

## بررسی میزان فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از مدل (RUSLE) و روش پسیاک اصلاح شده (مطالعه موردی: حوضه آبریز کال اسماعیل دره شهرستان شاهرود استان سمنان)

محمد معتمدی راد\* - گروه آموزش جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.  
محمد علی زنگنه اسدی - دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.  
حسین عجم - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۲۵ تأیید نهایی: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

### چکیده

یکی از مهمترین منابع طبیعی هر کشوری خاک است. خاک یک منبع زنده، پویا، تجدیدپذیر در طول عمر انسان است که برای تولید غذا و همچنین توازن اکوسیستم‌ها ضروری و حیاتی به نظر می‌رسد. منابع آب و خاک از نظر اقتصادی و اکولوژی به عنوان ارکان اصلی منابع طبیعی و توسعه فعالیت‌های کشاورزی شناخته شده و در واقع منشا تولید مایحتاج اولیه بشر و تامین کننده نیازهای طبیعی گیاهان و موجودات زنده در اکوسیستم می‌باشد. بنابراین در حوضه‌های آبریز نیاز به بررسی و کنترل فرسایش رسوب وجود دارد. و برای حفاظت از هدر رفت رسوب باید تمهیدات ویژه‌ای متناسب با هر حوضه اتخاذ شود. در حوضه کال اسماعیل دره با استفاده مطالعات کتابخانه‌ای، مشاهدات میدانی، تصاویر هوایی و نقشه‌های GIS، فاکتورهای مدلی جهانی تجدید نظر شده فرسایش خاک (RUSLE) شامل: فرسایش پذیری باران، فرسایش پذیری خاک، طول شیب، درجه شیب، پوشش گیاهی مورد ارزیابی قرار گرفت و همچنین عوامل ۹ گانه مدل پسیاک محاسبه شد. با استفاده از نقشه‌های GIS و فرمول‌های مربوطه در مدل جهانی تجدید نظر شده فرسایش خاک، میزان فرسایش رسوب در منطقه مورد مطالعه 17.197 تن در هکتار برآورد شده و براساس مدل پسیاک نیز میزان برداشت رسوب 3.54 تن در هکتار محاسبه گردید. بنابراین از نظر شدت رسوب دهی، حوضه در کلاس I و دارای فرسایش خیلی کم می‌باشد.

واژگان کلیدی: فرسایش رسوب، حوضه آبریز، معادله‌ی جهانی تجدید نظر شده فرسایش خاک

## مقدمه

فرسایش خاک و تولید بار رسوب در حوضه آبخیز، امروزه به یکی از معضلات مهم زیست محیطی تبدیل شده است و بنابراین، جلوگیری از بروز آن از مهمترین عوامل برای حفاظت منابع طبیعی به شمار می‌رود. افزایش هدررفت خاک در حوضه‌های آبریز، چالشی مداوم است که با افزایش جمعیت و فشار وارده به منابع طبیعی و کشت و کارهای ناپایدار در خاک‌ها و اراضی شیب‌دار، موجب کاهش تولید در اراضی می‌گردد (احمد آبادی، ۱۳۹۶).

یکی از مهمترین عوامل تخریب و کاهش باروری خاک، فرسایش خاک می‌باشد که امروزه در حال افزایش بوده و منجر به از دست رفتن خاک مرغوب کشاورزی می‌شود. رسوبات ناشی از فرآیند فرسایش باعث آلودگی آب‌ها، پر شدن مخازن سدها، افت حاصلخیزی خاک، کاهش آب‌های زیرزمینی، ایجاد سلاب‌های خطرناک و طوفان‌های ماسه‌ای می‌شود، بنابراین مطالعه و شناسایی عوامل موثر بر این فرآیند برای آگاهی از میزان تولید رسوب سالیانه در حوضه‌های آبخیز ضروری می‌باشد. امروزه فرسایش تسریع یافته خاک به دلیل تاثیرات آن روی اقتصاد و محیط زیست به عنوان یک مشکل جهانی مطرح است. طبق برآورد خواروبار جهانی هر سال بیش از ۷۵ میلیارد تن خاک از سطح کره زمین فرسایش می‌یابد که برابر ۱۳۴ تن در هر کیلومتر مربع است. در کشور ایران نیز سالیانه نزدیک ۲ میلیارد تن از خاک‌های با ارزش هدر می‌رود که نشانگر بحرانی بودن وضعیت فرسایش و لزوم کنترل آن در ایران می‌باشد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۴).

امروزه به دلیل افزایش جمعیت و فشار وارده بر منابع طبیعی، فرسایش خاک افزایش یافته و در نتیجه تولید در اراضی کاهش پیدا کرده است. فرسایش خاک در کشور ایران از مهمترین مشکلات زیست محیطی می‌باشد به طوری که میانگین فرسایش رسوب جهانی ۱۵۰ تن در کیلومتر مربع در سال است اما در ایران میانگین رسوب سالیانه حدود ۸ برابر یعنی ۱۲۵۰ تن در کیلومتر مربع در سال می‌باشد.

به منظور تامین آب مورد نیاز شهرها، مراکز صنعتی و کشاورزی، کنترل سیلاب و تامین الکتریسیته نیاز به طراحی و ساخت سازه‌های آبی و سدها می‌باشد. با توجه به اینکه این سازه‌های هیدرولیکی در مسیر رودخانه بنا می‌شوند، بنابراین تعادل طبیعی حاکم بر رژیم جریان در بالادست و پایین دست را تحت تاثیر قرار می‌دهند و در نتیجه سرعت جریان آب کاهش یافته و حجم زیادی از رسوبات در مخزن ته‌نشین می‌شود و در دراز مدت موجب تغییرات ریخت شناسی رودخانه و مخزن سد می‌گردد. اهمیت بررسی رسوب‌گذاری نه تنها قبل از ایجاد سدها، بلکه در دوران بهره‌برداری از مخازن نیز امری ضروری است (رودباری موسوی و همکاران، ۱۳۹۶).

پژوهش‌های زیادی در اتباط فرسایش رسوب با استفاده از معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده (*RUSLE*) و روش پسیاک (*PSIAC*) انجام شده است که به مطالعاتی اشاره می‌گردد.

رینارد و استون (۱۹۸۲) مدل ام پسیاک را با مدل‌های فلکسمن-رینارد، ای پی ام و *USLE* اصلاح شده مقایسه کرده و نتیجه گرفتند که مدل پسیاک بیشترین هماهنگی را با اندازه گیری‌های کمی داشته است. دیونت و همکاران (۲۰۰۶) با روش‌های متفاوتی به پژوهشی برای پیش بینی تولید رسوب حوضه‌ها در محیط‌های مدیترانه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل *PSM* و پسیاک بهتر از روش‌های دیگر در این مناطق به پیش بینی می‌پردازد. بیرهان و همکاران (۲۰۲۱) پژوهشی با عنوان ارزیابی فرسایش فعلی و پیش‌بینی شده خاک تحت عنوان تغییر کاربری و اقلیم با استفاده از *RUSLE* و سنجش‌از دور و *GIS* در دریاچه کانا حوضه رودخانه نیل، اتیوپی انجام دادند. در این تحقیق از مدل ادغام معادله جهانی فرسایش خاک *RUSLE* با اطلاعات جغرافیایی برای برآورد فرسایش خاک از سیستم سنجش‌از دور استفاده شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که اثرات تغییرات اقلیم بر میانگین فرسایش خاک نسبتاً بیشتر از اثرات ترکیبی تغییر کاربری زمین

1. Renard and Ston

2. Deventeh al

3. Birhan, et al

است. بنابراین ادغام *RUSLE* با فناوری زمین فضایی برای اثر بخشی توصیه می‌شود. پی وهمکاران (۲۰۲۱) تحقیقی با عنوان ارزیابی فرسایش خاک توسط *RUSLE* با فاکتور بهبود یافته و اعتبار آن: مطالعه ی موردی در مناطق کوهستانی و تپه ای استان هوبی چین انجام دادند. در این مطالعه *RUSLE* را با در نظر گرفتن تاثیرات کمی اقدامات مختلف حفاظت خاک و آب (*SWC*) بر روی *P* بهبود دادند. مقدار عامل *RUSLE* در برابر فرسایش طولانی مدت (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵) تایید شد. داده‌های پایش به دست آمده از ۹۶ قطعه رواناب در مناطق کوهستانی و تپه‌ای استان هوبی چین، نتیجه دقت بالایی با ضریب ۰.۸۹ ارائه کرد. داده‌های پایش فرسایش در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ نشان دهنده آن است که خطای *RUSLE* بهبود یافته نسبت به *RUSLE* اصلی کمتر شده است و مقادیر *P* نشان می‌دهد که دقت مدل سازی فرسایش خاک به طور قابل توجهی افزایش یافته و *RUSLE* بهبود یافته است. انجین وهمکاران (۲۰۲۱) به پژوهشی با عنوان خطر فرسایش حوضه فرعی بارکیش، آلازیک، ترکیه با استفاده از مدل *RUSLE* مبتنی بر *GIS* پرداختند. در این تحقیق از تصاویر ایستگاهی و ماهواره‌ای استفاده شد و نقشه‌های عوامل *RUSLE* در *GIS* ادغام شد. سپس نرخ فرسایش خاک محاسبه گردید. نتایج نشان داد که خطر فرسایش در ۴۳.۲ درصد از زیر حوضه بالا، و در ۸.۵۶ درصد حوضه نرمال و کمتر است. و مشخص شد که قسمت غربی زیر حوضه دارای فرسایش زیاد می‌باشد. همچنین مشخص شد که خطر فرسایش در این منطقه به دلیل شیب زیاد زمین و کمبود پوشش گیاهی می‌باشد.

