نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۱، مهر - آبان ۱۳۹۶، ص. ۵۷۱-۵۶۲

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 11, Oct.-Nov. 2017, p. 562-571

شبیه‌سازی و ارزیابی اثر سناریوهای مختلف درصد پوشش گیاهی بر فرسایش خاک

سمیه فضلی[1*]، حمزه نور[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۳۱

چکیده

فرسایش در مقیاس دامنه به‌عنوان نقطه آغازین فرسایش خاک در آبخیز محسوب شده و در مناطق نیمه‌خشک از مهم‌ترین فازهای فرسایش خاک می‌باشد. در این راستا بررسی عوامل موثر بر فرسایش از جمله میزان پوشش گیاهی می‌تواند اطلاعات مفیدی به‌منظور مدیریت کارآمد آبخیز در اختیار قرار دهد. با این حال پژوهش‌های اندکی در زمینه شبیه‌سازی اثر نقش پوشش گیاهی بر فرآیندهای هیدرولوژی در مقیاس دامنه گزارش شده است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف شبیه‌سازی و سپس ارزیابی اثرپذیری فرسایش خاک از سناریوهای پوشش گیاهی در مقیاس دامنه طرح‌ریزی شده است. برای این منظور از مدل فرسایش دامنه‌ای (HEM) برای تخمین رسوب ۱۶ رگبار در مراتع ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی یونسی در استان مرکزی استفاده شد. نتایج نشان داد با واسنجی عامل فرسایش‌پذیری کارایی مدل فرسایش دامنه‌ای در تخمین مقدار فرسایش، با خطای تخمین و ضریب کارایی به‌ترتیب ۴۴ و ۸۸ درصد قابل قبول می‌باشد. هم‌چنین نتایج نشان داد کاهش ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ پوشش گیاهی به‌ترتیب باعث افزایش ۲۱٪، ۴۵٪ و ۸۲٪ فرسایش خاک در منطقه خواهد شد. در نهایت نتایج دلالت بر اثر مهم درصد پوشش گیاهی بر تولید رسوب در مقیاس دامنه داشت.

واژه‌های کلیدی: تحویل رسوب، فرسایش خاک، فرسایش دامنه‌ای، مدیریت آبخیز

مقدمه

افزایش جمعیت و نیاز روز افزون به منابع جدید موجب فشار مضاعف بر منابع طبیعی و تخریب آن شده است به‌گونه‌ای که تخریب منابع طبیعی یکی از معضلات قرن حاضر می‌باشد (Vafakhah and Mohseni Saravi., 2011; Seppelt et al., 2013). فرسایش خاک، سیل‌خیزی و آلودگی منابع آب بخشی از نتایج استفاده نامناسب منابع طبیعی می‌باشند. در این میان فرسایش خاک توسط آب، از مشکلات عمده در کشورهای در حال توسعه به‌حساب می‌آید (حسینی و قربانی، ۱۳۸۴). فرسایش آبی در مقیاس جهانی به‌دلیل وسعت جغرافیایی و اثرات محیط زیستی از مهم‌ترین انواع تخریب خاک و محیط زیست مطرح است (Lal and Blanco., 2008). اثرات محیط زیستی فرسایش خاک را می‌توان در سه سطح درون منطقه‌ای، برون منطقه‌ای و جهانی تقسیم‌بندی نمود. در این راستا در منطقه تحت فرسایش، کاهش ضخامت و حاصلخیزی خاک و تشدید فرسایش‌پذیری خاک به‌دلیل تخریب خاکدانه‌ها مطرح می‌باشد. از سوی دیگر رسوبات معلق رودخانه نتیجه فرسایش خاک و انتقال این مواد به آبراهه‌ها هستند. هم‌چنین باتوجه به موضوع گرمایش جهانی وگازهای گلخانه‌ای توجه به خاک و فرسایش آن در چرخه کربن اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است.

نظام بارشی مدیترانه‌ای و فرسایندگی زیاد آب، وسعت زیاد خاک‌ها و سازندهای حساس به فرسایش، پوشش گیاهی طبیعی تنک در بسیاری از مناطق کشور، شرایط ناهمواری‌ها و دخالت انسان از عوامل مهم موثر بر فرسایش خاک در ایران هستند. بر اساس آمار موجود فرسایش آبی حدود ۱۲۰ میلیون هکتار از اراضی کشور را تحت تأثیر قرار داده است (عرب‌خدری، ۱۳۹۳).

در میان عوامل موثر بر میزان فرسایش خاک، پوشش گیاهی اثر کاهنده‌ای داشته و مقدار آن در مقیاس دامنه تحت تأثیر دخالت‌های انسانی می‌باشد. اثر پوشش گیاهی بر خاک را می‌توان در دو دسته حفاظت بیولوژیکی و ساختمانی بیان نمود (Naylor et al., 2002). پوشش گیاهی با کاهش سرعت رواناب، نگه‌داری و نفوذ مقداری از بارش، جلوگیری از برخورد مستقیم قطرات باران، تثبیت خاک توسط ریشه‌ها، بهبود ساختمان و خصوصیات شیمیایی خاک باعث کاهش فرسایش می‌گردد (Zuazo et al., 2008). با این حال تخریب پوشش گیاهی به‌ویژه مراتع از مشکلات اصلی محیط زیستی کشور می‌باشد. دلایل فراوانی در زمینه ضرورت مطالعه تأثیرگذاری عوامل موثر بر فرسایش خاک به‌ویژه پوشش گیاهی در مقیاس‌های مختلف

۱- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران
۲- بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
(* - نویسنده مسئول: Email: S.fazli23@gmail.com)

مکانی برای درک فرایندهای حاکم بر فرسایش خاک و تدوین استراتژی‌های مدیریتی وجود دارد، بر این اساس، شبیه‌سازی و پیش‌بینی اثرات دخالت انسانی بر پوشش گیاهی مورد توجه پژوهش‌گران و تصمیم‌گیران قرار گرفته است (Yang et al., 2009; Rocha et al., 2012; Kaini et al., 2012).

