



دانشگاه گوارن و منابع طبیعی

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد هفدهم، شماره دوم، ۱۳۸۹

www.gau.ac.ir/journals

بررسی کاربرد GIS و RS برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل RUSLE (مطالعه موردی: حوضه بالادست سد ایلام)

* صالح آرخی^۱ و یعقوب نیازی^۲

^۱ استادیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه ایلام، ^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه یزد

تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۳/۱۶

چکیده

فرسایش خاک و تولید بار رسوب امروزه به یکی از معضلات مهم زیست‌محیطی بشر تبدیل شده است. بنابراین مدیریت خاک به‌منظور بهره‌برداری مطلوب و کاهش تخریب آن ضروری می‌باشد. پهنه‌بندی شدت فرسایش و تولید رسوب و اولویت‌بندی مناطق از این دیدگاه گامی مؤثر برای سازمان‌دهی حفاظت و بهره‌برداری از خاک است. در مطالعه حاضر، هدف پیش‌بینی پتانسیل هدررفت سالیانه خاک و بار رسوب می‌باشد. برای پیش‌بینی موارد یادشده، معادله تجدیدنظر شده جهانی هدررفت خاک در چارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌کار رفته است. فاکتورهای RUSLE شامل R ، K ، LS ، C و P می‌باشند که به‌ترتیب از داده‌های بارندگی، نقشه خاک منطقه، مدل رقومی ارتفاع و تکنیک‌های سنجش از دور محاسبه شده‌اند. مقادیر متوسط فاکتورهای R ، K ، LS ، C و P به‌ترتیب برابر با $261/29 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ، $1 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ، $0/15$ ، $1/97$ و $0/5$ بودند. میانگین بار رسوب سالیانه درحوضه مورد مطالعه $14/75$ تن در هکتار در سال برآورد شد که نزدیک به مقدار به‌دست آمده از ایستگاه رسوب‌سنجی سد ایلام ($16/58$ تن در هکتار در سال) بود. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد، فاکتور LS با ضریب همبستگی $0/77$ بیش‌ترین تأثیر را در برآورد فرسایش سالانه خاک توسط مدل RUSLE داشته است. این پژوهش، مؤثر بودن RS و GIS را جهت تخمین کمی مقادیر فرسایش خاک، بار رسوب و همچنین مدیریت فرسایش اثبات نمود.

واژه‌های کلیدی: فرسایش خاک، مدل RUSLE، سنجش از دور، GIS، استان ایلام

* مسئول مکاتبه: saleh148@yahoo.com

مقدمه

فرسایش و پیامدهای ناشی از آن، با تشدید بهره‌برداری انسان از طبیعت از اوایل قرن بیستم، اثرات منفی خود را بر اکوسیستم حیاتی وارد ساخته است. اثرات منفی ناشی از دخالت بشر یا فرسایش تشدید، نه تنها در محل وقوع خود، در حوضه‌ها و اراضی زراعی به صورت کاهش توان تولیدی و تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بروز می‌نماید، بلکه در محل خارج از وقوع آن به صورت انباشت بر روی اراضی مرغوب کشاورزی، مراتع، منابع ذخیره آب و کانال‌های آبیاری و همچنین ایجاد آلودگی توسط رسوبات و فلزات سنگین و مواد شیمیایی همراه آن، امروزه بیش از هر زمان دیگری مشهود است (لای و همکاران، ۱۹۹۸). بررسی مقالات علمی نشان می‌دهد، حدود ۵۸ درصد از تخریب اراضی در جهان به علت فرسایش خاک بوده که بیش‌تر این تخریب، از زمان جنگ جهانی دوم رخ داده است و باعث کاهش ۱۷ درصدی تولید محصول و آسیب زیست‌محیطی شده است (بروس و همکاران، ۱۹۹۵). بنابراین، جلوگیری از این پدیده، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل جهت حفاظت از منابع طبیعی به‌شمار می‌رود (مورگان، ۱۹۹۵). حوضه آب‌خیز سد ایلام نیز یکی از مناطقی است که متحمل فرسایش فزاینده خاک می‌باشد و بررسی فرسایش و بار رسوب در آن به‌عنوان یکی از منابع تامین آب شرب شهر ایلام از اهمیت بالایی برخوردار است. مدل‌های زیادی جهت برآورد فرسایش خاک و توسعه طرح‌های مدیریتی فرسایش خاک ارائه شده که از مهم‌ترین این مدل‌ها، می‌توان به معادله‌های جهانی فرسایش خاک^۱ (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸)، پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی^۲ (فلنگان و نیرینگ، ۱۹۹۵)، ابزار ارزیابی خاک و آب^۳ (آرنولد و همکاران، ۱۹۹۸) و مدل اروپایی فرسایش خاک^۴ (مورگان و همکاران، ۱۹۹۸) اشاره نمود. در طی ۴۰ سال اخیر، مدل USLE به سبب داشتن محاسبات ساده، پرکاربردترین روش تخمین پتانسیل فرسایش خاک و برآورد تأثیرات عملیات‌های مدیریتی مختلف بر آن بوده است (کیئل، ۲۰۰۰) و به دنبال آن، نسخه جدید مدل USLE با نام معادله تجدیدنظر شده جهانی هدررفت خاک (RUSLE)^۵ توسعه‌یافته که برآوردهای دقیق‌تری از فاکتورهای P، C، K، R و فرسایش خاک انجام می‌دهد (رنارد و همکاران، ۱۹۹۱)؛

1. Universal Soil Loss Equation (USLE)
2. Water Erosion Prediction Project (WEPP)
3. Soil and Water Assessment Tool (SWAT)
4. European Soil Erosion Model (EUROSEM)
5. Revised Universal Soil Loss Equation

ونرمورتل و همکاران، ۲۰۰۴). به سبب این که سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۱ و سنجش از دور (RS)^۲، امکان تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی را فراهم می‌آورند، مدل‌های RUSLE/USLE، با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) تلفیق شده‌اند (اویانگ و بارتولیک، ۲۰۰۱؛ لوفافا و همکاران، ۲۰۰۳). یکی دیگر از مزایای استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS، امکان برآورد فرسایش خاک و توزیع مکانی فرسایش، با هزینه و دقت قابل قبول در مناطق وسیع می‌باشد (میلوارد و مرسی، ۱۹۹۹؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۳). برای مثال، از طریق تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و این مدل، می‌توان پتانسیل فرسایش خاک را به صورت شبکه‌ای (توزیعی) برآورد نمود (میلوارد و مرسی، ۱۹۹۹). بوگس و همکاران (۲۰۰۱)، خطر فرسایش خاک را براساس مدل تجدیدنظر شده RUSLE و با استفاده از داده‌های مدل رقومی ارتفاع (DEM)^۳ و نقشه واحدهای زمین برآورد نمودند. بارتش و همکاران (۲۰۰۲)، برای محاسبه فاکتورهای مورد نیاز RUSLE جهت تعیین خطر فرسایش خاک کمپ ویلیامز، از تکنیک‌های GIS استفاده کردند. ویلسون و لورانگ (۲۰۰۰)، کاربردهای GIS را جهت برآورد فرسایش خاک و محدودیت‌های مطالعات قبلی بررسی کرده و در نهایت ثابت نمودند که سیستم اطلاعات جغرافیایی قابلیت فوق‌العاده‌ای جهت بهبود و برآورد فرسایش خاک فراهم می‌نماید. وانگ و همکاران (۲۰۰۳)، از داده‌های زمینی، تصاویر لندست (TM) و DEM جهت پیش‌بینی فرسایش خاک از طریق روش‌های زمین آماری اقدام کردند. این محققان نشان دادند، روش‌هایی از این نوع به‌طور قابل ملاحظه‌ای نتایج بهتری نسبت به روش‌های سنتی دارند. در عین حال، این مطالعات با استفاده از معادلات RUSLE /USLE، نسبت رسوب‌دهی را جهت برآورد مقدار رسوب در خروجی حوضه به حساب نیاورده‌اند. بنابراین، یک نسخه تلفیقی از مدل RUSLE و GIS به نام ابزار ارزیابی رسوب، برای کنترل مؤثر فرسایش^۴، جهت فراهم کردن استفاده آسان از GIS، به منظور برآورد فرسایش خاک و بار رسوب توسعه یافته است (لیم و همکاران، ۲۰۰۳). با استفاده از سیستم SATEEC می‌توان فرسایش خاک و بار رسوب را در هر نقطه‌ای در سطح پیکسل در داخل حوضه آب‌خیز برآورد نمود.

