

## برآورد فرسایش و رسوب حوضه بالادست سد وشمگیر

وحید یزدانی<sup>۱\*</sup>، سپیده یکه‌باش<sup>۲</sup>، امیر حسین آقاخانی افشار<sup>۳</sup>

(۱) دکتری علوم و مهندسی آب، مدیر عامل شرکت مهندسی مشاور هیدروپی

(۲) دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، محیط زیست دانشگاه غیرانتفاعی اسرار

(۳) دکتری مهندسی عمران، گرایش سازه های هیدرولیکی

\*نویسنده مسئول: v.yazdany@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۸

### چکیده

به دلیل اهمیت آب و نقش حیاتی آن در زندگی انسان، مطالعات رودخانه‌ای و به تبع آن مطالعه بر روی حوضه‌های آبریز ضروری به نظر می‌رسند. استان گلستان با مساحت ۲۰۴۳۷ کیلومترمربع بین عرض جغرافیایی ۲۴' ۳۶° تا ۰' ۳۸° شمالی و ۵۱' ۵۳° تا ۱۴' ۵۶° شرقی واقع شده است. گرگان رود یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان گلستان به شمار می‌رود و در تمامی دشت گرگان جریان داشته و آن را به دو قسمت تقسیم می‌کند. سطح حوضه آبریز آن به مساحت ۱۰۲۵۰ کیلومترمربع می‌باشد. گام اصلی و مهم در مطالعات فرسایش و رسوب به روش تجربی، تعیین و شناسایی اشکال، و سیمای فرسایش است. در این مرحله نقشه‌های مختلف شامل شبکه آبراهه، شیب، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، خاک‌شناسی و کاربری اراضی مورد بررسی قرار گرفت؛ و نقشه واحد کاری منطقه مشخص و با تفسیر عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی نقشه تدقیق گردید. جهت برآورد میزان فرسایش و رسوب در زیرحوضه‌ها از مدل MPSIAC استفاده شد. طبق بررسی‌های میدانی صورت گرفته و نتایج بدست آمده انواع فرسایش‌ها، در سطح مورد مطالعه به وقوع پیوسته است. طبق بررسی‌های صورت گرفته بیشترین فرسایش در زیر حوضه با کد ۱۶۲۵۲۲۰ (بار بستر ۳/۶۲ و با معلق ۱۴/۴۷) و کمترین فرسایش در زیر حوضه با کد ۱۶۲۴۲۱۰ (بار بستر ۰/۳۲ و بار معلق ۱/۳) بود. بر اساس نتایج بدست آمده نسبت تحویل رسوب در زیر حوضه‌های مورد بررسی بین حداکثر ۲۳/۶ الی ۳۹/۶ درصد می‌باشد. در همین راستا میزان رسوب ویژه بین ۱/۶ الی ۱۸/۱ و فرسایش ویژه بین ۴/۹ الی ۵۸/۳ تن در هکتار در سال متغیر بود.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز، رسوب، سد وشمگیر، فرسایش، MPSIAC.

## مقدمه

حوضه آبخیز را می‌توان از دیدگاه‌های مختلفی از جمله زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، فیزیوگرافی، فرسایش و رسوب‌زایی، آب و هوا، سیل‌خیزی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی و موارد مرتبط با علوم طبیعی مورد بررسی قرار داد. فرسایش خاک، پرشدن مخزن بندها توسط رسوب، وقوع سیلاب‌های مکرر و هدر رفتن آب (به خصوص در کشور کم بارانی همچون ایران) از جمله مسائلی به شمار می‌روند که دارای نقش منفی در کنترل منابع آب و کشاورزی پایدار می‌باشند. همه ساله مقادیر قابل توجهی از خاک‌های کشاورزی به صورت رسوب وارد رودخانه‌ها می‌شوند. مجموع کل رسوبات معلق در سطح کشور ۲۷۲ میلیون تن در سال برآورد گردیده است که حوضه‌های آبریز دریای خزر، خلیج فارس، دریای عمان و کویر مرکزی به ترتیب با مقادیر بار معلق سالیانه ۱۷۰، ۷۶ و ۱۳ میلیون تن رده‌های اول تا سوم را به خود اختصاص می‌دهند (یامینی و همکاران، ۱۳۹۴). فرسایش ویژه متوسط سطح کشور نیز ۱۵۸ تن در کیلومتر مربع برآورد می‌گردد. با توجه به اینکه منابع آبی موجود و توانایی دسترسی به آنها روز به روز محدودتر می‌شود اهمیت مدیریت و برنامه‌ریزی آب بیش از پیش مشخص می‌گردد. یکی از مهمترین معضلات آبی کشور ایران بنا به شرایط اقلیمی موجود، پدیده فرسایش و انتقال رسوب می‌باشد. فرسایش و رسوب‌گذاری به عنوان یک رفتار طبیعی رودخانه منجر به از دست رفتن خاک حاصل‌خیز کشاورزی و اعمال خسارات جبران‌ناپذیر به طرح‌های عمرانی آب، رسوب‌گذاری در مخازن سدها و کاهش حجم و عمر مفید آنها می‌گردد و متعاقباً مشکلات دیگری نظیر کنترل کیفیت آب شرب و کشاورزی را نیز در پی دارد. تخمین و پیش‌بینی دبی رسوب در طیف گسترده‌ای از مسائلی نظیر مهندسی رودخانه‌ها، طراحی سدها، انتقال آلودگی، تاثیرات زیست‌محیطی، تاثیرات آبخیزداری و بسیاری از بحث‌های منابع آب کاربرد دارد. از این رو همواره تلاش‌هایی از سوی متخصصان در جهت برآورد بار معلق جریان رودخانه انجام شده است (شفایی بجستان، ۱۳۸۱). رسوب‌دهی حوضه‌ها اثرات منفی بسیاری را به دنبال دارد که به شدت حیات انسانی و زندگی جانوری را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. از جمله این مسائل می‌توان به شستشوی مواد رویی خاک، تخریب ساختمان خاک، کاهش نفوذپذیری خاک، کاهش بهره‌دهی خاک، پر شدن حجم مفید مخازن آبی توسط گل و لای، افزایش خطر سیل و به خطر افتادن زندگی حیوانات و آبیان به دلیل کم شدن مواد غذایی و آلوده شدن آبها اشاره کرد. با توجه به این اثرات زیان‌بار، در استفاده از اراضی نمی‌توان استعداد و توان اراضی و همچنین روش‌های حفاظت خاک را نادیده گرفت. امروزه حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش از ضروری‌ترین اقداماتی است که بایستی به آن توجه خاصی شود. به این منظور به اطلاعات کاملی از مناطق حساس به فرسایش نیاز است، چرا که برای مدیران و سیاست‌گذاران، آمار و اطلاعات به منظور مدیریت موفق و برنامه‌ریزی، فوق‌العاده ضروری است (Palazon et al., 2015; Lamba et al., 2015). به طوریکه بدون این مهم، تدوین و اجرای هیچ برنامه و سیاستی امکانپذیر نیست و در واقع تولید آمار و اطلاعات دقیق و واقعی همیشه مهمترین دغدغه فکری مدیران و برنامه‌ریزان است. برای این منظور باید مکان‌هایی که در معرض خطر و رسوب‌دهی بیشتری هستند شناسایی شده و سپس با مشخص کردن عوامل مؤثر در تولید

رسوب، مدیریت بهتری را در مورد خاک اعمال نمود. برای این منظور روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی در سراسر دنیا استفاده شده که تکنیک منشایابی رسوب از جمله تکنیک‌های رسوبدهی است که می‌تواند به ما کمک کند (Lamba et al., 2015). ریشه اصلی ناکامی در عملکرد صحیح پروژه‌ها، ناتوانی طراحان در شناخت و به کمیت در آوردن متغیرهای نامطمئن حاکم بر فرآیندهای موثر در محاسبه و اجرای پروژه‌ها بوده است. در سال‌های اخیر روش‌های زیادی برای برآورد فرسایش و رسوب به منظور اجرای طرح‌های حفاظت خاک و آب تهیه و یا واسنجی شده‌اند. طبق سوابق مطالعاتی و شرایط اقلیمی کشور در بین این روش‌ها و مدل‌ها، مدل MPSIAC بهتر و مناسب‌تر تشخیص داده شد. این روش در مقایسه با سایر روش‌های تجربی موجود بیشترین عامل موثر در فرسایش خاک برای محاسبه فرسایش ویژه و تولید رسوب را در نظر گرفته است. بنابراین می‌تواند بهتر از روش‌های دیگر مقدار فرسایش و رسوب را برآورد نماید. جلالیان (۱۳۷۱) در مطالعه فرسایش و رسوب حوضه آبخیز شمال رودخانه کارون به این نتیجه رسید که ارزیابی مقدار رسوبدهی با روش MPSIAC همبستگی خوبی با مقدار رسوب حاصل از ایستگاه رسوب سنجی دارد. صادقی (۱۳۷۲) در مطالعه فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز اوزون دره از روش‌های داگلاس، Fournier، کرک‌بای، EPM و MPSIAC استفاده نمود و به این نتیجه رسید که بین روش‌های مذکور روش MPSIAC مناسب‌ترین روش برای تخمین فرسایش و رسوب در حوضه سفید رود می‌باشد. باقرزاده کریمی (۱۳۷۲) در مطالعه خود در مورد بررسی کارایی مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب دریافته است که روش MPSIAC بیشترین مطابقت را با مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد. سبحانی (۱۳۸۰) در مقایسه میزان رسوب برآورد شده با استفاده از روش‌های FAO و MPSIAC با میزان رسوب در ایستگاه هیدرومتری به این نتیجه رسید که استفاده از روش MPSIAC برای تخمین فرسایش و رسوب قابل قبول است. سکوتی اسکویی و همکاران (۱۳۸۰) میزان رسوب برآورد شده با استفاده از مدل MPSIAC با آمار میانگین اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری در پنج حوضه مختلف را مورد واسنجی قرار دادند و نتایج نشان داد که در ۴ حوضه از ۵ حوضه اختلاف میانگین‌ها در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. راستگو و همکاران (۱۳۸۳) در حوضه آبخیز تنگ کنشت، چهار روش MPSIAC، EPM، FAO و BLM را مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که روش MPSIAC نتایج بهتری را ارائه می‌کند. Parehkar و همکاران (۲۰۱۳) با به کارگیری مدل MPSIAC در آبخیز ایوانکی و استفاده از تحلیل نتایج ۴۶ پروژه تحقیقاتی، به این نتیجه رسیدند که اثر عوامل کاربری اراضی، فرسایش مناطق بالادست و پوشش زمین بر فرسایش و رسوب بیشتر بوده و دو عامل اقلیم و رواناب تاثیر کمتری را نشان دادند. آن‌ها استفاده از این مدل را در آبخیزهای با رسوب بیش از ۲/۲ تن در هکتار مناسب ندانستند. Mansouri و Bagherzadeh (۲۰۱۲) با مقایسه نقشه‌های حاصل از مدل‌های MPSIAC و PSIAC در حوضه طرق دریافتند که نتایج دو مدل در بیشتر قسمت‌ها مطابقت خوبی با هم دارند و عوامل زمین‌شناسی، خاک، توپوگرافی و پوشش اراضی با رسوب سالانه همبستگی متوسط به بالا را دارند. رنگزن و همکاران (۱۳۸۶) دو مدل EPM و MPSIAC را با مشاهدات صحرایی حوضه پگاه سرخ گتوند مقایسه کرد و چنین

