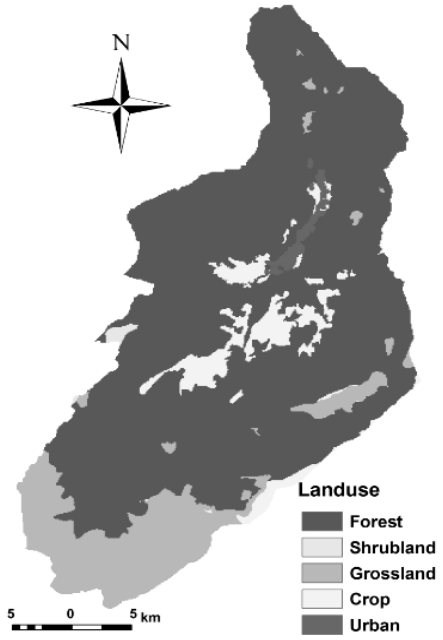
نتایج بررسی اثر سناریوهای توسعه مناطق مسکونی بر میزان رسوب معلق با استفاده از مدل WetSpa: افزایش وسعت مناطق مسکونی و کاهش پوشش گیاهی در حوزه آبخیز زیارت منجر به کاهش ضریب زبری و افزایش سرعت جریان می‌شود به عبارت دیگر با افزایش حجم یا ارتفاع رواناب تولید شده و مدت زمان اندک تخلیه آن در دامنه‌های شیب‌دار، تنش برشی جریان و قدرت حمل رواناب‌های سطحی زیاد بوده که موجب رخداد فرسایش (حمل و کنش ذرات خاک) می‌شود. از آن‌جایی که منطقه مسکونی در نزدیکی خروجی حوزه آبخیز زیارت قرار دارد با کوچک‌ترین تغییر در مساحت منطقه مسکونی مقدار سرعت جریان، غلظت رسوب و انتقال آن افزایش قابل‌توجهی می‌یابد. پس از مشخص نمودن سرعت رشد مناطق مسکونی در سال‌های اخیر و با در نظر گرفتن همین نرخ افزایش، اقدام به ایجاد پنج سناریو فرضی توسعه مناطق مسکونی شد (جدول ۵)، (شکل‌های ٦ و ۷). در سناریو اول با ایجاد بافر ٤۰ متر مساحت منطقه مسکونی ۲۵ درصد افزایش یافت پس از اجرای مدل با سناریو ۱ و مقایسه آن با وضعیت موجود مشاهده شد که مقدار غلظت رسوب معلق از ۰/۲۳ گرم در لیتر در سناریو وضعیت موجود به ۰/٤۸ گرم در لیتر در سناریو ۱ و انتقال رسوب معلق از ۲۵۳/۹ گرم در ثانیه در وضعیت موجود به ۲٦۱/۹ گرم در ثانیه در سناریو ۱ رسیده است. در سناریو ۲ با ایجاد بافر ۵۰ متر مساحت منطقه مسکونی ۵۰ درصد افزایش یافت پس از اجرای مدل با نقشه کاربری سناریو ۲ مقدار غلظت رسوب معلق به ۱/۰۹

گرم در لیتر و انتقال رسوب معلق به ۵۵۹/۰٦ گرم در ثانیه رسید. در سناریو ۳ با ایجاد بافر ٦۰ متر مساحت منطقه مسکونی ۷۵ درصد افزایش یافت و پس از اجرای مدل برای سناریو ۳ مقدار غلظت رسوب معلق به ۱/٦۹ گرم در لیتر و انتقال رسوب معلق به ۸۵۵/٤ گرم در ثانیه رسید. در نهایت در سناریو ٤ با بافر ۷۰ متر مساحت منطقه مسکونی ۱۰۰ افزایش یافت و پس از اجرای مدل برای سناریو ٤ مقدار غلظت رسوب معلق به ۲/۲ گرم در لیتر و انتقال رسوب معلق به ۱۱٤۳ گرم در ثانیه رسید (جدول ٦).

جدول ۵- معرفی سناریوهای فرضی تهیه شده در محیط GIS.