1. Geographic Information System
2. Remote Sensing
3. Digital Elevation Model
4. Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control (SATEEC)

در خصوص مطالعات و پژوهش‌های انجام شده در حوضه سد ایلام می‌توان به پایان‌نامه کارشناسی ارشد اعظمی (۲۰۰۱) تحت عنوان تعیین روش مناسب برآورد بار معلق رسوبی در حوضه سد ایلام، تخمین فرسایش و رسوب با استفاده از روش‌های کیفی ژئومورفولوژیکی (واحدهای کاری) و EPM و مقایسه آن با آمار خروجی رسوب در حوضه سد ایلام شهبازی (۱۹۹۹)، و مقاله عسگری و جعفری (۲۰۰۸) تحت عنوان برآورد فرسایش و رسوب حوضه سد ایلام با استفاده از مدل MPSIAC اشاره کرد.

نتایج پژوهش‌ها نشان داده که، کل فرسایش خاک در یک منطقه با مقدار بار رسوب در همان منطقه یکسان نمی‌باشد. به‌منظور تشریح امکان رسوب مواد فرسایش‌یافته و حرکت آن‌ها در شبکه کانال و در نهایت در خروجی حوضه، پراکنش مکانی نسبت تحویل رسوب در سیستم SATEEC محاسبه می‌گردد. در این مطالعه، ۳ روش براساس مساحت (USDA، ۱۹۷۵؛ بویس، ۱۹۷۵؛ وانونی، ۱۹۷۵) در سیستم SATEEC، و به‌منظور محاسبه نقشه نسبت تحویل رسوب، مورد استفاده قرار گرفتند. داده‌های ورودی سیستم SATEEC، نقشه‌های C، DEM، R، k و P بودند که شامل نقشه‌های ورودی پایه برای مدل RUSLE می‌باشند. بنابراین، یکی از مزیت‌های استفاده از سیستم SATEEC این است که داده اضافی دیگری به جزء داده‌های RUSLE، برای محاسبه نسبت تحویل رسوب و بار رسوب در سیستم SATEEC مورد نیاز نمی‌باشد. معادله‌های مربوط به این ۳ روش به شرح زیر است:

۱- مدل وانونی (ارایه شده در سال ۱۹۷۵) به شرح رابطه ۱

$$SDR = 0.4724A^{-0.125} \quad (1)$$

که، A: مساحت حوضه (کیلومتر مربع).

۲- مدل ارایه شده توسط USDA در سال ۱۹۷۵ به شرح رابطه ۲

$$SDR = 0.5656A^{-0.11} \quad (2)$$

که، A: مساحت حوضه (کیلومتر مربع).

۳- مدل بویس (۱۹۷۵) که به شرح رابطه ۳ است.

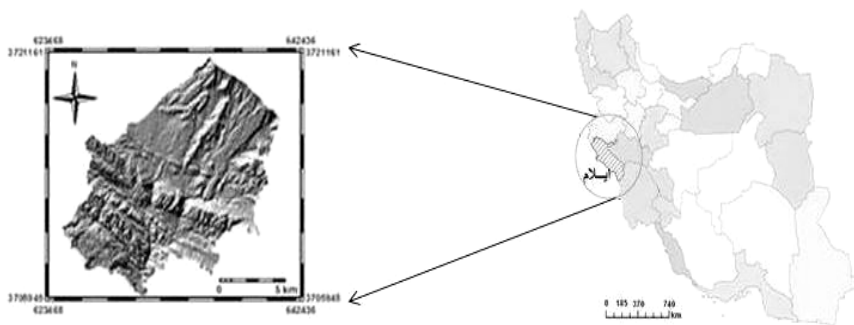
$$SDR = 0.3750A^{-0.2382} \quad (3)$$

که، A: مساحت حوضه (کیلومتر مربع).

بنابراین، هدف این پژوهش مدل‌سازی میزان فرسایش خاک و بار رسوب حوضه سد ایلام (بالادست) از طریق تلفیق مدل RUSLE، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) و همچنین شناسایی مناطق حساس به فرسایش جهت اجرای عملیات حفاظتی آب و خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، یک حوضه کوهستانی به نام حوضه سد ایلام (حوضه بالادست سد ایلام)، واقع در جنوب شرقی استان ایلام است. مساحت این حوضه ۱۳۹۶۶ هکتار می‌باشد که از لحاظ موقعیت جغرافیایی، بین طول‌های شمالی ۳۳ درجه، ۲۹ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۳۳ درجه، ۳۷ دقیقه و ۲۲ ثانیه و عرض‌های شرقی ۴۶ درجه، ۱۹ دقیقه و ۴۵ ثانیه تا ۴۶ درجه، ۳۲ دقیقه و صفر ثانیه واقع شده است (شکل ۱). نقاط ارتفاعی منطقه حداکثر ۲۱۶۰ متر و حداقل ۸۰۰ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد. از لحاظ شرایط اقلیمی، این منطقه جزو مناطق نیمه‌خشک (اقلیم مدیترانه‌ای) با متوسط بارندگی ۵۹۲/۷۸ میلی‌متر در سال است که حداقل آن مربوط به مردادماه (۰/۰۷ میلی‌متر) و حداکثر آن مربوط به اسفندماه (۱۱۸/۶۳ میلی‌متر) می‌باشد. میانگین دمای سالیانه هوا ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد که حداکثر مطلق آن ۳۶ درجه سانتی‌گراد (در مردادماه) و حداقل مطلق آن ۴/۶- درجه سانتی‌گراد (در بهمن‌ماه) است (شرکت نپتا، ۲۰۰۱). با توجه به نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران، رژیم رطوبتی خاک‌های منطقه از نوع رژیم رطوبتی اریدیک (Aridic)^۱ می‌باشد. در ضمن، رژیم حرارتی خاک‌های منطقه از نوع رژیم حرارتی مزیک (Mesic)^۲ است (شرکت نپتا، ۲۰۰۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.

1. Aridic
2. Mesic

مواد: مطالعات اولیه شامل تفسیر نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه قابلیت اراضی ۱:۸۰۰۰۰، مطالعه آمار بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی، بررسی گزارش مطالعه تفصیلی حوضه آب‌خیز سد ایلام، تصویر ماهواره‌ای ETM⁺ سال ۲۰۰۱ و نرم‌افزارهای Arcview^{۳/۲}، ArcGIS^{۹/۲} و ILWIS^{۳/۳} می‌باشد. روش تحقیق: در این مطالعه، مدل فرسایش خاک RUSLE و سیستم SATEEC مورد استفاده قرار گرفتند. معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) و نسخه تجدیدنظر شده آن، جهت پیش‌بینی فرسایش خاک و طراحی برنامه‌های حفاظتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (رنارد و همکاران، ۱۹۹۱؛ صادقی و همکاران، ۲۰۰۴). مدل RUSLE، یک مدل برآورد فرسایش آبی است که با ۶ فاکتور فرسایشی زیر رابطه دارد (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸):

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (۴)$$

در این رابطه، A : میانگین فرسایش خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال)، R : فاکتور فرسایشی باران $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ y^{-1}$ ، K : فاکتور فرسایش‌پذیری خاک $Mg\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ ، L : فاکتور طول شیب، S : فاکتور درجه شیب، C : فاکتور عملیات مدیریتی و پوشش و در نهایت P : فاکتور عملیات حفاظتی می‌باشد. مقادیر L ، S ، C و P بدون واحد می‌باشند. در این پژوهش، روش بررسی کلی شامل استفاده از مدل RUSLE در محیط GIS است. پاراگراف‌های بعدی نیز درباره نحوه برآورد فاکتورهای R ، K ، C ، P و L که به ترتیب از داده‌های بارش، نقشه‌های خاک، پردازش تصاویر ماهواره‌ای (فاکتورهای C و P) و مدل رقومی ارتفاعی به‌دست می‌آیند، توضیح می‌دهد.

