نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management Science & Engineering

سال یازدهم- شماره ۳۸- پاییز ۱۳۹۶

Vol. 11, No. 38, Fall 2017

ارزیابی مدل RUSLE همراه شده با سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در عرصه‌های زه‌کش کوچک در منطقه نیمه‌خشک، شمال‌غربی ایران

علی‌رضا واعظی[1]، محمد عباسی[2] و خالد حاجی ملکی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۱۷

چکیده:

برآورد هدررفت خاک موضوعی مهم در مدیریت آب و زمین می‌باشد. اغلب اطلاعات هدررفت خاک برای مهار فرسایش خاک بر مبنای بکارگیری معادله جهانی هدررفت خاک اصلاح شده (RUSLE) می‌باشد. در این پژوهش مدل RUSLE به عنوان تخمین‌گر هدررفت خاک در عرصه‌های زه‌کش کوچک با استفاده از داده‌های رسوب مورد ارزیابی قرار گرفت. در این راستا ۲۰ عرصه زه‌کش دارای آبراهه درجه اول در حوزه آبخیز نیمه‌خشک تهم‌چای در شمال‌غرب زنجان انتخاب شد. عملکرد رسوب عرصه‌ها بر اساس حجم رسوب جاگذاری شده پشت بندها در خروجی عرصه‌های زه‌کش در دوره ۱۶ سال (۱۳۷۴ تا ۱۳۹۰) اندازه‌گیری شد. عوامل فرسایندگی باران، فرسایش‌پذیری خاک، شیب، پوشش گیاهی و عملیات حفاظتی برای هر یک از عرصه‌های زه‌کش تعیین شد. هدررفت خاک با استفاده از مدل RUSLE و تلفیق فن سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی بر مبنای نقشه‌های فرسایندگی باران، فرسایش‌پذیری خاک، شیب، پوشش گیاهی و عملیات حفاظتی برآورد شد. بر اساس نتایج، میانگین هدررفت خاک براوردی (۴۳/۶۸ تن در هکتار در سال)، ۶/۵۸ برابر بزرگتر از میانگین سالانه رسوب (۸/۶۷ تن در هکتار در سال) در عرصه‌های زه‌کش بود. کارایی مدل برابر ۶/۸۳- بود که نشان دهنده عدم توانایی مدل در برآورد صحیح هدررفت خاک در عرصه‌های زه‌کش بود. این خطای برآورد مستقیماً به دلیل بیش‌برآورد عامل‌های فرسایش خاک در منطقه بود. به نظر می‌رسد از یک سو عامل‌های فرسایش‌پذیری خاک، شیب و عملیات حفاظت خاک نقش مؤثری در بیش برآورد مدل دارند و از سوی دیگر متغیرهای دیگری مانند شکل شیب و خصوصیات آبراهه وجود داشته باشند که در تعیین هدررفت خاک در منطقه مؤثر می‌باشند. این مطالعه گام مهمی در توجه بیش‌تر به ارزیابی هدررفت خاک در عرصه‌های زه‌کش با مدل RUSLE می‌باشد.

کلید واژه‌ها: ***هدررفت خاک، کارایی مدل، عامل شیب، عامل عملیات حفاظتی***

مقدمه

یکی از راههای تولید مواد غذایی برای رفع نیازهای فزاینده جوامع بشری، گسترش فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد که وجود آب و خاک مناسب منابع اصلی دستیابی به این مهم هستند [۳]. فرسایش خاک به دلیل کاهش پتانسیل اراضی کشاورزی برای تولید، تهدیدی جدی برای تأمین امنیت غذایی می‌باشد. فرسایش خاک توسط آب مهم‌ترین معضل در تخریب اراضی در سراسر جهان شناخته شده است [۸]. ارزیابی میزان فرسایش خاک امری مهم و ضروری برای توسعه روش‌های جلوگیری از فرسایش به منظور مدیریت پایدار اراضی و منابع آب است [۱۲ و ۲۵].

معادله جهانی هدر رفت خاک[4] (USLE) برای نخستین بار بر اساس مفهومی از فرآیند جداسازی و انتقال ذرات خاک در اثر بارندگی توسط ویشمایر و اسمیت[5] [۳۱] ارائه شد. این معادله با جمع‌آوری اطلاعات فرسایش خاک از ۳۶ ایستگاه تحقیقاتی در ۲۶ ایالت آمریکا برای پیش‌بینی متوسط سالانه هدررفت خاک حاصل از فرسایش سطحی، شیاری و بین شیاری در یک قطعه زمین یا دامنه طراحی و به صورت زیر ارائه شد:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \qquad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن: R عامل فرسایندگی باران، K عامل فرسایش‌پذیری خاک، LS عامل پستی و بلندی، C عامل مدیریت زراعی یا پوشش گیاهی و P عامل اقدامات حفاظت خاک می‌باشد. مطالعات صورت گرفته در رابطه با ارزیابی USLE در سایر نقاط به ویژه نقاطی متفاوت از منطقه ارائه مدل، اغلب نشانگر عدم موفقیت آن در برآورد میزان رسوب حاصله از فرسایش می‌باشد به گونه‌ای که ویلیامز و

۱- نویسنده مسئول و دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، پست الکترونیکی: vaezi.alireza@gmail.com
۲- دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی دانشگاه زنجان
۳- دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی دانشگاه زنجان