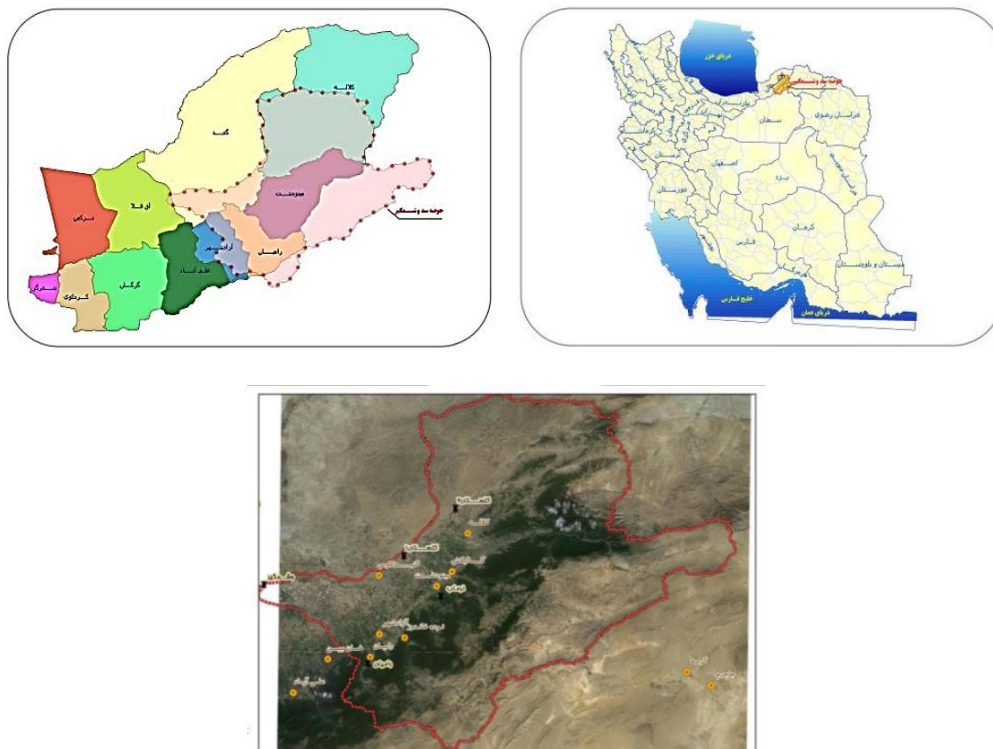
نتیجه‌گیری نمود که اگر چه نتایج دو مدل در اکثر مناطق انطباق زیادی با هم دارند، اما نتایج مدل EPM برای شناسایی مناطق دارای فرسایش بالا به اندازه مدل MPSIAC قابل اطمینان نمی‌باشد. پیرمحمدی و همکاران (۱۳۸۹) با مقایسه دو مدل کمی برآورد فرسایش و رسوب EPM و MPSIAC به این نتیجه رسید که روش EPM مقدار رسوب را ۳۰ درصد بیشتر از واقعیت و مدل MPSIAC ۱۶ درصد کمتر از واقعیت برآورد می‌کند. بنابراین نتایج روش MPSIAC به واقعیت نزدیک‌تر می‌باشد. رسوبدهی حوضه‌ها از مخرب‌ترین پدیده‌هایی است که باعث تغییرات اکولوژیکی قابل توجه در بسیاری از مناطق گردیده و در حال افزایش است. به طوری که مطالعات نشان داده این مسئله یکی از جدیدترین مشکلات زیست محیطی است (Aiello et al., 2015). چنانچه در یک حوضه آبخیز آمار و اطلاعات مربوط به دبی آب و رسوب به اندازه کافی وجود داشته باشد، محاسبه حجم کل رسوبدهی سالانه آن با استفاده از روش‌های آماری متداول امکان‌پذیر است. ولی عدم وجود و یا کمبود این آمار در اکثر حوضه‌های آبخیز دنیا، کاربرد روش‌های نیمه کمی را برای برآورد شدت فرسایش خاک و رسوبزایی الزامی می‌نماید. از جمله این روش‌ها می‌توان به مدل‌های مشاهده‌ای، تجربی (MPSIAC، PSIAC، SLEMSA، MUSLE، FAO، EPM و FSM)، استدلالی و فرآیندی (WEPP، GUEST و EUROSEM) اشاره کرد، که هر کدام با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه، سادگی و عملی بودن روش مورد نظر، وجود و یا عدم وجود اطلاعات برای روش مذکور و قبل استفاده بودن روش مورد نظر استفاده می‌شوند (Morgan, 1995). برای اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش رسوبزایی، هم‌چنین محاسبه و طراحی دقیق حجم سد در احداث سازه‌های مخزنی، ضرورت دارد حجم کل میزان تولید رسوب سالانه در یک حوضه آبخیز نیز ارزیابی و برآورد گردد. چنانچه در یک حوضه آبخیز آمار و اطلاعات مربوط به دبی آب و رسوب به اندازه کافی وجود داشته باشد، محاسبه حجم کل رسوبدهی سالانه آن با استفاده از روش‌های آماری متداول موجود امکان‌پذیر است، ولی عدم وجود و یا کمبود بسیار زیاد آمار و اطلاعات در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب در بسیاری از حوضه‌های آبخیز کشور، کاربرد روش تجربی مناسب را برای برآورد شدت فرسایش خاک و رسوبزایی الزامی می‌نماید. بر این اساس در این مقاله نسبت به بررسی و برآورد اشکال مختلف فرسایش در حوضه آبخیز سد وشمگیر اقدام شده است.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت منطقه مورد مطالعه

استان گلستان با مساحت ۲۰۴۳۷ کیلومتر مربع بین ۲۴' ۳۶" تا ۰' ۳۸" شمالی و ۵۱' ۵۳" تا ۱۴' ۵۶" شرقی واقع شده است. این استان بر اساس آخرین تقسیمات سیاسی کشور (دی ماه ۱۳۹۰) دارای ۱۴ شهرستان، ۲۸ بخش و ۶۰ دهستان می‌باشد. گرگان‌رود یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان گلستان به شمار می‌رود و در تمامی دشت گرگان جریان داشته و آن

را به دو قسمت تقسیم می‌کند. سطح حوضه آبرگیر آن به مساحت ۱۰۲۵۰ کیلومتر مربع می‌باشد. جهت بستر اصلی آن از شمال شرقی به جنوب غربی است که از ارتفاعات جنگل گلستان سرچشمه کوه‌های گلیداغ، آلاداغ و قلعه ماران سرچشمه می‌گیرد، طول آن ۳۵۰ کیلومتر است. مهم‌ترین شاخه‌های آن اوغ، زاو، اوغان، چهل چای، زرین گل رامیان، نوده، رود بار محمد آباد است. متوسط آبدهی سالانه آن حدود ۴۲۰ میلیون مترمکعب آن به مصرف کشاورزی می‌رسد. سد وشمگیر در فاصله ۶۲ کیلومتری شمال شرق گرگان و در محلی بنام سنگرسوار بر روی رودخانه گرگان رود ساخته شده است. فاصله آن تا ساحل دریای خزر ۷۰ کیلومتر و تا مرز بین ایران و ترکمنستان ۲۴ کیلومتر است. مطالعات سد از سال ۱۳۴۳ شروع و در آذر ماه سال ۱۳۴۵ عملیات اجرایی احداث آن آغاز شده است. بهمن ماه ۱۳۴۹ نیز آبرگیری و بهره‌برداری شد. سطح محدوده شبکه آبیاری سد وشمگیر در زمان آغاز بهره‌برداری ۲۵۰۰۰ هکتار و سطح خالص محدوده ۲۱۰۰ هکتار می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت حوضه مورد مطالعه در استان گلستان و ایران

### روش انجام تحقیق

گام اصلی و مهم در مطالعات فرسایش و رسوب به روش تجربی، تعیین و شناسایی اشکال و سیمای فرسایش است. در این مرحله نقشه‌های مختلف شامل شبکه آبراهه، شیب، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، خاک‌شناسی و کاربری اراضی مورد بررسی قرار گرفت و نقشه واحد کاری منطقه مشخص شد. سپس با تفسیر عکس‌های هوایی موجود، محدوده اشکال فرسایش بر روی نقشه اولیه تفکیک و مشخص شد. با بازدیدهای صحرائی هر یک از اشکال فوق کنترل شده و فرم مشخصات BLM برای هر