فاکتور فرسایشی باران (R): فرسایشی باران به‌صورت قدرت تراکمی باران در بروز فرسایش تعریف می‌شود (لال، ۱۹۹۰). معمول‌ترین شاخص فرسایشی باران، فاکتور R مربوط به مدل‌های USLE و RUSLE می‌باشد. بررسی مقالات علمی نشان می‌دهد، در بسیاری از نقاط دنیا، فاکتور R همبستگی بالایی با فرسایش خاک دارد (فرو و همکاران، ۱۹۹۱؛ رنارد و فریموند، ۱۹۹۴؛ ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸؛ یو و روزول، ۱۹۹۶). فاکتور R برای دوره‌های مختلف، از حاصل‌ضرب انرژی جنبشی باران (E) در حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای (I_{30}) به‌دست می‌آید. از آنجایی که نمودار بارندگی و داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) به‌ندرت در ایستگاه‌های هواشناسی موجود می‌باشند، اغلب از مقادیر متوسط بارندگی ماهیانه و سالیانه، جهت برآورد فاکتور R در مدل‌های USLE و RUSLE استفاده می‌شود (رنارد و فریموند، ۱۹۹۴؛ یو و روزول، ۱۹۹۶؛ فرو و همکاران، ۱۹۹۱). برای محاسبه فاکتور R ، بعد از تعیین ایستگاه‌های شاخص در منطقه مورد مطالعه، بارندگی ماهیانه و سالیانه در این ایستگاه‌ها و در دوره زمانی مورد مطالعه بازسازی گردید (براساس اطلاعات

ایستگاه ایلام که کامل‌ترین و بیش‌ترین آمار را داشته است). لازم به یاد است که ایستگاه ایلام در داخل حوضه مطالعاتی واقع شده است (شکل ۲). موقعیت ۱۸ ایستگاه مورد استفاده واقع شده در این مطالعه را نشان می‌دهد. در مرحله بعد با استفاده از معادله زیر، شاخص فورنیر و فاکتور R برای تمام ایستگاه‌ها به دست آمد. رابطه شاخص فورنیر، F، به صورت زیر است (رنارد و فریموند، ۱۹۹۴):

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{\sum_{i=1}^{12} p} \quad (5)$$

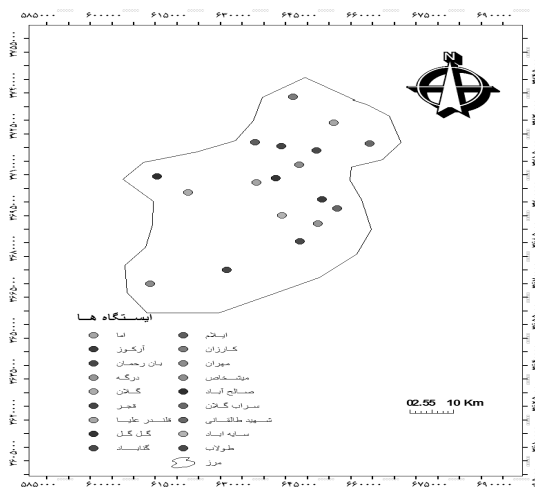
در این رابطه، p_i : متوسط بارندگی (میلی‌متر) در ماه i و p متوسط بارندگی سالیانه (میلی‌متر) است. در این مطالعه، با استفاده از معادله (۵)، شاخص فورنیر برای تمامی ایستگاه‌ها، محاسبه گردید و سپس با جای‌گذاری شاخص فورنیر (رابطه ۵) در روابط زیر که توسط رنارد و فریموند (۱۹۹۴) برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) پیشنهاد شده، مقدار فاکتور R برای ایستگاه‌های شاخص برآورد شد.

$$R - \text{factor} = (0.07397 \times F^{1/84V}) / 17 / 2 \quad (6)$$

$F < 55 \text{ mm}$ اگر

$$R - \text{factor} = (95 / 77 - 6 / 0.81 \times F + 0.4770 \times F^2) / 17 / 2 \quad (7)$$

$F \geq 55 \text{ mm}$ اگر



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی.

فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K): فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K)، سرعت فرسایش‌پذیری خاک به‌ازای واحد شاخص فرسایش باران است که در پلات استاندارد اندازه‌گیری می‌شود و اغلب با استفاده از خصوصیات خاک تعیین می‌گردد (پاریسو و همکاران، ۲۰۰۳). اگرچه فاکتور K با بافت، میزان ماده آلی، نفوذپذیری ساختمان خاک رابطه دارد، اما با نوع تیپ خاک همبستگی بالایی دارد (ویشمایر، ۱۹۷۱). فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در مدل RUSLE از طریق نمودار تعیین می‌شود (ویشمایر، ۱۹۷۱). در برخی خاک‌ها از رابطه جبری زیر استفاده نمودند (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸):

$$K = 2/73 \times 10^{-6} m^{1/4} (12-a) + 3/25 \times 10^{-3} (b-2) + 2/5 \times 10^{-3} (c-3) \quad (8)$$

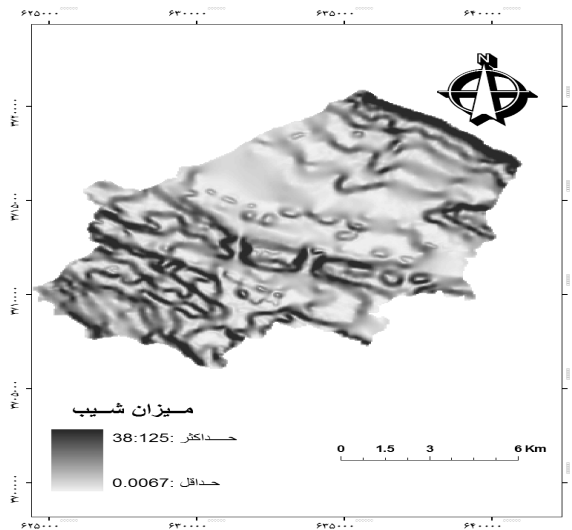
در این معادله، M: قطر ذره (درصدسیلت + درصد شن خیلی ریز) × (درصد رس - ۱۰۰)، درصد ماده آلی، b: کد ساختمان خاک و c: کلاس نفوذپذیری پروفیل خاک می‌باشند. در این مطالعه، تمام عوامل اشاره شده در بالا از گزارش تفصیلی حوضه آب‌خیز سد ایلام استخراج و نقشه فاکتور K در محیط GIS تهیه شد.

فاکتورهای طول شیب (L) و درجه شیب (S): فاکتورهای L و S در مدل RUSLE، بیانگر تأثیر توپوگرافی بر روی فرسایش خاک می‌باشد. ثابت شده که افزایش در طول شیب و درجه شیب می‌تواند سرعت جریان آب را در سطح زمین افزایش دهد و باعث تشدید فرسایش خاک شود (هان و همکاران، ۱۹۹۴). براساس مطالعات، فرسایش خالص خاک نسبت به تغییرات در درجه شیب در مقابل طول شیب حساس‌تر است (مک‌کول و همکاران، ۱۹۸۷). طول شیب فاصله بین نقطه بالایی آغاز سراسیمی تا نقطه‌ای است که شیب به حداقل خود می‌رسد و در این نقطه رسوبات ته‌نشین می‌شوند (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸). تأثیرات ویژه توپوگرافی روی فرسایش خاک توسط فاکتور LS (بدون واحد) برآورد می‌گردد. برای محاسبه فاکتورهای L و S از فرمول‌های زیر استفاده می‌شود (مور و ویلسون، ۱۹۹۳):

$$L = 1/4 \left[\frac{As}{22/13} \right]^{1/4} \quad (9)$$

$$S = \left[\frac{\text{Sin}\beta}{0/0896} \right]^{1/3} \quad (10)$$

در این معادله، AS: مساحت دامنه بالادست در واحد عرض خطوط توپوگرافی (مترمربع بر متر) و β زاویه شیب بر حسب درجه است. در این مطالعه، نقشه فاکتور LS از نقشه DEM و با استفاده از ماژول توپوکروپ^۱ نرم افزار Arcview ۳/۲ استخراج شد که توسط اشمیت و پیرسون (۲۰۰۳) و براساس کار مور و ویلسون (۱۹۹۳) توسعه یافته است. در ضمن، در این مطالعه، نقشه شیب با استفاده از تحلیل گر GIS و در محیط Arcview از روی مدل رقومی ارتفاع ساخته شده برای حوضه تهیه گردید. براساس نقشه شیب حوضه، حد شیب‌های حوضه بین ۰ الی ۳۸/۱۲ درصد می‌باشد و شیب متوسط حوضه ۱۹/۰۶ درصد است (شکل ۳).



شکل ۳- نقشه شیب حوضه.