مددی وهمکاران (۱۳۹۲) به پژوهشی با عنوان برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبخیز رودخانه زال با استفاده از روش‌های پسیاب، پسیاب اصلاح شده و *GIS* پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که در مدل پسیاب کل حوضه آبخیز و زیرحوضه‌های کلیندرود، دره‌چای و لرد از نظر شدت فرسایش، در کلاس و شدت رسوب‌دهی متوسط و زیر حوضه زال در کلاس و شدت رسوب دهی زیاد قرار دارند. رسوب ویژه به وسیله پسیاب در کل حوضه ۳۳۸.۶، زیر حوضه زال ۵۲۰.۹، زیر حوضه کلیندرود ۴۰۹.۸، زیر حوضه دره‌چای ۳۵۷.۱ و زیر حوضه لرد ۳۱۱.۱۵ مترمکعب در کیلومتر مربع در سال برآورد شده است. ناهید علی پور و همکاران (۱۳۹۵) به تحقیقی با عنوان برآورد فرسایش آبی در منطقه علاء سمنان با استفاده از روش *PSIAC* پرداختند. در این پژوهش تاثیر نه عامل مهم در فرآیند فرسایش آبی بررسی شد. نتایج نشان داد که واحد کاری آبراهه از نظر فرسایش پذیری در کلاس زیاد و سایر واحدهای کاری در کلاس فرسایش پذیری کم قرار گرفتند و به طور کلی منطقه مورد بررسی در کلاس فرسایش پذیری کم قرار گرفت. احمد آبادی وهمکاران (۱۳۹۶) پژوهشی با عنوان برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب با کمک معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده (*RUSLE*) در حوضه آبریز حبله رود انجام دادند. نتایج حاصل از مطالعات حاکی از آن است که بیشترین مساحت حوضه در خطر فرسایش کم قرار دارد اما حدود ۶ درصد از مساحت منطقه یعنی در بخش حبله رود شمالی در خطر فرسایش زیاد و خیلی زیاد واقع شده است. عامل فرساینده‌گی باران در بخش‌های مرکزی حوضه به دلیل نزدیک بودن به آبراهه و رودخانه اصلی و تشکیل رسوب‌های آبرفتی بیشتر در معرض فرسایش قرار می‌گیرد که این میزان برابر ۴۵۹ مگاژول/ میلیمتر/ هکتار/ ساعت در سال است. در قسمت بالا دست حوضه آبریز حبله رود با توجه به افزایش ارتفاع و تراکم توپوگرافی، عامل طول و درجه شیب در بین عوامل مدل *RUSLE* بیشترین تاثیر را در میزان فرسایش خاک دارد. گلی مختاری وهمکاران (۱۳۹۷) به پژوهشی با عنوان فرسایش خاک با استفاده از مدل (*RUSLE*) مطالعه‌ی موردی حوضه آبریز نور آباد ممسنی پرداخته‌اند. بررسی نقشه فاکتور فرساینده‌گی باران در سطح حوضه نشان داد که مقادیر فرساینده‌گی از قسمت‌های مرکزی حوضه تا نیمه شمالی روند کاهشی داشته و در قسمت‌های جنوبی که ارتفاعات و بارش بیشتر است، فرساینده‌گی افزایش یافته است. مطابق نقشه خطر فرسایش خاک تهیه شده، مناطق با خطر فرسایش تا زیاد، در بخش‌های جنوبی به علت ارتفاعات بیشتر، شیب تند و لیتولوژی مستعد، شدیدتر است. علاوه بر این، تحلیل رگرسیون از لایه‌های مختلف نشان داد که عامل طول شیب (*LS*)

<sup>1</sup>. Pei, et al

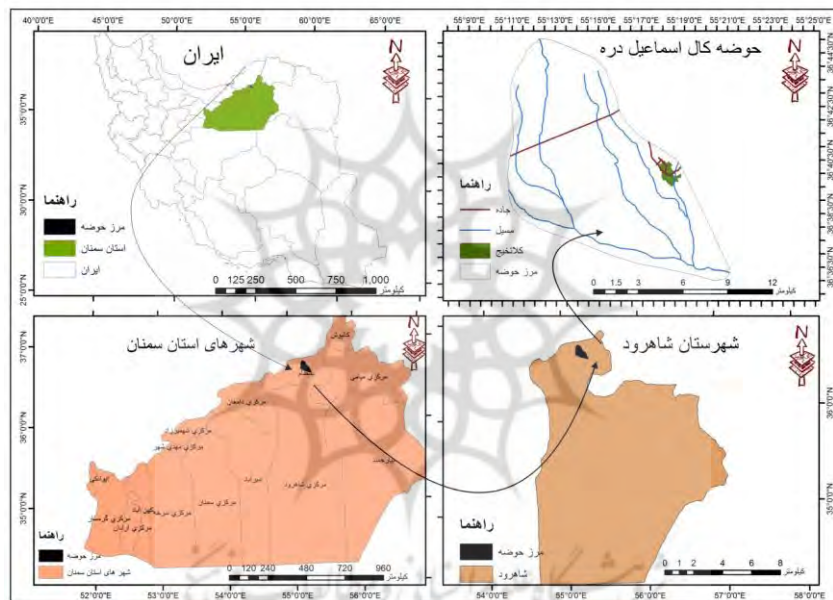
<sup>2</sup>. Engin, et al

نقش بیشتری در فرسایش نسبت به بقیه عوامل دارد. آرمین و همکاران (۱۳۹۹) تحقیقی با عنوان برآورد فرسایش خاک در حوضه سد تنگ سرخ با استفاده از معادله جهانی خاک تجدید نظر شده (RUSLE) و قابلیت‌های سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات مکانی انجام دادند. نتیجه این پژوهش نشان داد که میزان فرسایش ۳۵ تن در هکتار در سال است که بیشترین مقدار آن در قسمت‌های غربی و شمال شرقی است که آن هم ناشی از مقدار زیاد فرساینده‌ی باران و فرسایش پذیری خاک در این منطقه می‌باشد. با توجه با این که برآورد فرسایش رسوب در منطقه کال اسماعیل انجام نشده است، در این تحقیق با هدف بررسی میزان فرسایش و برآورد ورود رسوب به زمین‌های کشاورزی مطالعاتی انجام صورت گرفته است. ارخی و همکاران (۱۴۰۰) به پژوهشی با موضوع پهنه‌بندی خطر فرسایش و برآورد رسوب در حوضه چم‌گردلان (استان ایلام) با استفاده از مدل تجدید نظر شده جهانی فرسایش خاک (RUSLE) پرداختند. نتایج حاصل از بررسی نقشه فرسایش در این مدل نشان می‌دهد که بیشترین فرسایش در قسمت غرب و میانه حوضه قرار دارد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین وسعت حوضه مربوط به کلاس فرسایش خیلی کم، کم و متوسط است که عموماً در کل حوضه پراکنش دارند و کمترین مساحت حوضه در کلاس فرسایش زیاد تا خیلی زیاد (۲۰٪) قرار می‌گیرد. امینی و همکاران (۱۴۰۰) به تحقیقی با عنوان تعیین میزان فرسایش و رسوب با استفاده از روش (MPSIAC) و سامانه GIS در حوضه خور خوره استان کردستان انجام دادند. نتایج نشان داد که ۹۱ درصد کل حوضه دارای درجه رسوب دهی زیاد در کلاس درجه چهار می‌باشند. مقدار نسبت رسوب تحویلی حوضه بین ۳۲ تا ۵۰ درصد متغیر است. همچنین مقدار رسوب ویژه و فرسایش ویژه کا حوضه به ترتیب ۴،۶ و ۴،۱۷ تن در هکتار در سال حاصل شد. نصیری و همکاران (۱۴۰۰) به تحقیقی با موضوع ارزیابی فرسایش خاک و ولید رسوب با به کارگیری مدل پسیاک اصلاحی و GIS در حوضه عشق آباد - سوله (حوضه جنوب باختر قوچان پرداختند. نتایج مدل پسیاک اصلاحی نشان می‌دهد که ۷۹،۴۶٪ معادل ۱۷،۳۸۰۷ هکتار در رده IV با رده بندی فرسایش با رسوب زایی زیاد و ۲،۵۳٪ معادل ۳۲،۴۳۲۹ هکتار در رده III با رسوب زایی میانگین طبقه بندی طبقه بندی می‌شود. میانگین تولید رسوب بر اساس مدل پسیاک به ترتیب ۴۰،۵ تن در هکتار و ۸۴،۲ تن در هکتار محاسبه شد. نور و همکاران (۱۴۰۱) به پژوهشی با عنوان برآورد فرسایش خاک و نسبت تحویل رسوب با استفاده از مدل (RUSLE) در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه پرداختند. در این تحقیق تحویل رسوب برای حوضه‌های E1، E4 و E6 به ترتیب ۴۲،۲، ۴۱،۵ و ۳۹،۷ در صد به دست آمده است. نتایج این تحقیق نشان داد که با استفاده از مدل اصلاح شده (RUSLE) امکان برآورد متوسط فرسایش خاک منطقه و همچنین تخمین نسبت تحویل رسوب وجود دارد بنابراین می‌توان در برنامه‌های اجرایی در مناطق مشابه از این رویکرد استفاده نمود. امانپور و همکاران (۱۴۰۱) تحقیقی با عنوان بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه رامهرمز با استفاده از طبقه بندی شیء گرا و مدل (RUSLE) انجام داده‌اند. نتایج پژوهش نشان داد که مناطق مسکونی، اراضی بایر و زراعت دیم به ترتیب به میزان ۸۶،۳۵۲۰، ۷۲،۷۰۴۱ و ۲۹،۵۲۸۱ هکتار افزایش مساحت داشته و پهنه‌های آبی، مراتع و زراعت آبی به ترتیب ۴۳،۱۷۶۰، ۲۰،۱۲۳۲۳ و ۴۳،۱۷۶۰ هکتار از مساحت خود را از دست داده‌اند. نتیجه تغییر این مساحت‌ها کاهش پوشش طبیعی خاک و افزایش فرسایش در منطقه بوده است. با توجه به اهمیت برآورد فرسایش رسوب و با توجه به این که در منطقه کال اسماعیل در این زمینه مطالعه‌ای انجام نشده است، در این تحقیق به بررسی میزان فرسایش و برآورد ورود رسوب پرداخته شده است.