یک از واحدهای کاری تکمیل گردید. با در نظر گرفتن اشکال مختلف فرسایش از قبیل، سطحی، بین شیاری، شیاری نقشه نهایی اشکال فرسایش منطقه تهیه شد. جهت برآورد میزان فرسایش و رسوب در زیرحوضه‌ها نیز از مدل MPSIAC استفاده شد. به طوری که پس از مشخص شدن نقشه واحد کاری امتیازات مربوط به عوامل نه گانه مدل MPSIAC در هر واحد کاری برآورد و سپس مقدار رسوب محاسبه شد. در مرحله بعد با گرفتن میانگین وزنی از واحدهای کاری، مقدار رسوب برای هر زیرحوضه و کل حوضه برآورد گردید. در نهایت با محاسبه SDR برای حوضه و زیرحوضه‌ها مقدار فرسایش محاسبه گردید. در روش PSIAC تأثیر و نقش ۹ عامل مهم و موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبخیز ارزیابی می‌شود. در این روش برای هر عامل حدود تغییراتی مشخص شده است که تا حدودی انتخابی بوده و بسته به شدت و ضعف هر عامل، عددی به آن نسبت داده می‌شود؛ که نیاز به قضاوت کارشناسی دارد. سرانجام با در نظر گرفتن مجموع اعداد به دست آمده برای عوامل مختلف، میزان رسوب‌دهی حوضه برآورد شد. این روش نهایتاً اصلاح شده و عوامل نه گانه آن به صورت معادلات عددی درآمدند (Reynard and Stone, 1982). مدل اصلاح شده در ایران به نام MPSIAC<sup>۱</sup> معروف است. این عوامل ۹ گانه و معادلات مربوطه در (جدول ۱) آمده است.

جدول ۱: عوامل نه گانه مدل MPSIAC و معادلات مربوط به هر عامل

عوامل ۹ گانه	معادلات روش اصلاح شده	توضیحات
زمین‌شناسی سطحی	$X_1 = Y$	$Y =$ حساسیت سنگ‌ها به فرسایش
خاک	$X_2 = 16.67K$	$K =$ عامل حساسیت خاک به فرسایش در فرمول جهانی فرسایش خاک
آب و هوا	$X_3 = 0.2P_2$	$P_2 =$ مقدار بارندگی ۶ ساعته با دوره برگشت دو سال (میلی‌متر)
رواناب	$X_4 = 0.006R + 10Qp$	$R =$ ارتفاع رواناب (میلی‌متر) و $Qp =$ دبی ویژه پیک سالیانه (متر مکعب بر ثانیه)
پستی و بلندی	$X_5 = 0.33S$	$S =$ شیب متوسط (درصد)
پوشش زمین	$X_6 = 0.2Pb$	$Pb =$ درصد اراضی لخت و فاقد پوشش
استفاده از زمین	$X_7 = 20-0.2Pc$	$Pc =$ درصد تاج پوشش
فرسایش سطحی	$X_8 = 0.25SSF$	$SSF =$ فرسایش سطحی خاک با استفاده از روش BLM
فرسایش خندقی	$X_9 = 1.67SSFg$	$SSFg =$ امتیاز عامل فرسایش خندقی در روش BLM

### شرح عوامل مدل MPSIAC

#### وضعیت فرسایش در سطح حوضه

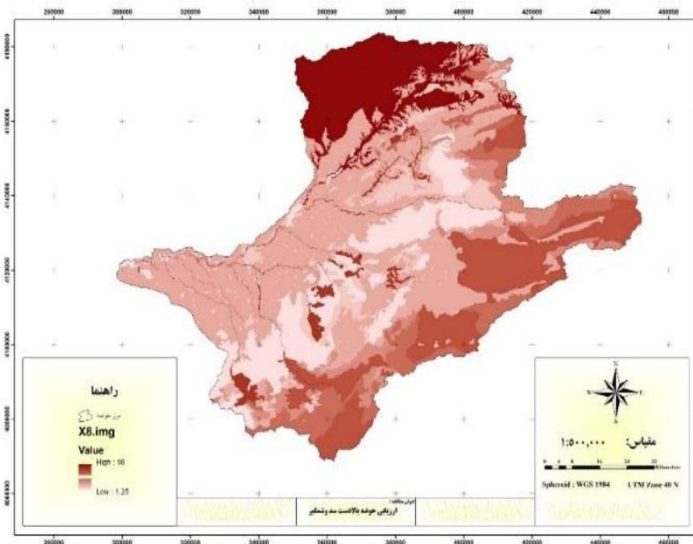
برای بررسی نقش این عامل در تولید رسوب، عوامل موثر در وضعیت فعلی فرسایش سطحی در حوضه آبخیز مانند فرسایش بارانی، فرسایش ورقه‌ای، فرسایش شیاری و فرسایش خندقی (به جز فرسایش کناری موجود در آبراهه‌ها) مورد ارزیابی قرار

<sup>1</sup> Modified Pacific Southwest Inter Agency Committee

گرفت. در روش MPSIAC برای تعیین امتیاز عامل وضعیت فعلی فرسایش از رابطه (۱) استفاده شد. در این رابطه  $X_8$  امتیاز عامل وضعیت فعلی فرسایش و S.S.F امتیاز عامل سطحی خاک می باشد که با استفاده از روشی که توسط اداره مدیریت اراضی آمریکا پیشنهاد شده است، به دست می آید.

$$X_8 = 0.25 \times S.S.f \quad \text{رابطه ۱:}$$

در این روش که به روش BLM<sup>۱</sup> مشهور است برای تعیین امتیاز عامل سطحی خاک (S.S.F) از هفت عامل استفاده می شود. این هفت عامل عبارتند از: حرکت خاک (توسط آب، باد، نیروی ثقل)، وجود لاشبرگ در سطح خاک، وضعیت سنگها (عمدتاً از نظر توزیع در سطح)، قطعات سنگی تحکیم یافته، وجود فرسایش شیاری، فرم آبراهه ها و وجود فرسایش خندقی. حاصل جمع این هفت عامل مقدار S.S.F را به دست می دهد. برای تهیه لایه مربوط به امتیاز عامل، وضعیت فعلی فرسایش ابتدا باید نقشه اشکال فرسایش تهیه شود. این نقشه می تواند به صورت اولیه از روی عکس های هوایی یا تصاویر گوگل تهیه شود. سپس با کمک نقشه های شیب، زمین شناسی، اجزا واحد اراضی و کاربری اراضی این نقشه تکمیل گردد. در مرحله بعد با بازدیدهای میدانی این نقشه تدقیق شده و فرم های BLM برای هر شکل فرسایشی تکمیل می گردد. این فرمها توسط کارشناس بررسی شده و با جمع امتیاز هفت عامل ذکر شده، امتیاز هر یک از اشکال فرسایشی مشخص می شود. با ضرب ۰/۲۵ در امتیاز به دست آمده برای هر شکل فرسایشی، امتیاز عامل وضعیت فعلی فرسایش محاسبه می شود. سپس نقشه تهیه شده به صورت رستری و با اندازه سلول های ۵×۵ تبدیل می شود.



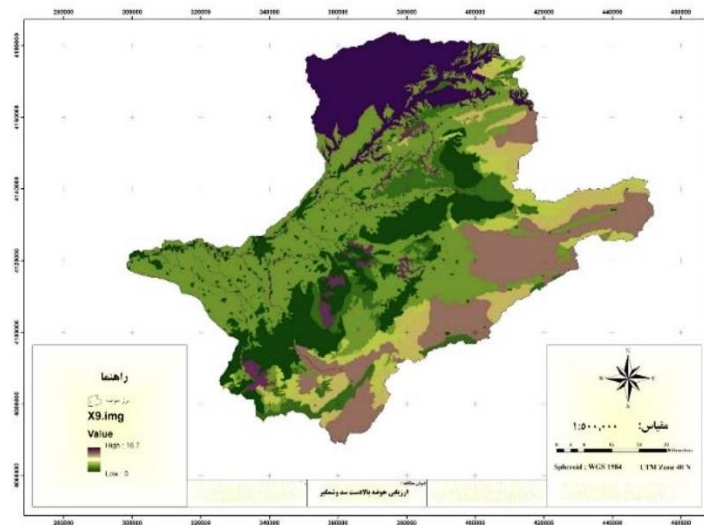
شکل ۲: عامل فرسایش سطحی در منطقه مورد مطالعه ( $X_8$ )

<sup>1</sup> Bureau of Land Management

### فرسایش رودخانه‌ای (آبراهه‌ای)

آخرین عامل موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در روش MPSIAC، فرسایش رودخانه‌ای و انتقال رسوب می‌باشد. در این عامل دو پدیده فرسایش کناره‌ای و حمل رسوب توسط سیلاب مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. این فرسایش نتیجه تخریب و شسته شدن دیواره آبراهه‌ها است. این فرسایش بیشتر در مواقع سیلابی و فصول پر آب ایجاد می‌شود. در مواقع سیلابی علاوه بر بالا بودن قدرت تخریبی، قدرت حمل رسوب نیز افزایش می‌یابد. از جمله عوامل موثر در فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب می‌توان شیب متوسط بستر رودخانه‌ها، نوع سنگ‌ها در مسیر رودخانه و انرژی پتانسیل جریان سیلاب‌ها را نام برد. از عوامل بسیار مهم و موثر در جلوگیری از فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب می‌توان به پوشش گیاهی موجود در داخل آبراهه‌ها اشاره نمود. در بعضی آبراهه‌ها در اثر رشد گیاهان مواد ریزدانه بستر و کناره رودخانه تحکیم بیشتری می‌یابند. برای تعیین امتیاز عامل فرسایش رودخانه‌ای و انتقال رسوب در روش MPSIAC از رابطه (۲) استفاده می‌شود. در این رابطه  $X_9$  امتیاز عامل فرسایش رودخانه‌ای و  $S.S.Fg$  نمره نهایی فرسایش خندقی عامل سطحی خاک در روش BLM می‌باشد.