پژوهش‌های متعددی در زمینه اثر پوشش گیاهی بر میزان فرسایش خاک در نقاط مختلف انجام شده است. در این میان اغلب پژوهش‌ها به بررسی نوع پوشش گیاهی و کاربری اراضی (یوسفی‌فرد و همکاران، ۱۳۸۶؛ خزایی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Aghabeigi Amin et al., 2014) و یا درصدهای مختلف پوشش گیاهی (نجفیان و همکاران، ۱۳۸۹؛ کاویانپور و همکاران، ۱۳۹۴؛ Zhang et al., 2010 ; Eshghizadeh et al., 2016 ; Wildhaber et al., 2011) بر فرسایش خاک و انتقال رسوب پرداخته‌اند. در این زمینه پژوهش‌گران با استفاده از شرایط طبیعی (خزایی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Eshghizadeh et al., 2016)، کاربرد باران‌ساز (یوسفی‌فرد و همکاران، ۱۳۸۶؛ نجفیان و همکاران، ۱۳۸۹؛ کاویانپور و همکاران، ۱۳۹۴) و یا مدل‌های شبیه‌سازی آبخیز (پیشداد سلیمان‌آباد و همکاران، ۱۳۸۷؛ Seppelt et al., 2013؛ Zhang et al., 2013 ؛ Sun et al., 2013؛ Pizarro et al., 2014) اثر این اقدامات را مورد مطالعه قرار داده‌اند.

در این راستا به‌منظور شبیه‌سازی اثر اقدامات مختلف در سطح آبخیز، پژوهش‌گران با انتخاب مجموعه‌ای از اقدامات قابل اجرا در سطح حوزه آبخیز، سناریوهایی را تدوین می‌کنند، در این حالت کاربر می‌تواند برای پیش‌بینی نتایج حاصل از اقدامات مختلف و اثرات آن‌ها، از سناریوهای تدوین شده استفاده نماید. در سال‌های اخیر استفاده از این رویکرد با هدف پیش‌بینی اثرات سناریوهای آبخیزداری با کمک مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژی رو به گسترش بوده است (الوار و همکاران، ۱۳۹۲؛ Sadoddin et al., 2010). این رویکرد با افزایش اطلاعات تصمیم‌گیران و ذی‌نفعان سعی دارد تا سامانه آبخیز را بهتر بشناساند. از این طریق کاربر قبل از پیشنهاد و اجرای اقدامات، با انتخاب سناریوهای متنوع و بررسی اثرات آن قادر خواهد بود اثرات متفاوت هر سناریو را ارزیابی نماید (سعدالدین و همکاران، ۱۳۸۶؛ بای و همکاران، ۱۳۹۲؛ Sadoddin et al., 2010).

باید توجه داشت که فرآیندهای کنش ذرات، حمل و رسوب‌گذاری در مقیاس دامنه، به‌عنوان نقطه آغازین فرسایش در حوزه آبخیز به وسیله قطرات باران و رواناب سطحی صورت می‌گیرد (Fazli and Noor., 2013). در مناطق خشک و نیمه‌خشک نقش فرآیندهای دامنه‌ای در فرسایش خاک و تولید رسوب دارای اهمیت بیش‌تری می‌باشد و بیش‌تر بار رسوب آبخیزها در این مناطق از سطح دامنه تامین می‌شود. ازسوی دیگر دخالت‌های انسانی بر پوشش گیاهی و در نتیجه تغییرات آن در سطح دامنه رخ می‌دهد. بنابراین لازم است تا با استفاده از مدل‌های مناسب در مقیاس دامنه به بررسی اثر پوشش گیاهی بر فرسایش خاک پرداخته شود. در این راستا پژوهش حاضر با هدف شبیه‌سازی اثر کاهش پوشش گیاهی به‌میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد بر فرسایش خاک و تولید رسوب در مقیاس دامنه و با استفاده از مدل فرسایش دامنه‌ای (Hillslope Erosion Model - HEM) در مراتع ایستگاه تحقیقاتی منابع طبیعی یونسی واقع در استان مرکزی به‌دلیل وجود داده‌های اندازه‌گیری شده فرسایش خاک و رواناب و هم‌چنین دسترسی به تمامی ورودی‌های مورد نیاز مدل فرسایش دامنه‌ای، طرح‌ریزی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

به‌منظور انجام تحقیق حاضر ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی یونسی (خسبیجان) استان مرکزی واقع در طول شرقی ۴۹ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۴ دقیقه و عرض شمالی ۳۴ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۰ دقیقه انتخاب گردید. این ایستگاه در ۵۰ کیلومتری غرب شهرستان اراک و مشرف به رودخانه شرا از حوزه آبخیز قره‌چای در مناطق شازند، خسبیجان، کلاهدوز، اناج و ده شیرخان است.

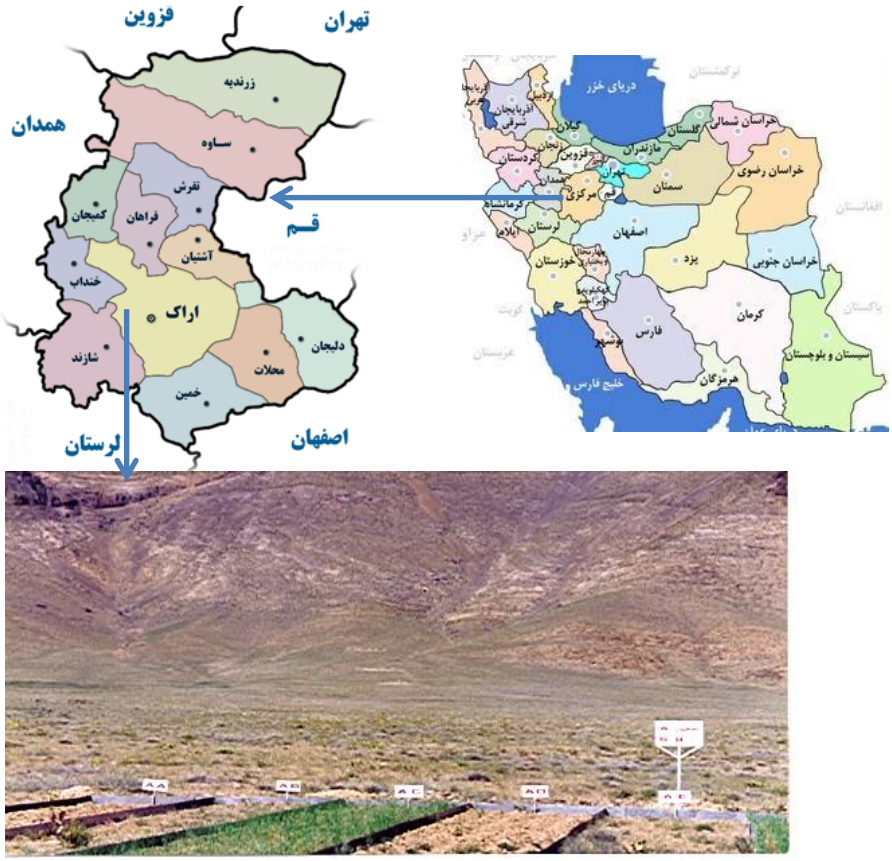
اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی گوسن استپی سرد با میانگین بارش سالیانه ۳۵۰ الی ۴۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۸۵۰ متر و در دامنه شمالی، متوسط درجه حرارت ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد و تبخیر و تعرق ۱۵۸۸ میلی‌متر می‌باشد (آقارضی، ۱۳۷۶؛ ۱۳۸۴). موقعیت کلی منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است.

