

واژه‌های کلیدی: رسوب، رسوب‌دهی، کارایی مدل، مدل‌های فرسایشی، معادله جهانی فرسایش خاک، نسبت تحویل رسوب.

مقدمه

به‌طور کلی سدهای ذخیره‌ای آب به‌عنوان سازه‌های راهبردی هر کشور به شمار می‌آیند. یکی از مسائلی که همواره در خصوص این‌گونه سدها مطرح است، موضوع فرسایش خاک در حوزه آبخیز آن‌ها و انتقال رسوب ایجادشده به مخزن سدها می‌باشد. انتقال رسوب تولیدشده و انتقال آن به مخزن سدها باعث کاهش حجم ذخیره‌ای سد و درنهایت کاهش عمر مفید آن‌ها می‌گردد. به‌منظور سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی حفاظت خاک حوزه آبخیز این سدها و جلوگیری از تولید و انتقال رسوب به مخزن سدها، مطالعات فرسایش و رسوب و برآورد رسوب در راستای طراحی و اجرای اقدامات حفاظتی مناسب، هدفمند و مقرون‌به‌صرفه با توجه به شدت مشکل و اثرات اجتماعی - اقتصادی [۲۳] در دستور کار متولیان امر قرار می‌گیرد. هرساله حدود ۲۶ میلیارد تن از خاک در دنیا در اثر فرسایش از دست می‌رود که بیش‌تر از خاکی است که تشکیل می‌شود [۱۴] این در حالی است که بیش‌ترین اندازه‌ی این فرسایش‌ها در کشورهای درحال‌توسعه رخ داده است و خطری جدی برای توسعه‌ی پایدار و متوازن کشاورزی است [۱۵]. برآورد و بررسی فرسایش و رسوب با توجه به داده‌های موجود، معمولاً با استفاده از مدل‌های مناسب و متناسب با شرایط حوزه‌های آبخیز صورت می‌پذیرد. از مدل‌ها و روش‌هایی که در کشور ایران به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توان به مدل‌های ^۴RUSLE، ^۵MPISAC و ^۶EPM و روش تحلیل منطقه‌ای اشاره کرد. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده‌ی کتابخانه‌ای و جستجو در منابع داخلی و خارجی، دو مدل ^۴RUSLE و ^۵MPISAC بیش‌ترین استفاده را در تعیین و برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز داشته‌اند. پژوهشگران و محققان بسیاری با استفاده از مدل‌های نامبرده شده به بررسی و برآورد میزان فرسایش و رسوب حوزه‌های آبخیز پرداخته‌اند. ایتیمیو و همکاران [۵] در پژوهشی که در حوزه آبخیز رودخانه ون‌تیکوس در شمال یونان انجام دادند، نتیجه گرفتند مدل ^۴RUSLE مدل مناسبی برای تخمین برآورد رسوب در حوزه

برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل‌های MPSIAC و RUSLE و روش تحلیل منطقه‌ای در حوزه آبخیز سد چشمه عاشق، نیریز، استان فارس

حسن مقیم^۱، سید مسعود سلیمان‌پور^۲ و مهرسا محسنی^۳
تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۵/۱۰ تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۰۹/۱۲

چکیده

سدهای ذخیره‌ای آب به‌عنوان سازه‌های راهبردی هر کشور به شمار می‌آیند. یکی از مسائلی که همواره در خصوص این‌گونه سدها مطرح است، موضوع فرسایش خاک در حوزه آبخیز آن‌ها و انتقال رسوب ایجادشده به مخزن سدها می‌باشد. سد چشمه عاشق نیریز در استان فارس، یکی از این سدهاست. به‌منظور سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در راستای حفاظت خاک در حوزه آبخیز این سد و جلوگیری از تولید و انتقال رسوب به مخزن آن، مطالعات فرسایش و رسوب و برآورد آن‌ها به‌منظور طراحی و اجرای اقدامات حفاظتی مناسب برای اولین بار در این حوزه آبخیز با مدل‌های ^۴RUSLE و ^۵MPSIAC و هم‌چنین روش تحلیل منطقه‌ای انجام گردید. نتایج این پژوهش نشان داد، بر اساس مدل‌های ^۴RUSLE و ^۵MPSIAC میزان رسوب ویژه به ترتیب ۱/۵۸ و ۳/۱۷ تن در هکتار در سال برآورد شده است. با توجه به اینکه نتیجه به‌دست‌آمده از روش تحلیل منطقه‌ای بر مبنای ایستگاه گوزون میزان رسوب ویژه ۳/۵ تن در هکتار در سال برآورد گردیده است، می‌توان نتیجه گرفت برآورد به‌دست‌آمده از مدل ^۴RUSLE به میزان محاسبه‌شده از روش تحلیل منطقه‌ای نزدیک‌تر است. از این‌رو، می‌توان گفت برای برآورد میزان رسوب و اقدامات حفاظت خاک آبی در حوزه آبخیز سد چشمه عاشق، نتایج به‌دست‌آمده از مدل ^۴RUSLE نسبت به مدل ^۵MPSIAC از کارآمدی بیش‌تری برخوردار است.

۱- دانش آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس. (نویسنده مسئول)، Hassan_Moghimi@yahoo.com
۲- دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس.
۳- دانش آموخته کارشناس ارشد خاک‌شناسی، مهندسین مشاور پورآب.

4. Revised Universal Soil Loss Equation
5. Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee
6. Erosion Potential Method