فاکتور مدیریت پوشش (C): فاکتور مدیریت پوشش گیاهی (C) نشان‌دهنده تأثیر کاشت در مدیریت کشاورزی و اثر پوشش‌های درختی، درختچه‌ای، علفی و زمینی بر کاهش فرسایش خاک می‌باشد. با افزایش پوشش گیاهی، فرسایش خاک کاهش می‌یابد. بنکویی و همکاران (۱۹۹۴) و بیسمن و همکاران (۲۰۰۰) گزارش نمودند، فاکتور پوشش گیاهی به همراه درجه شیب و طول شیب در فرسایش خاک و تولید رسوب حساسیت بیش‌تری دارند. در مدل RUSLE، فاکتور پوشش گیاهی

1. Topocrop

(C)، معمولاً براساس معادلات تجربی تعیین می‌گردد (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸). اما پرکاربردترین معیار رویش پوشش گیاهی، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده^۱ است که با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور به دست می‌آید. برای تصویر لندست این شاخص به صورت زیر به دست می‌آید:

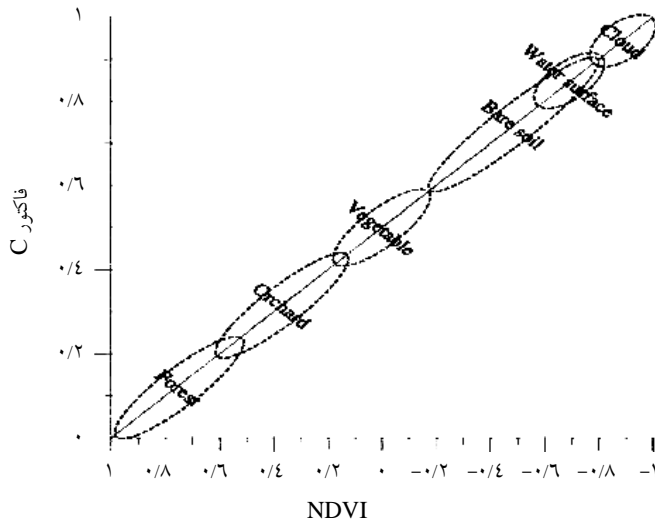
$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R} \quad (11)$$

این شاخص معرف انعکاس انرژی خورشیدی از سطح زمین است که انواع شرایط پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. مقادیر NDVI بین -۱ و +۱ در نوسان است. زمانی که پاسخ طیفی اندازه‌گیری شده از سطح زمین برای هر دو باند خیلی مشابه باشد، مقادیر NDVI به صفر نزدیک می‌شود. پوشش گیاهی سالم (دارای فعالیت فتوسنتزی) در بخش طیفی مادون قرمز (IR)^۲ (باند ۴ لندست) در مقایسه با بخش طیفی مرئی قرمز (R)^۳ (باند ۳ لندست) انعکاس بیش‌تری دارد. بنابراین مقادیر NDVI برای پوشش گیاهی سبز مثبت خواهد شد. مناطق با پوشش گیاهی کم یا بدون پوشش گیاهی مانند مناطق شهری و اراضی بایر معمولاً مقادیر NDVI بین +۰/۱ و -۰/۱ را نشان می‌دهند. ابرها و منابع آبی مقادیر منفی یا صفر را نشان می‌دهند. شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) برای محاسبه داده‌های طیفی زمینی استفاده شده و نتایج آن نشان داده که این شاخص، همبستگی بالایی با زیست‌توده^۴ سطح زمین دارد (لین، ۱۹۹۷). بعد از انجام تبدیل خطی معکوس از نمونه‌های تعلیمی، رابطه بین C و NDVI می‌تواند به صورت زیر ایجاد گردد:

$$C = ((1 - NDVI) / 2) \quad (12)$$

در نتیجه مقدار C در هر سلول می‌تواند مورد محاسبه قرار گیرد. از آنجایی که مقادیر فاکتور C، بین صفر و یک می‌باشد، مقدار صفر به پیکسل‌های با مقادیر منفی و عدد یک به پیکسل‌هایی با مقدار بیش‌تر از یک اختصاص خواهد یافت. شکل ۴ رابطه بین مقادیر NDVI و فاکتور C و انواع پوشش زمینی را نشان می‌دهد. در این پژوهش، نقشه فاکتور C براساس NDVI تهیه گردید. در حقیقت این فاکتور به‌طور کامل، رابطه معکوس با NDVI دارد.

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Infrared
3. Red
4. Biomass



شکل ۴- رابطه NDVI با فاکتور C برای انواع پوشش زمین.

فاکتور عملیات حفاظتی (P): کشت و کار در اراضی شیب‌دار نیاز به عملیات حفاظتی جهت حفظ آب و خاک دارد. این عملیات باعث کاهش سرعت هرزآب تا زیر حد آستانه بروز فرسایش می‌شود و به این لحاظ از قدرت فرساینده‌گی آب و ظرفیت حمل آن می‌کاهد. عملیات حفاظتی شامل کشت کتوری، سیستم ترانس‌بندی، آبراهه‌های پوشش‌دار و... می‌باشد. فاکتور P، نسبت خاک فرسایش‌یافته در شرایط انجام عملیات حفاظتی به فرسایش ایجاد شده در شرایط استاندارد یعنی شخم در جهت شیب است (رنارد و همکاران، ۱۹۹۷). در این مطالعه، مقادیر فاکتور P از طریق طبقه‌بندی مجدد هر تیپ پوشش زمین و براساس مقادیر داده شده در جدول‌های ۱ و ۲ تعیین شدند (دور، ۲۰۰۶). با توجه به این‌که در حوضه تحت بررسی هیچ‌گونه عملیات اصلاحی و مدیریتی صورت نگرفته، ارزش P تنها براساس کاربری و پوشش اراضی مختلف تعیین شده است.

جدول ۱- ارزش P برای کاربری و پوشش اراضی مختلف (دور، ۲۰۰۶).

ارزش عددی P	کلاس کاربری/ پوشش اراضی
۱	اراضی بایر
۰/۱۲	نیشکر
۰/۱	گندم
۰/۸	جنگل تنک
۱	اراضی آیش
۰/۸	جنگل با تراکم متوسط
۰/۸	جنگل باز
۱	بستر رودخانه

جدول ۲- ارزش P برای عملیات حفاظتی مختلف (دور، ۲۰۰۶).

شیب (درصد)	ارزش عددی P		
	کشت روی خطوط تراز	کشت نواری	تراس بندی
۰-۱	۰/۸	-	-
۱-۲	۰/۶	۰/۳	-
۲-۷	۰/۵	۰/۲۵	۰/۱
۷-۱۲	۰/۶	۰/۳	۰/۱۲
۱۲-۱۸	۰/۸	۰/۴	۰/۱۶
۱	۰/۱۶	۰/۴۵	۰/۹

نتایج

شاخص‌های فورنیر و مقادیر فرساینده‌گی باران با استفاده از معادله‌های ۵، ۶ و ۷ برای ۱۸ ایستگاه در طی دوره آماری ۲۲ ساله محاسبه شد. مقادیر محاسبه شده شاخص فورنیر و فاکتور R در جدول ۳، نشان داده شده است. ابتدا براساس رابطه بین ارتفاع و بارش (شکل ۵) و سپس براساس رابطه بارش و فاکتور R (شکل ۶)، به ترتیب نقشه متوسط بارش سالانه و نقشه فاکتور R حوضه سد ایلام در محیط نرم‌افزار ILWIS۳/۳ به دست آمد (شکل‌های ۷ و ۸). مقدار متوسط فاکتور R، از ۱۸۲ تا ۳۵۵/۳۱۱ ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ y^{-1}$) متغیر بوده و مقدار متوسط و انحراف آن به ترتیب

$(MJmmha^{-1}h^{-1}y^{-1})$ ۲۳/۶۴ و ۲۶۱/۲۹ می‌باشد. فرساینده‌گی باران در شمال شرقی و جنوب غربی حوضه مورد مطالعه که ارتفاع بالاتری داشتند، بیش‌تر بود که با رنگ تیره‌تر نشان داده شده است. به عبارت دیگر، کاهش فاکتور R، رابطه نزدیکی با کاهش ارتفاع و باران از شمال غرب و جنوب غرب به مرکز حوضه داشت.

مقادیر فاکتور k برای انواع مختلف خاک و واحدهای قابلیت اراضی در جدول ۴ آمده است. متوسط مقدار k در منطقه مورد مطالعه از ۰/۰۸ تا ۰/۳۴ متغیر بوده و مقدار متوسط و انحراف معیار آن به ترتیب $0.15 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ و ۰/۰۵ می‌باشد. شکل ۹ توزیع مکانی فرسایش‌پذیری خاک را نشان می‌دهد.

نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه به منظور ایجاد نقشه طول شیب و درجه شیب (LS) مورد استفاده قرار گرفت. فاکتور LS به وسیله معادله‌های ۹ و ۱۰ و با استفاده از نقشه DEM حوضه و با در نظر گرفتن کنش متقابل بین توپوگرافی و تجمع جریان آب محاسبه شد (شکل ۱۰). همان‌طور که از شکل ۱۰ برمی‌آید مقدار فاکتور LS در منطقه مورد مطالعه از صفر تا ۱۹۸ در سطح پیکسل متغیر بوده و مقدار متوسط آن ۱/۹۷ می‌باشد. مقادیر LS در بعضی مناطق با شیب‌های تند، مانند امتداد رودخانه‌ها بیش‌تر است.