برای نیل به اهداف پژوهش، فرسایش خاک در اراضی مرتعی با تیپ گیاهی غالب *Astragalus-Hultemia* و متوسط تاج پوشش ۴۶ درصد و شیب ۲۰ درصد با استفاده از پلات‌های استاندارد فرسایشی با ابعاد ۱/۸×۲۲/۱ متر اندازه‌گیری شد.

تیمار مربوطه در قالب ۳ پلات آزمایشی اجرا شد و مقادیر میانگین مستخرج از آن‌ها برای آنالیزهای بعدی مورد استفاده قرار گرفت. کلیه داده‌های خام و اطلاعات مورد استفاده در تحقیق حاضر از پروژه‌های تحقیقی انجام شده در منطقه مشابه و با هدف مطالعات فرسایش خاک در کاربری‌های مختلف (گندمکار، ۱۳۷۵؛ آقارضی، ۱۳۸۴) و مجریان آن‌ها جمع‌آوری شده است.

تعیین سناریوهای کاهش پوشش گیاهی

در این پژوهش ۴ سناریوی برای وضعیت پوشش گیاهی منطقه خسبیجان انتخاب شد. سناریوی اول حالت وضعیت فعلی تلقی می‌گردد و مقایسه بقیه سناریوها با این سناریو انجام می‌شود (Sadoddin et al., 2010). باید توجه داشت که گزینه حفظ شرایط موجود در بعضی موارد می‌تواند راه‌حلی برای اصلاح آبخیز طی فرآیندهای طبیعی تلقی شود و به‌علاوه مبنای مقایسه با سایر گزینه‌ها را فراهم می‌کند (بای و همکاران، ۱۳۹۲).



۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و شمای کلی پلات‌های آزمایشی

همچنین با توجه به شرایط بهره‌برداری از مراتع کشور کاهش درصد تاج پوشش گیاهی قابل پیش‌بینی می‌باشد بنابراین در این پژوهش سه سناریوی کاهش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی پوشش گیاهی به‌عنوان شرایط محتمل برای منطقه توسط مدل HEM شبیه‌سازی شد.

مدل فرسایش دامنه‌ای (HEM)

مدل فرسایش دامنه‌ای (HEM) مدلی توزیعی و در مقیاس رگبار می‌باشد که توسّط لن و همکاران (Lane et al., 1995 ; 1988) در مراتع خشک و نیمه‌خشک آمریکا بر اساس رابطه ریاضی میان مقدار رسوب، روان‌آب، خصوصیات دامنه و عامل فرسایش‌پذیری خاک تهیه و ارایه شده است (Cogle et al., 2003, Fazli and Noor., 2013). مدل HEM فرسایش شیاری، بین شیاری، فرآیندهای حمل و رسوب‌گذاری را بر پایه حل معادلات موج سینماتیک برای معادلات پیوسته جریان سطحی و روان‌آب در نیم‌رخ دامنه برای یک واقعه روان‌آب شبیه‌سازی می‌نماید (Cogle et al., 2003; Sadeghi et al., 2008). این مدل در پایگاه http://eisnr.tucson.ars.ag.gov/hillslope قابل دسترس بوده و اطلاعات ورودی آن شامل حجم روان‌آب در واحد سطح بر حسب میلی‌متر، بافت خاک، ویژگی‌های دامنه شامل شیب دامنه بر حسب درصد، طول شیب بر حسب متر، درصد پوشش گیاهی و درصد پوشش زمینی می‌باشد (Lane et al., 1995).

حل معادله پیوسته رسوب برای میزان بارش مازاد ثابت از طریق انتگرال‌گیری نسبت به زمان (Shirely and Lane., 1978) سبب پدید آمدن معادله میزان رسوب برای یک واقعه روان‌آب به‌شکل رابطه ۱ می‌گردد.

$$Q_s(x) = QC_b = Q\left\{\frac{B}{K} + \left(K_i - \frac{B}{K}\right)\left[1-\exp(-k_r x)\right] \Big/ k_r\, x\right\} \quad (۱)$$

در این رابطه Q_s کل میزان بار رسوب برای یک روان‌آب در واحد عرض برحسب کیلوگرم بر متر، Q حجم روان‌آب در واحد عرض بر حسب مترمکعب بر متر، C_b میانگین غلظت رسوب در هیدروگراف کل بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب و x فاصله در جهت جریان رواناب بر حسب متر می‌باشد. ضرایب مربوط به حمل رسوب (B)، عمق‌دبی (K)، فرسایش شیاری (K_r) و فرسایش بین شیاری (K_i) با استفاده از متغیرهای تاج پوشش، طول شیب، پوشش گیاهی و شیب، بر اساس معادلات حاکم بر محاسبه فرسایش شیاری و بین شیاری و به‌طور

خودکار توسط مدل محاسبه می‌شود (Lane et al., 1995 a &b; Willson et al., 2001; Cogle et al., 2003; Sadeghi et al., 2008; Fazli and Noor., 2013).

جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات موردنیاز مدل

داده‌های مربوط به بارش و هم‌چنین رواناب و محتوی رسوبی آن‌ها و درصد پوشش گیاهی و زمینی برای رگبارهای به‌وقوع پیوسته در فاصله زمانی۱۳۷۴ تا ۱۳۷۸ جمع‌آوری و برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفت. حجم روان‌آب در واحد سطح به‌وسیله ارتفاع آب در ظرف جمع‌آوری کننده روان‌آب به‌دست آمد. به‌منظور تعیین میزان رسوب، نمونه‌های جمع‌آوری شده طی رگبارها در داخل آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک و سپس وزن رسوب با ترازوی دقیق تعیین و مقدار رسوب بر حسب کیلوگرم محاسبه شد. بافت خاک کلی‌لومی و طول شیب در تمام کرت‌ها ۲۲/۱ متر بوده است (آقارضی، ۱۳۸۴). داده‌های مربوط به ۱۶ رگبار به‌دست آمده مورد پالایش آماری قرار گرفت. از این تعداد ۱۲ رگبار به‌منظور واسنجی و ۴ داده به‌منظور اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت.

با توجه به ثبات نسبی خصوصیات دامنه و امکان تغییر عامل فرسایش‌پذیری، به‌منظور دست‌یابی به بهترین برآورد رسوب، مقدار این عامل در دامنه پیشنهادی مدل تغییر داده شد و مدل در چندین نوبت اجرا گردید (Cogle et al., 2003, Fazli and Noor., 2013).

سپس کلیه داده‌های به‌دست آمده مجدداً مورد آنالیز آماری قرار گرفت. برای تعیین سطح اعتماد مدل‌های به‌دست آمده از شاخص‌های ضریب کارایی (۲) و خطای نسبی تخمین (۳) استفاده شد.

$$CE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{n}(Obs_i - Sim_i)^2}{\sum_{t=1}^{n}(Obs_i - \overline{Obs})^2} \quad (۲)$$

$$RE(\%) = 100 \times \left|(Obs_i - Sim_i)/(Obs_i)\right| \quad (۳)$$

در ادامه به‌منظور بهبود کارایی شبیه‌سازی مدل، رسوب برآوردی HEM به‌عنوان متغیر مستقل و رسوب مشاهده‌ای به‌عنوان متغیر وابسته انتخاب شده و مدل‌سازی رگرسیونی با استفاده از این متغیرها انجام شد. در نهایت رابطه‌ای بهینه انتخاب گردیده است. مراحل واسنجی و مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزارهای Excel2007 و SPSS15 انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

مدل فرسایش دامنه‌ای (HEM) با استفاده از داده‌های مندرج در جدول ۱ و بافت خاک کلی‌لومی با میزان پیشنهادی مدل برای فرسایش‌پذیری خاک در پایگاه اینترنتی مدل اجرا شد. نتایج مربوط به شدت متوسط بارش، ارتفاع رواناب ، پوشش سطح زمین، مقدار مشاهداتی و تخمینی رسوب در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول۱- شدت متوسط بارش، ارتفاع رواناب، پوشش سطح زمین، مقدار مشاهداتی و تخمینی رسوب در منطقه مورد مطالعه

شماره	بارش (mm/h)	روان‌آب (mm)	پوشش زمینی (%)	رسوب مشاهده‌ای (kg)	مقادیر تخمینی (kg)
۱	۴/۵	۰/۷۷۳	۶۰/۵	۰/۰۱۸	/۱۰۴
۲	۳/۳	۰/۱۲۷	۷۸/۵	۰/۰۰۲	۰/۰۱۱
۳	۱/۶	۰/۲۳۴	۷۶/۵	۰/۰۰۳	/۰۱۵
۴	۶/۲	۰/۱۱۴	۸۵/۰	۰/۰۲۶	۰/۰۴۲
۵	۱/۹	۰/۳۱۰	۶۰/۵	۰/۰۰۶	۰/۰۴۰
۶	۲/۸	۰/۴۳۲	۶۸/۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴
۷	۳/۲	۰/۱۰۸	۸۵/۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲
۸	۲/۳	۰/۰۸۸	۸۵/۰	۰/۰۰۲	۰/۰۳۳
۹	۲/۳	۰/۰۲۸	۸۵/۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵
۱۰	۵۴	۰/۳۵۲	۷۸/۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴
۱۱	۲/۸	۳/۶۰	۸۱/۰	۰/۰۸۹	۰/۰۲۹
۱۲	۶/۸	۶/۱۵	۸۱/۰	۰/۱۵۲	۰/۰۰۲
۱۳	۱۴۰	۲/۸۷	۸۱/۰	۰/۰۷۱	۰/۰۱۶
۱۴	۳/۴	۸/۹۰	۵۵/۵	۰/۲۲۰	۰/۰۰۴
۱۵	۲/۴	۰/۵۷	۵۵/۵	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵
۱۶	۶/۰	۰/۴۴	۸۱/۰	۰/۰۱۱	۰/۰۰۱

نتایج مندرج در جدول ۱ به‌خوبی نشان می‌دهد که مدل در رگبارهای ۷، ۹، ۱۱ و ۱۳ میزان رسوب را کم‌تر از میزان مشاهده‌ای تخمین زده است و در سایر رگبارها بیش تخمینی در برآوردهای مدل دیده می‌شود، که با یافته‌های تحقیقات پیشین در سایر مناطق توسط کوگل و همکاران (Cogle et al., 2003) و صادقی و همکاران (Sadeghi et al., 2008) در مورد بیش تخمینی مدل در تمامی رگبارها مغایرت دارد. حال آن‌که با نتایج فضلی و نور (Fazli and Noor., 2013) مبنی بر برآورد متفاوت مدل در رگبارهای مختلف هم‌سو است. این رفتار متفاوت مدل مذکور در تخمین مقادیر کم و زیاد فرسایش خاک را می‌توان به‌دلیل تغییرپذیری اهمیت عوامل موثر بر فرسایش خاک نسبت داد که توسط توی و همکاران (Toy et al., 2002) نیز مورد تأکید است.