آبخیز مورد مطالعه می‌باشد. کویرالا و همکاران [۹] طی تحقیقی در حوزه آبخیز نپال برای اولین بار جهت تخمین میزان فرسایش از مدل RUSLE استفاده کردند. بر اساس نتایج به دست آمده ۱۱ درصد از مساحت حوزه آبخیز بالای ۸۰ تن در هکتار در سال تولید رسوب دارد. سیدیال موکتارو همکاران [۱۹] نیز در پژوهشی در ناحیه مارادی در جنوب مرکزی نیجر با استفاده از مدل RUSLE و بهره‌مندی از فن‌آوری RS و میزان فرسایش سالانه را برآورد کردند و نشان دادند، ۱۲ درصد از حوضه مورد مطالعه در شرایط فرسایشی زیاد قرار دارد. همچنین الالافتا و اوپ [۱] طی پژوهشی در حوزه آبخیز رودخانه شط العرب با استفاده از مدل RUSLE و فن‌آوری سنجش از دور و GIS، میزان فرسایش سالانه را در ۵ گروه تعیین کردند. ایشان بیان داشتند، این نتایج می‌تواند در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در راستای حفاظت خاک در این حوزه آبخیز مورد استفاده قرار گیرد. اسدی و همکاران [۴] طی پژوهشی در حوزه آبخیز ناورود استان گیلان (ایران) با استفاده از مدل RUSLE، میزان میانگین فرسایش خاک را برآورد کردند. بر اساس نتایج، میانگین فرسایش خاک در بازه صفر تا ۱/۰۵۶ تن در هکتار در سال برآورد گردیده است. تیموری و بذرافشان [۲۱] طی پژوهشی در حوزه آبخیز جاسک - گابریک استان هرمزگان (ایران) کارایی مدل‌های EPM و RUSLE در برآورد فرسایش خاک و میزان رسوب‌دهی بر اساس منحنی سنج رسوب را مورد بررسی قرار دادند. بنا به نتایج این پژوهش، میزان رسوب برآوردی مدل RUSLE، ۳۰۷۴۵ تن در هکتار در سال و در مدل EPM، ۱۰۵۴۱/۶ تن در هکتار در سال برآورد گردید که با توجه به نزدیک‌تر بودن مقدار برآوردی RUSLE به مقدار رسوب مشاهده‌ای (۴۲۴۱۴ تن در هکتار در سال) کارایی مدل RUSLE در برآورد رسوب منطقه‌ی مورد مطالعه بیش‌تر است. محمدی و همکاران [۱۲] طی تحقیقی به برآورد مکانی فرسایش خاک کشور ایران با استفاده از مدل RUSLE پرداختند. ایشان بیان داشتند، متوسط فرسایش سالانه خاک در کشور ایران حدود ۲۴ تن در هکتار در سال برآورد می‌شود. میزبانی و همکاران [۱۱] در حوزه سیمکان (ایران) خطر فرسایش خاک در کاربری‌های اراضی با استفاده از معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد در بین عوامل تأثیرگذار در هدررفت خاک حوضه، عامل LS با همبستگی برابر ۰/۹ بیش‌ترین سهم را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین معتمدی‌راد و همکاران [۱۳] در حوزه آبخیز کال اسماعیل دره شهرستان شاهرود استان سمنان (ایران) طی پژوهش به بررسی میزان خاک و تولید با استفاده از مدل RUSLE و روش MPSIAC پرداختند. ایشان نشان دادند با مدل RUSLE میزان فرسایش در منطقه مورد مطالعه ۱۷/۱۹ تن در هکتار برآورد شده است که از نظر شدت فرسایش، در کلاس یک (خیلی کم) قرار می‌گیرد و این روش از کارایی بیش‌تری برخوردار است. آرخی و بارانی [۳] طی پژوهشی در حوزه آبخیز چم‌گردلان استان ایلام (ایران) به مقایسه مدل‌های EPM و RUSLE در برآورد

فرسایش و تولید رسوب با استفاده از پرداختند. در این پژوهش، میزان رسوب در مدل RUSLE، ۳۷/۱۶ تن در هکتار در سال و در روش EPM، ۴۹/۲۱ تن در هکتار در سال برآورد گردید که با توجه به نزدیک‌تر بودن مقدار برآوردی مدل RUSLE به مقدار رسوب مشاهده‌ای ۵۸/۱۶ تن در هکتار در سال، کارایی مدل RUSLE در برآورد رسوب منطقه مورد مطالعه بیش‌تر است. همچنین آرخی و همکاران [۲] در حوزه آبخیز چم‌گردلان استان ایلام (ایران) با استفاده از مدل تجدیدنظر شده جهانی فرسایش خاک به پهنه‌بندی خطر فرسایش و برآورد رسوب پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد فاکتور LS با ضریب همبستگی ۰/۸۱ بیش‌ترین تأثیر را در برآورد فرسایش سالانه خاک با استفاده از مدل RUSLE داشته است. نور و عرب‌خدری [۱۵] طی پژوهشی در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه واقع در استان خراسان رضوی (ایران) برآورد فرسایش خاک و نسبت تحویل رسوب را با استفاده از مدل RUSLE مورد بررسی قرار دادند. ایشان بیان داشتند استفاده از مدل مذکور امکان برآورد متوسط فرسایش خاک منطقه و همچنین تخمین نسبت تحویل رسوب وجود دارد. سد چشمه عاشق شهرستان نی‌ریز از جمله سدهای مخزنی احداث شده در استان فارس می‌باشد. در این پژوهش برای اولین بار، به مقایسه برآورد فرسایش خاک در حوزه آبخیز سد چشمه عاشق با استفاده از مدل‌های MPSIAC و RUSLE و روش تحلیل منطقه‌ای پرداخته شده است. دلیل انتخاب سد چشمه عاشق، اهمیت بالای آن در زمینه تأمین آب پایدار کشاورزی، آشامیدنی و صنعتی منطقه و نبود مطالعات فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

حوزه آبخیز سد چشمه عاشق در نواحی شرق استان فارس واقع می‌باشد. حوزه آبخیز چشمه عاشق از نظر مختصات جغرافیایی در موقعیت طول شرقی ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۵ دقیقه و عرض شمالی ۲۸ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه قرار دارد (شکل ۱). مساحت این حوزه آبخیز برابر ۴۶۰۶۷ هکتار می‌باشد. این سد روی رودخانه چشمه عاشق و در فاصله ۹۶ کیلومتری از شهر نی‌ریز و در جنوب روستای وزیره واقع شده است. هدف اصلی از ساخت این سد تأمین آب آشامیدنی، کشاورزی و صنعتی پایدار مردم منطقه و با رویکرد ایجاد اشتغال پایدار می‌باشد. ارتفاع این سد از پی ۶۰ متر و طول تاج آن ۳۷۵ متر است. حجم مفید مخزن سد چشمه عاشق ۶۹ میلیون مترمکعب می‌باشد. سد چشمه عاشق از نوع سدهای بتن غلطکی (R.C.C) است. حوزه آبخیز این سد که از نظر تقسیمات سیاسی در شهرستان داراب قرار می‌گیرد، برابر با ۴۶۰۶۷ هکتار می‌باشد. میانگین سالیانه ۳۳۱/۲ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه نیز ۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد است. رژیم رطوبتی