نقشه فاکتور C براساس NDVI تهیه گردید (شکل ۱۱). در حقیقت این فاکتور به‌طور کامل، رابطه معکوس با NDVI دارد. مقدار فاکتور C بین ۰/۱۲ تا ۰/۹۵ متغیر بوده و متوسط آن ۰/۵۰ می‌باشد. نقشه فاکتور C نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار این پارامتر در مناطق بدون پوشش گیاهی است و کم‌ترین مقدار آن در مناطقی است که پوشش متراکم وجود دارد که با رنگ روشن‌تر مشخص است.

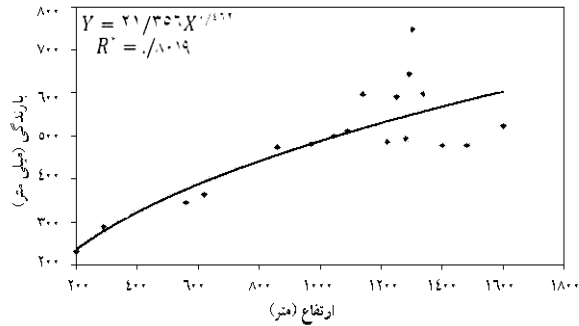
شکل ۱۲ نقشه فاکتور P را نشان می‌دهد که از طریق طبقه‌بندی مجدد هر تیپ پوشش زمین / کاربری زمین و با استفاده از مقادیر داده شده در جدول‌های مربوطه ایجاد شده است. مقادیر فاکتور P بین ۰/۸ تا ۱ بوده و مقدار متوسط آن ۰/۹ می‌باشد. آمار مربوط به فاکتورهای R، K، LS، C و P در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۳- محاسبه و برآورد F و R برای ایستگاه‌های بارندگی.

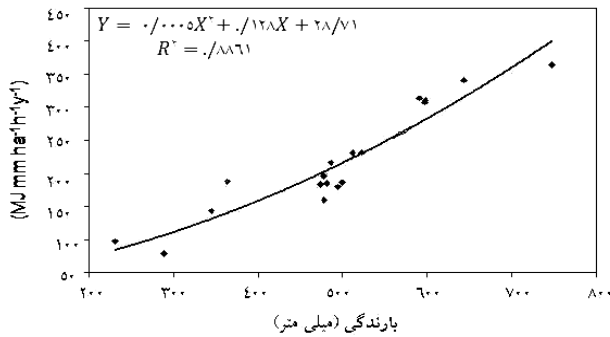
نام ایستگاه	طول جغرافیایی (UTM)	عرض جغرافیایی (UTM)	ارتفاع (متر)	بارندگی (میلی‌متر)	F	R (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ y ⁻¹)
ارکواز	۶۴۸۴۷۸	۳۶۹۵۸۱۹	۱۲۹۰	۶۴۳/۵۰	۱۱۶/۵۴	۳۴۱/۰۲
صالح‌آباد	۶۱۰۴۰۸	۳۷۰۴۱۲۹	۶۲۰	۳۶۳/۷۰	۸۷/۶۳	۱۸۷/۵۵
سراب‌کلان	۶۵۹۳۷۹	۳۷۱۶۲۷۰	۹۷۰	۴۸۱	۸۷/۱۷	۱۸۵/۴۶
شهید طالقانی	۶۵۱۹۰۰	۳۶۹۲۵۸۰	۱۴۰۰	۴۷۷/۹۰	۸۱/۳۱	۱۶۰/۱۸
طولاب	۶۴۷۰۴۹	۳۷۱۳۸۸۶	۱۶۰۰	۵۲۲/۵۰	۹۶/۸۶	۲۳۱/۵۱
قلندرعلیا	۶۵۱۰۱۰	۳۷۲۳۹۶۶	۱۰۴۵	۴۹۹/۵۰	۸۷/۴۸	۱۸۶/۸۸
میشخصاص	۶۴۲۸۰۴	۳۷۰۸۶۳۶	۱۲۵۰	۵۹۰/۲۰	۱۱۲	۳۱۳/۸۳
کارزان	۶۴۱۸۶۰	۳۷۳۳۶۱۷	۱۲۸۰	۴۹۴	۸۵/۸۶	۱۷۹/۶۳
گناباد	۶۴۳۳۰۷	۳۶۸۰۴۵۹	۸۶۰	۴۷۴	۸۶/۷۴	۱۸۳/۵۵
درگه	۶۴۷۳۴۴	۳۶۸۶۹۶۹	۱۳۰۰	۷۴۷/۴۰	۱۲۰/۲۸	۳۶۴/۲۸
قنجر	۶۳۸۱۷۶۸	۳۷۱۵۵۵۴	۱۴۸۰	۴۷۷/۷۰	۸۹/۵۴	۱۹۶/۲۵
بان‌رحمان	۶۲۶۳۵۵	۳۶۶۹۹۸۱	۲۹۰	۲۸۸/۷۰	۵۸/۱۸	۷۸/۸۶
سیاه‌آب	۶۳۹۰۹۰	۳۶۸۹۹۸۴	۱۲۲۰	۴۸۶	۹۳/۷۲	۲۱۶/۰۴
گل‌گل	۶۳۷۷۳۶	۳۷۰۳۸۲۶	۱۱۴۰	۵۹۷	۱۱۰/۹۰	۳۰۷/۴۴
گلان	۶۱۷۴۷۱	۳۶۹۸۵۱۴	۵۶۰	۳۴۴/۷۰	۷۷/۱۱	۱۴۳/۲۰
ایلام	۶۳۳۰۱۳	۳۷۱۶۸۷۹	۱۳۳۷	۵۹۷/۷۰	۱۱۱/۴۴	۳۱۰/۵۵
مهران	۶۰۸۷۱۳	۳۶۶۵۱۰۶	۲۰۰	۲۳۱	۶۴/۳۰	۹۷/۴۸
اما	۶۳۳۲۱۴	۳۷۰۲۰۹۴	۱۰۹۰	۵۱۱/۵۰	۹۶/۷۲	۲۳۰/۸۳

جدول ۴- ارزش فاکتور K برای انواع مختلف خاک و واحدهای قابلیت اراضی حوضه سد ایلام (شرکت نیتا، ۲۰۰۱).

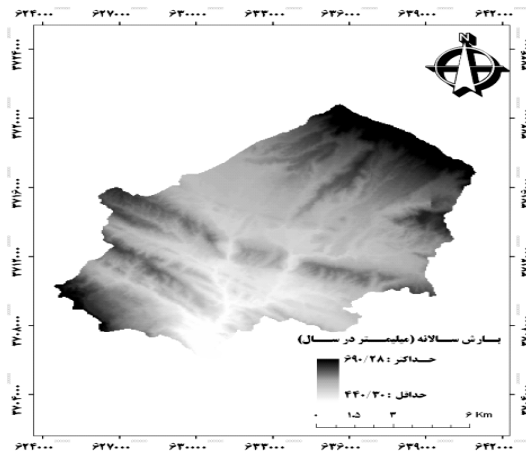
واحد خاک	نوع خاک	واحد قابلیت اراضی	ارزش K (Mg ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹)
		۱.۱.۱	۰/۱۹
		۲.۱.۱	۰/۲۱
		۳.۱.۱	۰/۴۳
		۲.۲.۱	۰/۳۶
۱	Fragmental, mixed, mesic Lithic, Torriorthents	۳.۲.۱	۰/۲۲
		۱.۳.۱	۰/۱۹
		۲.۳.۱	۰/۴۹
		۱.۱.۲	۰/۴۱
		۲.۱.۲	۰/۲۳
		۱.۲.۱	۰/۲۳
۲	Fragmental, mixed, mesic Typic Torriorthents	۳.۳.۱	۰/۱۵
		۲.۲.۲	۰/۲۴
۳	Loamy-Skeletal, mixed, mesic Typic Torriorthents	۱.۲.۲	۰/۱۷
۴	Loamy, carbonatic, mesic Typic Torrifluvents	۱.۱.۵	۰/۲۵
۵	Loamy-Skeletal, carbonatic, mesic Typic Haplocambids	۳.۱.۲	۰/۳۰
		۱.۳.۲	۰/۲۵
۶	Loamy-Skeletal, mixed, mesic Typic Haplocalcids	۳.۲.۲	۰/۱۹
۷	Loamy-Skeletal, carbonatic, mesic Typic Haplocalcids	۴.۱.۲	۰/۲۶
۸	Loamy, mixed, mesic Typic Haplocalcids	۱.۱.۳	۰/۲۶
		۵.۱.۲	۰/۳۵
۹	Fine-Loamy, carbonatic, mesic Typic Haplocalcids	۴.۲.۲	۰/۳۰
		۲.۱.۳	۰/۲۶



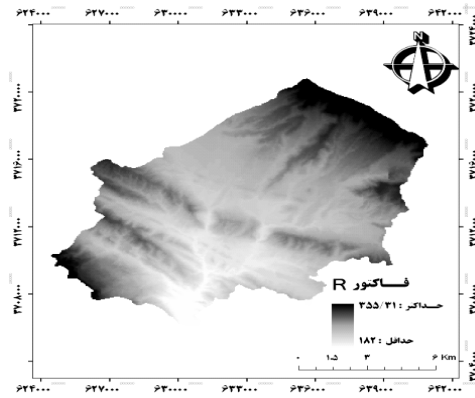
شکل ۵- رابطه بین ارتفاع و بارندگی.