به‌منظور واسنجی مدل، مقدار فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در دامنه پیشنهادی مدل و مطابق با تحقیقات پیشین (Cogle et al., 2003, Sadeghi et al., 2008; Fazli and Noor., 2013) تغییر داده شد. لازم به ذکر است در این مرحله داده‌های وقایع ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ به منظور استفاده در مرحله تأیید مدل کنار گذاشته شدند (جدول۲).

جدول ۲- رسوب برآوردی با میزان واسنجی شده عامل فرسایش‌پذیری خاک در پلات‌های مستقر در کاربری مرتع

عامل فرسایش‌پذیری / شماره	رسوب برآوردی HEM با مقادیر واسنجی شده فرسایش‌پذیری خاک (کیلوگرم)				
	۱/۳۸	۰/۸۰	۰/۷۰	۰/۶۰	۰/۵۰
۱	۰/۱۰۴	۰/۰۴۶	۰/۰۳۷	۰/۰۲۹	۰/۰۲۴
۲	۰/۰۱۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲
۳	۰/۰۱۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴
۵	۰/۰۴۰	۰/۰۱۸	۰/۰۱۵	۰/۰۱۳	۰/۰۰۹
۶	۰/۰۴۰	۰/۰۱۶	۰/۰۱۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۹
۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
۱۰	۰/۰۳۳	۰/۰۱۴	۰/۰۱۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷
۱۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
۱۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
۱۴	۰/۰۲۹	۰/۰۱۳	۰/۰۱۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷
۱۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱

علی‌رغم واسنجی مدل مذکور، حداقل خطای تخمین به‌ترتیب ۷۵ درصد و بالاتر از خطای تخمین قابل‌قبول در مقوله‌های منابع طبیعی می‌باشد. بنابراین اقدام به مدل‌سازی بین مقادیر رسوب مشاهده‌ای و برآوردی با میزان انتخابی فرسایش‌پذیری خاک شد که با نتایج فضلی و نور (Fazli and Noor., 2013) مبنی بر عدم کارایی واسنجی عامل فرسایش‌پذیری در بهبود نتایج مدل هم‌خوانی دارد.

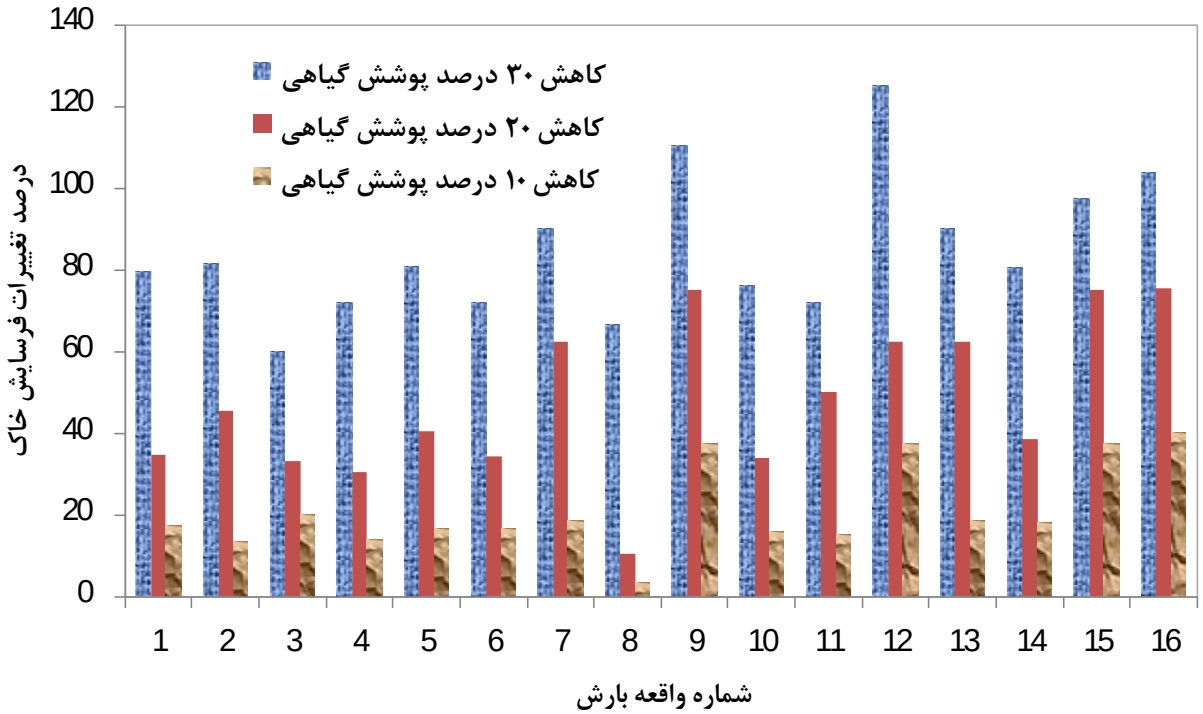
در نهایت روابط مختلف رگرسیونی میان رسوب مشاهده‌ای و رسوب تخمینی HEM (با مقادیر واسنجی شده فرسایش‌پذیری خاک) برازش داده شد. نتایج حاصل از برازش رگرسیونی نشان دهنده وجود رابطه معنی‌دار میان رسوب مشاهده‌ای و تخمینی است. در این مرحله از میان تمامی روابطی که به‌لحاظ آماری معنی‌دار بودند، روابطی به‌عنوان مدل‌های بهینه انتخاب شدند که دارای خطای تخمین و تأیید کم‌تر و ضریب کارایی بالا بودند (جدول ۳). دقت در جدول ۳ دلالت بر توانایی بهتر رابطه ۲ با خطای تخمین و ضریب کارایی به‌ترتیب بیش از ۴۴ درصد و ۰/۸۸ داشته است که این موضوع ضمن تأکید بر روند غیرخطی روابط حاکم بین مقادیر تخمینی مدل و مشاهداتی رسوب با یافته‌های محققین پیشین سینگ (Singh., 1992) در خصوص ارتباط غیرخطی غالب متغیرهای هیدرولوژیکی با یک‌دیگر توافق کامل دارد.

شبیه‌سازی اثر سناریوهای پوشش گیاهی بر فرسایش خاک

در این پژوهش باتوجه به واسنجی مدل فرسایش دامنه‌ای برای شرایط موجود منطقه، اقدام به شبیه‌سازی اثر سناریوهای کاهش پوشش گیاهی بر میزان فرسایش خاک در مقیاس دامنه شد. نتایج اثر ۳ سناریوی کاهش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی پوشش گیاهی بر فرسایش خاک و تولید رسوب در شکل ۲ ارایه شده است.