4. Universal Soil Loss Equation
5. Whishmeier and Smith

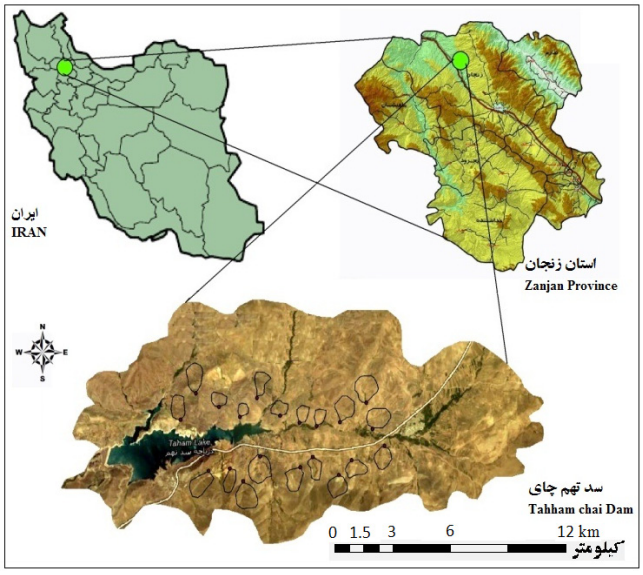
برنت [۳۲] در آمریکا نشان دادند که رابطه جهانی فرسایش خاک تنها قادر است ۴۷ درصد از تغییرات در میزان تولید رسوب در رگبارها را ارزیابی نماید. همچنین توانایی USLE در تخمین مقدار رسوب انتقالی طی رگبارها توسط کینل و ریس [۱۱] در حوزه آبخیز راکی کریک[1] در استرالیا و صادقی و همکاران [۲۰] در حوزه آبخیز امامه در ایران ناموفق ارزیابی شد. مطالعات انجام شده در سالهای بعد منجر به ارائه معادله جهانی هدررفت خاک اصلاح شده[2] (RUSLE) شد. اگرچه این معادله از همان عوامل اساسی موجود در مدل USLE استفاده می‌کند، اما تعاریف و روابط متقابل این عوامل، در آن بهتر تشریح شده و سبب بهبود برآورد فرسایش خاک شده است. با توجه به این که مدل USLE، تنها در اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گرفت، نسخه اصلاح شده (RUSLE) هم در اراضی کشاورزی و هم در اراضی منابع طبیعی قابل کاربرد است [۱۴] و به همین دلیل، اصطلاح وابسته به کاربری سرزمین را به این مدل نسبت داده‌اند. نتایج بررسی‌های انجام شده توسط ناپولی و همکاران [۱۶] در ایتالیا، کرمسوتی و همکاران [۹] در یونان نشان‌گر کارایی بیش‌تر مدل RUSLE در برآورد هدررفت خاک در ابعاد مزرعه است. با این وجود براورد ضعیف این مدل در تحقیقات فرناندز و وگا [۵] بیان شده است. در برخی موارد ارزیابی خطر فرسایش با استفاده از مدل RUSLE با مشکلاتی مواجه است چرا که مدل نمی‌تواند توزیع مکانی و زمانی فرسایش خاک را نشان دهد. این امر به علت پیچیدگی عوامل موجود در مدل و تغییرپذیری مکانی و زمانی زیاد آن‌ها است. به منظور رفع کاستی مدل RUSLE در بیان توزیع مکانی فرسایش خاک، از ترکیب مدل RUSLE با فن سنجش از دور[3] (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی[4] (GIS) استفاده می‌گردد. استفاده از فن سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، تخمین خطر فرسایش خاک را با دقت زیاد و هزینه‌های قابل قبول، در مناطق بزرگ امکان‌پذیر می‌سازد [۲۸، ۲۹ و ۳۰]. سامانه اطلاعات جغرافیایی، تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی را با سرعت بیش‌تر و به سادگی امکان‌پذیر ساخته و ترکیب اطلاعات گسترده در زمینه‌های مختلف را ممکن و مدیریت اطلاعات را ساده می‌سازد [۲۲]. سنجش از دور به عنوان منبع تامین بسیاری از داده‌های مورد نیاز و GIS به عنوان سامانه‌ای که مدیریت و تحلیل را بر عهده دارد، ارتباط تنگاتنگی باهم دارند. ماهیت رقومی داده‌های سنجش از دور و اطلاعات حاصل از آن‌ها قابلیت ورود مستقیم به سامانه اطلاعات جغرافیایی را فراهم نموده است [۱۳]. بررسی‌های انجام گرفته در مورد بکارگیری RUSLE برای برآورد هدررفت خاک با کمک GIS و RS، نشان دهنده افزایش دقت برآوردها در مناطق مختلف جهان می‌باشد [۶، ۲۴، ۲۷ و ۳۳].

برآورد فرسایش و رسوب در ابعاد حوزه اغلب با خطا همراه می‌باشد زیرا در ابعاد حوزه، اشکال مختلف فرسایش در تولید رسوب نقش دارند و از سوی دیگر میزان تولید رسوب به نوبه خود تحت تأثیر مشخصات حوزه نیز قرار دارد. از این رو مدل‌های برآوردی فرسایش خاک مانند USLE و RUSLE برآورد بهتری را می‌توانند در واحدهای کوچک در سطح حوزه مانند عرصه‌های کوچک زه‌کش ارائه نمایند [۷] چرا که در واحدهای کوچک سهم فرسایش سطحی و شیاری در تولید رسوب غالب است. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی مدل جهانی هدررفت خاک اصلاح شده (RUSLE) در عرصه‌های زه‌کش کوچک مقیاس واقع در حوزه آبخیز تهم‌چای با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و فن سنجش از دور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه واقع در حوزه آبخیز تهم‌چای با مساحت ۲۲۸۱۶ هکتار که در فاصله ۱۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان زنجان می‌باشد. شکل(۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را در کشور و استان نشان می‌دهد. منطقه مذکور در عرض جغرافیایی۳۶درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی واقع شده است. بارندگی سالیانه حوزه آبخیز ۳۷۸میلی‌متر و متوسط دمای آن ۱۰ درجه سانتی گراد است. بر اساس دوره آماری ۵۰ ساله، بیش‌ترین مقدار بارندگی در فصل بهار (حدود ۳۷/۲ درصد) و کم‌ترین آن در فصل تابستان به مقدار ۲/۸ درصد می‌باشد.



شکل۱- موقعیت عرصه‌های زه‌کش در حوزه آبخیز تهم چای شمال‌غرب زنجان

Figure 1. Location of drainage areas in the Tahamchai Watershed, North West of Iran

1. Rocky Creek
2 .Revised Universal Soil Loss Equation
3 .Remote sensing
4. Geographic Information System

از نظر زمین شناسی، منطقه منحصراً از سنگ‌های ولکانیکی دوره ترسیری (تشکیلات کرج) ساخته شده است. مقاطع اصلی کوه‌ها عمدتاً از توف‌های سبز رنگ با طبقات ضخیم ساخته شده و اغلب شامل طبقاتی از توفهای مختلف آندزیت، شیل، ماسه سنگ، سنگ‌های رسی و شیلی است. خاک‌ها منطقه در دو رده غالب اینسپتی‌سول[1] و انتی‌سول[2] قرار دارند [۲۳]. منطقه دارای پوشش مرتعی ضعیف است و از گونه‌های مهم گیاهی موجود در منطقه می‌توان کاکوتی[3]، تپاله گون[4]، خاکشیر[5]، خارشتر[6]، لاله و شنگ[7] را نام برد [۲۶]. بخش عمده‌ای از اراضی مرتعی تحت تغییر کاربری قرار گرفته و به کشت‌زارهای دیم تبدیل شده‌اند. این کشت‌زارها که عمدتا به منظور تولید گندم استفاده می‌شوند از واحدهای اصلی فرسایش و تولید رسوب در منطقه می‌باشند.