#### موقعیت حوضه مورد مطالعه

حوضه آبریز مورد مطالعه محدوده کال اسماعیل دره در بخش بسطام، شهرستان شاهرود، استان سمنان قرار گرفته در طول‌های ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۱۹ دقیقه و ۳۰ ثانیه شرقی و عرض‌های ۳۶ درجه و ۳۸ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و مساحت ۱۳۳،۹۸ کیلومتر مربع قرار گرفته است که از دامنه جنوبی کوه قاسم خان در رشته

کوه البرز شروع شده و پس از طی مسیر در نهایت وارد دریاچه نمک حاج علیقلی می‌شود. کال اسماعیل دره در فاصله ۴۵ کیلومتری شاهرود در بخش بسطام واقع شده است. منطقه مطالعاتی از سمت شرق به فاصله ۵ کیلومتری پادگان چهل دختر و شهر کلاتخیج و از سمت شمال غرب به فاصله ۳۰ کیلومتری روستای ابر واقع شده است. از این منطقه جاده اصلی شاهرود - آزادشهر عبور می‌کند. منطقه مورد مطالعه جزو حوضه آبریز ایران مرکزی بوده و در زیر حوضه دشت مرجان میامی قرار گرفته است. حداکثر ارتفاع ۲۰۰۰ متر در شمال و حداقل ارتفاع ۱۳۲۰ متر در جنوب غربی منطقه می‌باشد. در قسمت شمال غربی به دلیل کوهستانی بودن و شیب زیاد، منحنی میزان‌ها حالت فشرده دارند. ارتفاع به طور منظم از شمال غرب به جنوب شرق کاهش پیدا می‌کند. با توجه به ارتفاع، منطقه ترکیبی از کوهستان کم ارتفاع و دشت محسوب می‌شود که دارای یک حوضه آبریز اصلی بوده و حوضه‌های خیلی کوچک اطراف حوضه اصلی دیده می‌شوند. جریان‌های رواناب از شمال غرب در ارتفاع ۲۰۰۰ متر شروع شده و در سمت جنوب شرق در ارتفاع ۱۳۲۰ متر از منطقه خارج می‌شود. شکل (۱) و جدول (۱) مشخصات کمی حوضه آبریز کال اسماعیل دره را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه کال اسماعیل دره

جدول ۱: مشخصات کمی حوضه آبریز کال اسماعیل دره

نام حوضه	مساحت (KM <sup>2</sup> )	محیط (KM <sup>2</sup> )	حداکثر ارتفاع (m)	حداقل ارتفاع (m)	شیب متوسط (درصد)	طول آبراهه اصلی (km)	ضریب فشردگی (گراویوس)
کال اسماعیل دره	۱۴۴,۵۳	۵۱,۱	2000	۱۳۲۰	۷,۴	۱۶,۰۳	۱,۰۶

### مواد و روش‌ها

در این قسمت مراحل مختلفی را باید به شرح ذیل نام برد:

- مرحله اول: شناسایی و جمع‌آوری منابع و اطلاعات:

برای حفاظت و مهار فرسایش نیاز است که به ارزیابی خطر فرسایش پرداخته شود. برای انجام این عملیات، ابتدا باید عوامل موثر بر فرسایش مشخص شده، سپس میزان تاثیر این عوامل و شدت فرسایش در هر منطقه ارزیابی گردد. بدین منظور ابتدا با استفاده از نرم افزار google Earth محدوده‌ی حوضه آبریز کال اسماعیل دره شناسایی شد. سپس محدوده حوضه بر اساس نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ تعیین گردید و با استفاده از نرم افزار GIS اطلاعات توپوگرافی مانند سطوح ارتفاعی و شیب توپوگرافی استخراج گردید. همچنین جهت استخراج اطلاعات زمین شناسی منطقه از نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح) (مشخصات نقشه‌ها ۸۵-III-۷۶ و ۷۶-II-۷۶) استفاده گردید. در این تحقیق اطلاعات بارش از اداره‌ی آب منطقه‌ای شهرستان (جدول ۲) و اطلاعات خاک شناسی منطقه تهیه شد.

جدول ۲: اطلاعات بارش

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
متوسط بارندگی	۱۰,۲۸	۱۶,۷۹	۱۲,۱۲	۱۲,۳۵	۱۸,۲۹	۲۶,۵۹	۲۹,۷۱	۱۷,۹۶	۹,۸۵	۰	۶	۱۲,۱۲	۱۷۲,۰۶

مرحله دوم: معرفی مدل جهانی تجدید نظر شده فرسایش خاک (RUSLE)

در سال ۱۹۴۷ توسط سازمان تحقیقات کشاورزی ایالات متحده آمریکا برای برآورد میزان فرسایش سطحی رابطه زیر ارائه گردید که به رابطه RUSLE موسوم است و تابعی از شش فاکتور به صورت زیر می باشد (ویشمیر و اسمیت، ۱۹۷۸):

$$A=R*K*L*S*C*P \quad (2)$$

A: میانگین هدر رفت خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال)

R: فاکتور فرساینده‌ی باران، K: فاکتور فرسایش‌پذیری خاک، L: طول شیب، S: درجه شیب C: فاکتور مدیریت

P: فاکتور اقداماتی حفاظتی خاک

این مدل همچنان بهترین مدل کاربردی پیش‌بینی فرسایش در دسترس است که می‌تواند به راحتی در سطح محلی و

منطقه استفاده شود. در این روش با استفاده از نقشه DEM حوضه در محیط GIS و با داشتن فاکتورهای

عوامل RKLSCP، نقشه‌های رستری تهیه می‌شود و در نهایت با همبستگی این نقشه‌ها، نقشه فرسایش خاک به دست می‌آید.

در محیط GIS نقشه‌های شاخص فرسایش‌پذیری باران (R)، شاخص فرسایش‌پذیری خاک (K)، شاخص طول

شیب (L)، شاخص درجه شیب (S) تهیه می‌گردد. همچنین برای تهیه نقشه NDVI از باندهای ۴ و ۵ ماهواره‌ی لندست

استفاده و شاخص پوشش گیاهی (C) تهیه می‌شود.

- مرحله سوم: روش پسیاک (PSIAC)

کمیته مدیریت آب آمریکا در سال ۱۹۶۸ روش پسیاک را به صورت کیفی ارائه داد. این مدل بر اساس مجموع ۹ عامل (X1-9) موثر بر فرسایش، رسوب دهی حوضه را بدست می‌دهد که بر طبق آن می‌توان کلاس فرسایشی حوضه را تعیین کرد. در

سال ۱۹۸۲ جانسون<sup>۱</sup> و گبهارت<sup>۲</sup> این ۹ عامل را به صورت عددی (Y1-9) در آوردند تا مدل حالت کمی به خود بگیرد و بر دقت آن افزوده شود. عوامل موثر بر فرسایش در این مدل عبارتند از: سنگ شناسی، خاک، اقلیم، رواناب، توپوگرافی، پوشش گیاهی، کاربری زمین، وضعیت فعلی فرسایش و فرسایش رود خانه‌ای.