$$X_9 = 1.67SSF_g \quad \text{رابطه ۲:}$$



شکل ۳: عامل فرسایش آبراهه‌ای در منطقه مورد مطالعه ( $X_9$ )

### برآورد تولید رسوب

برای به دست آوردن مقدار رسوب تولیدی در روش MPSIAC از رابطه (۳) استفاده می‌شود. در این رابطه  $Q_s$  میزان تولید رسوب (تن در هکتار در سال) و  $R$  درجه رسوب‌دهی یا مجموع نمرات عوامل ۹ گانه با روش MPSIAC می‌باشد.

$$Q_s = 0.253e^{0.036R} \quad \text{رابطه ۳:}$$



در رابطه (۳) جرم مخصوص ظاهری رسوبات برابر ۱۳۶۰ کیلوگرم در مترمکعب فرض شده است. این عدد مقدار متوسط از وزن مخصوص رسوبات است که مقدار دقیقی نیست. بنابراین معادله فوق می‌تواند به صورت رابطه (۴) نوشته شود. در این رابطه  $Q_s$  میزان تولید رسوب (متر مکعب در کیلومتر مربع) می‌باشد.

$$Q_s = 18.6e^{0.036R} \quad \text{رابطه ۴:}$$

باید در نظر داشت که میزان فرسایش خاک و تولید رسوب محاسبه شده در روش MPSIAC مجموع رسوب‌دهی هر واحد مطالعاتی مورد نظر است. زیرا در این روش فرسایش خاک و رسوب‌زایی هر واحد تحت عنوان بار رسوب نامیده می‌شود که مجموع بار معلق و بار کف است. با در دست داشتن وزن مخصوص متوسط رسوبات معلق و بار کف می‌توان وزن رسوبات سالانه را بر حسب تن در کیلومتر مربع برآورد نمود.

### برآورد میزان فرسایش

برای برآورد فرسایش ویژه ابتدا باید SDR<sup>۱</sup> یا نسبت تحویل رسوب برای هر زیرحوضه به دست آید. به منظور محاسبه مقدار SDR نیز با داشتن مساحت هر زیرحوضه و بافت خاک استفاده شد. با داشتن SDR در هر زیرحوضه مقدار فرسایش ناخالص در آنها از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$SDR = \frac{\text{تولید رسوب}}{\text{فرسایش}} \quad \text{رابطه ۵:}$$

### اشکال فرسایش

به منظور تهیه نقشه اشکال فرسایش، مراحل زیر طی شد.

- ۱- تهیه نقشه واحد کاری با استفاده از نقشه‌های مختلف گروه‌های پایه شامل: زمین‌شناسی، ژئومرفولوژی، کاربری اراضی، اجزاء واحدهای اراضی و پوشش گیاهی.
- ۲- بررسی عکس‌های هوایی منطقه و تهیه نقشه اولیه اشکال فرسایش.
- ۳- بازدید صحرایی از منطقه و تدقیق نقشه اولیه اشکال فرسایش.
- ۴- برداشت تعدادی نقاط توسط GPS در هر شکل فرسایشی و پر کردن فرم‌های مربوطه.
- ۵- تطبیق نقاط برداشت و فرم مربوطه با تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه نهایی اشکال فرسایش
- ۶- جهت رتبه‌بندی و تطبیق اشکال فرسایشی نیز سعی شد که از فرم‌های استاندارد BLM استفاده گردد.

<sup>1</sup> Sediment Delivery Ratio

## نتایج و بحث

### فرسایش ناچیز E

به طور معمول این رخساره فرسایشی در محدوده جنگل‌ها، باغات، اراضی مسکونی و مناطق توده سنگی واقع شده‌اند. در مناطق جنگلی به دلیل وجود پوشش گیاهی در بیشتر اوقات سال، باغات به دلیل واقع شدن در محدوده اراضی با شیب کم و اراضی مسکونی و توده سنگی به دلیل داشتن سطوح مقاوم به فرسایش، دارای فرسایش ناچیزی می‌باشند. ولی چون در منطقه مورد مطالعه، زمین‌های زراعی خصوصاً اراضی دیم در مناطق بسیار حساس به فرسایش واقع شده‌اند نسبت به شرایط نرمال، میزان فرسایش بیشتر است. متوسط شیب در این رخساره ۵/۹ درصد، میزان ارتفاع متوسط آن حدود ۴۰/۷۱ متر و مساحت این رخساره فرسایشی در حدود ۴۲/۵۱ کیلومترمربع می‌باشد. واحدهای عمده زمین‌شناسی این رخساره فرسایشی شامل پادگانه‌ها و دشت‌های آبرفتی (Qm) و اراضی پوشیده از لس (Ql) می‌باشند.

### فرسایش مکانیکی همراه با واریزه (Me,D)

این شکل فرسایشی یعنی تخریب مکانیکی سنگ‌ها به اشکال مختلف صورت می‌گیرد. با توجه به شرایط اقلیمی منطقه مورد بررسی عامل اصلی این تخریب تغییرات شدید دما در طول شبانه روز می‌باشد که به دلیل ضریب انبساط متفاوت کانی‌های مختلف موجود در سنگ‌ها به وقوع می‌پیوندد. یکی دیگر از عوامل مؤثر در تخریب مکانیکی سنگ‌ها افزایش حجم آب موجود در خلل و فرج درز و شکاف سنگ‌ها در اثر یخبندان می‌باشد. با توجه به اینکه آب در اثر انجماد به میزان ۹ درصد افزایش حجم پیدا می‌کند، این افزایش حجم فشاری را ایجاد می‌کند و در نتیجه سنگ در اثر این فشار متلاشی می‌شود. با متلاشی شدن سنگ‌ها واریزه‌هایی به صورت ریز و درشت در منطقه ایجاد می‌گردد. بارزترین شکل فرسایش موجود در محدوده مورد مطالعه رخنمون‌های سنگی می‌باشد که آثار آن به صورت واریزه‌های نسبتاً ریز در پای دامنه‌ها، داخل دره‌ها و آبراهه‌ها دیده می‌شود. شکل فرسایشی واریزه‌ای با علامت D و فرسایش مکانیکی با علامت Me در شکل (۴) مشخص شده‌اند. متوسط شیب در این رخساره ۳۳/۲ درصد، میزان ارتفاع متوسط آن حدود ۱۸۴۹/۶۶ متر و مساحت این رخساره فرسایشی در حدود ۱۲۲/۸۰ کیلومترمربع می‌باشد. واحدهای عمده زمین‌شناسی این رخساره فرسایشی شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل با میان لایه‌هایی از آهک (Js)، سازند لار، سنگ آهک توده‌ای نازک دارای لایه خاکستری روشن (Jl) و سنگ‌های تفکیک نشده پالئوزوئیک (Pz1) می‌باشند (شکل ۴).

### فرسایش سطحی (S)

این نوع فرسایش در اثر از بین رفتن پوشش گیاهی و برخورد مستقیم قطرات باران با خاک و با جداسازی ذرات از یکدیگر شروع می‌شود. در اثر این نوع فرسایش به تدریج خاک حاصل خیزی خود را از دست داده و به مرور از بین رفته و سنگ مادر نمایان می‌شود. با وجود این که تخریب حاصل از این نوع فرسایش زیاد می‌باشد اما به سهولت قابل تشخیص نمی‌باشد. علائم این فرسایش مواردی به شرح ذیل می‌باشند. این شکل فرسایشی در شکل (۴) با علامت S مشخص شده است. وجود لکه‌هایی به رنگ روشن که در اثر فرسایش لایه سطحی خاک ظاهر می‌شود. وجود سنگ‌ریزه و قلوه سنگ‌ها در روی سطح خاک. زیرا ذرات ریز خاک به سهولت در اثر آب شسته شده و به پائین دست بدلیل وجود رواناب‌های گل آلود روی دامنه‌ها در فصل بارش، عمیق شدن خاک در پای شیب‌ها، لخت شدن پای بوته‌ها و درختان و ظاهر شدن ریشه آنها در سطح زمین و یک‌دست نبودن پوشش گیاهی و گیاهان کشت شده خصوصاً در اراضی شیب‌دار منتقل می‌شوند. متوسط شیب در این رخساره ۳۱/۸ درصد، میزان ارتفاع متوسط آن حدود ۹۴۸/۸۲ متر و مساحت این رخساره فرسایشی در حدود ۱۱۷۳/۷۵ کیلومتر مربع می‌باشد. واحدهای عمده زمین‌شناسی این رخساره فرسایشی شامل سازند لار، سنگ آهک توده‌ای نازک دارای لایه خاکستری روشن (JI)، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل با میان لایه‌هایی از آهک (Js)، پادگانه‌ها و دشت‌های آبرفتی (Qm)، سنگ آهک رسی سبز تا خاکستری ضخیم تا نازک لایه با میان لایه‌هایی از شیل آهکی (Jd)، سازند مزدوران، سنگ آهک و دولومیت (Jmz) می‌باشند. این رخساره فرسایشی در (شکل ۴) دیده می‌شود.

### فرسایش شیبی (R)

پس از این که پوشش از بین رفت و فرسایش سطحی آغاز شد، در نتیجه بارندگی و جاری شدن آب در روی خط بزرگ‌ترین شیب دامنه، آب در مسیری که حداقل افت انرژی را دارد، شروع به حرکت می‌کند که این مسیر هرز آب نامیده می‌شود. به تدریج در نتیجه گسترش هرز آبها روی دامنه، ابعاد آنها توسعه یافته و به شیار تبدیل می‌گردند، ابعاد شیارها متفاوت بوده و بستگی به عوامل گوناگون دارد و عمق آنها کمتر از ۵۰ سانتی‌متر است.