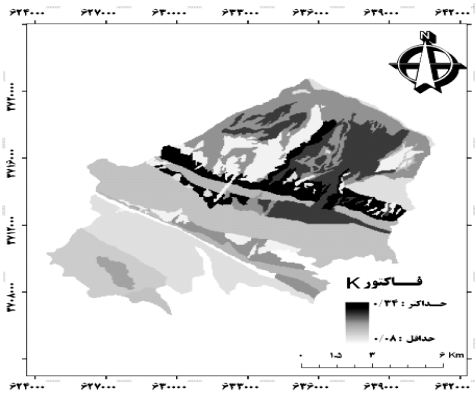
شکل ۶- رابطه بین بارندگی و فاکتور R.



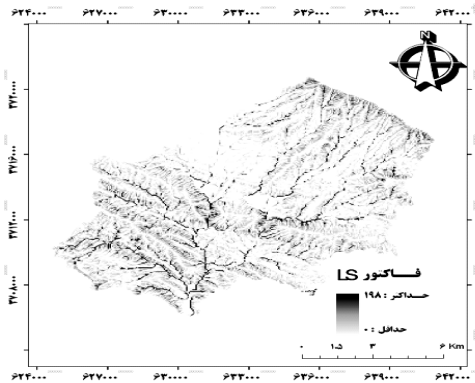
شکل ۷- نقشه متوسط بارش سالانه حوضه سد ایلام.



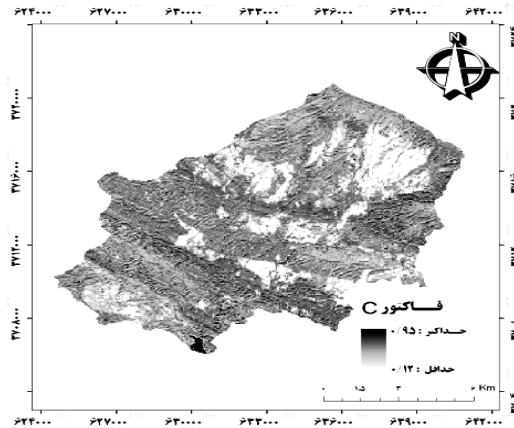
شکل ۸- نقشه فاکتور R حوضه سد ایلام.



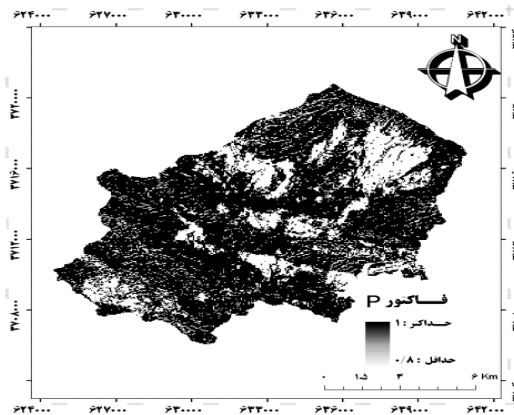
شکل ۹- نقشه فاکتور K حوضه سد ایلام.



شکل ۱۰- نقشه فاکتور LS حوضه سد ایلام.



شکل ۱۱- نقشه فاکتور C حوضه سد ایلام.

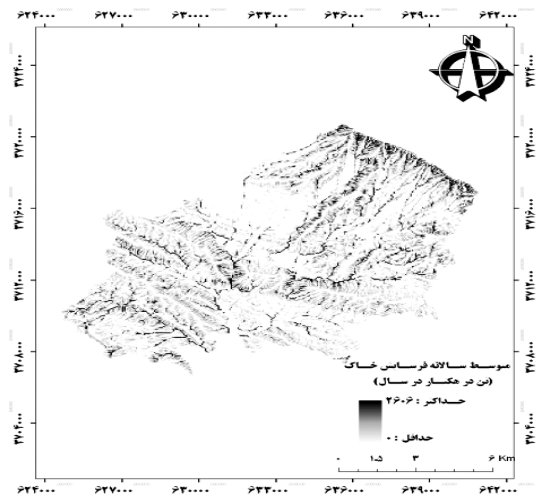


شکل ۱۲- نقشه فاکتور P حوضه سد ایلام.

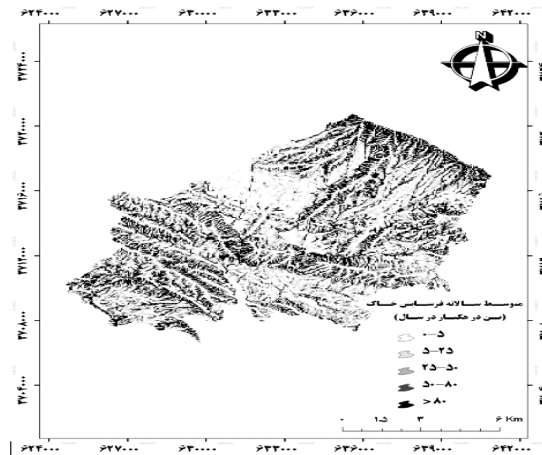
جدول ۵- آمار مربوط به فاکتورهای معادله RUSLE در حوضه سد ایلام.

فاکتور P	فاکتور C	فاکتور LS	فاکتور K	فاکتور R	
۰/۸	۰/۱۲	۰	۰/۰۸	۱۸۲	حداقل
۱	۰/۹۵	۱۹۸	۰/۳۴	۳۵۵/۳۱۱	حداکثر
۰/۹	۰/۵۰	۱/۹۷	۰/۱۵	۲۶۱/۲۹	میانگین
۰/۳۰	۰/۰۸	۵/۵۰	۰/۰۵	۲۳/۶۴	انحراف معیار

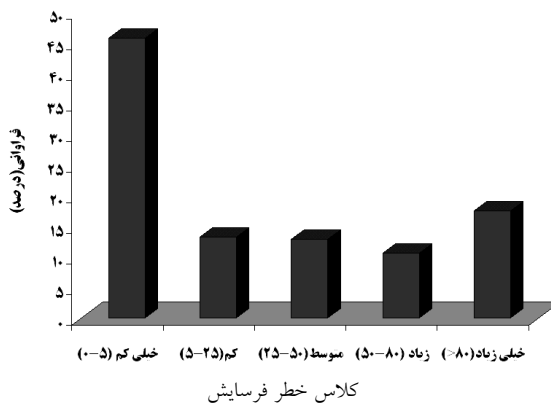
فرسایش سالانه خاک: فرسایش متوسط سالانه خاک از طریق حاصل ضرب فاکتورهای فرسایشی (R)، فاکتور فرسایش پذیری (k)، فاکتور توپوگرافی (LS)، فاکتور مدیریت پوشش گیاهی (C) و فاکتور عملیات حفاظتی (P) و با استفاده از سیستم SATEEC، در محیط نرم‌افزاری Arcview محاسبه شد. نقشه به‌دست آمده از این مدل، در شکل ۱۳ نشان داده شده است. مقادیر فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه بین صفر تا ۲۶۰۶ تن در هکتار در سال در سطح پیکسل متغیر می‌باشد. متوسط و انحراف معیار آن نیز به‌ترتیب برابر با ۴۴/۶۹ و ۹۵/۲۴ تن در هکتار در سال تعیین شد. در مرحله بعد نقشه فرسایش سالانه خاک به ۵ کلاس خطر طبقه‌بندی شده است (شکل ۱۴). فراوانی هر یک از کلاس‌های خطر در شکل ۱۵ نشان داده شده است. بیش‌ترین قسمت حوضه مورد مطالعه، جزء طبقه فرسایشی خیلی کم تا کم (۵۸ درصد) قرار داشت که به‌طور عمده این کلاس‌ها در شمال و جنوب حوضه واقع شده بودند. حدود ۲۷ درصد حوضه نیز تحت خطر فرسایش بالا تا شدید قرار داشت که از این بین، بیش‌ترین مناطق تحت خطر فرسایش بالا تا شدید، در مناطق شمال‌غربی، شمال‌شرقی و جنوب‌غربی حوضه قرار داشتند. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد، فاکتور LS با ضریب همبستگی ۰/۷۷ بیش‌ترین تأثیر را در برآورد فرسایش سالانه خاک توسط مدل RUSLE داشته است (جدول ۶). این در حالی است که همبستگی بسیار پایینی بین سایر فاکتورها و فرسایش سالانه خاک وجود داشت.