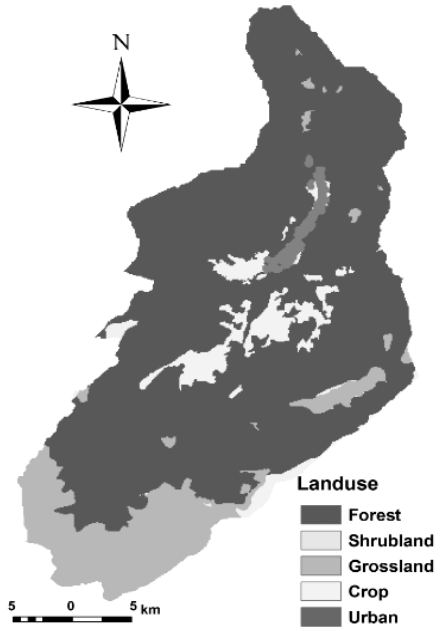
Table 5. The introduction of hypothetical scenarios in GIS.

سناریوها Scenarios	مساحت منطقه مسکونی Km^2 Residential area	درصد افزایش منطقه مسکونی urbanization Percent
سناریو صفر (Zero scenario)	2.2	0
سناریو ۱ (scenario 1)	2.75	25%
سناریو ۲ (scenario 2)	3.3	50%
سناریو ۳ (scenario 3)	3.85	75%
سناریو ٤ (scenario 4)	4.4	100%



شکل ٦- نقشه کاربری اراضی سناریو افزایش صفر درصدی مناطق مسکونی.

Figure 6. Land use map of zero scenario.



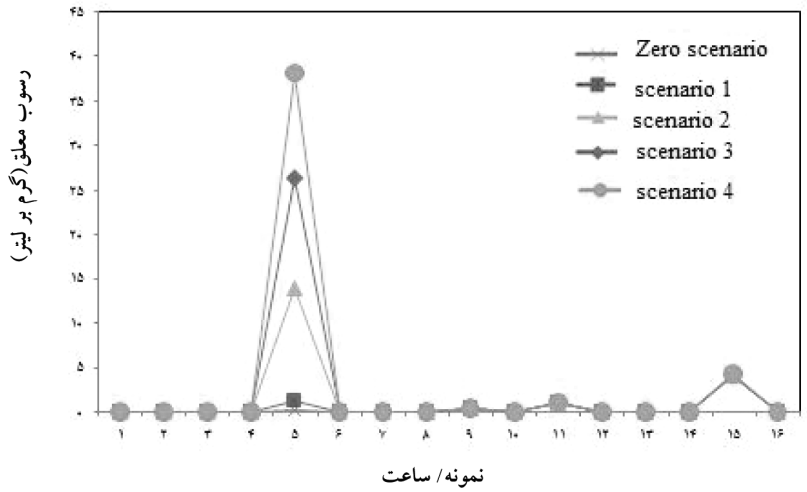
شکل ۷- نقشه کاربری اراضی سناریو افزایش صد درصدی مناطق مسکونی.

Figure 7. Land use map of scenario IV (100% increase in residential).

جدول ٦- نتایج حاصل از تأثیر سناریوهای توسعه مناطق مسکونی بر غلظت رسوب و انتقال رسوب.

Table 6. Suspended sediment and sediment transport for the present and each urbanization scenarios.

سناریوها Scenarios	غلظت رسوب معلق (گرم در لیتر) suspended sediment (g/l)	انتقال رسوب (گرم در ثانیه) sediment transport (g/s)
سناریو صفر (Zero scenario)	0.23	253.9
سناریو ۱ (scenario 1)	0.48	261.9
سناریو ۲ (scenario 2)	1.09	559.6
سناریو ۳ (scenario 3)	1.69	855.4
سناریو ٤ (scenario 4)	2.2	1143



شکل ۸- مقایسه گرافیکی غلظت رسوب معلق در سناریوهای تغییر کاربری اراضی برای دوره‌ای از سال ۸۷

Figure 8. Graphical comparison between suspended sediment for the present and each urbanization scenarios (2008).