### رخساره فرسایشی S<sub>1</sub>, R<sub>1</sub>

متوسط شیب در این رخساره ۱۳/۹ درصد، میزان ارتفاع متوسط آن حدود ۵۵۹/۸۶ متر و مساحت این رخساره فرسایشی در حدود ۲۸۹۵/۰۹ کیلومتر مربع می‌باشد. واحدهای عمده زمین‌شناسی این رخساره فرسایشی شامل پادگانه‌ها و دشت‌های آبرفتی (Qm)، اراضی پوشیده از لس (Ql)، سنگ آهک رسی سبز تا خاکستری ضخیم تا نازک لایه با میان لایه‌هایی از شیل آهکی (Jd)، سازند لار، سنگ آهک توده‌ای نازک دارای لایه خاکستری روشن (JI)، سازند مزدوران، سنگ آهک و دولومیت

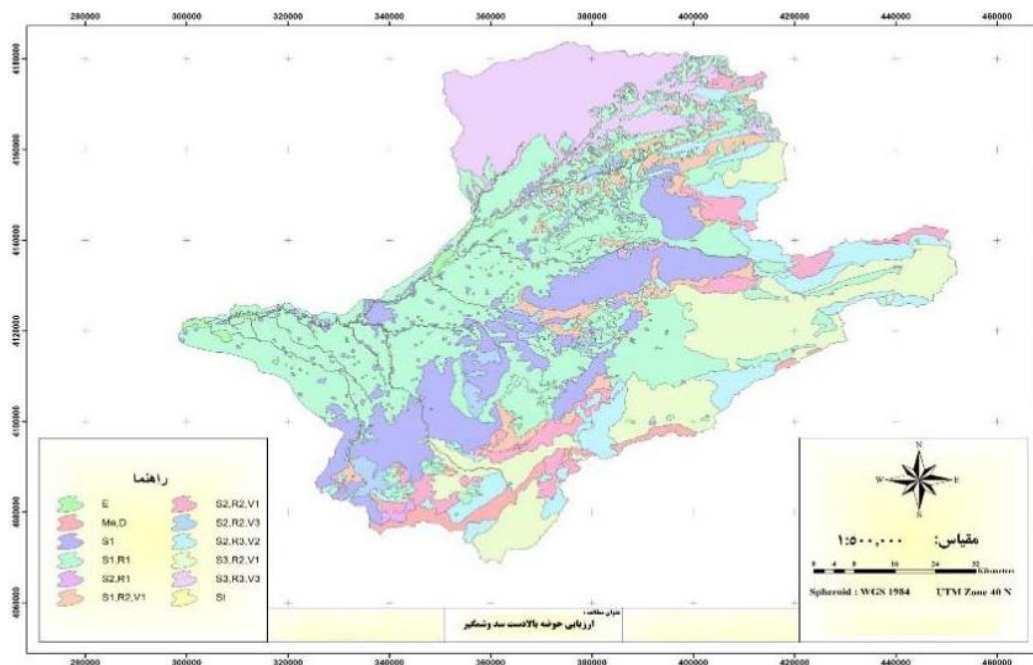
(JMZ)، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل با میان لایه‌هایی از آهک (JS) و رسوبات ماسه‌ای سست در بردارنده تل‌ماسه‌ها (QS) می‌باشند.

### رخساره فرسایشی S2, R2

متوسط شیب در این رخساره ۳۲/۰ درصد، میزان ارتفاع متوسط آن حدود ۱۱۶۲/۰۴ متر و مساحت این رخساره فرسایشی در حدود ۳۵۰/۳۸ کیلومترمربع می‌باشد. واحدهای عمده زمین‌شناسی این رخساره فرسایشی شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل با میان لایه‌هایی از آهک (JS)، سازند لار، سنگ آهک توده‌ای نازک دارای لایه خاکستری روشن (JI) و سنگ آهک رسی سبز تا خاکستری ضخیم تا نازک لایه با میان لایه‌هایی از شیل آهکی (Jd) می‌باشند.

### فرسایش آبراه‌های (V)

فرسایش آبراهه مرحله توسعه یافته فرسایش شیاری می‌باشد. با توسعه فرسایش شیاری ابعاد شیاریا افزایش یافته و به آبراهه تبدیل می‌شود. پروفیل آبراهه معمولاً V شکل است و ابعاد آن بین ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر تغییر می‌کند. برای تفکیک بهتر، بر اساس تراکم تعداد آبراهه‌ها در سطح، این شکل فرسایشی به سه دسته فرسایش آبراهه‌ای با تراکم کم، متوسط و شدید تقسیم شده است. این اشکال در (شکل ۴) به ترتیب با علامت اختصاری  $V_1$ ،  $V_2$  و  $V_3$  نشان داده شده است.



شکل ۴: اشکال فرسایش مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه

## فرسایش کناری یا رودخانه‌ای (St)

تخریب و حمل مواد کناره یا بستر رود را فرسایش رودخانه‌ای می‌گویند و عامل آن انرژی حاصل از تمرکز و یا جریان آب می‌باشد. سرعت جابجایی مواد در این نوع فرسایش به عواملی مانند سرعت جریان، تلاطم جریان، قطر ذرات، قدرت چسبندگی و وزن مخصوص ذرات، چگونگی پراکنش ذرات در آب، درجه زبری رود و موانع مسیر جریان بستگی دارد. انتقال مواد فرسایش یافته در داخل رودخانه اغلب به سه حالت معلق، جهش و خزش صورت می‌گیرد. این شکل فرسایشی بر اساس ارتفاع دیواره‌ها به سه دسته فرسایش کناری کم، متوسط و شدید تقسیم شده است. در شکل (۴) هر سه شکل فرسایشی به کد اختصاری St نشان داده شده است. دلیل جدا نکردن آنها روی نقشه اجتناب از ایجاد سطوح کوچک و غیر قابل تفکیک روی نقشه بوده است. فرسایش کناری در بیشتر قسمت‌های حاشیه رودخانه‌ها که بیشتر به صورت زمین‌های کشاورزی است، دیده می‌شود. این فرسایش سالانه مقداری از سطح اراضی زیر کشت را از بین می‌برد که با توجه به اراضی کم در منطقه، اهمیت آن بیشتر می‌شود. فرسایش کناری به چند روش باعث خسارت می‌شود. زمین‌های اطراف رودخانه را از بین برده و سطح زیر کشت را کاهش می‌دهد. به جاده‌هایی که در مجاورت رودخانه قرار دارند، خسارت وارد می‌سازد. مواد معلق به آب رودخانه وارد کرده و توسط جریان آب رودخانه به مناطق پائین دست حمل می‌شود. در همین راستا تحقیقات نشان داد که کناره آبراهه بیشترین سهم را در تولید رسوب حوضه‌های آبخیز دارد (Lim et al., 2019; Nosrati and Collins et al., 2019). Tiecher و همکاران (۲۰۱۷) با تحلیل مدل منشایی رسوب را با استفاده از عناصر ژئوشیمیایی به منظور تعیین سهم منابع رسوب (مرتع، جاده و کنار آبراهه) در حوضه‌هایی در جنوب برزیل نشان دادند که کناره آبراهه با ۴۹ درصد بیشترین سهم را در تولید رسوب منطقه دارد.

## تیپ اراضی دارای فرسایش S, R, V

### رخساره فرسایشی S<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, V<sub>1</sub>

متوسط شیب در این رخساره ۳۰/۰ درصد، میزان ارتفاع متوسط آن حدود ۱۲۶۳/۲۱ متر و مساحت این رخساره فرسایشی در حدود ۲۴/۲۹ کیلومتر مربع می‌باشد. واحدهای عمده زمین‌شناسی این رخساره فرسایشی شامل اراضی پوشیده از لس (Ql)، سنگ آهک رسی سبز تا خاکستری ضخیم تا نازک لایه با میان لایه‌هایی از شیل آهکی (Jd)، سازند لار، سنگ آهک توده‌ای نازک دارای لایه خاکستری روشن (Jl)، سازند مزدوران، سنگ آهک و دولومیت (Jmz) و سازند آتامیر ماسه سنگ گلوکونیتی و شیل (Kat) می‌باشند.

### رخساره فرسایشی $S_2, R_2, V_1$

متوسط شیب در این رخساره  $27/2$  درصد، میزان ارتفاع متوسط آن حدود  $1628/92$  متر و مساحت این رخساره فرسایشی در حدود  $348/48$  کیلومتر مربع می باشد. واحدهای عمده زمین شناسی این رخساره فرسایشی شامل سنگ آهک رسی سبز تا خاکستری ضخیم تا نازک لایه با میان لایه‌هایی از شیل آهکی (Jd)، کنگلومرا، ماسه سنگ و شیل با میان لایه‌هایی از آهک (Js)، اراضی پوشیده از لس (Q1)، سازند لار، سنگ آهک توده‌ای نازک دارای لایه خاکستری روشن (Jl)، سازند آتامیر ماسه سنگ گلوکونیتی و شیل (Kat)، کنگلومرای پلیژنیک سست (Plqc) و سازند مزدوران، سنگ آهک و دولومیت (Jmz) می باشند.

### رخساره فرسایشی $S_2, R_2, V_3$

متوسط شیب در این رخساره  $31/6$  درصد، میزان ارتفاع متوسط آن حدود  $743/37$  متر و مساحت این رخساره فرسایشی در حدود  $151/64$  کیلومتر مربع می باشد. واحدهای عمده زمین شناسی این رخساره فرسایشی شامل کنگلومرا، ماسه سنگ و شیل با میان لایه‌هایی از آهک (Js)، اراضی پوشیده از لس (Q1)، سنگ آهک رسی سبز تا خاکستری ضخیم تا نازک لایه با میان لایه‌هایی از شیل آهکی (Jd)، سازند الیکا سنگ آهک اواولیتی، سنگ آهک شیلی، دولومیت و سنگ آهک دولومیتی (Tre)، سازند مزدوران، سنگ آهک و دولومیت (Jmz)، سازند چمن بید سنگ آهک آرژلیکی و مارن (Jcb)، رسوبات ماسه‌ای سست در بردارنده تل ماسه‌ها (Qs) و سازند لار، سنگ آهک توده‌ای نازک دارای لایه خاکستری روشن (Jl) می باشند.