انتخاب عرصه‌های زه‌کش

طی ۲۰ سال گذشته (۱۳۷۴) تعداد زیادی بندهای اصلاحی غالباً از نوع سنگی- سیمانی با سرریز ذوزنقه‌ای برای مهار رسوبات و جلوگیری از ورود آنها به پشت سد تهم‌چای در حوزه آبخیز ایجاد شده است. بسیاری از بندهای اصلاحی به‌صورت متوالی در امتداد آبراهه‌ها احداث شده‌اند. برای ارزیابی رابطه جهانی هدررفت خاک اصلاح شده (RUSLE) از نظر برآورد رسوب تعداد ۲۰ عرصه زه‌کش واقع در آبراهه درجه اول که در پایین دست آن‌ها بندهای اصلاحی احداث شده بود، انتخاب شد. در این پژوهش، بر اساس مشاهدات منطقه‌ای، اولین بندی که در امتداد آبراهه درجه اول احداث شده بود و در مواردی در پایین دست آن بندهایی در آبراهه‌های با درجه بالاتر احداث شده بود، مورد توجه قرار گرفت. در این عرصه‌های کوچک با احتمال زیاد می‌توان رسوب ایجاد شده را مستقیماً به حوزه بالادست آن نسبت داد. با کوچک شدن مساحت تحت فرسایش مقادیر فرسایش برآوردی توسط مدل RUSLE به مقادیر رسوب نزدیک می‌گردد [۲۲]. مرز عرصه‌های زه‌کش بر اساس خط‌الراس ارتفاعات محدود به عرصه به صورت پیمایش زمینی مشخص شد. مساحت عرصه‌های زه‌کش که با استفاده از نرم‌افزارArc GIS اندازه گیری شد، از ۱/۰۳۸ هکتار تا ۲/۸۶۶ هکتار متغیر بود و میانگین آن حدود ۱/۲۳۶ هکتار بود. با انجام بازدیدهای صحرایی از بندها، عرصه‌های بالادست آن‌ها شناسایی شد. برای آگاهی از ویژگی‌های خاک عرصه‌های زه‌کش، نمونه‌برداری خاک از بالا دست هر بند، در سه نقطه شامل سمت راست، چپ و جهت بالا دست هر آبراهه در سه تکرار از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر انجام شد. مجموعاً از خاک عرصه بالا دست هر بند ۹ نمونه برداشت شد.

1. Inceptisoil
2. Entisoil
3. Ziziphora
4. Milkvetch
5. Descurainia sophia
6. Alhagi
7. Tragopogon dubius

اندازه‌گیری رسوب در عرصه‌های زه‌کش

برای تعیین رسوب پشت هر بند، مشخصات بند شامل عرض پایین، عرض بالا، ارتفاع رسوبگذاری پشت بند، شکل مقطع بند، طول رسوبگذاری پشت بند و شیب رسوبگذاری تعیین شد. با استفاده از رابطه (۲) مقدار رسوب پشت هر بند به دست آمد [۳].

$$V=1/2(S \times h)$$ رابطه (۲)

که در آن: V حجم رسوب (متر مکعب) و S سطح منطقه رسوبگذاری (متر مربع) و h ارتفاع رسوبگذاری (متر) می‌باشد. دوره رسوبگذاری ۱۶ سال (۱۳۷۴ تا ۱۳۹۰) بود. جرم رسوب بر اساس حاصلضرب حجم رسوب و چگالی ظاهری رسوب به دست آمد که با استفاده از استوانه فلزی به قطر پنج سانتی‌متر و ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر به روش جرمی تعیین شد [۲].

برآورد هدررفت خاک با استفاده از مدل RUSLE

برای برآورد هدر رفت خاک در عرصه‌های زه‌کش با استفاده از مدل RUSLE، عوامل مؤثر در مدل به شرح زیر تعیین شدند:

۱- تعیین عامل فرسایندگی باران (R)

از داده‌های ایستگاه باران‌نگاری زنجان مربوط به دوره مطالعاتی (۱۳۷۴ تا ۱۳۹۰) برای تعیین عامل فرسایندگی باران استفاده شد. مقدار فرسایندگی بارن از حاصل ضرب انرژی کل رگبارها (E) در حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای (I_{30}) آن‌ها به دست آمد. در هر رگبار پس از محاسبه انرژی جنبشی در فواصل ۱۵ دقیقه‌ای، انرژی جنبشی در مقدار بارندگی هر دوره ضرب شد و نهایتاً حاصل جمع انرژی جنبشی کل مدت بارندگی در حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای رگبار ضرب شد [۱۹].

$$KE= 11.87 + 8.73\log I$$ رابطه (۳)

که در آن: KE انرژی جنبشی یک رگبار در واحد سطح و ارتفاع($J.m^{-2}.mm^{-1}$) باران I شدت باران ($mm.h^{-1}$) است.

۲- تعیین عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)

فرسایش‌پذیری خاک تحت تأثیر توزیع اندازه ذرات خاک، نفوذپذیری و پایداری ساختمان خاک قرار می‌گیرد [۴ و ۲۶]. گزارش‌ها نشان می‌دهد که مقادیر عامل فرسایش‌پذیری خاک بر حسب تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر $Mg.h.(MJ.mm)^{-1}$ از صفر تا یک متغیر است، بدین صورت که مقادیر زیاد برای خاک‌های دارای سیلت یا شن خیلی ریز زیاد و خاک‌هایی با مقادیر زیاد رس که خود یک عامل پایداری است دارای میزان K حدود ۰/۰۵ تا ۰/۱۵ می‌باشند [۲۱]. K در مدل RUSLE بیان‌گر مقاومت خاک به تخریب فیزیکی در مقابل تأثیر قطره باران و نیروی برش روان‌آب می‌باشد. مقدار K با استفاده از معادله زیر محاسبه شد [۲۰] :

$$K = 0.0035 + 0.00388exp\left[-0.5\frac{(\log Dg+1.519)^2}{0.57517}\right]$$ رابطه (۴)

که در آن: Dg میانگین قطر ذرات خاک است که از رابطه (۴) محاسبه شد:

رابطه (۵)

$$Dg = exp\left[\sum_i 0.01 f_i \, d_i\right]$$

که در آن: f_i کسر ذرات بر حسب درصد، d_1 میانگین قطر ذرات خاک برحسب mm می‌باشد. پس از برآورد عامل فرسایش‌پذیری برای نقاط نمونه‌برداری شده در سطح عرصه‌های زه‌کش، مختصات جغرافیایی آن‌ها همراه با مقدار عامل K وارد محیط Arc GIS 10.3 شده و نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک تهیه شد.

۳- تعیین عامل طول و درجه شیب (LS)

عامل طول و درجه شیب (L و S) بیانگر تأثیر پستی و بلندی بر فرسایش خاک می‌باشد. در معادلات معمول برآورد عامل توپوگرافی از طول شیب و درجه شیب استفاده می‌شود اما این روش تنها در مقیاس کوچک مانند پلات قابل استفاده می‌باشد. اخیراً محققان جهت استفاده در سطوح وسیع مانند حوضه با جایگزینی مساحت ویژه شیب بالادست بجای طول شیب فرمول اصلاح شده‌ای را ارائه کرده‌اند که اثر توپوگرافی را در شیب‌های پیچیده بهتر منعکس می‌کند [۱۵]. برای محاسبه عامل توپوگرافی ابتدا نقشه شیب حوضه بر حسب درجه تهیه شد. سپس مدل رقومی منطقه (با دقت ۱۰ متر) توسط ابزار پرکننده گودی‌ها[1] اصلاح شد و از مدل رقومی اصلاح شده نقشه رستری جهت جریان[2] استخراج و در نهایت از آن نقشه رستری تجمع جریان[3] برای کل حوضه به دست آمد. رابطه(۷) برای محاسبه عامل LS در نرم‌افزار Arc GIS 10.3 استفاده شد [۱۷]:

رابطه (۶)

$$LS = (1.4)\ [Fac \times 10 / a_0]^{0.4}\ [\sin \beta(r) / \sin b_0]^{1.4}$$

که در آن Fac نقشه رستری جریان تجمعی حوضه، $\beta(r)$ زاویه شیب بر حسب درجه، a_0 طول کرت استاندارد (که برابر با ۲۲/۱۳ متر می‌باشد)، b_0 شیب کرت استاندارد (که برابر با ۵/۱۴۳ درجه) می‌باشد.