- مرحله چهارم: تهیه فاکتورهای لازم:

همانطور که بیان شد معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک مدل تجربی برآورد فرسایش خاک است که بر اساس معادله جهانی فرسایش خاک طراحی شده است. این مدل علاوه بر اینکه می‌تواند با استفاده از داده‌هایی از قبیل خصوصیات فیزیکی حوضه و ایستگاه‌های هواشناسی میزان فرسایش خاک را برآورد کند، توزیع مکانی فرسایش خاک را نیز به خوبی میسر می‌سازد.

### بحث و یافته‌ها

در این راستا جهت محاسبه میانگین هدر رفت خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال)، فاکتورهای ذیل بررسی،

محاسبه و تهیه گردید:

- درجه شیب:

در شیب‌های تند (البته با توجه به یکسان بودن سایر شرایط) فرسایش بیشتری اتفاق می‌افتد زیرا چنانچه شیب زمین ۴ برابر شود، سرعت جریان آب ۲ برابر شده و انرژی رواناب بیشتر می‌شود بنابراین قدرت فرسایشی نیز افزایش پیدا می‌کند.

- شیب متوسط:

برای محاسبه شیب متوسط فرمول‌های مختلفی ارائه شده است و یکی از پرکاربردترین آنها به صورت رابطه (۱) می‌باشد (گنجی نیا، ۱۳۸۷):

$$S=L*H/A$$

رابطه (۱)

در رابطه (۱)  $L$  مجموع طول خطوط تراز می‌باشد و این پارامتر ۵۴۱۷۸۱٫۹۴ متر محاسبه گردید. متساوی البعد مفروض و ثابت نقشه‌ها می‌باشد و بر اساس شکل (۲) این عدد ۲۰ متر بیان می‌شود. میزان مساحت همچنین  $H$  حوضه نیز با توجه به شکل ۱۴۴۵۳۸۶۷۰٫۶۹ متر بدست آمده است. بنابراین بر اساس فرمول (۱) میزان متوسط شیب حوضه مورد مطالعه به صورت زیر محاسبه گردید:

$$S=541781,94 * 20 / 144538670 = 0,074$$

$$S=0,074 * 100 = 7,4$$

بنابراین شیب متوسط منطقه ۷٫۴ درصد محاسبه گردید.

- طول شیب:

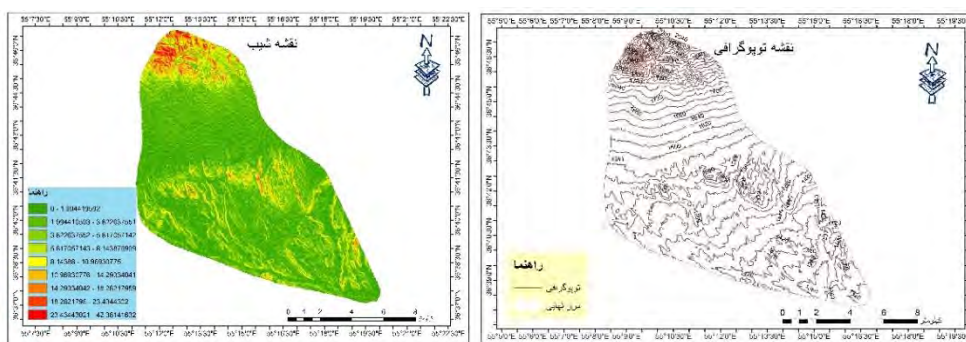
منظور از طول شیب نقطه شروع رواناب تا نقطه ای است که شیب تا حدی کاهش می‌یابد و مواد رسوب می‌کنند. در شیب‌های طولانی (با فرض یکسان بودن سایر شرایط) فرسایش بیشتر خواهد بود زیرا باران بیشتری دریافت کرده و رواناب بیشتر شده، بنابراین در اثر افزایش حجم و سرعت رواناب، فرسایش بیشتر خواهد بود. براساس جدول (۲) طول شیب حوضه ۱۶٫۰۳ کیلومتر مربع محاسبه گردید.

- جهت شیب:

<sup>1</sup>. Ganson

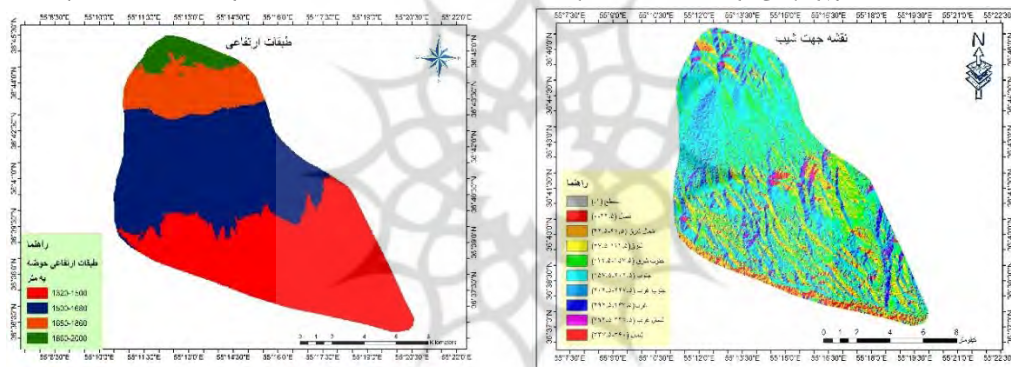
<sup>2</sup>. Gabhart

شیب‌های آفتابگیر گرم‌تر شده و تبخیر بیشتری دارد در نتیجه مقدار آب کمتری در خاک ذخیره شده و رشد گیاه کاهش می‌یابد بنابراین نسبت به شیب‌های سایه‌گیر فرسایش بیشتری ایجاد می‌کند همچنین در شیب‌های آفتاب‌گیر حرارت توسط سنگ‌ها جذب شده و زودتر خرد می‌شوند.



شکل ۲: نقشه توپوگرافی حوضه کال اسماعیل دره

شکل ۳: نقشه شیب حوضه کال اسماعیل دره



شکل ۴: نقشه جهت شیب حوضه کال اسماعیل دره

شکل ۵: نقشه طبقات ارتفاعی حوضه کال اسماعیل دره

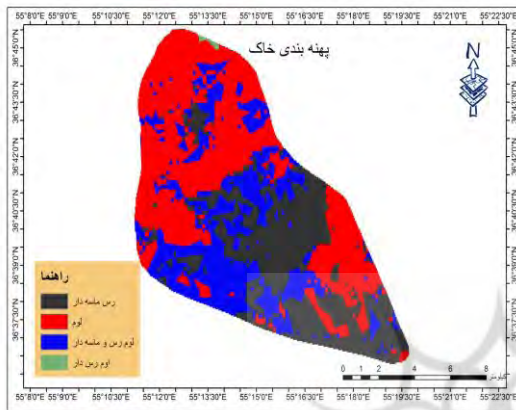
### خاک شناسی

در منطقه مورد مطالعه طبق شکل (۶) رده‌های خاک شناسی و براساس شکل (۷) نوع خاک به شرح ذیل قابل مشاهده می‌باشد:

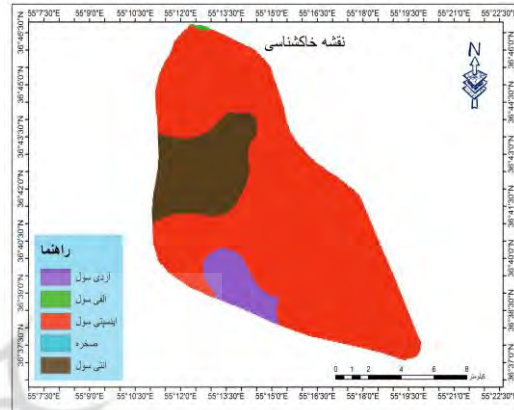
- اردی سول: ( خاک خشک). که خاک‌های خشک مناطق بیابانی بوده و در قسمت جنوبی منطقه یافت می‌شوند.
- آلفی سول: (خاک مناطق نیمه مرطوب). در قسمت‌های شمالی زیر پوشش جنگلی در افق B در لایه بالایی رس تجمع یافته به رنگ قهوه‌ای خاکستری و در لایه پایینی به رنگ قرمز و قهوه‌ای در آمده است.
- اینسپتی سول: در بخش مرکزی که بیشترین مساحت را تشکیل می‌دهد، خاک شروع به تشکیل کرده و افق‌های خاک به سختی قابل تشخیص هستند.
- در شمال منطقه محدوده‌ای از رخنمون تخته سنگ همراه با خاک‌های رده اینسپتی سول دیده می‌شود که خاک شروع به تشکیل کرده و افق‌ها به سختی قابل تشخیص هستند.
- انتی سول: در بخش غربی محدوده‌ای از خاک‌های تازه تشکیل شده وجود دارد که تکامل افق در آن‌ها دیده نمی‌شود و یا افق‌ها تکامل کم دارند.