جدول ۳ - روابط رگرسیونی برتر برازش داده شده به مجموعه داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی مدل برای رسوب در منطقه مورد بررسی

شماره	فرسایش‌پذیری	رابطه	خطای تخمین	ضریب کارایی
۱	۰/۸	$y = ۰/۰۰۲۸ \times (۳/۷ \times ۱۰^{۱۷})^{x}$	۴۷	۰/۵۴
۲	۰/۸	$y = e^{-۵/۸۹+۴۰/۴۶x}$	۴۴	۰/۸۸
۳	۰/۷	$y = ۰/۰۰۲۷ \times (۳/۱ \times ۱۰^{۲۲})^{x}$	۴۴	۰/۵۵
۴	۰/۷	$y = e^{-۵/۹۱+۵۱/۷۸x}$	۴۶	۰/۸۸
۵	۰/۷	$\sqrt{y} = ۰/۰۴۵ \times (۱۲۴/۴۳) \sqrt{x}$	۴۹	۰/۴۴
۶	۰/۷	$\sqrt{y} = e^{-۳/۰۹+۴/۸۲} \sqrt{x}$	۴۹	۰/۴۴
۷	۰/۷	$\sqrt{y} = ۰/۰۴۵۱ e^{۴/۸۲} \sqrt{x}$	۴۹	۰/۴۴
۸	۰/۶	$y = ۰/۰۰۲۸ \times (۲/۳ \times ۱۰^{۲۶})^{x}$	۴۷	۰/۵۳
۹	۰/۶	$y = e^{-۵/۸۸+۶۰/۷۲x}$	۴۷	۰/۸۸
۱۰	۰/۵	$y = ۰/۰۰۲۹ \times (۱/۸ \times ۱۰^{۳۲})^{x}$	۴۷	۰/۵۴



شکل ۲ - شبیه‌سازی اثر سناریوهای کاهش پوشش گیاهی بر فرسایش خاک در مقیاس دامنه

نتایج ارایه شده در شکل ۲ به‌خوبی نشان‌دهنده اهمیت پوشش گیاهی در حفاظت از خاک در مقیاس دامنه می‌باشد. به‌گونه‌ای که با کاهش ۱۰ درصدی پوشش گیاهی نسبت به شرایط مبنا (وضعیت موجود) به‌طور متوسط ۲۱ درصد بر میزان فرسایش خاک در منطقه افزوده می‌شود. این درحالی است که با کاهش بیش‌تر پوشش گیاهی در سناریوهای ۲۰ و ۳۰ درصد، مقدار فرسایش خاک جهش قابل توجهی داشته و به‌طور متوسط ۴۵ و ۸۲ درصد افزایش خواهد داشت.

پوشش گیاهی با کاهش سرعت رواناب، نگه‌داری و نفوذ مقداری از بارش، جلوگیری از برخورد مستقیم قطرات باران، تثبیت خاک توسط ریشه‌ها، بهبود ساختمان و خصوصیات شیمیایی خاک باعث کاهش فرسایش می‌گردد (Zuazo et al., 2008). علاوه بر این پوشش گیاهی با ایجاد زبری و تقلیل نیروی برشی رواناب موجب کاهش رشد و توسعه شیارها شده و در ترسیب مواد نقش مهمی دارند (Martinez et al., 2006). بنابراین پوشش گیاهی با تقلیل اثرات ۴ مرحله فرسایش خاک موجب کاهش فرسایش خاک می‌گردد.

نتایج تحلیل‌ها نشان داد که فرسایش خاک و تولید رسوب در مقیاس دامنه به‌شدت تحت تأثیر پوشش گیاهی است. این نتایج منطبق با یافته‌های پژوهش‌گران پیشین (Zuazo et al., 2004;

Zuazo et al., 2006; Aghabeigi Amin et al., 2014; Zhang et al., 2015; Eshghizadeh et al., 2016) در زمینه اثر کاهنده و متفاوت درصدهای مختلف پوشش گیاهی بر فرسایش خاک می‌باشد. هم‌چنین اثر مثبت و غیرخطی پوشش گیاهی بر کاهش فرسایش خاک توسط زوازو و همکاران، (Zuazo et al., 2008) نیز گزارش شده است.

بنا بر نتایج پژوهش حاضر و منطبق با یافته‌های ویلکوکس و همکاران (Wilcox et al, 2006)، سان و همکاران (Sun et a, 2013) و عشقی‌زاده و همکاران (Eshghizadeh et al, 2016) نقش پوشش گیاهی در مقیاس دامنه بر کاهش فرسایش خاک بسیار مهم می‌باشد. در مناطق نیمه‌خشک اهمیت پوشش گیاهی دوچندان می‌باشد به‌گونه‌ای که نحوه تأثیرگذاری پارامترهای خاکی بر فرسایش به شدت تحت کنترل خصوصیات گیاهان به‌ویژه درصد پوشش می‌باشد.

نتیجه‌گیری

تخمین میزان تولید رسوب و تحلیل اثر عوامل موثر بر آن، طی یک رگبار به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل تعداد کم و در عین حال شدت زیاد رگبارها بسیار حایز اهمیت است. بدین منظور یافتن روش‌هایی به‌منظور برآورد علمی و دقیق تولید رسوب در کشور امری ضروری بوده که این امر همواره مورد توجه مهندسین و مدیران منابع طبیعی قرار دارد. از سوی دیگر در مقیاس دامنه عمده دخالت‌های انسانی و چرای دام‌ها صورت می‌گیرد و از سوی دیگر نقطه آغازین فرسایش خاک نیز می‌باشند. نتایج پژوهش حاضر دلالت بر اثر بسیار زیاد کاهش پوشش گیاهی بر فرسایش خاک در مقیاس دامنه دارد به‌گونه‌ای که با کاهش ۱۰ درصدی پوشش گیاهی، میزان فرسایش خاک بیش از ۲۰ درصد بیش‌تر از شرایط فعلی خواهد شد. این درحالی است که با کاهش بیش‌تر پوشش گیاهی (در سناریوی ۲۰ و ۳۰ درصد) روند افزایش فرسایش خاک سرعت بیش‌تری گرفته و به‌ترتیب ۴۵ و ۸۰ درصد بیش‌تر از وضعیت فعلی می‌گردد. درنهایت، برنامه‌ریزی به‌منظور ارزیابی تأثیرگذاری شیب و پوشش گیاهی بر فرسایش خاک در مقیاس دامنه برای پژوهش‌های آتی مد نظر خواهد بود.