● مدل RUSLE

روش معادله جهانی هدررفت خاک (USLE) به دلیل سادگی، پرکاربردترین مدل تجربی در تحقیقات فرسایش خاک است. گرچه برای شیوه‌های کشاورزی طراحی شده است [۷]. به دنبال این مدل، نسخه جدید مدل USLE با نام معادله تجدید شده جهانی هدررفت خاک (RUSLE) توسعه یافته که برآوردهای دقیق‌تری از عوامل فرساینده خاک، فرساینده گیاهی، باران، پوشش گیاهی و مدیریت اراضی و فرسایش خاک انجام می‌دهد [۲۲]. این مدل ساختار USLE را حفظ کرد که شامل چندین تغییر در پارامترهای معادله به منظور در نظر گرفتن تحقیقات، آزمایش‌ها، داده‌ها و تفاسیر نظری موجود، با توجه به انتشار قبلی USLE بود [۲۲]. این مدل از نوع مدل‌های توزیعی بوده که توانایی شناسایی نقاط بحرانی را دارد. از این مدل در مقیاس ملی در کشور استرالیا [۲۰] و در مقیاس قاره‌ای در قاره اروپا [۲۲] و آفریقا [۱۰] بهره گرفته شده است. در کشور ایران نیز متوسط فرسایش خاک با استفاده از مدل مذکور ۲۴ تن در هکتار در سال گزارش شده است [۱۲، ۲۳]. به طور کلی این مدل، یک مدل برآورد فرسایش آبی در اراضی کشاورزی و هم‌چنین مرتعی است که با شش عامل فرسایشی رابطه دارد و می‌تواند برای برآورد فرسایش در پایه‌های زمانی مختلف به کار برده می‌شود [۱۷].

$$A = R.K.L.S.C.P$$

رابطه (۱)

که در آن، R عامل فرساینده گیاهی باران، K عامل فرسایش پذیری خاک، LS اثر توپوگرافی در فرسایش خاک، C عامل پوشش گیاهی، P عامل مدیریت اراضی و A میانگین فرسایش خاک در واحد سطح در پایه زمانی مورد نظر می‌باشد.

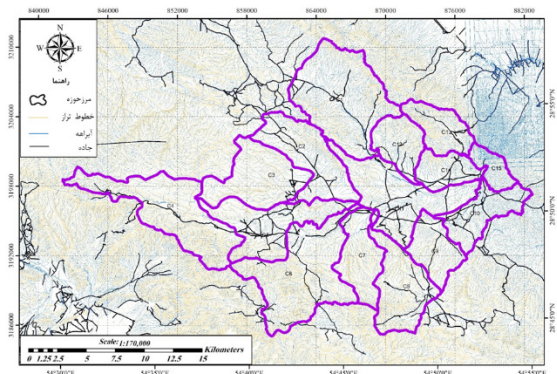
● روش تحلیل منطقه‌ای

به طور کلی صحت‌سنجی نتایج حاصل از مدل‌های تجربی همواره دارای اهمیت بوده و مرحله تکمیلی یک پژوهش در رابطه با فرسایش و رسوب به شمار می‌آید. آنچه مشخص است، بهترین روش صحت‌سنجی وجود ایستگاه سنجش رسوب در حوزه آبخیز مورد مطالعه یا در نزدیکی آن (با شرایط مشابه) می‌باشد. البته این امکان برای بیش‌تر حوزه‌های آبخیز وجود ندارد. به همین دلیل برای ارزیابی نتایج به دست آمده از مدل‌های تجربی، از روش تحلیل منطقه‌ای استفاده می‌شود. با بررسی انجام شده روی کمیت و کیفیت آمار و اطلاعات ثبت شده در ایستگاه‌های پیرامون حوزه آبخیز چشمه عاشق، تنها سه ایستگاه گوزون، درب قلعه و تنگ خسویه برای انجام محاسبات تحلیل منطقه‌ای مناسب تشخیص داده و مورد استفاده قرار گرفتند. چرایی انتخاب این سه ایستگاه به طور عمده به دو دلیل الف) همگنی و کفایت ایستگاه ب) تعطیل بودن ایستگاه‌های دیگر می‌باشد (شکل ۳).

خاک منطقه زریک^۱ و رژیم حرارتی هایپرترمیک^۲ می‌باشد. بافت خاک منطقه عمدتاً متوسط بوده و توپوگرافی غالب منطقه کوهستان می‌باشد. حوزه آبخیز سد چشمه عاشق به ۱۵ زیر حوضه (پارسل) تقسیم شده است (شکل ۲).



شکل ۱: موقعیت حوزه آبخیز سد چشمه عاشق



شکل ۲: تقسیم‌بندی زیر حوضه‌های سد چشمه عاشق

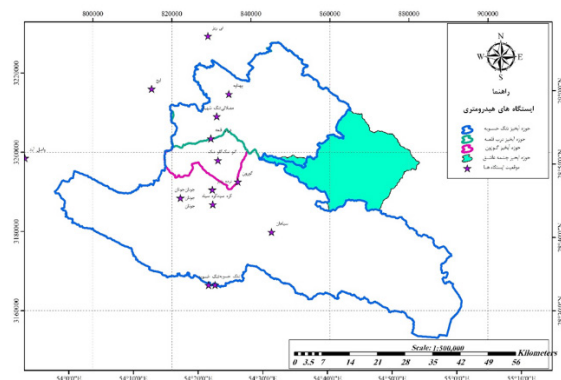
● مدل‌ها و روش مورد استفاده در پژوهش

در این پژوهش از دو مدل برآورد فرسایش خاک به نام‌های MPSIAC و RUSLE و هم‌چنین روش تحلیل منطقه‌ای^۳ استفاده شده است.

● مدل MPSIAC

مدل MPSIAC، نسخه‌ی اصلاح شده‌ی مدل PSIAC می‌باشد که توسط جانسون و گبهارت [۸] ارائه شده است. مدل اصلاح شده تا حدودی معایب (از جمله نمره دهی کاملاً کیفی) روش PAIAC را برطرف کرده و روابطی را برای محاسبه نمره هر یک از عوامل زمین‌شناسی سطحی، خاک، آب و هوا، رواناب، پستی و بلندی، پوشش زمین، کاربری، فرسایش سطحی و فرسایش رودخانه‌ای ارائه کرده است [۸]. روش اصلاح شده بیش‌ترین عوامل مؤثر در فرسایش خاک برای محاسبه فرسایش ویژه و تولید رسوب را نسبت به دیگر مدل‌های مشابه در نظر گرفته است. این مدل در درجه اول برای کاربرد در مناطق خشک و نیمه خشک در جنوب غربی ایالات متحده آمریکا ارائه شده است و اعتقاد بر این است که برای شرایط مشابه محیطی در ایران مناسب است [۱۸].