### رخساره فرسایشی $S_2, R_3, V_2$

متوسط شیب در این رخساره  $24/5$  درصد، میزان ارتفاع متوسط آن حدود  $1527/23$  متر و مساحت این رخساره فرسایشی در حدود  $656/83$  کیلومتر مربع می باشد. واحدهای عمده زمین شناسی این رخساره فرسایشی شامل سنگ آهک رسی سبز تا خاکستری ضخیم تا نازک لایه با میان لایه‌هایی از شیل آهکی (Jd)، سازند لار، سنگ آهک توده‌ای نازک دارای لایه خاکستری روشن (Jl)، اراضی پوشیده از لس (Q1)، سازند سرچشمه شیل آمونیت‌دار با میان لایه‌های سنگ آهک اربیتولین‌دار (Ksr)، کنگلومرای پلیژنیک سست (Plqc)، سازند نیور سنگ آهک مرجانی، شیل و دولومیت (Sn) و سازند آتامیر ماسه سنگ گلوکونیتی و شیل (Kat) می باشند.

### رخساره فرسایشی $S_3, R_2, V_1$

متوسط شیب در این رخساره  $16/2$  درصد، میزان ارتفاع متوسط آن حدود  $1374/47$  متر و مساحت این رخساره فرسایشی در حدود  $1151/25$  کیلومتر مربع می باشد. واحدهای عمده زمین شناسی این رخساره فرسایشی شامل اراضی پوشیده از لس

(Q1)، سازند لار، سنگ آهک توده‌ای نازک دارای لایه خاکستری روشن (J1)، پادگانه‌ها و دشتهای آبرفتی (Qm)، سنگ آهک رسی سبز تا خاکستری ضخیم تا نازک لایه با میان لایه‌هایی از شیل آهکی (Jd)، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل با میان لایه‌هایی از آهک (Js)، رسوبات ماسه‌ای سست در بردارنده تل‌ماسه‌ها (Qs)، کنگلومرای پلیژنیک سست (Plqc)، کانال جریانی نهشته‌های سیلابی (Qal)، سازند مزدوران، سنگ آهک و دولومیت (Jmz) و سازند خانگیران ماسه سنگ و شیل سبز (Ekh) می‌باشند.

### رخساره فرسایشی S<sub>3</sub>, R<sub>3</sub>, V<sub>3</sub>

متوسط شیب در این رخساره ۱۷/۶ درصد، میزان ارتفاع متوسط آن حدود ۴۲۸/۰۸ متر و مساحت این رخساره فرسایشی در حدود ۹۸۰/۹۴ کیلومترمربع می‌باشد. واحدهای عمده زمین‌شناسی این رخساره فرسایشی شامل اراضی پوشیده از لس (Q1)، سازند سنگانه شیل خاکستری تا تیره و لایه‌های نازکی از سیلتستون و ماسه سنگ (Ksn)، پادگانه‌ها و دشتهای آبرفتی (Qm)، سازند سرچشمه شیل آمونیت‌دار با میان لایه‌های سنگ آهک اربیتولین‌دار (Ksr)، سازند خانگیران ماسه سنگ و شیل سبز (Ekh)، سازند آتامیر ماسه سنگ گلوکونیتی و شیل (Kat)، ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوه پایه‌ای قدیمی کم ارتفاع (Qt2) و سازند مزدوران، سنگ آهک و دولومیت (Jmz) می‌باشند.

### تیپ اراضی دارای فرسایش St

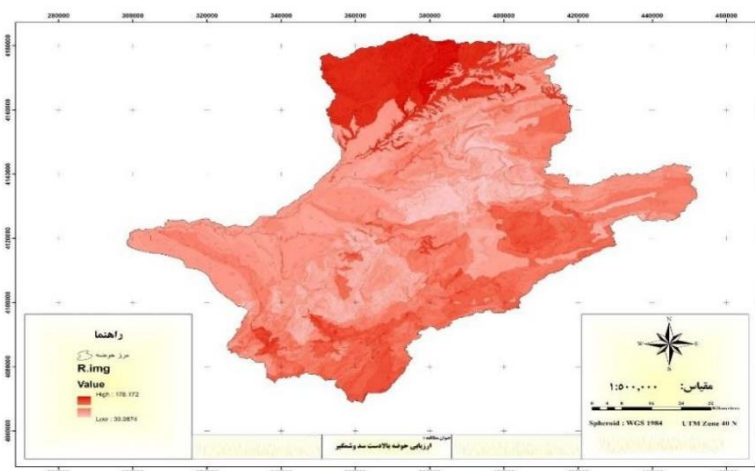
در این شکل فرسایشی، کناره‌ها ارتفاع متوسطی بیش از ۱/۵ متر داشته، به‌صورت منقطع بوده و در برخی نقاط این ارتفاع کاهش و در برخی نقاط افزایش می‌یابد. فرسایش کف‌کنی بستر در این شکل فرسایشی وجود نداشته که دلیل آن هم وجود آب زهکشی شده موجود در ته آبراهه می‌باشد که سبب شده است پوشش گیاهی در داخل آبراهه سبز شده و باعث تثبیت قسمت اعظم آن شود. فرسایش کناری موجود نیز در مواقع سیلابی رخ می‌دهد و رسوب‌زایی بالایی دارد. به‌طورکلی به دلیل وسعت کم (تنها در عرض آبراهه‌های اصلی دیده می‌شود) و امکان‌پذیر نبودن تفکیک انواع رخساره‌های فرسایشی هر سه رخساره به صورت یک «پلی‌گون» در (شکل ۴) نشان داده شده است. متوسط شیب در این رخساره ۷/۸ درصد، میزان ارتفاع متوسط آن حدود ۱۶۹/۴۲ متر و مساحت این رخساره فرسایشی در حدود ۳۹/۲۹ کیلومترمربع می‌باشد. واحدهای عمده زمین‌شناسی این رخساره فرسایشی شامل پادگانه‌ها و دشتهای آبرفتی (Qm)، اراضی پوشیده از لس (Q1) و ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوه پایه‌ای قدیمی کم ارتفاع (Qt2) می‌باشند.

جدول ۳: مساحت هر یک از اشکال فرسایشی منطقه در طبقات مختلف شیب

ارتفاع متوسط (متر)	مساحت اشکال فرسایشی در طبقات مختلف شیب								اشکال فرسایش
	بیشتر از ۶۰	۳۰ تا ۶۰	۲۰ تا ۳۰	۱۲ تا ۲۰	۸ تا ۱۲	۵ تا ۸	۲ تا ۵	۰ تا ۲	
۴۰/۷۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۷۳	۱/۳۲	۱/۴۴	۳۹/۰۳	E
۱۸۴۹/۶۶	۳/۲۹	۴۸/۵۹	۳۹/۴۹	۲۱/۳۹	۵/۹۱	۲/۹۱	۱/۰۶	۰/۱۶	Me,D
۹۴۸/۸۲	۴۵/۲۴	۴۸۵/۰۳	۲۸۲/۱۴	۱۶۳/۵۱	۳۹/۵۸	۲۲/۲۰	۳۳/۴۷	۱۰۲/۶۰	S1
۵۵۹/۸۶	۲۰/۲۲	۳۰۴/۲۵	۳۳۸/۰۴	۳۶۱/۰۷	۱۷۷/۹۷	۱۸۱/۹۹	۲۶۷/۵۲	۱۲۴۴/۰۴	S1,R1
۱۲۶۳/۲۱	۰/۰۳	۸/۴۳	۱۰/۱۱	۳/۱۰	۱/۱۲	۰/۷۰	۰/۳۳	۰/۴۷	S2,R1
۱۱۶۲/۰۴	۹/۹۶	۱۲۲/۵۶	۱۰۸/۰۹	۷۵/۹۷	۱۹/۷۰	۸/۲۸	۴/۹۴	۰/۸۹	S1,R2,V1
۱۶۲۸/۹۲	۱/۱۱	۸۴/۷۴	۱۰۲/۶۴	۱۰۰/۵۳	۳۳/۸۱	۱۷/۲۷	۶/۵۹	۱/۷۹	S2,R2,V1
۷۴۳/۳۷	۳/۶۵	۵۷/۰۲	۴۳/۹۸	۲۵/۷۷	۱۰/۶۴	۷/۵۲	۲/۷۱	۰/۳۵	S2,R2,V3
۱۵۲۷/۲۳	۸/۲۳	۱۱۲/۸۷	۱۵۱/۹۱	۱۹۹/۵۶	۹۱/۹۱	۵۹/۱۸	۲۷/۲۲	۵/۹۶	S2,R3,V2
۱۳۷۴/۴۷	۲/۶۶	۱۰۰/۷۲	۱۴۵/۱۹	۲۱۷/۶۶	۱۶۱/۸۰	۱۸۵/۴۳	۲۰۵/۰۴	۱۳۲/۷۵	S3,R2,V1
۴۲۸/۰۸	۰/۰۰	۹/۲۳	۷۸/۱۵	۳۳۳/۲۷	۲۴۹/۴۲	۱۹۴/۷۵	۸۶/۸۲	۲۹/۳۰	S3,R3,V3
۱۶۹/۴۲	۰/۳۳	۱/۲۰	۱/۱۵	۱/۸۷	۱/۵۲	۲/۳۶	۵/۳۱	۲۵/۵۷	St
-	۹۴/۷۱	۱۳۳۴/۶۲	۱۳۰۰/۸۹	۱۵۰۳/۶۷	۷۹۴/۰۹	۶۸۳/۹۱	۶۴۲/۴۳	۱۵۸۲/۹۰	جمع کل