- بخش دیگری از قسمت غربی منطقه رخنمون تخته سنگ به همراه خاک های رده انتیسول دارد که دارای خاک های تشکیل شده بوده وفاق ها تکامل ندارند یا دارای تکامل کمی می باشند.
- ۴۲,۹۷ کیلومتر از مساحت منطقه را رس ماسه دار، ۶۲,۸۷ کیلومتر مربع را لوم، ۳۸,۴۱ کیلومتر مربع را لوم رس دار و ماسه دار و ۰,۲۶ کیلومتر مربع را لوم رس دار پوشانده است ( داده های منابع طبیعی و آبخیزداری).



شکل ۷: نقشه بندی خاک شناسی حوضه کال اسماعیل دره



شکل ۶: نقشه پهنه بندی خاک حوضه کال اسماعیل دره

جدول ۳: خاکشناسی حوضه کال اسماعیل دره ب

کد	رده	موقعیت	مساحت	درصد
۹۰	Ardisol	جنوب غرب حوضه	۸,۴۳	۵,۸۴
۱۰۶	Alfisol	شمال حوضه	۰,۲۱	۰,۱۴
۱۱۴	Inceptisol	قسمت مرکزی حوضه	۱۱۲,۹۷	۷۸,۲۶
۱۵۳	Rock and Inceptisol	جنوب غرب حوضه	۰,۰۰۹۷۶۱	۰,۰۰۶
۱۶۵	Entisol	غرب حوضه	۲۲,۷۱	۱۵,۷۳

جدول ۴: پهنه بندی خاک حوضه کال اسماعیل دره

کد	نوع خاک	مساحت	درصد
۳	رس ماسه دار	۴۲,۹۷	۲۹,۷۳
۴	لوم	۶۲,۸۷	۴۳,۵۰
۷	لوم رس و ماسه دار	۳۸,۴۱	۲۶,۵۷
۸	لوم رس دار	۰,۲۶	۰,۱۷

### پوشش گیاهی

پوشش گیاهی با جذب مقداری از آب باران، حجم رواناب و میزان فرسایش را کاهش می دهد. ریشه گیاهان خاک را تثبیت کرده و ساقه، برگ و شاخه آن ها از برخورد ضربات قطرات باران جلوگیری می کند و در نتیجه میزان فرسایش را کاهش می دهد. همچنین در اثر پوشش گیاهی، اشعه خورشید کمتر به سطح زمین رسیده و از تغییرات حرارت جلوگیری می کند که این امر میزان تخریب خاک و مواد آلی را کمتر خواهد کرد. بقایای گیاهان با تبدیل شدن به هوموس در نگهداری آب در خاک موثر است بنابراین میزان رواناب تشکیل شده کمتر و از فرسایش زیاد جلوگیری می شود.

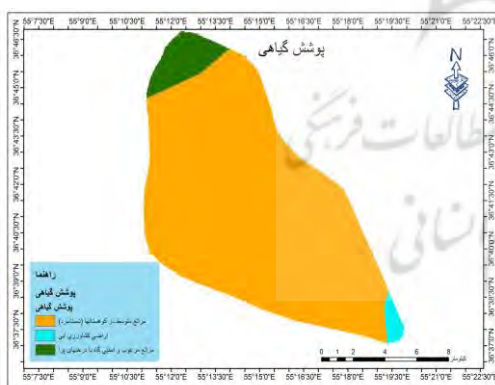
از نظر پوشش گیاهی سه محدوده متفاوت بر اساس شکل (۸) در منطقه دیده می‌شود. در محدوده شمالی مراتع مرغوب و استپ همراه با درختان جنگلی قرار گرفته است. در قسمت مرکزی تا جنوبی که بیشترین وسعت را به خود اختصاص می‌دهد، مراتع کوهستانی نسبتاً سرد واقع شده و در محدوده ای از جنوب اراضی کشاورزی آبی دیده می‌شود.

جدول ۵: پوشش گیاهی حوضه کال اسماعیل دره

نوع پوشش گیاهی	موقعیت	مساحت	درصد
مراتع متوسط کوهستانی در کوهستان (نسبتاً سرد)	قسمت مرکزی حوضه	۱۳۳،۹۸	۹۲،۸۲
اراضی کشاورزی آبی	جنوب حوضه	۱،۹۷	۱،۳۶
مراتع مرغوب و استپی	شمال حوضه	۸،۳۸	۵،۸۱

### کاربری اراضی

انسان با نوع بهره برداری‌هایی که از زمین می‌کند در افزایش میزان فرسایش موثر است. شخم زدن، چرای دام‌ها، کاشت محصول در محل شیب‌ها، قطع درختان جنگلی از جمله فعالیت‌هایی است که سبب افزایش فرسایش می‌شود. بنابراین باید در انتخاب نوع کاربری اراضی به تاثیر این کاربری‌ها بر افزایش فرسایش توجه شده و نوعی از کاربری انتخاب شود که تا حد امکان میزان فرسایش را کاهش دهد. بر اساس شکل (۹) در مرکز منطقه زمین‌های کشاورزی به صورت پراکنده وجود دارند. و در سمت غرب و شرق نواحی کوچکی از زمین‌های زراعی و باغات به چشم می‌خورند. شمال شرق دارای زمین‌های مرغوب جنگلی بوده و در سمت شمال درختان کوتاه جنگلی می‌رویند. در شرق چراگاه‌ها تاحدی باقی مانده اما در بیشتر مساحت منطقه که شامل مرکز و جنوب می‌شوند چراگاه‌ها فقیر از پوشش گیاهی می‌باشند. جنوب غربی دارای رخنمون تخته سنگ بوده و در شرق ناحیه مسکونی قرار گرفته است.



شکل ۹: نقشه کاربری اراضی حوضه کال اسماعیل دره



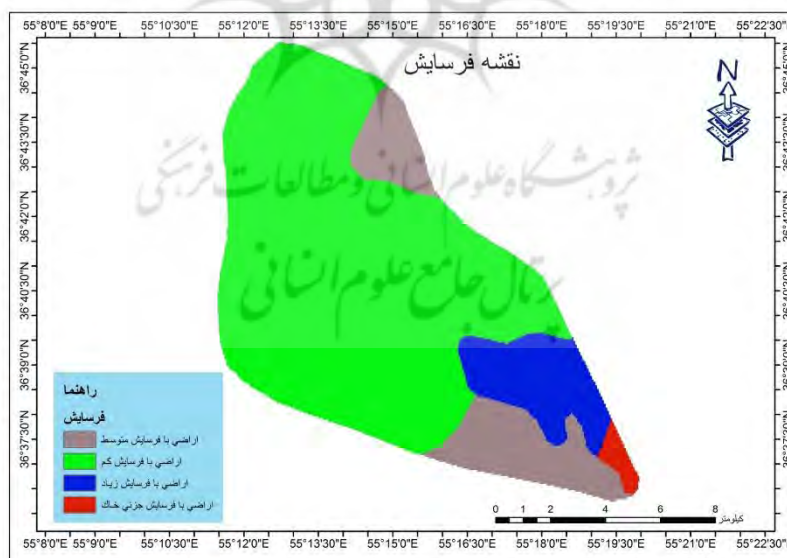
شکل ۸: نقشه پوشش گیاهی حوضه کال اسماعیل دره

جدول ۶: کاربری اراضی حوضه کال اسماعیل دره

کاربری اراضی	موقعیت	مساحت	درصد
زمین کشاورزی	جنوب جنوب شرق و مرکز منطقه	۲,۲۶	۱,۵۸
باغات	شرق منطقه	۰,۰۰۴۵	0.001
زمین مرغوب جنگلی	شمال شرق منطقه	۱۲,۴۷	۸,۷۲
درختان جنگی	شمال منطقه	۳,۴۹	۲,۴۴
چراگاه فقیر از پوشش گیاهی	جنوب جنوب شرق منطقه	۰,۲۵	۰,۱۸
پوشش سنگی	مرکز و جنوب منطقه	۱۲۲,۹۶	۸۵,۹۷
مناطق مسکونی	جنوب جنوب شرق منطقه	۱,۵۶	۱,۰۹

### فرسایش

بر اساس شکل (۱۰) و جدول (۶) در قسمت شرق شمال شرق و جنوب اراضی با فرسایش متوسط با مساحت ۲۰,۶۶ کیلومتر مربع قرار دارد که ۱۴,۳۱ درصد حوضه را شامل می‌شود. از شمال تا مرکز حوضه (منطقه وسیع) اراضی با فرسایش کم دارای مساحت ۱۰۷,۸۰ کیلومتر مربع و با درصد ۷۴,۶۹ واقع شده است. شرق جنوب شرق دارای اراضی با فرسایش زیاد به مساحت ۱۴,۰۸۱ کیلومتر مربع بوده و ۱۰,۳ درصد حوضه را دربر می‌گیرد و در نهایت جنوب جنوب شرق دارای اراضی با فرسایش جری می‌باشد که مساحت این محدوده ۱,۷۹ کیلومتر مربع بوده و ۱,۲۴ درصد حوضه را اشغال کرده است. بنابراین بیشترین وسعت حوضه مورد مطالعه مربوط به اراضی با فرسایش کم می‌باشد.