1. Aridic-Ustic
2. Hyper thermic
3. Regional Analysis

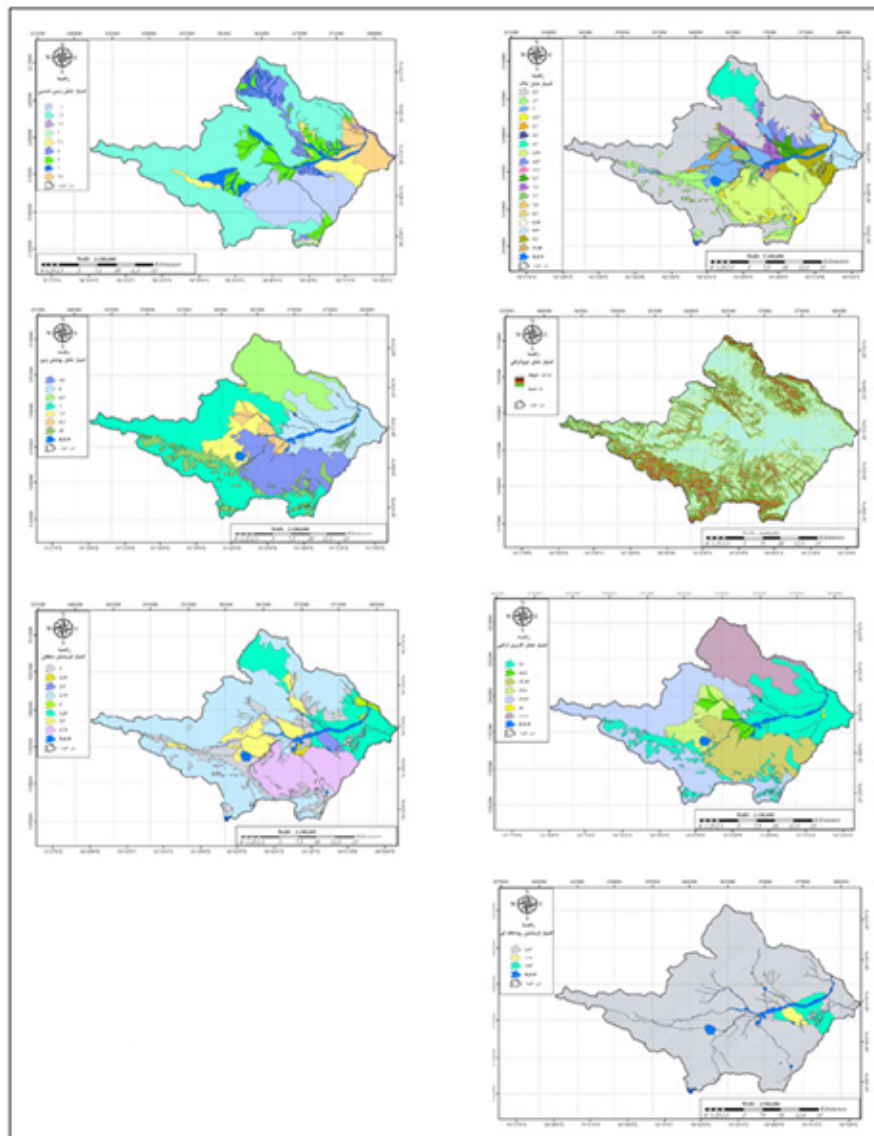


شکل ۳: موقعیت حوزه‌های سه گانه ایستگاه‌های منتخب

روش پژوهش

در این پژوهش نخست نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز چشمه عاشق با نقشه‌ای اجزا و احد اراضی تلفیق و واحدهای جدیدی به نام محدوده‌های همگن ایجاد گردید. سپس برای هر واحد یک کد

در نظر گرفته و تعدادی از پهنه‌های همگن را متناسب با مساحت حوضه و تنوع پهنه‌ها انتخاب و در برداشت‌های صحرایی جدول مختصات و مشخصات این نقاط تکمیل گردیده است. در ادامه با استفاده از روش MPSIAC و RUSLE، پارامترهای موردنیاز در هر واحد مورد ارزیابی قرار گرفت و امتیازبندی شد. در روش RUSLE عوامل بارندگی، شیب، حفاظت خاک، پوشش گیاهی و ضریب فرسایش‌پذیری خاک موردبررسی قرار گرفت. سهم امتیاز هر واحد فرسایشی با استفاده از فن‌آوری GIS و نرم‌افزار ILWIS محاسبه و در نهایت امتیاز فرسایش در هر زیر حوضه و واحد همگن تعیین گردید. سپس با تلفیق نقشه‌های موجود میزان فرسایش در روش RUSLE و سپس میزان رسوب در حوزه آبخیز چشمه عاشق برآورد گردید. در روش MPSIAC عوامل بارندگی، زمین‌شناسی، ضریب فرسایش‌پذیری خاک، رواناب، شیب، پوشش گیاهی و کاربری اراضی (شکل ۴) مدنظر قرار گرفته و بر اساس آن‌ها وضعیت فرسایش و رسوب در حوضه ارزیابی گردید. بدین منظور نقشه‌های



شکل ۴: نقشه‌های عوامل مختلف روش MPSIAC

آبخیز چشمه عاشق (MPSIAC)

درجه	زیر	درجه	زیر	درجه	زیر
رسوب‌دهی	حوضه	رسوب‌دهی	حوضه	رسوب‌دهی	حوضه
۵۱/۴	C11	۵۱/۰	C6	۴۹/۲	C1
۴۷/۲	C12	۵۱/۰	C7	۴۷/۴	C2
۵۲/۷	C13	۵۱/۷	C8	۴۶/۲	C3
۴۹/۴	C14	۴۸/۹	C9	۵۰/۶	C4
۵۳/۲	C15	۵۱/۷	C10	۴۸/۲	C5
				۴۹/۸	کل
					حوضه

تعیین رسوب ویژه

رسوب ویژه درواقع بخشی از فرسایش ویژه است که از واحد سطح حوضه خارج می‌شود. با استفاده از رابطه (۲) و (۳) [۱۶]، رسوب ویژه در حوزه آبخیز محاسبه گردید. این میزان برای حوزه آبخیز چشمه عاشق ۱/۵۸ تن در هکتار در سال برآورد شده است. در جدول ۲، میزان رسوب ویژه برای زیر حوضه‌های مختلف ارائه شده است.

$$Q_s = 0.253e^{0.036R} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$Q_s = 38.77e^{0.0353R} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن، R درجه رسوب‌دهی و Q_s تولید رسوب می‌باشد.