شکل ۱۳- نقشه متوسط سالانه فرسایش خاک.



شکل ۱۴- نقشه کلاس‌های فرسایش خاک.



شکل ۱۵- فراوانی کلاس‌های خطر فرسایش.

جدول ۶- همبستگی و روابط رگرسیونی بین هدررفت سالانه خاک و پارامترهای **RUSLE**

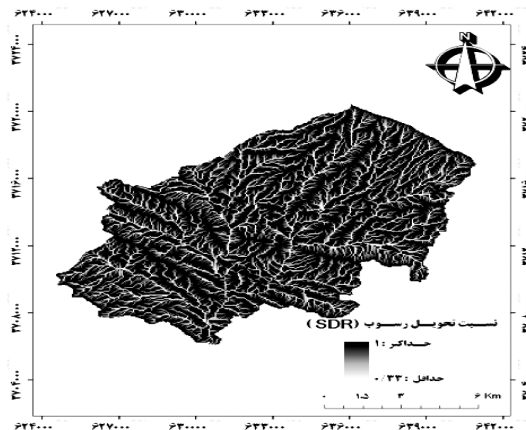
هدررفت سالانه خاک	فاکتورهای RUSLE
$R^2=0/0003$ و $y=0/1066 x+63/329$	R
$R^2=0/0016$ و $y=154/58 x+202/32$	K
$R^2=0/7703$ و $y=16/852 x+60/193$	LS
$R^2=0/0513$ و $y=459/96 x+70/867$	C
$R^2=0/1013$ و $y=1396/2 x+918/75$	P

بار رسوب: در این مطالعه، متوسط مقادیر نسبت تحویل رسوب بین ۰/۱۲ تا ۰/۳۳ و متوسط بار رسوب در خروجی حوضه بین ۵/۳۶ تا ۱۴/۷۵ تن در هکتار در سال متغیر بود (جدول ۷). میزان رسوب مشاهده و محاسبه شده براساس ۱۶ سال آمار ایستگاه هیدرومتری با استفاده از منحنی‌های سنجه (حدوسط دسته‌ها) به‌طور متوسط معادل ۱۶/۵۸ تن در هکتار در سال (اعظمی، ۲۰۰۱) بوده و مقدار رسوب برآورد شده (متوسط رسوب برآورد شده) براساس مدل RUSLE با استفاده از روش نسبت تحویل رسوب USDA معادل ۱۴/۷۵ تن در هکتار در سال می‌باشد. در ضمن مقدار بار رسوبی برآورد شده در این حوضه توسط شهبازی (۱۹۹۹) با استفاده از روش EPM برابر ۱۸/۹ تن در هکتار در سال (آمار مشاهده‌ای معادل ۱۶ تن در هکتار در سال) و عسگری و جعفری (۲۰۰۸) با استفاده از مدل MPSIAC برابر ۱۴/۹۸ تن در هکتار در سال می‌باشد (آمار مشاهده‌ای ۱۶/۵۸ تن در هکتار در سال) (اعظمی، ۲۰۰۱). بنابراین اختلاف بین مقدار رسوب مشاهده شده با مقدار برآورد شده توسط مدل RUSLE در این مطالعه برابر ۱/۸۳ تن در هکتار در سال است. به‌عبارت دیگر مقدار رسوب برآورد شده حدود ۱۲ درصد کم‌تر از مقدار رسوب اندازه‌گیری شده (مشاهده شده) (براساس محاسبه خطای نسبی) می‌باشد. بنابراین اختلاف معنی‌داری بین نتایج این کار و سایر محققان مشاهده نمی‌شود.

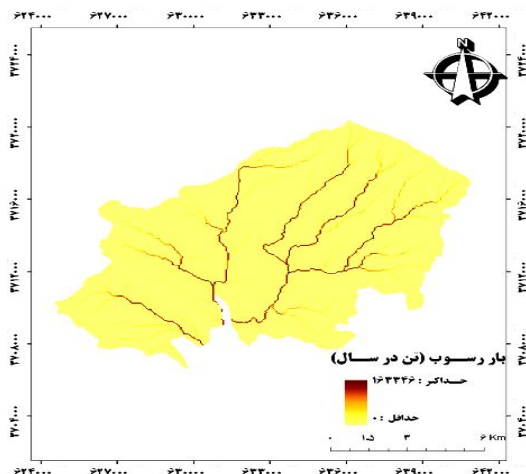
بنابراین، از آنجایی که مقدار بار رسوب برآوردی با استفاده از روش USDA (جدول ۷) تقریباً نزدیک به مقدار بار رسوب ثبت شده در ایستگاه رسوب‌سنجی حوضه سد ایلام (۱۶/۵۸ تن در هکتار در سال) بود (اعظمی، ۲۰۰۱). از این‌رو، این روش به‌عنوان بهترین روش برای محاسبه نسبت تحویل رسوب انتخاب گردید و براساس آن، نقشه نسبت تحویل رسوب و بار رسوب تهیه شد (شکل‌های ۱۶ و ۱۷).

جدول ۷- روش‌های نسبت تحویل رسوب، مقادیر نسبت تحویل و بار رسوب در حوضه مورد مطالعه.

روش‌های نسبت تحویل رسوب	میزان نسبت تحویل	بار رسوب (تن در هکتار در سال)
وانونی	۰/۲۶	۱۱/۶۲
بویس	۰/۱۲	۵/۳۶
USDA	۰/۳۳	۱۴/۷۵



شکل ۱۶- نقشه نسبت تحول رسوب.



شکل ۱۷- نقشه بار رسوب.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه ارزیابی کمی فرسایش خاک و بار رسوب به صورت شبکه‌ای (توزیعی) با استفاده از مدل معروف RUSLE در چارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی به کار گرفته شد. تمام نقشه‌های R ، k ، LS و C جهت ایجاد نقشه خطر فرسایش و بار رسوب در محیط GIS با هم تلفیق شدند و توزیع مکانی فرسایش خاک و بار رسوب به دست آمد. مقایسه متوسط بار رسوب سالانه برآورد شده

۱۴/۷۵ تن در هکتار در سال) با متوسط سالیانه اندازه‌گیری شده (۱۶/۵۸ تن در هکتار در سال)، قابلیت تلفیق *RUSLE*، *GIS* و *RS* را در برآورد بار رسوب حوضه سد ایلام نشان می‌دهد. بررسی همبستگی آماری بین فاکتورهای *RUSLE* و مقدار فرسایش سالیانه خاک در منطقه مورد مطالعه نشان داد که فاکتور *LS* با ضریب همبستگی ۰/۷۷ بیش‌ترین اهمیت را در برآورد فرسایش سالانه خاک در مدل *RUSLE* دارد. ایجاد پایگاه داده از طریق روش‌های قدیمی، بسیار وقت‌گیر، خسته‌کننده و غیرعملی می‌باشد. در این مطالعه سعی شد از اطلاعات به‌دست آمده از سنجش از دور، و قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ایجاد داده‌های مورد نیاز جهت ایجاد فاکتورهای مدل *RUSLE* استفاده شود که نتیجه آن به‌دست آمدن اطلاعات خروجی با کیفیت بالا و قابلیت به‌روزرسانی آسان بود. بنابراین سنجش از دور و *GIS* می‌توانند به‌صورت مؤثر، در توسعه راهکارهای مدیریتی و فراهم آوردن گزینه‌های انتخابی برای مدیران، جهت حل مسأله فرسایش خاک به‌کار گرفته شوند.