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که معیار نش- ساتکلیف برای جریان ساعتی در کل دوره واسنجی و برای دبی‌های حداقل و حداکثر به‌ترتیب ۰/۷۱، ۰/٦۱ می‌باشد می‌توان برداشت کرد که مدل کارایی خوبی در شبیه‌سازی سیل دارد و همچنین میزان معیار نش- ساتکلیف برای غلظت رسوب و انتقال رسوب به‌ترتیب ۰/٦۳ و ۰/۷۲ می‌باشد و پس از شبیه‌سازی فرسایش و رسوب، ماژول فرسایش مدل WetSpa مقدار غلظت رسوب معلق را ۰/۲٦ گرم در لیتر و انتقال رسوب معلق را ۲۵۳/۹ گرم در ثانیه شبیه‌سازی کرد و با مقایسه این مقادیر با غلظت رسوب معلق مشاهداتی (۰/۲۳ گرم در لیتر) و انتقال رسوب مشاهداتی (۲۳۳/۰٤گرم در ثانیه) بیانگر کارایی خوب مدل در شبیه‌سازی فرسایش و رسوب می‌باشد، که با نتایج مرادی‌پور (2010) که به شبیه‌سازی فرسایش و انتقال رسوب معلق با استفاده از مدل WetSpa در حوزه آبخیز طالقان پرداخته است همخوانی دارد. فرسایش و تولید رسوب، تابع عوامل مختلفی است که براساس شرایط خاص هر منطقه ممکن است یک یا چند عامل در تشدید آن مؤثر باشد. در این پژوهش از بین عوامل مؤثر در رسوبدهی، به عامل تغییرات کاربری اراضی پرداخته شده است. تغییرات کاربری موجب تغییر مؤلفه‌های مختلف چرخه هیدرولوژیکی و افزایش و یا کاهش مقادیر رواناب و فرسایش حوضه می‌شوند. تغییر در کاربری اراضی جنگل سبب هدررفت کربن آلی، تخریب ساختمان خاک، کاهش هدایت هیدرولیکی و افزایش چگالی ظاهری خاک می‌گردد. تغییر کاربری اراضی و افزایش مناطق مسکونی همچنین سبب کاهش نفوذ آب در خاک و افزایش رواناب و فرسایش می‌گردد. با توجه به توسعه مناطق مسکونی و کاهش پوشش گیاهی در حوزه آبخیز زیارت در این پژوهش برای تعیین اثرات تغییر کاربری اراضی و توسعه مناطق مسکونی بر فرسایش و رسوب حوزه آبخیز اقدام به تهیه سناریوهای توسعه مناطق مسکونی شد. سناریوها شامل افزایش ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ مساحت مناطق مسکونی می‌باشد، که پس از اجرای مدل برای هر پنج سناریو با توجه به تغییر نقشه کاربری اراضی نقشه‌های عمق ریشه،

ضریب زبری مانینگ، سرعت جریان، زمان تمرکز، ضریب رواناب پتانسیل، ظرفیت ذخیره چالابی و تنش برشی جریان که توسط مدل تهیه می‌شود، تغییر می‌کند. پس از تغییر نقشه‌های مدل غلظت رسوب معلق و انتقال رسوب نیز تغییر قابل‌توجهی کرد، غلظت رسوب معلق از ۰/۲۳ گرم بر لیتر در سناریو افزایش صفر درصدی مناطق مسکونی به ۲/۲ گرم بر لیتر در سناریو افزایش ۱۰۰٪ درصدی مناطق مسکونی و انتقال رسوب از ۲۵۳/۹ گرم بر ثانیه در سناریو افزایش صفر درصدی به ۱۱٤۳ در سناریو افزایش ۱۰۰٪ درصدی رسید. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با نتایج پیشداد (2010) که با اعمال سناریو بهینه تغییر کاربری مقدار فرسایش کاهش یافت و با نتایج له و همکاران (2011) که با اعمال سناریو افزایش مناطق مسکونی مقدار غلظت و انتقال رسوب افزایش یافت همخوانی دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده افزایش مناطق مسکونی و کاهش پوشش گیاهی در حوزه آبخیز زیارت باعث افزایش دبی اوج و ضریب رواناب پتانسیل شده و همچنین تنش برشی جریان را نیز افزایش می‌دهد که موارد ذکر شده در نهایت موجب افزایش غلظت رسوب معلق و انتقال آن در حوزه آبخیز زیارت شده است. در پایان با توجه به وجود نواقص و همچنین عدم پیوستگی داده‌های هواشناسی و هیدرومتری، پیشنهاد می‌شود توجه بیش‌تری به ایستگاه‌های حوزه‌ها داشته و در ایستگاه‌ها از دستگاه‌های اندازه‌گیری ثبات استفاده شود.

منابع

1.Bahremand, A., Corluy, J., Liu, Y., De Smedt, F., Poórová, J., and Velcická, L. 2005. Stream flow simulation by WetSpa model in Hornad river basin, Slovakia, P 415-422. In: Van Alphen, J., E. Van Beek and M. Taal (Eds.), Floods, from Defence to management, Taylor & Francis Group, London.