شکل ۱۰: نقشه فرسایش حوضه کال اسماعیل دره (منبع: نگارندگان)

جدول ۷: فرسایش حوضه کال اسماعیل دره

درصد	مساحت	موقعیت	نوع فرسایش
۱۴,۳۱	۲۰,۶۶	جنوب شمال شرق حوضه	اراضی با فرسایش متوسط
۷۴,۶۹	۱۰۷,۸۰	شمال و مرکز حوضه	اراضی با فرسایش کم
۱۰,۳۲	۱۴,۰۸۱	جنوب جنوب شرق	اراضی با فرسایش زیاد
۱,۲۴	۱,۷۹	جنوب شرق	اراضی با فرسایش جزئی خاک

### فاکتور فرسایش‌پذیری باران (R)

پتانسیل باران در ایجاد فرسایش را فرساینده‌گی باران می‌نامند که تابعی از خصوصیات فیزیکی بارندگی است و با انرژی مستقیم باران، انرژی جنبشی بارندگی و حداکثر شدت بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای در ارتباط است. در حوضه مورد مطالعه برای برآورد شاخص بارندگی با استفاده از آمار ۸ ایستگاه درون حوضه و اطراف آن، از رابطه رگرسیون ما بین شاخص میانگین سالانه بارندگی و شاخص فرساینده‌گی استفاده می‌شود که به صورت رابطه (۳) می‌باشد. (زندى، ۲۰۱۲).

$$R = -\lambda / 0 + 12/62P \quad (3)$$

P میانگین سالانه بارندگی بر حسب میلی متر است.

برای تعیین مقدار فاکتور R در این حوضه داده‌های میانگین سالانه حداقل ۱۶ سال از ایستگاه‌های هواشناسی و با بهره‌گیری از تحلیل‌های مکانی GIS، روش درون یابی *Splin* برای تعمیم بارش نقطه‌ای حوضه استفاده می‌شود. فاکتور فرسایش‌پذیری باران (R) مورد بررسی و محاسبه قرار گرفت که با توجه به اینکه میزان بارش ۶ ساعته ۱۴,۳۳ بوده بنابراین بارش ۳۰ دقیقه‌ای به میزان ۱,۱۹۴ به صورت روبرو محاسبه می‌گردد:

$$R = 8,12 + 0,62 * 1,194 \quad R = 8,12 * 0,74 = 8,86$$

بنابراین فاکتور فرسایش‌پذیری باران بر اساس رابطه (۳) به صورت زیر بدست می‌آید:

- فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K):

فرسایش ناشی از ضربه قطرات باران به سطح خاک یا پاشمان خاک با شدت بارندگی و انرژی جنبشی آن رابطه مستقیم دارد و با میزان رس موجود در خاک رابطه‌ای معکوس دارد. با نمونه برداری تیپ‌های مختلف نقشه خاک شناسی حوضه، مقادیر فرسایش‌پذیری خاک (K) با استفاده از فرمول (۴) و (۵) در هر تیپ نقشه خاک شناسی محاسبه می‌شود (شی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۴):

$$K = 7,594 [ 0,034 + 0,405 \exp - [ 1/2 ( \log Dg 1,659 / 0,7101 ) ] \quad (4)$$

$$Dg = \exp ( 0,014 fi mi ) \quad (5)$$

در این رابطه  $Dg$  میانگین هندسی قطر ذرات خاک است،  $m_i$  میانگین هندسی ذرات خاک،  $f_i$  درصد شکستگی ذرات در کلاس  $i$

فاکتور فرسایش پذیری خاک ( $K$ ) مورد محاسبه قرار گرفت: برای محاسبه این فاکتور از رابطه های کمی (۴) و (۵) استفاده شد. باتوجه به اینکه  $\exp = 718/2$ ، میانگین هندسی ذرات در حد ماسه ۲ میلیمتر و درصد شکستگی ذرات ۵۰ درصد می باشد بنابراین محاسبه فاکتور فرسایش پذیری خاک به صورت زیر خواهد بود:

$$Dg = 2718 * 0.14 * 2 * 50 \quad Dg = 2,718 * 1,4 \quad Dg = 3,80$$

$$K = 7,594 [ 0,034 + 0,0405 \exp - [ 1/2 ( \log Dg 1,659 / 0,7101 ) ]$$

$$0.376 = K 1,659 / 0,7101 ] \log 3.80 ( 1/2 = 7,594 [ 0,034 + 0,0405 * 2,718 - [ K$$

### فاکتورهای توپوگرافی S و L

فاکتورهای توپوگرافی شامل طول شیب ( $L$ ) و درجه شیب ( $S$ ) است. مقدار فرسایش با افزایش طول شیب افزایش می یابد، چون آب در مسافت بیشتری حرکت کرده، حجم رواناب نیز بیشتر می شود بنابراین مواد زیادتری با خود حمل می کند و فرسایش افزایش می یابد. فاکتورهای  $L$  و  $S$  با همدیگر اثر طول، تندى و شکل شیب را بر تولید رسوب نشان می دهند. در این مطالعه برای محاسبه  $LS$  در محیط GIS از مدل رقومی ارتفاعی (Dem) به عنوان ورودی استفاده می شود که بر اساس معادلات موجود در این نرم افزار نقشه طول شیب و درجه شیب تهیه می گردد.

برای محاسبه فاکتور توپوگرافی از رابطه کمی (۴-۱) استفاده می گردد (ویشایمر و اسمیت، ۱۹۷۸):

$$l_s = \frac{\sqrt{l[65.4(\sin a)^2 + 4.5 \sin a + 0.065]}}{22.1} \quad (6)$$

بر اساس شکل (۵) و جدول (۳) طول شیب ۱۶,۰۳ کیلومتر و درجه شیب ۷,۴ درصد بدست آمده است بنابراین فاکتور

توپوگرافی بر اساس رابطه (۶) به شرح ذیل محاسبه می شود:

$$l_s = \frac{\sqrt{16.03[65.4(\sin 7.4)^2 + 4.5 \sin 7.4 + 0.065]}}{22.1} = l_s \quad l_s = \frac{\sqrt{11.59287}}{22.1}$$

$$l_s = 0.72$$

$$l_s = \frac{\sqrt{16.03 * 0.7232}}{22.1}$$

### فاکتور مدیریت پوشش گیاهی (C)

فاکتور پوشش گیاهی یک شاخص کمی از میزان حفاظت در برابر فرسایش توسط پوشش گیاهی است. ۲۰ نقطه تصادفی از نوع پوشش گیاهی و کاربری منطقه مورد مطالعه، برداشت و در محیط GIS نقشه NDVI تهیه گردید و تحلیل های مکانی محیط نرم افزار GIS معین شد. جهت محاسبه فاکتور پوشش گیاهی (C) به صوت زیر عمل شد (لین و همکاران، ۲۰۰۲):

باتوجه به جدول (۹) مجموع اراضی کشاورزی آبی و مراتع مرغوب و استپی به عنوان پوشش گیاهی بوده و درصد آن ۷,۱۷ می باشد.

## فاکتور عملیات حفاظتی (P)

اقدامات حفاظتی خاک اعمالی از قبیل کشت در خطوط تراز، کشت نواری، احداث تراس‌ها، حوضچه‌های رسوب‌گیر، بانکت بندی، مالچ پاشی و زهکشی زیرسطحی می‌باشد. فاکتور اقدامات حفاظتی (P) محاسبه گردید اما با توجه به اینکه هیچگونه اقدامات حفاظتی در منطقه مورد مطالعه انجام نشده است بنابراین فاکتور P برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود. در نهایت معادله جهانی فرسایش بر اساس رابطه کمی (۲) محاسبه گردید:

$$R = 17.197 \quad R = 8.86 * 0.376 * 0.72 * 7.17 * 1$$

همچنین ۹ عامل دخیل در مدل پسیاک به شرح ذیل مورد محاسبه قرار گرفت:  
 Y1 عامل سنگ شناسی است و مثل روش اولیه به صورت کیفی و با توجه به مقاومت سازندها تعیین می‌شود. برای سازندهای مقاوم عدد 1 و برای سازندهای فرسایش پذیر عدد 10 منظور می‌گردد.

$$Y1 = 1-10 \quad (7)$$

$$y1 = 108993 / 14382 = 7.58$$

Y2 عامل خاک یا همان ضریب فرسایش پذیری K در مدل USLE است که در این جا به ضریب ۱۶/۶۷ اصلاح شده است.

$$Y2 = 16.6K \quad (8)$$

$$y2 = 16.67 * 0.398 = 6.63$$

Y3 عامل اقلیم براساس حداکثر بارندگی ۶ ساعته دو ساله (P6) بر حسب میلی‌متر است.

$$Y3 = 0.2P6 \quad (9)$$

$$y3 = 0.2 * 14.33 = 2.86$$

Y4 عامل رواناب که بر مبنای ارتفاع رواناب (R) بر حسب میلی‌متر و دبی ویژه پیک سالانه (Qp) بر حسب متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع محاسبه می‌شود.

$$Y4 = 0.006 + 10Qp \quad (10)$$

$$y4 = 0.31068 + 0.024$$

$$y4 = 0.33$$

Y5 عامل توپوگرافی که از روی درصد شیب متوسط حوضه (S) تعیین می‌گردد.

$$Y5 = 0.33S \quad (11)$$

$$y5 = 0,33 * 7,42 = 2,44$$

Y6 عامل پوشش گیاهی است که باتوجه به درصد اراضی لخت حوضه (Pb) به دست می‌آید.

$$Y6=0.2Pb \quad (12)$$

$$y6 = 0,2 * 85,97 = 17,19$$

Y7 عامل کاربری زمین که تابعی از درصد تاج پوشش گیاهی (Pc) است.

$$Y7=20-0.2Pc \quad (13)$$

$$y7 = 20 - 11,16 = 8,84$$

Y8 عامل فرسایش سطحی خاک (SSF) است که با مدل BLM تعیین می‌شود.

$$Y8=0.25SSF \quad (14)$$

$$y8 = 0,25 * 78 = 19,5$$

Y9 عامل فرسایش رودخانه‌ای که روی فاکتور فرسایش خندقی مدل BLM موسوم به SSFg به دست می‌آید.