منابع

1. Aazami, A. 2001. Determination the suitable method for estimate suspended sediment load In Ilam dam watershed. M.Sc. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 83p. (In Persian)
2. Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., and William, J.R. 1998. large area hydrologic modeling and assessment Part I: model development. J. Americ. Water Resour. Assoc. 34: 1. 73-89.
3. Askari, S., and Jafari, M.R. 2008. Estimating soil erosion and sediment Yield in Ilam Dam watershed using MPSIAC. Geographic Res. J. 64: 29-35. (In Persian)
4. Bartsch, KP., Van Miegroet, H., Boettinger, J., and Dobrowolski, JP. 2002. Using empirical erosion models and GIS to determine erosion risk at Camp Williams. J. Soil and Water Conservation, 57: 29-37.
5. Benkobi, L., Trlica, M.J., and Smith, J.L. 1994. Evaluation of a refined surface cover subfactor for use in *RUSLE*. J. Range Manage. 47: 74-78.
6. Biesemans, J., Meirvenne, M.V., and Gabriels, D. 2000. Extending the *RUSLE* with the Monte Carlo error propagation technique to predict long-term average off-site sediment accumulation. J. Soil Water Conservation, 55: 35-42.
7. Boggs, G., Devonport, C., Evans, K., and Puig, P. 2001. GIS-based rapid assessment of erosion risk in a small catchment in the wet/dry tropics of Australia. Land Degrad. Dev. 12: 417-434.

8. Boyce, R.C. 1975. Sediment routing with sediment delivery ratios. Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources USDA, ARS-S, 40: 61-66.
9. Bruce, R.R., Langdale, G.W., East, L.J., and Miller, W.P. 1995. Surface soil degradation and soil productivity restoration and maintenance. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 654-660.
10. Deore, S.J. 2006. Prioritization of Micro-watersheds of Upper Bhama Basin on the Basis of Soil Erosion Risk Using Remote Sensing and GIS Technology. Ph.D. Thesis. Department of Geography. University of Pune, 147p.
11. Ferro, V., Giordano, G., and Lovino, M. 1991. Isoerosivity and erosion risk map for Sicily. Hydrol. Sci. J. 36: 6. 549-564.
12. Flangan, D.C., and Nearing, M.A. 1995. USDA water erosion prediction project: hillslope profile and watershed model documentation. NSERL Report No.10. USDA-ARS National soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN, 298p.
13. Haan, C.T., Barfield, B.J., and Hayes, J.C. 1994. Design hydrology and sedimentology for small catchments. Academic Press, San Diego, 588p.
14. Kinnell, P.I.A. 2000. AGNPS-UM: applying the USLE-M within the agricultural non point source pollution model. Environmental Modelling and Software, 15: 3. 331-341.
15. Lai, R., Bium, W.H., Valentie, C., and Stewart, B.A. 1998. Methods for assessment of soil degradation. Advances in Soil Sci. 558p.
16. Lal, R. 1990. Soil Erosion in the Tropics. Principles and Management. McGraw-Hill, New York, 580p.
17. Lim, K.J., Choi, J., Kim, K., Sagong, M., and Engel, B.A. 2003. Development of sediment assessment tool for effective erosion control (SATEEC) in small scale watershed. Transactions of the Korean Society of Agricultural Engineers, 45: 5. 85-96.
18. Lin, C.Y. 1997. A study on the width and placement of vegetated buffer strips in a mudstone-distributed watershed. J. China Soil Water Conservation, 29: 3. 250-266. (In Chinese with English abstract)
19. Lufafa, A., Tenywa, M.M., Isabirye, M., Majaliwa, M.J.G., and Woome, P.L. 2003. Prediction of soil erosion in a Lake Victoria basin catchment using a GIS-based universal soil loss model. Agricultural Systems, 76: 883-894.
20. McCool, D.K., Brown, L.C., and Foster, G.R. 1987. Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 30: 1387-1396.
21. Millward, A.A., and Mersey, J.E. 1999. Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. Catena, 3: 109-129.

22. Moore, I.D., and Wilson, J.P. 1993. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. *J. Soil and Water Conservation*, 47: 423-428.
23. Morgan, R.P.C. 1995. Soil erosion and conservation. Longman, London, Pp: 23-37.
24. Morgan, R.P.C., Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., and Styczen, M.E. 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23: 527-544.
25. Nepta Advisory Coopeation. 2001. Detail project of Ilam Dam Watershed, Jihad and Agriculture Organization of Ilam Province, 135p.
26. Ouyang, D., and Bartholic, J. 2001. Web-based GIS application for soil erosion prediction. *Proceedings of An International Symposium-Soil Erosion Research for the 21st Century Honolulu, HI. Jan. 3-5.*
27. Parysow, P., Wang, G.X., Gertner, G., and Anderson, AB. 2003. Spatial uncertainty analysis for mapping soil erodibility based on joint sequential simulation. *Catena*, 53: 65-78.
28. 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-ARS.*
29. Renard, K.G., and Freimund, J.R. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE. *J. Hydrol.* 157: 287-306.
30. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., and Porter, J.P. 1991. RUSLE: revised universal soil loss equation. *J. Soil and Water Conservation*, 46: 1. 30-33.
31. Sadeghi, S.H.R., Singh, J.K., and Das, G. 2004. Efficacy of annual soil erosion models for storm-wise sediment prediction: a case study. *Int. Agric. Eng. J.* 13: 1-14.
32. Schmidt, F., and Persson, A. 2003. Comparison of DEM Data Capture and Topographic Wetness Indices. *Precision Agriculture*, 4: 2. 179-192.
33. Shahbazi, K. 1999. Estimation of erosion and sediment by qualitative geomorphology (homogenous units) and EPM methods and comparing them with outlet sediment data in Ilam dam basin. M.Sc. Thesis. School of Natural Resources, Tarbiat Modarres University. 131p. (In Persian)
34. USDA. 1975. Sediment Sources, Yields, and Delivery Ratios. *National Engineering Handbook, Section 3 Sedimentation.*

35. Van Remortel, R.D., Maichle, R.W., and Hickey, R.J. 2004. Computing the LS Factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through array-based slope processing of digital elevation data using C⁺⁺ executable. *Computers and Geosciences*, 30: 1043-1053.
36. Vanoni, V.A. 1975. *Sedimentation Engineering, Manual and Report No. 54*. American Society of Civil Engineers, New York, N. Y.
37. Wang, G., Gertner, G., Fang, S., and Anderson, AB. 2003. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69: 889-898.
38. Wilson, J.P., and Lorang, M.S. 2000. Spaaatial models of soil erosion and GIS. In *spatial models and GIS. New potential and new models*, Fotheringham AS, Wegener, M. (eds). Taylor and Francis: Philadelphia, PA, Pp: 83-108.
39. Wischmeier, W.H. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. Soil and Water Conservation*, 26: 189-193.
40. Wischmeier, W.H., and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion. losses: a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook*, Vol. 537. US Department of Agriculture, Washington, DC, 58p.
41. Yu, B., and Rosewell, C.J. 1996c. A robust estimator of the R factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 39: 2. 559-561.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 17(2), 2010
www.gau.ac.ir/journals

**Investigating application of GIS and RS to estimate
Soil Erosion and Sediment Yield Using RUSLE
(Case study: Upper part of Ilam Dam Watershed, Iran)**

***S. Arekhi¹ and Y. Niazi²**

¹Assistant Prof., Dept. of Natural Resources, Ilam University,

²Former M.Sc. Student, Dept. of Watershed Management, Yazd University

Abstract

Now a day, soil erosion and sediment yield has been converted to one of the important environmental issues. So, soil management is necessary in order to optimum utilization and decreasing degradation. The need to quantify the amount of erosion, sediment delivery and sediment yield in a spatially distributed form has become essential at the watershed scale and in the implementation of conservation efforts. In this study, an effort to predict potential annual soil loss and sediment yield has been conducted. For this, the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model has been adopted in a Geographic Information System (GIS) technique framework. The R-, K-, LS-, C-, and P- factors were obtained from monthly and annual precipitation data, using soil map available from region, using a 50-meter Digital Elevation Model (DEM), using Remote Sensing (RS) techniques (with use of NDVI), and from Land use/land cover map, respectively. The mean values of the R-, k-, LS-, C- and P-factors were 260.90 MJ mm ha⁻¹h⁻¹y⁻¹, 0.17 Mg ha h ha⁻¹MJ⁻¹mm⁻¹, 2, 0.5 and 0.95, respectively. The measured mean annual sediment yield (16.58 t h⁻¹ y⁻¹) was very close to the estimated value (14.75 t h⁻¹ y⁻¹). Our study indicated that the slope length (L) and slope steepness (S) of the RUSLE model (r²=0.77) were the most effective factors controlling soil erosion in the region. The RUSLE model integrated with RS and GIS techniques has a great potential for producing accurate, inexpensive erosion and sediment yield risk maps and also erosion management.

Keywords: Soil erosion, RS, GIS, RUSLE, Ilam Province

* Corresponding Author; Email: saleh148@yahoo.com