2.Bayat, B. 2009. Simulated river flow and analysis Use change effects on river flow using WetSpa models in GIS environment. M.Sc. Thesis, Remote sensing and GIS. Shahid Beheshti University. School of Geosciences.142p. (In Persian)

3.De Smedt, F., Liu, Y.B., and Gebermeskel, S. 2000. Hydrological modelling a catchment scale using GIS and remote sensed land use information, In: C.A. Brebbia (ed.), Risk Analysis II, WTI, Press, Boston, Pp: 295-304.

4.Kuznetsov, M.S., Gendugov, V.M., Khalilov, M.S., and Ivanuta, A.A. 1998. Anequation of soil detachment by flow. Soil and tillage research. 46: 97-102.

5.Liu, Y.B., Gebremeskel, S., De Smedt, F., Hoffmann, L., and Pfister, L. 2003. A diffusive transport approach for flow routing in GIS-based flood modeling. J. Hydrol. 283: 91-106.

6.Leh, M., Bajwal, S., and CHaubey, I. 2011. Impact of land use change on erosion risk: An integrated remote sensing, Geographic information system and modeling methodology. Land degrade develop. Published online in Wiley online library (wileyonlinelibrary.com). DOI: 10.1002/ldr.1137.

7.Moradipour, Sh. 2010. Erosion and suspended sediment yield simulation using spatially distributed WetSpa model, Case study Taleghan watershed in Tehran province. M.Sc. Thesis of watershed management. Gorgan University of agricultural sciences and natural resources. 149p. (In Persian)

8.Pishdad, L., Najafi Nejad, A., Mahiny, A.S., and Khaledian, H. 2010. A Study on the effects of changing land use on soil erosion in Cheraghveis watershed using geographical information systems (GIS). J. Agric. Sci. Natur. Resour. 1: 142-149. (In Persian)

9.Shabani, M. 2010. Optimize the impact of land use on soil erosion rates and profitability watersheds, Case study Zakhrod watershed in Fars province. Journal of geography. 8: 83-97. (In Persian)

10. Yaghubi, F. 2010. Simulated river flow using WetSpa models, Case study Chehe Chai watershed in Golestan province. J. Soil Water Cons. 3: 185-207. (In Persian)
11. Zeinivand, H. 2009. Development of spatially distributed hydrological WetSpa modules for snowmelt, soil erosion, and sediment transport. Ph.D. Thesis, Department of hydrology and hydraulic engineering, Vrije universiteit Brussel (VUB), Brussels, Belgium. 208p.
12. Wang, Z., Batelaan, O., and De Smedt, F. 1997. Adistributed model for water and energy transfer between soil, plants and atmosphere (WetSpa), physics and chemistry of the earth, 21: 189-193.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(3), 2015
http://jwsc.gau.ac.ir

Effects of different urbanization scenarios on suspended sediment yield in Ziarat watershed, Iran

***M. Forootan Danesh[1], A.R. Bahremand[2], H. Zeinivand[3], M. Ownagh[4] and A. Najafinezhad[2]**

[1]M.Sc. Student, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Associate Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Assistant Prof., Dept. of Watershed Management, University of Lorestan, [4]Professor, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 08/04/2014; Accepted: 04/20/2015

Abstract

Background and Objectives: Erosion and sediment transport is a complex process that is influenced by soil texture, topography, regional climate, land use, human activities such as farming systems and soil conservation measures. This study examines the effects of changes in land use and residential development on erosion and sedimentation in Ziarat watershed in Iran.

Materials and Methods: In this study, the basic WetSpa model inputs were the maps of a digital elevation model (DEM), land use and soil type in GIS raster format and hydrometeorological data including hourly precipitation, evapotranspiration and temperature for 4 years (2007-2010). Hourly discharge and suspended sediment at the watershed outlet were used for the model calibration and validation.

Results: The accuracy of flow simulations based on the Nash - Sutcliffe model efficiency was 0.67. The evaluation of suspended sediment simulations for the calibration period based on the Nash - Sutcliffe criteria was 0.63 and 0.72 for the suspended sediment concentration and sediment yield, respectively. Then, the residential development and land use change scenarios were developed in GIS environment and were used as input maps for the calibrated model. Comparison of the components of erosion and sediment transport results showed that by increasing the residential areas, suspended sediment concentration changed from 0.23 g/l for current situation (zero scenario) to 2.27 g/l in Scenario IV (100% increase in residential areas). Also the amount of suspended sediment yield increased from 253 g/s in current situation to 1143 g/s in Scenario IV.

Keywords: Distributed hydrological WetSpa model, Golestan province, Land use changes Suspended sediment concentration

* Corresponding Author; Email: mahtab.forootan@yahoo.com