### تعیین درجه رسوبدهی

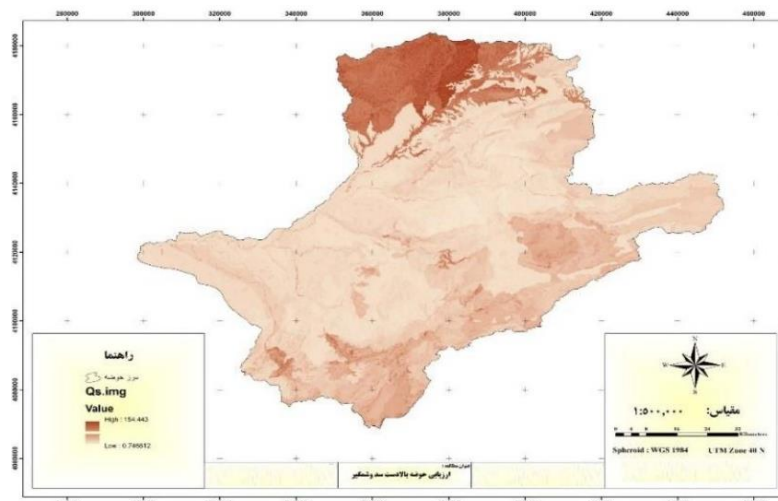
درجه رسوبدهی، مجموع امتیازهای عوامل ۹ گانه در مدل MPSIAC می‌باشد. برای به دست آوردن جمع امتیازهای عوامل ۹ گانه لایه‌های رستری تهیه شده و هر قسمت در محیط نرم افزار ArcGIS باز کرده و با کمک قابلیت Raster Calculator آن‌ها را با هم جمع گردید. خروجی این مرحله لایه‌ای با فرمت رستر و مجموع ۹ عامل می‌باشد که به لایه درجه رسوبدهی یا شدت رسوبدهی معروف است (شکل ۵).



شکل ۵: درجه رسوب دهی در منطقه مورد مطالعه



با توجه به لایه اطلاعاتی درجه رسوبدهی به دست آمده و با استفاده از رابطه (۱) مقدار رسوب ویژه محاسبه شد. به این ترتیب نقشه مقدار رسوب ویژه بر مترمکعب در کیلومتر مربع در سال برای هر سلول به دست آمد. با استفاده از امکانات نرم افزار ArcGIS (مانند Zonal Statistic) از این سلول‌ها میانگین رسوب ویژه در هر زیرحوضه محاسبه شد (جدول ۴).



شکل ۶: مقدار رسوب در منطقه مورد مطالعه

#### برآورد بارمعلق و بار کف به روش تجربی MPSIAC

اندازه‌گیری بار کف بستر به سادگی اندازه‌گیری مواد معلق نبوده و معمولاً برای محاسبه مقدار بار کف بستر از فرمول‌های تجربی که توسط دانشمندان و محققین ارائه شده است، استفاده می‌شود. با توجه به مشکلات اندازه‌گیری و عدم دقت کافی آن‌ها در برآورد بار کف معمولاً بار کف را به صورت ضربی از بار معلق در نظر می‌گیرند که می‌تواند بین ۱۰ تا ۵۰ درصد باشد. در حوضه مورد بررسی با توجه به بازدهی‌های صحرائی به عمل آمده، وضعیت دانه‌بندی رسوبات کف بستر، خصوصیات سنگ‌شناسی منطقه ضریب بار بستر به میزان  $0/2$  برای کل حوضه در نظر گرفته شد و بر اساس آن اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها نسبت به فرسایش انجام شد (جدول ۴).

جدول ۴: اولویت بندی زیرحوضه‌های منطقه نسبت به فرسایش (افزایش فرسایش = اولویت بالاتر)

نام زیرحوضه	مساحت (هکتار)	رسوب ویژه (تن در هکتار در سال)	فرسایش ویژه (تن در هکتار در سال)	نسبت تحویل رسوب (درصد)	بار بستر	بار معلق
۱۶۲۵۲۲۰	۱۲۰۵۰	۱۸/۱	۵۸/۳	۳۱	۳/۶۲	۱۴/۴۷
۱۶۲۵۲۳۰	۱۱۸۰۰	۱۷/۱	۵۵/۰	۳۱/۱	۳/۴۲	۱۳/۶۸
۱۶۲۵۳۱۰	۱۴۶۳۰	۱۵/۸	۵۲/۶	۳۰/۱	۳/۱۷	۱۲/۶۷
۱۶۲۵۳۲۰	۱۶۷۹۰	۱۴/۹	۵۰/۴	۲۹/۵	۲/۹۷	۱۱/۹
۱۶۲۵۳۳۰	۶۱۳۱	۱۲/۹	۳۷/۵	۳۴/۳	۲/۵۷	۱۰/۲۹
۱۶۲۵۳۰-	۱۳۱۶۷	۱۰/۲	۳۳/۴	۳۰/۶	۲/۰۴	۸/۱۷
۱۶۲۵۲۱-	۱۷۵۷۹	۱۰/۰	۳۴/۰	۲۹/۳	۱/۹۹	۷/۹۷
۱۶۲۵۲۱۲	۱۲۹۳۸	۷/۷	۲۵/۲	۳۰/۷	۱/۵۵	۶/۱۶
۱۶۲۴۱۲۲	۱۰۲۷۰	۷/۴	۲۳/۲	۳۱/۷	۱/۴۷	۵/۸۸
۱۶۲۵۲۰-	۱۱۱۴۳	۶/۹	۲۲/۱	۳۱/۴	۱/۳۹	۵/۵۵
۱۶۲۲۱۲۲	۳۳۷۵۵	۶/۳	۲۳/۸	۲۶/۶	۱/۲۷	۵/۰۷
۱۶۲۵۲۱۱	۱۸۰۴۱	۵/۵	۱۸/۹	۲۹/۲	۱/۱	۴/۴۱
۱۶۲۲۱۲۱	۱۵۰۳۶	۴/۸	۱۶/۱	۳۰	۰/۹۷	۳/۸۷
۱۶۲۳۰۲۱	۱۳۷۴۷	۴/۸	۱۵/۶	۳۰/۴	۰/۹۵	۳/۸
۱۶۲۳۰۲۴	۶۰۸۲	۴/۵	۱۳/۱	۳۴/۳	۰/۹	۳/۶
۱۶۲۴۱۲-	۱۶۷۵۸	۴/۵	۱۵/۲	۲۹/۵	۰/۹	۳/۵۹
۱۶۲۴۱۲۱	۷۶۳۳۰	۴/۴	۱۸/۷	۲۳/۶	۰/۸۸	۳/۵۲
۱۶۲۲۳۰۰	۴۲۳۷۳	۴/۳	۱۶/۸	۲۵/۷	۰/۸۶	۳/۴۵
۱۶۲۲۱۲-	۴۳۵۳۹	۳/۸	۱۴/۸	۲۵/۶	۰/۷۶	۳/۰۳
۱۶۲۳۰۲-	۱۴۰۰۱	۳/۵	۱۱/۶	۳۰/۳	۰/۷	۲/۸۲
۱۶۲۵۰۰-	۱۶۴۳۸	۳/۵	۱۱/۷	۲۹/۶	۰/۶۹	۲/۷۸
۱۶۲۵۱۱۱	۲۴۷۴۵	۳/۳	۱۱/۸	۲۷/۹	۰/۶۶	۲/۶۶
۱۶۲۵۱۱-	۲۱۱۷۹	۳/۳	۱۱/۴	۲۸/۵	۰/۶۵	۲/۶۱
۱۶۲۴۲۲۰	۱۳۸۹۶	۳/۲	۱۰/۶	۳۰/۴	۰/۶۵	۲/۵۸
۱۶۲۴۱۱۰	۴۵۲۷۱	۳/۱	۱۲/۰	۲۵/۵	۰/۶۱	۲/۴۴
۱۶۲۳۰۲۲	۴۸۱۴	۳/۰	۸/۴	۳۵/۵	۰/۶	۲/۳۸
۱۶۲۵۱۰-	۹۴۸۱	۲/۸	۸/۶	۳۲/۱	۰/۵۵	۲/۲۱
۱۶۲۳۰۲۳	۴۴۷۷	۲/۶	۷/۲	۳۵/۹	۰/۵۲	۲/۰۷
۱۶۲۲۱۱۱	۳۴۳۴۰	۲/۶	۹/۷	۲۶/۵	۰/۵۱	۲/۰۵
۱۶۲۳۰۱۰	۱۵۶۷۸	۲/۵	۸/۴	۲۹/۸	۰/۵	۲
۱۶۲۳۰۰-	۱۲۱۸۵	۲/۵	۸/۰	۳۱	۰/۵	۱/۹۸
۱۶۲۲۱۰-	۲۳۳۴	۲/۴	۶/۰	۳۹/۶	۰/۴۷	۱/۸۹
۱۶۲۲۲۰۰	۱۷۰۹۷	۲/۴	۸/۰	۲۹/۴	۰/۴۷	۱/۸۸
۱۶۲۲۰۰-	۱۷۴۵۴	۲/۳	۷/۹	۲۹/۳	۰/۵	۲
۱۶۲۲۴۰۰	۲۰۶۵۴	۲/۳	۸/۰	۲۸/۶	۰/۴۶	۱/۸۳
۱۶۲۳۰۳۰	۴۰۰۱۴	۲/۰	۷/۷	۲۵/۹	۰/۴	۱/۶۱
۱۶۲۵۱۲۰	۱۳۵۰۹	۲/۰	۶/۵	۳۰/۵	۰/۴	۱/۵۹
۱۶۲۴۲۰-	۶۶۵۲۸	۱/۹	۷/۷	۲۴/۱	۰/۳۷	۱/۴۸
۱۶۲۴۲۱۰	۷۴۷۲	۱/۶	۴/۹	۳۳/۳	۰/۳۲	۱/۳

## نتیجه‌گیری

### گزینه‌های مناسب حفاظت آب و خاک و کنترل فرسایش و رسوب

به‌طور کلی هر نوع پیشنهاد اجرایی در منطقه مورد مطالعه، بایستی بر اساس شناخت اساسی از وضعیت فرسایش حوضه باشد. به تعبیر دیگر کلیه برنامه‌های ارائه شده از نظر تأثیر بخشی عموماً بایستی به مهار و کنترل فرسایش و رسوب حوضه منجر گردد. البته بعضی از عوامل موثر در این پدیده، طبیعی بوده و امکان کنترل آن از دست بشر خارج است و یا این که از نظر اقتصادی اجرای آن مقدور نمی‌باشد.