با تعیین موارد ۹ گانه فوق، مجموع آن‌ها (R) را به عنوان درجه‌ی رسوب‌دهی حساب می‌کنیم:

$$R = \sum Y_1^9 \quad (15)$$

حال میزان رسوب سالانه (Q) برحسب تن در هکتار در سال از رابطه‌ی (16) محاسبه می‌شود. e تابع

exp یا عددنپراست):

$$= 0.253e^{0/036R} Q \quad (16)$$

$$Q=0.253*14.02=3.54$$

با توجه به محاسبه مذکور، میزان فرسایش در حوضه کال اسماعیل دره براساس معادله جهانی ۱۷,۱۹۷ تن در هکتار در سال می‌باشد. جدول (۸) تعیین رسوب سالانه و کلاس فرسایش خاک در روش PSIAC را نشان می‌دهد.

جدول ۸: تعیین رسوب سالانه و کلاس فرسایش خاک در روش PASIAC

کلاس رسوب دهی و فرسایش	شدت رسوب دهی	تولید رسوب سالیانه (متر مکعب در کیلومتر مربع)	تولید رسوب سالیانه (تن در کیلومتر مربع)
V	• خیلی زیاد	> 1429	2500 <
IV	• زیاد	۴۷۶-۱۴۲۹	۲۵۰۰-۱۵۰۰
III	• متوسط	۲۳۸-۴۷۶	۱۵۰۰-۵۰۰
II	• کم	۹۵-۲۳۸	۵۰۰-۲۰۰
I	• خیلی کم	≤ 95	≤ 200

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش با تهیه لایه‌های مختلف اطلاعاتی، وضعیت فرسایش رسوب و میزان تولید رسوب مشخص گردید. با توجه به میزان تولید رسوب محاسبه شده در رابطه (۲) و رابطه (۱۶) و مقایسه این عدد با جدول (۸) می‌توان بیان کرد که حوضه کال اسماعیل دره از نظر کلاس رسوبدهی و فرسایش در کلاس I و جزو مناطق با شدت رسوب دهی خیلی کم می‌باشد. براساس شکل (۲) حوضه مورد مطالعه دارای حداکثر ارتفاع ۲۰۰۰ متر و حداقل ارتفاع ۱۳۲۰ متر بوده و از نظر توپوگرافی تلفیقی از کوهستان کم ارتفاع و دشت محسوب می‌شود. در این حوضه دشت بامساحت ۱۱۸,۹۰ کیلومتر مربع بیشترین درصد (۸۲,۳۸) درصد منطقه را شامل می‌شود و همچنین منطقه کوهستانی با مساحت ۲۵,۴۳ کیلومتر مربع، ۱۷,۶۱ درصد حوضه را در بر می‌گیرد. بنابر نقشه شیب حوضه شکل (۳) که در سیستم GIS تهیه شده است شیب منطقه از صفر تا ۴۲,۳۸ درجه به دست آمده است که بیشترین وسعت منطقه مربوط به شیب‌های ۵,۸ تا ۵,۸ درجه و کمترین وسعت مربوط به شیب‌های ۴۲,۳۸ تا ۵,۸ درجه می‌باشد و طبق رابطه (۱) شیب متوسط حوضه ۷,۴ درصد و طول شیب ۱۶,۰۳ کیلومتر برآورد شده است. براساس جدول (۱) ضریب فشردگی (گراولیوس) حوضه ۱,۰۶ محاسبه شده است و با توجه به اینکه این ضریب بیشتر از ۱ می‌باشد بنابراین می‌توان بیان کرد که حوضه دارای کشیدگی بوده و رواناب‌ها دیرتر به نقطه تمرکز می‌رسند و تولید سیلاب‌های شدید کمتر اتفاق می‌افتد که این امر در کاهش تولید رسوب حوضه موثر است. با توجه به موضوعات اشاره شده حوضه مورد مطالعه دارای شیب متوسط کم بوده و پوشش گیاهی نیز کم است و میزان فرسایش رسوب در کلاس I (فرسایش خیلی کم) قرار گرفته است. همانطور که قبلاً اشاره شد با توجه به شکل (۴) و جدول (۳) و شکل (۹) و جدول (۴) قسمت میانی حوضه از خاک‌های اینسپتی سول (تکامل نیافته) و به صورت پوشش سنگی می‌باشد که فرسایش کمی دارند.

در این پژوهش با استفاده از معادله جهانی تجدید نظر شده فرسایش خاک (RUSLE) میزان فرسایش رسوب در حوضه کال اسماعیل دره ۱۷,۱۹۷ تن در هکتار در سال به دست آمده است و دیگر پژوهشگران با همین مدل برای حوضه‌های متفاوت ارقام متفاوتی را محاسبه کرده‌اند. به طوری که هنرمند و همکاران (۱۳۹۰) در حوضه آبخیز ناورود میزان فرسایش رسوب را ۱۰۰-۱۰ (تن در هکتار در سال)، موسوی (۱۳۹۴) در شاهرود-میامی، محمدی و همکاران (۱۳۹۵) در تالار، محمودی و نقشبندی (۱۳۹۸) در سد گاوشان، آرمان و همکاران (۱۳۹۴) در سد تنگ سرخ، مزبانی و همکاران (۱۴۰۰) در سیکان میزان فرسایش رسوب را به ترتیب ۶۸,۱۸۵-۲,۳۱، ۹۲,۰۱-۰,۳۵,۲، ۳۵ و ۶۲,۱۷ تن در هکتار محاسبه نمودند. دیگر محققین با روش PSIAC نیز ارقام متفاوتی را برای حوضه‌های مختلف ارائه کرده‌اند. رستمی نیا و صفرلکی (۱۳۹۶) در حوضه چم گردلان ایلام را ۹,۶، علی پور و همکاران (۱۳۹۵) در حوضه ایور ۲,۹۵ و دیوسالاری و همکاران (۱۳۹۲) در سولقان قم، نصیری و همکاران (۱۴۰۰) در باختر قوچان و غفاری و



همکاران (۱۳۹۴) در حوضه آبخیز کن میزان فرسایش رسوب را به ترتیب ۱۹,۸۵، ۲-۸۴، ۴,۵، ۴,۶-۴,۱۷ و ۷۲,۷۸ تن در هکتار محاسبه نمودند. حوضه کال اسماعیل دره دارای شکل کشیده می‌باشد بنابراین زمان تمرکز طولانی شده و سبب کاهش تشکیل سیلاب‌های شدید می‌شود و همین امر در فرسایش کم منطقه تاثیر گذار خواهد بود. وجود مراتع در قسمت شمال و مرکز حوضه موجب کاهش فرسایش در این مناطق شده است. اما وجود زمین های کشاورزی و دستکاری انسان در منطقه جنوبی حوضه سبب افزایش میزان فرسایش در این قسمت از حوضه شده است. در پایان می‌توان پیشنهادات ذیل را برای بهتر شدن مطالعات ارائه داد:

- با توجه اینکه در قسمت مرکزی و شمالی حوضه مراتع قرار دارند، میزان فرسایش کمتر از قسمت جنوب می‌باشد بنابراین دامداران نسبت به چرای بی رویه در این مراتع مراقبت کنند تا شاهد افزایش فرسایش در آینده نباشیم.
- کشاورزان در مناطق زراعی تمهیدات حفاظتی اتخاذ کنند که از فرسایش بیشتر در قسمت جنوبی حوضه جلوگیری شده و در آینده شاهد نابودی حاصلخیزی زمین‌های کشاورزی نباشیم.
- با شرایط موجود نگرانی در مورد فرسایش خاک در محدوده جاده شاهرود آزادشهر وجود ندارد و این جاده از نظر فرسایش در بالادست و پایین دست در حالت نرمال بوده و نیازی در به کارگیری تمهیدات حفاظتی در این مورد به نظر نمی‌رسد.
- بهتر است برای رسیدن به نتایج دقیق تر از روش‌های دیگر استفاده شده و مقادیر بدست آمده با ایستگاه‌های هیدرومتری اطراف منطقه مورد مقایسه قرار گیرند.