● مدل RUSLE

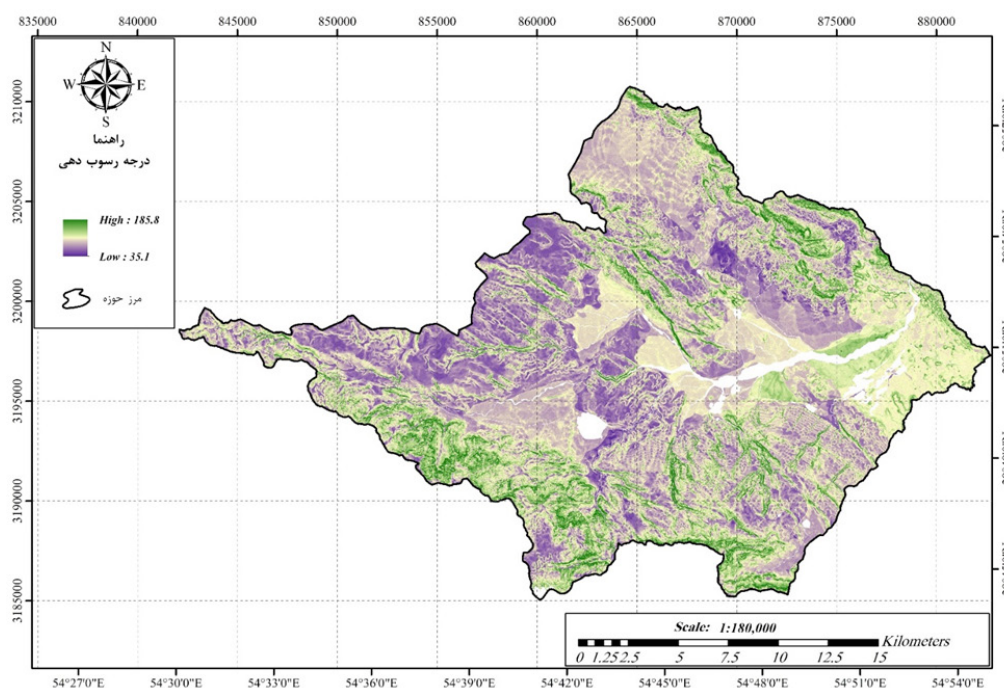
فرساینده‌گی باران حاصل از برآورد شدت - مدت - فراوانی ایستگاه معرف (منج)، عامل پوشش با استفاده از نقشه‌های واحد اراضی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی حوضه، ضریب فرساینده‌گی خاک با کمک نقشه‌های واحد اراضی و نقشه BLM با توجه به بازدید میدانی و تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های شیب، پوشش گیاهی و زمین‌شناسی و به کمک نقشه‌های موجود، تهیه گردید. سپس با تلفیق نقشه‌های به‌دست‌آمده میزان رسوب در حوزه آبخیز چشمه عاشق برآورد شد. در نهایت شاخص‌های مختلف فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز موردپژوهش پهنه‌بندی گردید (شکل ۵).

نتایج

● مدل MPASIC

ارزیابی عوامل نه‌گانه و تعیین درجه رسوب‌دهی (R) با بررسی نه عامل محیطی زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، اقلیم، رواناب، توپوگرافی، پوشش زمین، کاربری اراضی، فرسایش سطحی و فرسایش رودخانه‌ای به ارزیابی میزان رسوب در سطح حوزه آبخیز چشمه عاشق پرداخته شد. بر این اساس و با استفاده از روابط تعریف‌شده‌ی مدل MPSAIC، امتیاز عوامل نه‌گانه محاسبه و در نهایت از جمع امتیازها، درجه رسوب‌دهی (R) در زیر حوضه‌های هیدرولوژیک و غیر هیدرولوژیک حوزه آبخیز چشمه عاشق به شرح جدول ۱، به دست آمد.

● جدول ۱: درجه رسوب‌دهی (R) در زیر حوضه‌های حوزه



شکل ۵: پهنه‌بندی درجه رسوب‌دهی در حوزه آبخیز چشمه عاشق روش MPSIAC

جدول ۲: میزان رسوب ویژه (تن در هکتار در سال) در زیر حوضه‌های حوزه آبخیز چشمه عاشق (MPSIAC)

مساحت (هکتار)	رسوب ویژه	زیر حوضه	مساحت (هکتار)	رسوب ویژه	زیر حوضه	مساحت (هکتار)	رسوب ویژه	زیر حوضه
۴۲۶۱/۴	۱/۶۵	C11	۵۶۷۱/۵	۱/۵۲	C6	۵۶۷۱/۲	۱/۵۳	C1
۱۷۷۲/۹	۱/۴۳	C12	۲۲۹۲/۰	۱/۶۴	C7	۳۳۸۳/۳	۱/۴۵	C2
۱۷۶۲/۷	۱/۷۹	C13	۳۱۳۷/۱	۱/۶۵	C8	۳۴۵۴/۱	۱/۳۷	C3
۱۴۵۸/۱	۱/۵۴	C14	۱۸۸۱/۰	۱/۴۳	C9	۴۹۱۳/۵	۱/۶۵	C4
۸۸۵/۳	۱/۷۴	C15	۲۱۳۴/۴	۱/۷۹	C10	۳۴۸۶/۰	۱/۴۸	C5
						۴۶۱۶۴/۵	۱/۵۸	کل حوضه

جدول ۳: میزان فرسایش ویژه (تن در هکتار در سال) در زیر حوضه‌های حوزه آبخیز چشمه عاشق (RUSLE)