۴- تعیین عامل پوشش سطح زمین (C)

عامل پوشش سطح زمین نشان‌دهنده اثر گیاهان، مدیریت کشاورزی، پوشش سطح خاک، زیتوده خاک (ریشه‌ها و بقایای گیاهی) بر فرسایش است [۶]. در معادله جهانی هدررفت خاک اصلاح شده (RUSLE)، عامل پوشش گیاهی، معمولاً بر اساس معادلات تجربی تعیین می‌گردد [۱۸]. در یک سطح وسیع مانند حوضه، برآورد این عامل با مشکلاتی مواجه است. به همین دلیل استفاده از فن سنجش از دور در تخمین این عامل پیشنهاد می‌شود. در این راستا می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای بهره برد به گونه‌ای که ابتدا اقدام به تهیه شاخص تفکیک پوشش گیاهی نرمال شده [4] کرد. این شاخص از تصویر ماهواره لندست هشت[5] سال ۲۰۱۵ با ترکیب باندی ۲،۳ و ۴ که از سایت سازمان زمین شناسی ایالات متحده[6] دانلود شد طبق رابطه (۷) به دست می‌آید:

1. Fill sinks
2. Flow direction
3. Flow Accumulation
4. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
5. Landsat 8
6. United State Geological Survey (USGS)

رابطه (۷)

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

که در آن: NDVI شاخص تفکیک پوشش گیاهی نرمال، IR انعکاس باند مادون قرمز و R انعکاس باند قرمز می‌باشد. این شاخص معرف انعکاس انرژی خورشیدی از سطح زمین است که انواع شرایط پوشش گیاهی را نشان می‌هد و مقادیر آن بین ۱- و ۱+ در نوسان است. زمانی که پاسخ طیفی اندازه‌گیری شده از سطح زمین برای هر دو باند مشابه باشد، مقادیر به صفر نزدیک می‌شود. مقادیر شاخص NDVI برای پوشش گیاهی سبز مثبت و برای مناطق با پوشش گیاهی کم یا بدون پوشش گیاهی مانند مناطق شهری و اراضی بایر معمولاً بین ۰/۱+ تا ۰/۱- می‌باشد [۳۰]. برای تبدیل این شاخص به عامل پوشش گیاهی از رابطه (۸) که توسط واندرنیف و همکاران [۲۷] ارائه شده، استفاده شد:

رابطه (۸)

$$C = \exp\left[-a \times \frac{NDVI}{\beta - NDVI}\right]$$

که در آن α و β پارامترهای مربوط به شکل منحنی شاخص می‌باشند. مقادیر معمول و مورد استفاده برای α و β به ترتیب برابر با ۲ و ۱ می‌باشد [۲۷]. در نتیجه مقادیر C در هر سلول می‌تواند مورد محاسبه قرار گیرد. مقادیر C می‌تواند از نزدیک صفر برای خاک‌های با سطح حفاظتی بالا تا ۱ برای خاک‌های شخم خورده و تحت آیش که روان‌آب زیادی تولید می‌کنند و خاک را مستعد فرسایش شیاری می‌نمایند، تغییر کند [۱۹].

۵- تعیین عامل عملیات حفاظت خاک (P)

عامل عملیات حفاظت خاک عبارت از نسبت خاک فرسایش یافته در شرایط انجام عملیات حفاظتی به فرسایش ایجاد شده در شرایط کرت استاندارد (شخم در جهت شیب) است [۱۹]. عملیات حفاظتی معمول در حوزه‌های آبخیز شامل کشت بر روی خطوط تراز، تراس‌بندی، کشت نواری، آبراهه‌های پوشش‌دار، شخم حفاظتی و غیره می‌باشد. در صورتی که هیچ‌گونه عملیات حفاظتی در منطقه صورت نگرفته باشد و زمین در شرایط شخم در جهت شیب قرار داشته باشد مقدار این عامل برابر یک در نظر گرفته می‌شود [۱] در عرصه‌های زه‌کش منطقه به دلیل آن‌که هیچ گونه اقدامات حفاظتی شامل موارد نامبرده صورت نگرفته بود و اراضی کشاورزی در جهت شیب شخم خورده بودند، لذا مقدار عددی عامل حفاظتی برابر یک در نظر گرفته شد.

ارزیابی دقت مدل RUSLE

ارزیابی دقت مدل برای اطمینان از صحت برآوردها ضروری است. ارزیابی مدل RUSLE با استفاده از داده‌های براوردی هدررفت خاک و داده‌های حاصل از اندازه‌گیری رسوب در ۲۰ عرصه زه‌کش انجام گرفت. همچنین کارایی مدل[7] (ME) که اغلب برای کالیبراسیون، صحت سنجی و برآورد دقت مدل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد از

7. Model efficiency

رابطه زیر تعیین شد [۳].

رابطه (۹)

$$ME = 1 - \frac{\sum_{i-1}^{n}(Q_o - Q_p)^2}{\sum_{i-1}^{n}(Q_o - Q_{mean})^2}$$

که در آن Q_o مقدار رسوب اندازه‌گیری شده در پشت بند، Q_p مقدار هدررفت خاک برآورد شده و Q_{mean} میانگین رسوب اندازه‌گیری شده در ۲۰ بند می‌باشد.

نتایج و بحث

رسوب اندازه‌گیری شده در عرصه‌های زه‌کش

چگالی رسوبات بر جای گذاشته در پشت بندها از ۱/۴۷ تا ۱/۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب متغیر بود. مقدار رسوب در عرصه‌های زه‌کش از ۰/۴۰۴ تا ۲۴/۴۵۶ تن در هکتار در سال تن در هکتار تغییر کرد و میانگین آن در ۲۰ عرصه زه‌کش برابر ۸/۶۷ تن در هکتار در سال بود. این نتایج بیانگر شدت زیاد رسوب‌دهی عرصه‌های کوچک در منطقه است که با توجه به سرعت پایین تشکیل خاک، این میزان از رسوبدهی نشان از تخریب شدید خاک در اثر فرسایش است. در کنار عوامل طبیعی مانند شیب، ضعف پوشش گیاهی و پایداری ضعیف خاک عوامل انسانی از جمله تغییر کاربری و روش‌های نامناسب خاکورزی مهمترین نقش را در تولید رسوب در عرصه‌های زه‌کش ایفاء می‌کنند.

عامل فرسایندگی باران (R)

تعداد ۳۹۲ رگبار طی دوره تحقیق ثبت شد. جدول ۱ مشخصات رگبارها را در حوزه آبخیز نشان می‌دهد. نقشه فرسایندگی باران به دلیل وجود یک ایستگاه در سطح حوزه و همچنین مساحت اندک عرصه‌های زه‌کش، برای همه‌ی عرصه‌ها لایه‌ای با مقدار عددی ثابت ۹۲/۳۱ $MJ.mm(ha.h)^{-1}$ اعمال شد.