منابع

آقارضی،ح.ا. ۱۳۷۶. گزارش طرح تحقیقاتی اندازه‌گیری فرسایش و رواناب در کرت‌های استاندارد به‌منظور ارزیابی فرمول جهانی فرسایش‌خاک، مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان مرکزی، ۵۴ ص.

آقارضی،ح.ا. ۱۳۸۴. اندازه‌گیری فرسایش خاک و برآورد آن با USLE در دیم‌زارها، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، ۶-۹ شهریور: ۴۷۳-۴۷۵.

بای،م.، سعدالدین،ا.، سلمان‌ماهینی،ع. ۱۳۹۲. پیش‌بینی اثرات اجرای سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی و فعالیت‌های مدیریتی بر ساختار اکولوژیک سیمای سرزمین در آبخیز چهل‌چای استان گلستان. فضای جغرافیایی، ۴۴، ۱۹-۴۵.

پیشداد سلیمان‌آباد،ل.، نجفی‌نژاد،ع.، سلمان ماهینی،ع.ا.ر.، خالدیان،ح. ۱۳۸۷. بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک در حوضه آبخیز چراغ ویس با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). طبیعی منابع و کشاورزی. ۱.۱۵: ۱۴۹-۱۴۲.

حسینی،س.ص.، قربانی،م. ۱۳۸۴. اقتصاد فرسایش خاک. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول، ۱۲۶ص.

خزایی،م.، صادقی،س.ح.ر.، میرنیا،س.خ. ۱۳۹۰. آثار هیدرولوژیکی تخریب سطح جنگل (مطالعه موردی: جنگل آموزشی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران). مجله جنگل ایران . ۲.۳: ۱۵۵-۱۴۵.

سعدالدین،ا.، مصطفی‌زاده،ر.، خلیلی،م. ۱۳۸۶. پیش‌بینی اثرات سناریوهای مدیریت بیولوژیک روی ویژگی‌های سیل و فرسایش آبی در آبخیز رامیان- استان گلستان. دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی، ۴ و ۵ دی ماه ۱۳۸۶ دانشکده فنی تهران.

عرب‌خدری،م. ۱۳۹۳. مروری بر عوامل موثر بر فرسایش آبی خاک در ایران، مدیریت اراضی. ۱.۲: ۲۶-۱۷.

کاویانپور،ا.م.، جعفریان،ز.، اسمعلی،م.، کاویان،ع. ۱۳۹۴. اثر پوشش گیاهی بر کاهش رواناب و هدر رفت خاک با استفاده از شبیه-سازی باران در مراتع نشو استان مازندران، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۲.۵۸: ۱۹۰-۱۷۹.

گندمکار،ع.ا. ۱۳۷۵. گزارش طرح تحقیقاتی ایستگاه خسبیجان، استان مرکزی: ۳۱-۳۶.

نجفیان،ل.، کاویان،ع.ا.، قربانی پاشاکلایی،ج.، تمرتاش،ر. ۱۳۸۹. اثر فرم رویشی و مقدار پوشش گیاهی بر تولید رواناب و رسوب اراضی مرتعی منطقه سوادکوه مازندران. مرتع. ۴ .۲: ۳۴۷-۳۳۴.

الوار،م.، سعدالدین،ا.، بارانی،ح.، محبوبی،م.ر. ۱۳۹۲. پی بینی پذیرش مردمی سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی در حوزه آبخیز چهل - ای -استان گلستان. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۰ .۲: ۲۰۹-۲۱۹.

یوسفی فرد،م.، جلالیان،ا.، خادمی،ح. ۱۳۸۶. تخمین هدر رفت خاک و عناصر غذایی در اثر تغییر کاربری اراضی مرتعی با استفاده از

باران‌ساز مصنوعی. مجله علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۱۱ ۴۰: ۱۰۷-۹۳.

Aghabeigi,A,S., Moradi,H.R., Fattahi,B. 2014. Sediment and runoff measurement in different rangeland vegetation types using rainfall simulator. Ecopersia. 2.2: 525-538.

Blanco H., Lal R. 2008. Principles of Soil Conservation and Management. Springer Science. 617 p.

Cogle,A.L., Lane,L.J and Basher,L. 2003. Testing the hill slope erosion model for application in India, New Zealand and Australia. Environmental Modelling and Software. 18.8:825-830.

Eshghizadeh,M., Talebi,A., Dastorani,M.T., Azimzadeh,H.R. 2016. Effect of natural land covers on runoff and soil loss at the hill slope scale. Global Journal of Environmental Science and Management. 2.2: 125-134.

Fazli,S., Noor,H. 2013. Storm-wise sediment yield prediction using hill slope erosion model in semi-arid abundant lands.Soil and Water Research. 8: 42–48.

Kaini,P., Artita,K., Nicklow,J.W. 2012. Optimizing structural best management practices using swat and genetic algorithm to improve water quality goals. Water Resources Management. 26:1827–1845.

Lane,L.J., Nichols,H.M., Paige,G.B. 1995a. Modelling erosion on Hill slopes: Concepts, Theory and Data. In: Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM'9), Binning P, Bridgman H, Williams B (Eds), Perth, Australia, July. 1: 1–7.

Lane,L.J., Nichols,H.M., Simanton,J.R. 1995b: Spatial Variability of Cover Affecting Erosion and Sediment Yield in Overland Flow, In: Effects of Scale on Interpretation and Management of Sediment and Water Quality. IAHS. 226:147-152.

Lane,L.J., Shirley,E.D., Singh,V.P. 1988: Modelling erosion on Hill slopes. In: Modelling Geomorphological Systems, Anderson MG (Ed.), Wiley Chichester: 287–308.