مساحت (هکتار)	فرسایش ویژه	زیر حوضه	مساحت (هکتار)	فرسایش ویژه	زیر حوضه	مساحت (هکتار)	فرسایش ویژه	زیر حوضه
۴۲۶۱/۴	۸/۱۷	C11	۵۶۷۱/۵	۱۰/۳۵	C6	۵۶۷۱/۲	۹/۶۰	C1
۱۷۷۲/۹	۱۰/۹۵	C12	۲۲۹۲/۰	۱۰/۱۲	C7	۳۳۸۳/۳	۹/۳۰	C2
۱۷۶۲/۷	۱۲/۰۵	C13	۳۱۳۷/۱	۱۰/۸۳	C8	۳۴۵۴/۱	۸/۹۳	C3
۱۴۵۸/۱	۹/۸۴	C14	۱۸۸۱/۰	۱۰/۳۳	C9	۴۹۱۳/۵	۱۰/۲۱	C4
۸۸۵/۳	۱۰/۶۴	C15	۲۱۳۴/۴	۸/۳۳	C10	۳۴۸۶/۰	۸/۰۷	C5
						۴۶۱۶۴/۵	۹/۷۰	کل حوضه

جدول ۴: مقادیر ضریب رسوب‌دهی در زیر حوضه‌های حوزه آبخیز چشمه عاشق

مساحت (هکتار)	ضریب رسوب‌دهی	زیر حوضه	مساحت (هکتار)	ضریب رسوب‌دهی	زیر حوضه	مساحت (هکتار)	ضریب رسوب‌دهی	زیر حوضه
۴۲۶۱/۴	۰/۴۰	C11	۵۶۷۱/۵	۰/۳۹	C6	۵۶۷۱/۲	۰/۳۵	C1
۱۷۷۲/۹	۰/۳۷	C12	۲۲۹۲/۰	۰/۳۶	C7	۳۳۸۳/۳	۰/۳۷	C2
۱۷۶۲/۷	۰/۳۷	C13	۳۱۳۷/۱	۰/۳۹	C8	۳۴۵۴/۱	۰/۳۴	C3
۱۴۵۸/۱	۰/۴۰	C14	۱۸۸۱/۰	۰/۳۹	C9	۴۹۱۳/۵	۰/۳۳	C4
۸۸۵/۳	۰/۳۹	C15	۲۱۳۴/۴	۰/۴۰	C10	۳۴۸۶/۰	۰/۳۹	C5
						۴۶۱۶۴/۵	۰/۳۷	کل حوضه

MPSIAC، فرسایش ویژه تعیین گردید. رسوب ویژه در واقع بخشی از فرسایش ویژه است که از واحد سطح حوضه خارج می‌شود. این نسبت رسوب به فرسایش، به نسبت تحویل رسوب یا ضریب رسوب‌دهی (S.D.R.) معروف است. جداول ۴، ۵ و ۶، به ترتیب مقادیر ضریب رسوب‌دهی در زیر حوضه‌های حوزه آبخیز چشمه عاشق، میزان فرسایش ویژه بر اساس مدل MPSIAC و میزان رسوب ویژه بر اساس مدل RUSLE را ارائه می‌دهند.

بر آورد میزان رسوب با استفاده از روش تحلیل منطقه‌ای با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، سه ایستگاه گوزون، درب قلعه و تنگ خسویه در پیرامون حوزه آبخیز چشمه عاشق شناسایی

نتایج ارزیابی عوامل شش‌گانه و تعیین میزان فرسایش ویژه (E) با بررسی عوامل شش‌گانه پوشش گیاهی، حفاظت خاک، شیب، ضریب فرساینده‌گی و بارندگی و تلفیق نقشه‌های حاصل از هر یک از عوامل نامبرده شده، میزان فرسایش ویژه (E) تعیین گردید. جدول ۳، میزان ویژه در هر یک از زیر حوضه‌های حوزه آبخیز چشمه عاشق را ارائه می‌دهد.

ضریب رسوب‌دهی (S.D.R.)^۱

پس از تعیین فرسایش ویژه در هر زیر حوضه در مدل RUSLE، رسوب ویژه و پس از تعیین رسوب ویژه در هر زیر حوضه در مدل

1. Sediment Delivery Ratio

جدول ۵: میزان فرسایش ویژه (تن در هکتار در سال) بر اساس مدل MPSIAC

فرسایش ویژه	زیر حوضه	فرسایش ویژه	زیر حوضه	فرسایش ویژه	زیر حوضه
۴/۱۶	C11	۴/۶۹	C6	۴/۴۰	C1
۳/۸۴	C12	۴/۶۵	C7	۳/۹۴	C2
۴/۸۸	C13	۴/۴۴	C8	۴/۰۵	C3
۳/۸۶	C14	۴/۲۶	C9	۴/۹۹	C4
۴/۴۸	C15	۴/۱۱	C10	۳/۸۳	C5
				۴/۳۳	کل حوضه

جدول ۶: میزان رسوب ویژه (تن در هکتار و سال) بر اساس مدل RUSLE

رسوب ویژه	زیر حوضه	رسوب ویژه	زیر حوضه	رسوب ویژه	زیر حوضه
۲/۹۴	C11	۳/۲۳	C6	۳/۰۶	C1
۳/۷۷	C12	۳/۳۳	C7	۳/۰۱	C2
۴/۱۰	C13	۳/۶۷	C8	۲/۵۹	C3
۳/۵۳	C14	۳/۴۷	C9	۲/۹۹	C4
۳/۹۳	C15	۳/۱۱	C10	۲/۶۵	C5
				۳/۱۷	کل حوضه