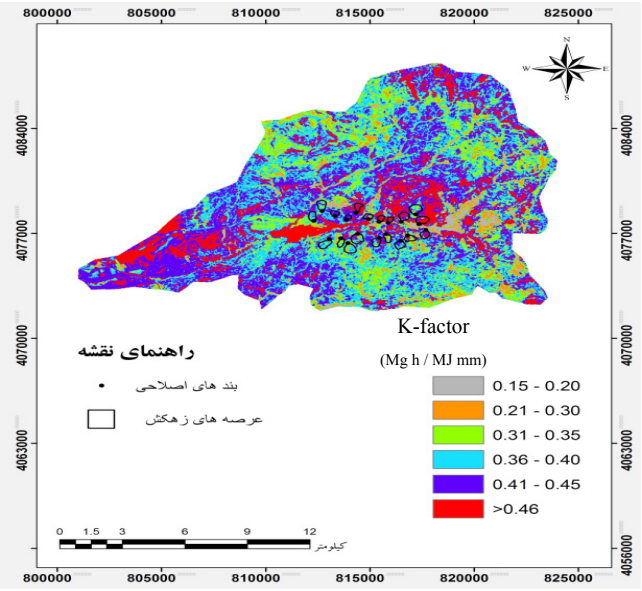
جدول ۱- مشخصات باران‌ها طی دوره تحقیق در حوزه آبخیز

Table 1. Characteristics of rainfall during the study period in the area

مشخصات باران	Rainfall characteristics	میانگین Mean	کمترین Min	بیشترین Max
مدت (ساعت)	Duration (h)	5.59	0.12	23.20
ارتفاع (میلی‌متر)	Height (mm)	5.17	0.72	39.37
شدت (میلی‌متر بر ساعت)	Intensity (mm h^{-1})	2.08	0.11	82.00
حداکثر شدت ۳۰دقیقه (میلی‌متر بر ساعت)	I_{30} (mm h^{-1})	4.06	0.21	32.18

عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)

بررسی ویژگی‌های خاک عرصه‌ها نشان داد که که خاک لوم شنی به عنوان بافت غالب خاک منطقه است. خاک‌ها عمدتاً آهکی با مقدار حدود ۸ تا ۳۱ درصد کربنات کلسیم معادل هستند. مقدار ماده آلی خاک‌ها نسبتاً پایین و به طور میاگین ۱/۶ درصد است. مطابق با نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک (شکل ۲)، مقادیر این عامل در سطح حوزه بین ۰/۱۵ تا ۰/۴۶ $Mg.h.(MJ.mm)^{-1}$ متغیر می‌باشد. مقادیر فرسایش‌پذیری خیلی کم (از ۰/۱۵ تا ۰/۲۵ $Mg.h.(MJ.mm)^{-1}$) مربوط به خاک‌های با بافت لوم شنی، فرسایش‌پذیری کم مربوط به خاک‌های با بافت متوسط و رسی و فرسایش‌پذیری متوسط (۰/۳تا ۰/۳۶ $Mg.h.(MJ.mm)^{-1}$) مربوط به خاک‌های لومی، لوم رسی و رسی سیلتی می‌باشد.

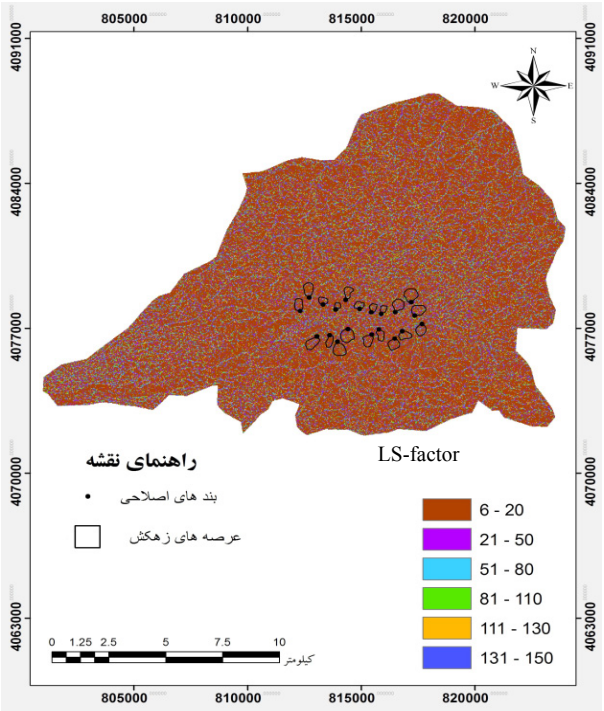


شکل ۲- نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک حوزه آبخیز تهم چای شمال غرب زنجان

Figure 2. Location of drainage areas in the Tahamchai Watershed, North West of Iran

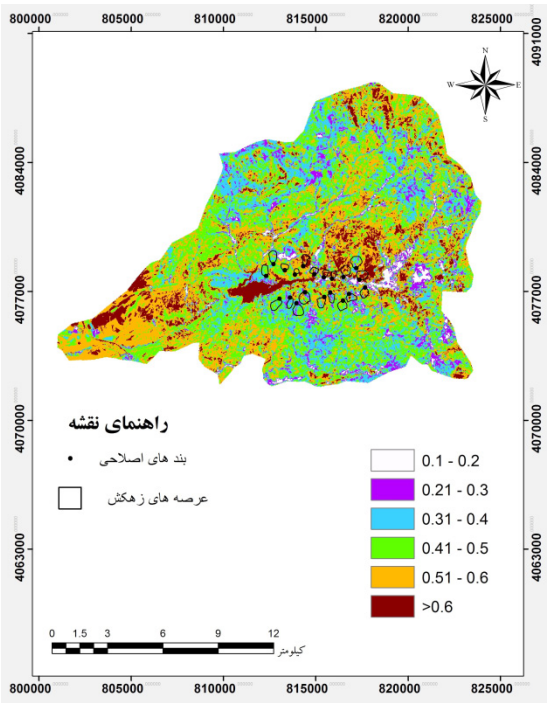
عامل شیب (LS)

به علت وجود اختلافات زیاد در توپوگرافی منطقه، مقادیر عددی نقشه عامل طول و درجه شیب حوزه (LS) از ۶/۸۷۱ تا ۱۴۹/۳۰۱ تغییر کرد. شکل(۳) نقشه عامل LS را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به نقشه شیب، منطقه مورد مطالعه دارای توپوگرافی نامنظمی می‌باشد.