### مدیریت مرتع

با توجه به وضعیت تپ‌های گیاهی و پراکنش و نوع پوشش گیاهی و قرار گرفتن این اراضی بعضاً در شیب‌های تند و اراضی حساس باید عنوان کرد که برنامه‌های حفاظتی بیشتر از طریق اعمال مدیریت صحیح مرتع‌داری، دام‌داری و برخی از عملیات‌های اصلاحی و احیائی موفقیت‌آمیز خواهد بود. آنچه در اجرای این روش در منطقه قابل انجام است به شرح ذیل می‌باشد.

- ۱- ایجاد رابطه تعادل دام و مرتع
- ۲- جلوگیری از چرای بی‌رویه در مراتع شیب‌دار
- ۳- مدیریت چرا بر اساس وضعیت سامان عرفی و یا در قالب تهیه و اجرای طرح‌های مرتع‌داری
- ۴- ایجاد تغییر سیستم دام‌داری سنتی و تغییر دام‌های سبک به دام‌های سنگین
- ۵- عملیات اصلاحی و احیایی مراتع شامل (قرق، بذرپاشی، کپه‌کاری، علوفه‌کاری و غیره)
- ۶- کنترل فصل چرا و اعمال و تنظیم برنامه‌های چرای مراتع بر اساس اصول صحیح مرتع‌داری

### عملیات بیولوژیک

با انجام عملیات بیولوژیکی سعی می‌شود به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم با استفاده از نقش پوشش گیاهی از فرسایش خاک جلوگیری شود. این عملیات در اراضی مرتعی تخریب شده زیرحوضه‌های منطقه شامل قرق، مدیریت چرا، تبدیل اراضی دیم کم‌بازده به مرتع، بذرپاشی، کپه‌کاری و غیره می‌باشند. همچنین در کناره‌های آبراهه‌های اصلی منطقه که فرسایش کناری وجود دارد، بایستی اقدام به کاشت نهال‌های مقاوم و بومی منطقه نمود تا از فرسایش بیشتر کناره‌ها جلوگیری شود.

## عملیات مکانیکی

انجام عملیات مکانیکی به تنهایی در کنترل فرسایش مؤثر نبوده و در صورت انجام عملیات بیولوژیکی و یا تلفیقی از آن‌ها می‌توان نسبت به کنترل فرسایش امیدوار بود. سازه‌های مکانیکی به منظور افزایش زمان تمرکز و اصلاح پروفیل طولی از طریق رسوب‌گیری مؤثر می‌باشد. این سازه‌ها می‌توانند به صورت سازه‌های خاکی به منظور نفوذ آب و سازه‌های سنگی ملاتی، توری سنگی در آبراهه‌های درجه ۳ و ۴ به منظور کنترل رسوب باشند.

## منابع

- باقرزاده کریمی، م. (۱۳۷۲). بررسی کارآیی مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعات فرسایش خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.
- پیرمحمدی، ز.، فیض‌نیا، س.، یونس‌زاده جلیلی، س. و فقهی، ج. (۱۳۸۹). مقایسه‌ی مدل‌های کمی در برآورد فرسایش و رسوب در زیرحوضه‌ی سامان عرفی چم لرستان. نخستین کنفرانس پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ۲۱ اردیبهشت ۱۳۸۹، کرمانشاه، ایران.
- جلالیان، ا. (۱۳۷۱). مطالعات کیفی و کمی فرسایش خاک در حوضه‌ی آبخیز شمالی رودخانه کارون. سومین کنگره علوم خاک ایران، ۱۵ تا ۱۸ شهریور ۱۳۷۱، تهران، ایران.
- راستگو، س.، قهرمان، ب. و داوری، ک. (۱۳۸۳). مقایسه موردی چهار روش MPSIAC, EPM, FAO و BLM در برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز تنگ کنشت. دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک، ۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۳، شیراز، ایران.
- رنگزن، ک.، زراسوندی، ع. و حیدری، ا. (۱۳۸۶). مقایسه دو مدل EMP و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب حوضه پگاه سرخ گنوند خوزستان با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۶۴، ص ۱۳۶-۱۲۳.
- صادقی، س. (۱۳۷۲). مقایسه چند روش برآورد فرسایش و رسوب در حوضه اوزون دره. مجموعه مقالات سمینار ملی بررسی سیاست‌ها و روش‌های بهره‌برداری بهینه از اراضی، ۱۰ اردیبهشت ۱۳۷۲، تهران، ایران.
- سبحانی، ب. (۱۳۸۰). بررسی فرسایش خاک در حوضه آبخیز آق لاقان چای، بر اساس مدل (FAO) با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی. نشریه علوم انسانی دانشگاه سیستان و بلوچستان، شماره ۱۳. ص ۱۳۶-۱۲۳.
- شفاعی بجستان، م. (۱۳۸۱). هیدرولیک رسوب. ویرایش دوم، انتشارات دانشگاه شهیدچمران. اهواز، ۴۳۸ص.
- یامینی، ع.، رحیمی، ت.، یارم طاقلو سهرابی، م. و ورناصری، ن. (۱۳۹۴). مطالعات رسوب شناسی و رخساره‌های رسوبی رودخانه مجن شرق شاهرود در راستای مهار آب‌های سطحی (واقع در البرز شرقی)، نخستین کنفرانس بین‌المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی، ۲۳ آذر ۱۳۹۴، کوالالامپور، مالزی.
- Aiello, A., Adamo, M. and Canora, F. (2015).** Remote sensing and GIS to assess soil erosion with RUSLE3D and USPED at river basin scale in southern Italy. Catena, 131, pp: 174–185.
- Lamba, J., Karthikeyan, K. G. and Thompson, A. M. (2015).** Apportionment of suspended sediment sources in an agricultural watershed using sediment fingerprinting. Geoderma, 239-240, pp: 25-33.
- Lim, Y.S., Kim, J.W. and Kim J.W. (2019).** Suspended sediment source tracing at the Juksan Weir in the Yeongsan River using composite fingerprints. Quaternary International, 519 (10), pp: 245-254.

**Mansouri, M. and A. Bagherzadeh. (2012).** Evaluation of sediment yield in PSIAC and MPSIAC models by using GIS at Toroq Watershed, Northeast of Iran. *Frontiers of Earth Science*, 6 (1), pp: 83-94.

**Morgan, R.P.C. (1995).** Soil erosion and Conservation, Longman Scientific and Technica, John Wiley and Sons, 316p.

**Nosrati, K. and Collins, A. L. (2019).** Investigating the importance of recreational roads as a sediment source in a mountainous catchment using a fingerprinting procedure with different multivariate statistical techniques and a Bayesian un-mixing model. *Journal of Hydrology*, 569, pp: 506-518.

**Tiecher, T., Caner, L., Minella, J.P., Pellegrini, A., Capoane, V., Rasche, J.W.R., Schaefer, J.L. and Rheinheimer, D.S. (2017).** Tracing sediment sources in two paired agricultural catchments with different riparian forest and wetland proportion in southern Brazil. *Geoderma*, 285 (1), pp: 225-239.

**Reynard, K.G. and J.J Stone. (1982).** Sediment yield from small semiarid rang land watersheds. *USDA-SEA-ARM, Westem Series*, 26, pp: 129-144.

**Palazon, L., Latorre, B., Gaspar, L., Blake, W. H., Smith, H. G. and Navas, A. (2015).** Comparing catchment sediment fingerprinting procedures using an auto-evaluation approach with virtual sample mixtures. *Science of the Total Environment*, 532 (1), pp: 456-466.

**Parehkar, A., N. Behnam and M. Shokrabadi. (2013).** An investigation survey on MPSIAC model to predict sediment yield in Iran. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 5 (6), pp: 342-349.

## Estimation of erosion and sediment in the Vashmgir dam upstream basin

Vahid Yazdani<sup>\*1</sup>, Sepideh Yeke Bash<sup>2</sup>, Amir Hossein Agakhani Afshar<sup>3</sup>

1) PhD in Water Science and Engineering, CEO of Hydropy Consulting Engineers

2) Master of Civil Engineering- Environment of Asrar Non-Profit University

3) PhD in Civil Engineering, Hydraulic Saras

Received Date: 2021. 05. 29

Accepted Date: 2021. 09. 14

### Abstract

Due to the importance of water and its vital role in human life, river studies and consequently studies on watersheds seem necessary. Golestan province with an area of 20437 square kilometers is located between latitude  $36^{\circ} 24'$  to  $38^{\circ} 0'$  north and  $53^{\circ} 51'$  to  $56^{\circ} 14'$  east. Gorganrood is one of the most important rivers in Golestan province and flows in the whole plain of Gorgan and divides it into two parts. Its catchment area is 10,250 km<sup>2</sup>. The main and important step in the study of erosion and sedimentation by experimental method is to determine and identify the forms and appearance of erosion. At this stage, various maps including river network, slope, geology, geomorphology, soil science and land use were studied; The map of the region was determined and the map was verified by interpreting aerial photographs and field visits. MPSIAC model was used to estimate the amount of erosion and sediment in the sub-basins. According to field studies and the results obtained, various types of erosions have occurred in the study area. According to the studies, the highest erosion was under the basin with code 1625220 (bed load 3.62 and with suspension 14.47) and the lowest erosion was under the basin with code 1624210 (bed load 0.32 and suspended load 1.3). Based on results, the sediment delivery ratio in the studied basins is between 23.6 to 39.6%. thus, the amount of special sediment varied between 1.6 to 18.1 and special erosion between 4.9 to 58.3 tons per hectare per year.

**Keywords:** Watershed, Sediment, Vashmgir Dam, Erosion, MPSIAC