جدول ۷: برآورد مقدار بار رسوب در محل ایستگاه گوزون

رسوب سالانه (تن)	دبی رسوب به ازای دبی ستون ۴	دبی روزانه (مترمکعب بر ثانیه)	دبی با احتمال وقوع حد وسط دسته‌ها (مترمکعب بر ثانیه)	حد وسط دسته‌های احتمال (درصد)	فاصله دسته‌ها	حدود دسته‌ها (درصد)
۹۴۰/۲۷	۲۳۵۱/۲۵	۶/۱۸	۱۵/۴۵	۲۰	۰/۹۹۹۳	۰/۰۱-۴۰
۱۸۱/۳۷	۱۸۱۳/۷۱	۱/۳۵	۱۳/۵۲	۴۵	۰/۱	۴۰-۵۰
۱۷۴/۱۲	۱۷۴۱/۲۰	۱/۳۲	۱۳/۲۴	۵۵	۰/۱	۵۰-۶۰
۱۶۹/۱۸	۱۶۹۱/۸۵	۱/۳۱	۱۳/۰۵	۶۵	۰/۱	۶۰-۷۰
۱۶۵/۶۱	۱۶۵۶/۰۹	۱/۲۹	۱۲/۹۱	۷۵	۰/۱	۷۰-۸۰
۱۶۲/۹۰	۱۶۲۹/۰۱	۱/۲۸	۱۲/۸۰	۸۵	۰/۱	۸۰-۹۰
۸۰/۶۳	۱۶۱۲/۶۴	۰/۶۴	۱۲/۷۳	۹۲/۵	۰/۰۵	۹۰-۹۵
۴۸/۱۵	۱۶۰۴/۹۸	۰/۳۸	۱۲/۷۰	۹۶/۵	۰/۰۳	۹۵-۹۸
۱۶/۰۱	۱۶۰۱/۳۹	۰/۱۳	۱۲/۶۹	۹۸/۵	۰/۰۱	۹۸-۹۹
۱۲/۸۰	۱۵۹۹/۸۲	۰/۱۰	۱۲/۶۸	۹۹/۴	۰/۰۰۸	۹۹-۹۹/۸
۱/۶۰	۱۵۹۹/۰۵	۰/۰۱	۱۲/۶۸	۹۹/۸۵	۰/۰۰۱	۹۹/۸-۹۹/۹
۱/۴۴	۱۵۹۸/۸۸	۰/۰۱	۱۲/۶۸	۹۹/۹۴۵	۰/۰۰۰۹	۹۹/۹-۹۹/۹۹
	۱۴/۰۰					کل حوضه
۹۶۶۷۴/۳۷ (هکتار) مساحت		۷/۳۸ (تن/هکتار/سال) رسوب ویژه		۷۱۳۲۴۰/۳۷ (تن/سال) رسوب		

گوزون (۱۹۵۴/۰۸ تن) و نسبت مساحت‌های دو حوضه، رسوب سالانه حوزه آبخیز چشمه عاشق ۹۳۳ تن (معادل ۳/۵ تن در هکتار) برآورد گردید. در جدول ۷، میزان برآورد مقدار بار رسوب در محل ایستگاه گوزون آورده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به جدول ۲، ۳، ۵ و ۶، بر اساس مدل MPSIAC میزان رسوب ویژه حوزه آبخیز چشمه عاشق ۱/۵۸ تن در هکتار در سال

گردید. به‌طور کلی، رابطه تجربی با سه ایستگاه از نظر آماری صحیح نبوده و در صورت ایجاد رابطه نیز نتایج آن قابل‌اعتماد نخواهد بود. برای رفع این مشکل، از ساده‌ترین روش تحلیل منطقه‌ای یعنی نسبت رسوب به مساحت حوزه آبخیز بالادست ایستگاه انتخابی (در این پژوهش ایستگاه گوزون) و مقایسه مساحت آن حوضه با حوزه آبخیز موردپژوهش (حوزه آبخیز چشمه عاشق) استفاده شد. مساحت حوزه آبخیز بالادست ایستگاه گوزون ۲/۰۹ برابر حوزه آبخیز چشمه عاشق است. از این‌رو، با توجه به میزان رسوب سالانه

4.Asadi, H., Honarmand, M., Vazifedoust, M., and Mousavi, A. 2017. Assessment of changes in soil erosion risk using RUSLE in Navrood watershed, Iran. Journal of Agr. Sciences Technology, (19):14-22. (In Persian)

5.Efthimiou, N., Lykoudi, E., and Karavitis, C. 2014. Soil erosion assessment using the RUSLE model and GIS. Journal of European water, (47):15-26.

6.Ganasri, B.P., and Ramesh, H. 2016. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS- a case study of Nethravathi basin. Journal of Geoscience frontiers, (7):8-20.

7.Harmon, R.S., and Doe, W.W. 2001. Landscape erosion and evolution modeling: Spring Science and Business Media. 1- 540.

8.Jonson, C.W., and Gebhardt, K.A. 1982. Predicting sediment yields from rangelands. In proceedings of work shape on estimating erosion and sediment yield on rangelands, Tucson, Arizona, March 1981 US department of Agriculture, Agriculture Reviews and Manuals, Western Series. 26(1):2-15.

9.Korala, P., Thakuri, S., Joshi, S., and Chauhan, R. 2019. Estimation of soil erosion in Nepal using a RUSLE modeling and geospatial tool. Journal of Geosciences, (9):15-25.

10.Le Roux, J.J., Morgenthal, T.L., Malherbe, J., Pretorius, D.J., and Sumner, P.D. 2008. Water erosion prediction at a national scale for South Africa. Water SA. 34(3):10-25.

11.Mezbani, M., Rezaei Moghadam, M.H., and Hejazi, A. 2021. Assessment of soil erosion risk in land uses using Revised Universal Soil Loss Equation (Case Study: Sikan Basin). Journal of geography and environmental hazards, 10(1): 41-63. (In Persian)

12.Mohammadi, S., Karimzadeh, H., Alizadeh, M. 2018. Spatial estimation of soil erosion in Iran using RUSLE model. Journal of Ecohydrology. 5(2):18-30.

13. Motamedirad, M., Zangane Asadi, M.A., Ajam, H. 2021. Investigating the rate of soil erosion and sediment production using the RUSLE model and the modified method PSIAC (case study: kal basin of Ismail, Shahrood city, Semnan province). Quantitative Geomorphological Research Journal. (In Persian)

14.Motiei langroudi, Sh. 2017. Economic geography of Iran. Jahad publicztyons. 4th edition, 384 p. (In Persian)

15.Noor, H., Arabkhedri, M. 2023. Prediction of soil

و میزان فرسایش ویژه ۴/۳ تن در هکتار در سال است. هم‌چنین بر اساس مدل RUSLE میزان رسوب ویژه ۳/۱۷ تن در هکتار در سال و میزان فرسایش ویژه ۹/۷ تن در هکتار در سال برآورد گردید. با توجه به اینکه بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از روش تحلیل منطقه‌ای بر مبنای ایستگاه گوزون میزان رسوب برای حوزه آبخیز چشمه عاشق ۳/۵ تن در هکتار در سال برآورد گردیده، برآورد به‌دست‌آمده از مدل RUSLE به میزان محاسبه‌شده از روش تحلیل منطقه‌ای نزدیک‌تر می‌باشد. درصد خطا میزان رسوب محاسبه‌شده از روش RUSLE برابر با ۰/۱ درصد و از روش MPSIA برابر با ۵۷ درصد می‌باشد.