شکل۳- نقشه عامل طول و درجه شیب (LS) حوزه آبخیز تهم‌چای در شمال‌غرب زنجان

Fig. 3. Map of slope steepness and length in the Tahamchai Watershed, north west of Iran



شکل ۴- نقشه عامل پوشش گیاهی(C) حوزه آبخیز تهم‌چای در شمال غرب زنجان

Figure 4. Map of vegetation cover factor in the Tahamchai Watershed, North West of Iran

عامل پوشش زمین (C)

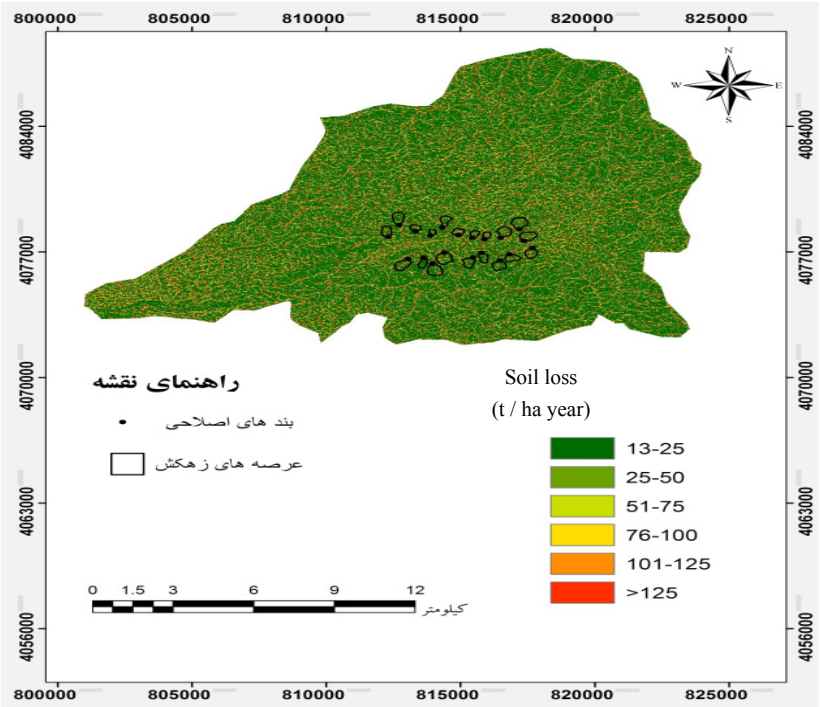
مقدار عامل پوشش گیاهی در منطقه مطالعاتی بین ۰/۱۰۱ تا بیش از ۰/۶ متغیر می‌باشد (شکل ۴). برخی از قسمت‌های شرقی و شمال غربی منطقه به علت وجود پوشش مناسب دارای مقادیر عددی کم‌تری در نقشه می‌باشند. با این وجود بیش‌تر بخش‌های منطقه به علت دارا بودن شیب‌های تند و وجود سنگریزه زیاد در سطح خاک که از رشد پوشش گیاهی جلوگیری به عمل آورده لذا مقدار عددی بیش‌تری را در نقشه عامل پوشش گیاهی دارا هستند. مساحت عمده منطقه از نظر این عامل در کلاس ۰/۴۱ تا ۰/۵۰ قرار می‌گیرد.

عامل عملیات حفاظت خاک (P)

عامل عملیات حفاظتی خاک به دلیل عدم وجود هر گونه اقدامات حفاظتی در منطقه مذکور یک لایه با مقدار عددی ثابت (یک) در نظرگرفته شد. اسدی و همکاران [۱] در حوزه آبخیز ناورود مقدار عددی یک را به علت عدم وجود هرگونه عملیات حفاظتی در حوزه مورد مطالعه برای عامل حفاظت خاک درنظر گرفتند.

فرسایش خاک برآورد شده با مدل RUSLE

نقشه میزان فرسایش خاک از ترکیب پنج لایه عامل فرسایندگی باران، عامل فرسایش‌پذیری خاک، عامل طول و درجه شیب، عامل پوشش گیاهی و عامل عملیات حفاظتی به دست آمد (شکل۵). مطابق نقشه میزان فرسایش برآورد شده با مدل RUSLE در محیط نرم‌افزارArc GIS 10.3 از ۱۳/۲۷۰ تا ۱۲۷/۸۹۰ برحسب تن در هکتار در سال متغیر است. مناطق با مقدار فرسایش زیاد (۸۷/۲۷۷ تا ۱۲۷/۸۹۰ تن در هکتار در سال) تا متوسط (۴۴/۸۵۶ تا ۶۰/۲۰۱ تن در هکتار در سال) اغلب در نواحی شیبدار (بالا بودن میزان عامل LS) قرار دارند که پوشش گیاهی ضعیف می‌باشد. شی و همکاران [۲۲] در مطالعات خود با استفاده از مدل RUSLE مقادیر فرسایش خاک را از صفر تا بیشتر از ۴۰ تن در هکتار در سال تخمین زدند.



شکل۵- نقشه میزان هدررفت خاک حوزه آبخیز تهم چای شمال غرب زنجان

Figure 5. Map of soil loss rate in the Tahamchai Watershed, north west of Iran

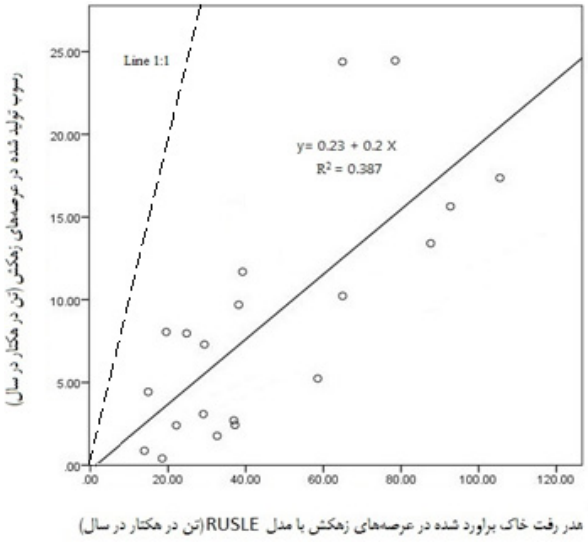
کارایی مدل RUSLE در عرصه‌های زه‌کش کوچک

ارزیابی مدل RUSLE با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای رسوب در هر یک از عرصه‌های زه‌کش (بیست داده) و نیز مقادیر برآوردی هدررفت خاک در آن‌ها (بیست داده) نشان داد که رابطه‌ای ضعیف بین هدررفت خاک برآورد شده و مقدار رسوب مشاهده‌ای وجود دارد (R^2=۰/۳۹) به طور کلی مقدار هدررفت خاک برآوردی (به طور میانگین ۴۳/۶۸ تن در هکتار در سال) در عرصه‌های زه‌کش حدود ۶/۵۸ برابر مقدار رسوب اندازه‌گیری شده در آن‌ها می‌باشد. بررسی اختلاف میزان رسوب با فرسایش برآورد شده توسط مدل RUSLE از طریق آزمون t نشان داد که این تفاوت همچنین معنی‌دار است (p<۰/۰۱). این نتایج بیانگر آن است که مدل توانایی لازم را برای برآورد رسوب در عرصه‌های زه‌کش کوچک ندارد. نتایج مذکور با نتایج صادقی و همکاران [۲۰] خواجه‌ای و همکاران [۱۰]، رضایی‌فر و همکاران [۱۸] مطابقت دارد.