Martínez,R.A.; Durán.Z.V.H., Francia,F.R. 2006. Soil erosion and runoff response to plant cover strips on semiarid slopes (SE Spain), Land Degradation and Development. 17: 1-11

Naylor,L.A., Viles,H.A., Carter,N.E.A. 2002. Bio geomorphology revisited looking towards the future, Geomorphology. 47: 3–14.

Pizarro,R., Araya,S., Jordán,C., Farı,C., Flores,J.P., Bro,P.B. 2006. The effects of changes in vegetative cover on river flows in the Purapel river basin of central Chile. Journal of Hydrology. 327.1: 249-257.

Rocha,E.O., Calijuri,M.L., Santiago,A.F., Assis,L.C., Alves,L.G.S. 2012. The contribution of conservation practices in reducing runoff, soil loss, and transport of nutrients at the watershed level. Water Resources Management. 26: 3831-3852.

Sadeghi,S.H.R., Azari,M., GhaderiVangah,B. 2008: Field Evaluation of the Hill slope Erosion Model (HEM) in Iran, Biosystems Engineering. 99: 304–311.

Sadoddin,A., Sheikh,V., Mostafazadeh,R., Halili,M.Gh. 2010. Analysis of vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian watershed, Golestan, Iran. International Journal of Plant Production. 4 .1: 51-62.

Seppelt,R., Lautenbach,S., Volk,M. 2013. Identifying trade-offs between ecosystem services, land use, and biodiversity: a plea for combining scenario analysis and optimization on different spatial scales. Current Opinion in Environmental Sustainability. 5.5: 458–463.

Shirley,E.D., Lane,L.J. 1978. A Sediment Yield Equation from an Erosion Simulation Model, Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest. 8: 90–96.

Singh,V.P. 1992. Elimentary hydrology. Eastern Economy Edition, New Delhi, India.pp 973.

Sun,W., Shao,Q., Liu,J. 2013. Soil erosion and its response to the changes of precipitation and vegetation cover on the Loess Plateau. Journal of Geographical Sciences. 23.6: 1091-1106.

Toy,T.J., Foster,G.R., Renard,K.G. 2002. Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control. John Wiley and Sons. pp 352.

Vafakhah,M., Mohseni Saravi,M. 2011. Optimizing management of soil erosion in Orazan sub-basin, Iran. Journal of Agricultural Science and Technology (JAST). 13: 717-726.

Wilcox,B.P., Dowhower,S.L., Teague,W.R., Thurow,T.L. 2006. Long-term water balance in a semiarid shrubland. Rangeland Ecology and Management. 59.6: 600-606.

Wildhaber,Y.S., Banninger,D., Burri,K., Alewell,C. 2012. Evaluation and application of a portable rainfall simulator on subalpine grassland. Catena. 91:56-62.

Wilson,C.J., Cary,J.W., Beeson,P.C., Grad,M.O., Lane,L.J. 2001. A GIS-Based Hill slope Erosion and Sediment Delivery Model and its Application in the Cerro Grande Burn Area, Hydrological Processes. 15: 2995-3010.

Yang,Q., Meng,F.R., Zhao,Z., Chow,T.L., Benoy,G., Rees,H.W., Bourque,C. 2009. Assessing the impacts of flow diversion terraces on stream water yields and sediment yields at a watershed level using SWAT model. Agriculture, Ecosystem and Environment.

132: 23–31.

Zhang,G.H., Guo-Bin,L.I.U., Guo-Liang,W.A.N.G. 2010. Effects of Caragana Korshinskii Kom cover on runoff, sediment yield and nitrogen loss. International Journal of Sediment Research. 25.3: 245-257.

Zhang,Z., Sheng,L., Yang,J., Chen,X.A., Kong,L., Wagan,B. 2015. Effects of Land Use and Slope Gradient on Soil Erosion in a Red Soil Hilly Watershed of Southern China. Sustainability. 7.10: 14309-14325.

Zuazo,V.D., Martínez,J.F., Pleguezuelo,C.R., Raya,A.M., Rodríguez,B.C. 2006. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers in a mountainous area (SE Spain): implications for sustainable agriculture. Environmentalist. 26.4: 309-319.

Zuazo,V.D., Martínez,J.F., Raya,A.M. 2004. Impact of vegetative cover on runoff and soil erosion at hill slope scale in Lanjaron, Spain. The environmentalist. 24.1: 39-48.

Zuazo,V.H.D., Pleguezuelo,C.R.R. 2008. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. Agronomy for sustainable development. 28.1: 65-86.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 11, Oct.-Nov. 2017, p. 562-571

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۱، مهر - آبان ۱۳۹۶، ص. ۵۷۱-۵۶۲

Simulation and Evaluation of Different Vegetation Cover Scenarios Effects on Soil Erosion

S. Fazli[۱]*, H. Noor[۲]

Recived: May.20, 2016 Accepted: Jan.03, 2017

Abstract

The hillslope erosion is known as the first phase of soil erosion at watershed and the most important in semiarid region. Therefore, assessing effective factors on soil erosion and sediment yield such as land cover at hillslope scale can provide new information leading to more effective decision-making. However, very limited studies have been reported to assess the role of land cover on hydrology at hillslope scale using simulation model. The present study aimed to simulation and then analysis the affectability of soil erosion and sediment yield from land cover percentage scenarios at hillslope scale. For this purpose, Hillslope Erosion Model (HEM) was used for prediction of 16 storm related sediment yield in rangeland of Younesi research center, Markazi Providence. The results showed that HEM could successfully predict the soil erosion rate in study area by calibrating soil erodibility parameter with estimate error and CE of 44 and 88 percent, respectively. Then, effects of 3 scenarios i.e. 10%, 20% and 30% decreasing in rangeland cover were simulated using HEM after calibration and validation of the model. The results, also, showed that soil erosion increased about 21%, 45% and 82% in scenario 10%, 20% and 30% reduction of cover, respectively. Finally, results showed that vegetation cover density had significant effect on sediment yield at hillslope scale.

Key Words: Hillslope Erosion, Sediment Delivery, Soil Erosion, Watershed Management

۱- Young Researchers and Elites Club, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

۲- Soil Conservation and Watershed Management Department, Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, AREEO, Mashhad, Iran

(*- Coresponding Author E-mail: S.fazli23@gmail.com)