از این‌رو، می‌توان نتیجه گرفت برای برآورد میزان رسوب در حوزه آبخیز سد چشمه عاشق، مدل RUSLE نسبت به مدل MPSIAC از کارآمدی بیش‌تری برخوردار است. کارآمدی مدل RUSLE در پژوهش‌های بسیاری مورد تأیید و تأکید قرار گرفته است. پژوهشگرانی همچون افتیمو و همکاران [۵]، گاناسری و رامش [۶]، تیموری و بذرافشان [۲۱]، الالافتا و اوپ [۱] و نور و عرب‌خدری [۱۵] مناسب بودن مدل RUSLE برای تعیین میزان رسوب حوزه موردپژوهش خود را بیان داشته‌اند که با نتیجه این پژوهش همخوانی دارد. پیشنهاد می‌گردد، به‌منظور جلوگیری از انتقال رسوب به مخزن سد چشمه عاشق، اولویت اقدامات آبخیزداری در سطح زیر حوضه‌ها بر اساس میزان رسوب تولیدی برآورد شده در مدل RUSLE در هر زیر حوضه صورت گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از اداره مطالعات آبخیزداری اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس که در ارائه اطلاعات این پژوهش نهایت همکاری را داشتند، قدردانی و تشکر نمایند.

منابع

1.Allafta, H., and Opp, CH. 2022. Soil erosion assessment using the RUSLE model, remote sensing and GIS in the Shatt Al- Arab basin (Iraq-Iran). Journal of Applied Sciences, (27):15-27.

2.Arekhi, S., Barani, H., and Emadodin, S. 2022. Zoning Erosion Hazard and Sediment Estimation in Cham Gardalan basin (Ilam province) using the Revised Universal Soil Erosion Equation (RUSLE). Journal of Natural Environmental Hazards. 11 (34): 15-29 (In Persian).

3.Arekhi, S., and Barani, H. 2022. Comparison of EPM and RUSLE models in estimating erosion and sediment production using GIS (Case study: Chamgardalan basin of Ilam province). Journal of Natural Environmental Hazards, (38): 22-33. (In Persian)

21. Teimouri, F., and Bazrafshan, O. 2017. Comparison of the efficiency the RUSLE and EPM model in estimating soil erosion and sediment yield according to the sediment rating curve (case study: Jask – Gabrik watershed). *Journal of New finding in applied geology*. 12(23):13-24 (In Persian).
22. Van Remortal, 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. *Com putters and Geosciences*. 30(1):11-23.
23. Zabihi Silabi, M., and Khaledi Darvishan, A. 2021. Qualitative evolution of IntErO, EPM, MPSIAC and RUSLE models in order to select the optimal models for different conditions for description of detailed executive watershed management services. *Journal of Extension and Development of Watershed Management*, 9(32):17-28. (In Persian)
- erosion and sediment delivery ratio using RUSLE at Sanganeh soil conservation research station. *Journal of Water and Soil Management and Modeling*, (In Persian), 3(1):11-24.
16. Refahi, H. 2015. *Water erosion and its control*. University of Tehran press. 7th edition. 674 P. (In Persian).
17. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., and Porter, J.P. 1991. RUSLE: Revised universal soil loss equation. *Journal of soil and Water Conservation*, 46(1): 3-25.
18. Sadeghi, H. 1993. Comparison of some erosion Potential and sediment yield assessment models in Ozon-Dareh sub catchment. In *proceedings of the National Conference on Land Use Planning*, Tehran. Iran. 41-75.
19. Sidi Almouctar, M.A., Wu, Y., Zhao, F., and Dossou, J.F. 2021. Soil erosion assessment using the RUSLE model and geospatial techniques (Remote sensing and GIS) in South – Central Niger (Maradi Region). *Journal of Water*, (13):15-28.
20. Teng H, Rossel, RA, Shi Z, Behrens T, Chappell A, and Bui E. 2016. Assimilating satellite imagery and visible-near infrared spectroscopy to model and map soil loss by water erosion in Australia. *Environmental Modelling & Software*. 77 (1):156-167.



Abstract

Estimation of Soil Erosion Using MPSIAC, RUSLE Models and Regional Analysis Method in the Watershed of Cheshme Ashegh Dam, Neyriz, Fars ProvinceH. Moghim¹, S.M. Soleimanpour² and M. Mohseni³

Received: 2022/08/01 Accepted: 2022/12/03

Water storage dams are considered as strategic constructions of every country. The issue of soil erosion in the watershed of the mentioned dams and the transfer of produced sediment to the reservoir of the dams is one of the issues that is always raised regarding these types of dams. Cheshme Ashegh dam in Fars province is one of the mentioned dams. In the present study, erosion and sediment studies and estimation has been carried out for the first time in this watershed by RUSLE and MPSIAC models as well as the regional analysis method for the aim of design and implementation of suitable conservation measures as well as making policy and plan for soil conservation in the watershed of the dam and preventing the production and transfer of sediment to its reservoir. The results of this research showed that, based on the MPSIAC and RUSLE models, the amount of special sediment is estimated by 1.58 and 3.17 ton/ha/y, respectively. Considering that the result obtained from the regional analysis method based on Gozoon station, the amount of special sediment is estimated by 3.5 ton/ha/y, it can be said that the result of the estimation obtained from the RUSLE model is closer to the amount calculated from the regional analysis method. Therefore, it can be said that the results obtained from the RUSLE model are more efficient than the MPSIAC model for estimating the amount of sediment and future soil conservation measures in the Cheshme Ashagh Dam watershed.

Keywords: Erosion model, Model efficiency, Sediment delivery ratio, Sediment yield, Universal soil loss equation.

1. Ph. D., watershed management sciences and engineering, General office of Natural Resources and Watershed Management of Fars province, Corresponding Author, Email: Hassan_Moghim@yahoo.com

2. Associate professor, Soil conservation and watershed management research department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education center, Shiraz, Iran.

3. M.Sc., Soil science, Pourab consulting engineering.