جدول ۱- برخی آماره‌های میزان رسوب مشاهده شده و فرسایش برآورد شده در عرصه‌های زه‌کش حوزه آبخیز تهم چای در شمال غرب زنجان

Table 1 Statistical parameters of observed sediment and estimated soil loss in the drainage areas of the Tahamchai Watershed, north west of Iran

متغیر Variable	میانگین Mean	کم‌ترین Min	بیش‌ترین Max	انحراف معیار StD
هدررفت خاک مشاهده‌ای (تن در هکتار در سال) Observed soil loss (t/ ha.year)	8.67	0.40	24.45	7.28
هدررفت خاک برآوردی (تن در هکتار در سال) Estimated soil loss (t/ ha.year)	45.41	13.89	109.48	27.99



شکل ۶- مقدار فرسایش خاک برآورد شده با مدل RUSLE در مقابل مقدار رسوب اندازه‌گیری شده در عرصه‌های زه‌کش کوچک در حوزه آبخیز تهم‌چای در شمال‌غرب زنجان

Figure 6. Estimated soil loss using the RUSLE versus the observed sediment in the drainage areas of the Tahamchai Watershed, North West of Iran

ضریب تبیین[1] (R^2) جهت بیان میزان ارتباط بین داده‌های رسوب اندازه‌گیری شده با هدررفت خاک برآورد شده، برابر ۰/۳۹ به دست آمد که این مقدار بیانگر ارتباط ضعیف بین مقدار رسوب مشاهده‌ای و فرسایش برآوردی با مدل RUSLE می‌باشد. این یافته با نتایج گزارش شده توسط صادقی وهمکاران [۲۱] و ویلیامز و برنت [۳۲] مبنی بر توانایی بسیار پایین رابطه جهانی فرسایش در برآورد رسوب رگبارها (R^2=۰/۴۷) مطابقت دارد. کارایی مدل حدود ۶/۸۳- بود که نشان از عدم کارایی مدل مذکور جهت برآورد میزان رسوب می‌باشد. این نتیجه با نتایج بررسی‌های جوریس و همکاران [۸] در موردصحت مدل‌های مختلف فرسایش در پیش‌بینی مقدار رسوب مشاهده‌ای در حوزه آبخیزی در اسپانیا مطابقت دارد. این بیش‌برآورد از آنجا ناشی می‌شود که از یک سو مدل RUSLE برای برآورد هدررفت خاک در ابعاد اراضی، گسترش یافته است و دارای محدودیت‌هایی در ابعاد بزرگ‌تر مانند عرصه‌های زه‌کش و به ویژه زیرحوزه‌ها و حوزه‌ها است چرا که در این صورت عوامل دیگری مانند شکل شیب و مشخصات آبراهه در هدررفت خاک یا تولید رسوب نیز نقش ایفاء می‌کنند. از سوی دیگر، به نظر می‌رسد نقش عوامل فرسایش‌پذیری خاک، شیب (درجه و طول) و عملیات حفاظت خاک در میزان بیش‌برآورد مدل بیش‌تر از سایر عوامل باشد. با توجه به وجود تفاوت در ویژگی‌های خاک منطقه که اغلب آهکی و دارای ماده آلی اندکی می‌باشد بکارگیری رابطه (۴) می‌تواند منجر به بیش‌برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک شود. واعظی و صادقی [۲۶] نشان دادند که بکارگیری مدل RUSLE حتی در ابعاد کرت استاندارد موجب می‌شود مقدار K بسیار بیش‌تر از مقدار واقعی (حدود ۱۴ برابر) برآورد شود. همچنین عامل عملیات حفاظت خاک که مطابق با مدل و تلفیق فن RS و روش GIS، در شرایط شخم موازی شیب ناگزیر مقدار ۱ اعمال می‌شود این مقدار غیرواقعی بوده و تعمیم آن به کل اراضی تحت کشت در عرصه‌های زه‌کش منطقی به نظر نمی‌رسد. به هر حال نتایج این پژوهش بیانگر آن است که لازم است هر یک از عوامل موجود در مدل به طور دقیق در مناطقی از جمله عرصه‌های زه‌کش کوچک مورد ارزیابی قرار گیرند.

1. Coefficient of determination

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به منظور ارزیابی معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده (RUSLE) در عرصه‌های زه‌کش کوچک مقیاس انجام شد. مقدار رسوب مشاهده شده از ۰/۴۰۴ تا ۲۴/۴۵۶ تن در هکتار در سال تغییر کرد. میزان فرسایش برآورد شده با استفاده از شش عامل مؤثر در فرسایش آبی در مدل RUSLE از ۱۳/۲۷۰ تا ۱۲۷/۸۹۰ تن در هکتار در سال متغیر بود. به طور متوسط میزان فرسایش برآورد شده در عرصه‌های زه‌کش، ۶/۵۸ برابر میزان رسوب مشاهده‌ای بود. کارایی مدل حدود ۶/۸۳- بود که نشان از توانایی ضعیف مدل در برآورد هدررفت خاک در عرصه‌های زه‌کش بود. این ضعف به دلیل عدم برآورد درست عوامل مؤثر در هدررفت خاک (فرسایندگی باران، فرسایش‌پذیری خاک، شیب، پوشش گیاهی و عملیات حفاظتی) می‌باشد. در این میان به نظر می‌رسد نقش عامل فرسایش‌پذیری خاک، عوامل شیب (درجه و طول) و عامل عملیات حفاظت خاک در بیش‌برآورد هدررفت خاک در عرصه‌های زه‌کش بیش‌تر از سایر عوامل باشد. در کنار این عوامل، عواملی دیگر مانند شکل شیب و مشخصات آبراهه که در مدل RUSLE مورد بررسی قرار نمی‌گیرند، به نوبه خود در بروز خطای برآورد هدررفت خاک می‌توانند مؤثر باشند. به هر حال نتایج این پژوهش بیانگر ضرورت انجام ارزیابی‌های منطقه‌ای برای مدل پیش از استفاده مستقیم از نتایج برآورد آن می‌باشد.

منابع مورد استفاده

1. Asadi, H. Vazifedoost, M. Mousavi, S.A. and Honarmand, M. 2011. Evaluation and zoning soil erosion risk used by RUSLE, GIS and RS in Navroud watershed.(In Persian)
2. Blake, G.R. and Hartge, K.H. 1986. Bulk Density. Methods of Soil Analysis, Part 1, Soil Sci. Soc. Am., 363-376, Madison, WI, USA.
3. Castillo, V.M. Mosch, W.M. Conesa García C. Barberá, G.G. Navarro Cano, J.A. and López-Bermúdez, F. 2007. Effectiveness and geomorphological impacts

of check dams for soil erosion control in a semiarid Mediterranean catchment: El Cárcavo (Murcia, Spain). Catena 70, 416–427.

4. Eynard, A. Schumacher, T.E. Lindstrom, M.J. and Malo, D.D. 2004. Aggregate sizes and stability in cultivated South Dakota Prairie Ustolls and Usterts. Soil Sci. Soc. Am. J. 68, 1360–1365.

5. Fernández, C. and Vega, J.A. 2016. Evaluation of RUSLE and PESERAmodels for predicting soil erosion losses in the first year after wildfire in NW Spain. Geoderma 273, 64–72.

6. Ganasri, B. and Ramesh, H. 2015. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. Geoscience Frontiers 3, 1-9.

7. Haan, C.T. Barfield, B.J. and Hayes, J.C. 1994. Design hydrology and sedimentology for small catchments. Academic Press, San Diego, 588p.

8. Joris, D., Jean, P., Gert, P., Gerard, G., Matthias, V., Anton, V., Mahmood, A. and Carolina, B. 2013. Predicting soil erosion and sediment yield at regional scales: modeling using the USLE/RUSLE within GIS. Geographia Thechnica 2, 87- 97.