#### منابع

- احمد آبادی، ع.، صدیقی فر، ز.، ۱۳۹۶. برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب با کمک معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده (RUSLE) در حوضه آبریز حبله رود. فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال دهم، شماره ۳۷، پاییز ۱۳۹۶ ص ۱۰۳-۸۳
- آرمان، ن.، سلاجقه، ع.، فیض نیا، س.، احمدی، ح.، قدوسی، ج.، کیانی راد، ع.، ۱۳۹۴. تعیین حوضه‌های آبخیز همگن جهت برآورد فرسایش رسوب با استفاده از روش‌های مختلف تحلیل خوشه‌ای (مطالعه موردی: دامنه شمالی البرز)، مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران دوره ۶۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵، ص ۲۷۳-۲۶۱.
- ارخی، ص.، بارنی، شهرام.، عمادالدین، س.، ۱۴۰۰، پهنه بندی خطر فرسایش برآورد رسوب در حوضه چم‌گردلان (استان ایلام با استفاده از مدل تجدید نظر شده جهانی فرسایش خاک/ RUUSLE)، مجله مخاطرات محیط طبیعی.
- امانپور، س.، عبیات، م.، عبیات، م.، بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه رامهرمز با استفاده از طبقه بندی شیء گرا و مدل RUSLE، مجله تحقیقات آب و خاک ایران (مجله علوم کشاورزی ایران)، دوره ۵۲، شماره ۳، خرداد ۱۴۰۰، ص ۶۴۹-۶۳۵.
- امینی، ع.، کرمی مقدم، م.، سدري، م.، کاظمی، س.، تعیین میزان فرسایش رسوب با استفاده از روش MPSIAC و سامانه GIS در حوضه خور خوره استان کردستان، نشریه سنجش از دور GIS ایران.
- دیوسالار، ا.، و ذبیحی، ع.، و شعبانی، م.، و ابراهیمی، ش.، و حمیدیان، س.، ۱۳۹۲. برآورد حجم رسوبات و بررسی عوامل محیطی موثر بر آن با استفاده از مدل MPSIAC در محیط GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سولقان قم). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۴(۷)، ۱۰۱-۱۱۳. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=2322314>
- رستمی نیا، م.، صفرلکی، س.، ۱۳۹۶. ارزیابی حساسیت مدل‌های MPSIAC و EPM برای برآورد فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز چم گردلان ایلام، پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران

- رودباری موسوی، م.م، امیری، ا و جاماسبی، ح، ۱۳۹۶. بررسی و برآورد رسوبگذاری رودخانه قزل اوزون در مخزن سد سفید رود با استفاده از مدل *HFC-RAS*، تحقیقات منابع ایران، سال سیزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، ص ۱۸۶-۱۸۱.
- علی پور، ن، فرزانه پی، ف، ترابی، ع، بخشی نیا، س، مصباح زاده، ط، سلاجقه، س، ۱۳۹۵. نشریه اکوسیستم‌های طبیعی ایران، پاییز ۱۳۹۵، دوره ۷، شماره ۳، ص ۳۸-۲۹.
- غفاری، گ، و احمدی، ح، و بهمنی، ا، و نظری سامانی، ع، ۱۳۹۴. ارزیابی اثر طرح آبخیزداری حوضه آبخیز کن بر میزان فرسایش و رسوب. مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، ۶۸(۳)، ۶۰۷-۶۲۴.  
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=۲۶۸۵۲>
- گلی مختاری، ل، شفیع، ن، رحمانی، ا، ۱۳۹۷. برآورد میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل (*RUSLE*) مطالعه موردی حوضه آبریز نورآباد ممسنی، مجله اکوهیدرولوژی، شماره ۱۷، زمستان ۱۳۹۷، ص ۲۱-۱.
- محمدی، م، فلاح، م، کاویان، ع، ا، غلامی، ل، امیدوار، ا، ۱۳۹۵. کاربرد مدل *RUSLE* در تعیین توزیع مکانی خطر هدر رفت خاک، مجله هیدرولوژی، دوره ۳، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، ص ۶۵۸-۶۴۵.
- محمودی، م، و نقشبندی، س، ۱۳۹۸. برآورد میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل *RUSLE* و داده های سنجنش از دور در حوضه آبخیز سد گاوشان. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۳(۶)، ۸۴۵-۸۵۶.  
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=۵۴۰۷۳۳>
- مددی، ع، نیک پور، ش، ۱۳۹۲. برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبخیز رودخانه زال با استفاده از روش پسیاب و پسیاب اصلاح شده و *GIS*، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۲، ص ۱۵۴-۱۳۳.
- مرادی، ی، محمدی لیمانی، س، خانمحمدی، م، لوهمندر، پ، ۱۳۹۴. برآورد فرسایش و تولید رسوب با مدل *EPM* در حوضه آبخیز زماکن با استفاده از *GIS*، مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، بهار ۱۳۹۴، ص ۲۶-۱۳.
- مزبانی، م، و رضایی مقدم، م، و حجازی، ا، ۱۴۰۰. ارزیابی خطر فرسایش خاک در کاربری های اراضی با استفاده از معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه آبریز سیکان). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۰(۳۷)، ۴۱-۶۳.  
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=۵۶۵۱۹۲>
- موسوی، س، ح، ۱۳۹۴. برآورد میزان فرسایش خاک در حوضه آبخیز شاهرود - میامی با استفاده از مدل *SLMSA* و تکنیک *GIS*، مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی - پژوهشی دانشگاه گلستان سال هفتم، شماره مسلسل بیست و چهارم.
- نصیری، ی، تقدیسی، س، محمودی قرایی، م، ح، محبوبی، ا، خانه باد، م، صداقت نیا، م، پاسبان، ع، ۱۴۰۰. ارزیابی فرسایش خاک و تولید رسوب با به کارگیری مدل پسیاک اصلاحی و *GIS* در حوضه آبریز عشق آباد- سوله (جنوب باختر قوچان)، دوره ۹، شماره ۱۷ - شماره پیاپی ۱۷، تیر ۱۴۰۰، صفحه ۸۲-۶۵.
- نور، ح، عرب خدری، م، ۱۴۰۱. برآورد فرسایش خاک و نسبت تحویل رسوب با استفاده از مدل *RUSLE* در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه، مجله مدل سازی و مدیریت آب و خاک، روره ۳، شماره ۱، فروردین ۱۴۰۲، ص ۶۳ - ۴۲.
- هنرمند، م، اسدی، ح، وظیفه دوست، م، موسوی، س، ع، ۱۳۹۰. ارزیابی خطر فرسایش خاک با استفاده از مدل جهانی تلفات خاک اصلاح شده، سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجنش از دور در حوضه آبخیز ناورود، دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تبریز، ۱۲ الی ۱۴ شهریور ۱۳۹۰.

- Birhan Getachew a,c, † Busnur R. Manjunatha b Gangadhara H. Bhat Assessing current and projected soil loss under changing land use and climate using RUSLE with Remote sensing and GIS in the Lake Tana Basin, Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia Contents lists available at ScienceDir 24(2021) 907-918
- Devente, J., Poesen, J., Bazzo, P., van Rompaey, A. & Verstraeten, G. (2006) Predicting Catchment sediment yield Mediterranean environments: the importance of sediment sources and connectivity in Italian drainage basins, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 31, No. 8, pp. 1017-1034
- Pei Tian a, \*, Zhanliang Zhu a, b, Qimeng Yue a, b, Yi He a, Zhaoyi Zhang c, Fanghua Hao a, Wenzhao Guo d, Lin Chen c, Muxing Liu a Soil erosion assessment by RUSLE with improved P factor and its validation: Case study on mountainous and hilly areas of Hubei Province, China *International Soil and Water Conservation Research* 9 (2021) 433- 444
- Engin Gürtekin a, \*, Oğuz Gökçe Estimation of erosion risk of Harebakayış sub-watershed, Elazığ, Turkey, using GIS based RUSLE model *Environmental Challenges* 5(2021)
- Renard, K.G., Ston, J. J., 1982, *Sediment Yield from Small Semiarid Range Land Water Sheds*. USDA- SEA-ARM, Western series- No. 26, 129-144.
- Renard K, Foster G, Weesies G, McCool D, Yoder D. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. US Department of Agriculture (Ed.), *Agricultural Handbook*. US Department of Agriculture, Washington. 1997; 703:1-251
- Zandi, J. (2012). *Prioritization of controlling area on soil erosion using RS & GIS Techniques: a case study from Vazroud watershed, Mazandaran Province (In Persian)*. M.Sc thesis. University of Sari agricultural sciences and natural resources. 161p.
- Shi, Z.H., Cai, C.F., Ding, S.W., Wang, T.W., 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
- Wischmeier, W.H., & Smith, D.D., (1978), *Predicting rainfall erosion, losses: a guide to conservation planning*, *Agriculture Handbook*, Vol. 537. US Department of Agriculture, Washington, DC, PP. 58-77
- Lin, C., Lin, W., Chou, W. (2002), *Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience*, *Soil Tillage Res*, No. 68, PP. 143-152.