9. Karamesouti, M. Petropoulos, G.P. Papanikolaou, I.D. Kairis, O. and Kosmas, K. 2016. Erosion rate predictions from PESERA and RUSLE at a Mediterranean site before and after a wildfire: Comparison & implications. Geoderma 261, 44–58.

10. Khajei, A. Broushke, A. Skouti oskoui, R and Arabkhedri, M. 2001. Evaluate the applicability of empirical MUSCLE models for estimating sediment in individual events based on the annual precipitation in the watershed Shahr chaii. National Conference for Land Management, Soil Erosion and Sustainable Development, Arak, pp. 436-446.(In Persian)

11. Kinnell, P.I.A. and Risse, L.M. 1998. SLE-M: Empirical modeling rainfall erosion though runoff and sediment concentration, Soil Sci. Soc. Am. J. 62, 1667 1672.

12. Lal, R. 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. Critical Rev. Plant Sci. 17(4), 319– 464.

13. Makhdoom, M. and Ddarvishsefat, A. 2002. Environmental assessment and planning with GIS. Press Tehran University.234- 304 p. (In Persian)

14. Millward, A.A. and Mersey, J.E. 1999. Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. Catena, 38, 109–129.

15. Moore, I.D. and Wilson, J.P. 1992. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. J. Soil and Water Conserv. 47, 423.

16. Napoli, M. Cecchi, S. Orlandini, S. Mugnai, G. and Zanchi, C. 2016. Simulation of field-measured soil loss in Mediterranean hilly areas (Chianti, Italy) with RUSLE. Catena 145, 246-256.

17. Patriche, C.V. Capatana V. and Stoica, D.L. 2006. Aspects regarding soil erosion spatial modeling using the USLE/RUSLE within GIS, Geographia Technica, 88 No. 2

18. Reazifar, M. Talvori, A. and Arabkhedri, M. 2001. Evaluation of individual events MUSLE in estimating sediment of watershed in Latiyan Dam. National Conference for Land Management, Soil Erosion and Sustainable Development, Arak, pp. 534-542. (In Persian)

19. Renard, K.G. Foster, G.R. Weesies, G.A. McCool, D.K. and Yoder, D.C. 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Agriculture Handbook No. 703, USDA, Washington, DC, USA. 404 p.

20. Sadeghi, S.H.R. Singh, J.K. and Das, G. 2003. Storm-wise sediment yield prediction using applicable models in Iran. J. Agric. Sci. and Natur. Resour. Of Khazar 1(3), 83-94.(In Persian)

21. Sadeghi, S.H.R. Singh, J.K. and Das, G. 2004. Efficacy of annual soil erosion models for storm-wise sediment prediction, Iran. Intl. Agric. Eng. J. 13(1), 1-14.

22. Shi, Z.H. Cai, C.F. Ding, S.W. Wang, T.W. and Chow, T.L. 2004. Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: a case study in the Three Gorge Area of China. Catena 55, 33-48.

23. Soil Studies in Tahamchai watershed. 2005. Agriculture Organization of Zanjan province. 2005. 4-51p.(In Persian)

24. Terranova, O. Antronico, L. Coscarelli, R. and Laquinta, P. 2009. Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: An application model for Calabria (southern Italy). Geomorphology 112, 228–245.

25. Torri D. Sfalanga M. and Chisci G. 1987. Threshold conditions for incipient rilling. Catena 8, 97-105.

26. Vaezi, A.R. and Sadeghi, S.H.R. 2011. Evaluating the RUSLE model and developing an empirical equation for estimating soil ertodibility factor in a semi-arid region. Spanish J. Agri. Res. 9(3), 912-923.

27. Van der Knijff, M. Jones, R.J.A. and Montanarella, L. 1999. Soil erosion risk in Italy. EUR19022.EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 54p.

28. Vrieling, A. de Jong, S.M. Sterk, G. and Rodrigues, S.C. 2008. Timing of erosion and satellite data: a multi-resolution approach to soil erosion risk mapping. Intern. J. of Applied Earth Observation. Geoinf. 10, 267–281.

29. Vrieling, A. Sterk, G. and Beaulieu, N. 2002. Erosion risk mapping: a methodological case study in the Colombian Eastern Plains. J. of Soil and Water Conserv. 57(3), 158-163.

30. Wang, G. Gertner, G. Fang, S. and Anderson, A.B. 2003. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. Photogrammetric Engi. Remote Sens. 69, 889–898.

31. Whishmeier, W.H. and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses- a guide to soil conservation planning. U.S Department of Agriculture, Agriculture handbook NO.537.

32. Williams, J.R. and Berndt, H.D. 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Trans. ASAE. 20(6). 1100-1104.

33. Zhang, H. Yang, Q. Li, R. Liu, Q. Moore, D. He, P. Ritsema, C.J. and Geissen, V. 2013. Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor. Comput. Geosci. 52, 177-188.

نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران

Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 11, No. 38, Fall 2017

سال یازدهم- شماره ۳۸- پاییز ۱۳۹۶

Abstract

Assessment of the RUSLE Model Integrated with RS and GIS in Semi-Arid Small Drainage Areas, NW Iran

A.R. Vaezi[1], M. Abbasi[2] and Kh. Hajimaleki[3]

Received: 2015/06/07 Accepted: 2017/05/07

Estimates of soil loss are important to issues of land and water management. Much of the soil loss information in erosion control is based on the use of the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). This study assessed use of RUSLE as a soil loss predictor on small drainage areas using sediment data. Toward this, twenty drainage areas covering the first order waterways were selected in the semi-arid Tahamchai Watershed, NW Zanjan, Iran. Sediment yield was measured using sediment volume deposited behind the check dam at the outlet of each drainage area for a 16-year study period (1995-2011). Soil erosion factors including rainfall erosivity, soil erodibility, slope, vegetation cover and conservation practices were determined for each drainage area. Soil loss was estimated using the RUSLE model integrated with RS and GIS techniques based on the maps of rainfall erosivity, soil erodibility, slope, cover crop, and conservation practices factors. Based on the results, mean annual estimated soil loss was 43.68 Mg ha-1 year-1 which was 6.58 times bigger than the mean annual sediment yield (8.67 Mg.ha-1.year-1) in the area. The model efficiency was -6.83, indicating the inability of the model to correctly predict net soil loss in the small drainage areas. The estimation error was directly related to overestimation of soil erosion factors in the area. It seems soil erodibility, slope and conservation factors to have the exaggerated estimates in the area on one hand, and some other variables such as slope shape and waterway characteristics to be also effective in controlling the soil loss in the area on the other hand. This study is an important step forward in conducting more accurate erosion evaluation of the drainage areas using the RUSLE.

Keywords: Conservation practices factor, Model efficiency, Slope factor, Soil loss

1- Associate Professor, Soil Science Department, Agriculture Faculty, University of Zanjan, Iran, Corresponding Author E-mail: vaezi.ali-reza@gmail.com
2- Ph.D. Student, Soil Science Department, Agriculture Faculty, University of Zanjan, Iran
3- Ph.D. Student, Soil Science Department, Agriculture Faculty, University of Zanjan, Iran