



نسخ از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال چهاردهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱  
Vol.14, No. 4, Winter 2023 Iranian Remote Sensing & GIS

۸۷-۱۰۲

مقاله پژوهشی

## تعیین میزان فرسایش و رسوب با استفاده از روش MPSIAC و سامانه GIS

### در حوضه خورخوره، استان کردستان

عطا امینی<sup>۱</sup>، مهدی کرمی مقدم<sup>۲\*</sup>، محمدحسین سدري<sup>۳</sup>، سمیه کاظمی<sup>۴</sup>

۱. دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سنندج

۲. دانشیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیامنور، ایران

۳. استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سنندج

۴. دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه کردستان، سنندج

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۰۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۰۳

### چکیده

در سال‌های اخیر، با تغییر کاربری و توسعه اراضی کشاورزی در حوضه‌های کشور، میزان فرسایش و تولید رسوب افزایش یافته است. با توجه به اینکه در بیشتر زیرحوضه‌ها، آمار ایستگاه‌های رسوب‌سنجی به صورت درازمدت ثبت نشده است، برآورد میزان رسوب و فرسایش با مشکلاتی مواجه است. هدف از این پژوهش تعیین عوامل مؤثر در فرسایش و رسوب و تعیین مقادیر کمی فرسایش در حوضه آبخیز خورخوره در استان کردستان است. به این منظور، ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی در محیط GIS، نقشه نوع و گونه‌های فرسایش تهیه شد و این نقشه‌ها، با بررسی‌های صحرایی، تدقیق و ارزیابی شدند. براساس مدل MPSIAC، عوامل نه‌گانه مؤثر در فرسایش درمورد تمامی زیرحوضه‌ها، به تفکیک بررسی شد و امتیازات هر عامل به دست آمد. با جمع امتیازات عوامل، درجه رسوب‌دهی برای هر زیرحوضه تعیین و سپس مقدار رسوب و فرسایش ویژه و فرسایش کل در هر زیرحوضه محاسبه شد. نتایج نشان داد عوامل توپوگرافی و وضعیت فعلی فرسایش بیشترین نقش و عامل آب‌وهوا کمترین نقش را در میزان رسوب‌دهی حوضه دارند. طبق نتایج، ۹۲٪ کل حوضه دارای درجه رسوب‌دهی زیاد در کلاس فرسایش درجه چهار است. نسبت رسوب تحویلی حوضه (SDR) بین ۳۲ تا ۵۰٪ متغیر است. کمترین و بیشترین مقدار فرسایش ویژه در زیرحوضه‌های متفاوت، به ترتیب معادل ۱۰ و ۳۵ تن بر هکتار در سال، به دست آمد. مقدار رسوب ویژه و فرسایش ویژه کل حوضه نیز، به ترتیب ۶/۴ و ۱۷/۴ تن بر هکتار در سال، حاصل شد.

کلیدواژه‌ها: روش MPSIAC، سامانه GIS، رسوب، فرسایش، مدیریت حوضه.

\* نویسنده مکاتبه کننده: گروه کشاورزی، دانشگاه پیامنور، کدپستی: ۶۱۳۵۶۳۶۴۷، تلفن: ۰۹۱۳۲۵۳۰۹۳۶

## ۱- مقدمه

و به این نتیجه رسیدند که این روش‌ها و به‌ویژه روش PSIA، نتایج مورد قبولی دربر دارند. راستگو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۵) فرسایش خاک و تولید رسوب حوضه آبخیز سد ایلام را با استفاده از مدل MPSIAC برآورد کردند و این حوضه را از نظر کلاس‌های فرسایشی و شدت رسوب‌دهی، به سه کلاس کم، متوسط و زیاد تفکیک کردند. هاشمی تنگستانی<sup>۴</sup> (۲۰۰۶) دو مدل PSIA و EPM را برای بررسی فرسایش و تولید رسوب در حوضه آبخیز افرز به کار برد و نشان داد که نتایج مدل PSIA، در مقایسه با مدل EPM، معتبرترند و با توجه به بررسی‌های میدانی صورت گرفته، نتایج مدل PSIA قطعیت و اطمینان بیشتری دارد. لندی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۱)، طی مطالعات خود درباره ارزیابی تلفات خاک با استفاده از مدل WEPP و سیستم اطلاعات جغرافیایی، اظهار کردند تلفات خاک برآوردشده با این مدل، با داده‌های برآوردشده از طریق مدل MPSIAC، همبستگی بسیار دارد. دیوسالار<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۳) نقش هریک از عوامل محیطی مؤثر در فرسایش حوضه آبخیز سولقان قم را با استفاده از مدل MPSIAC و در محیط GIS، بررسی کردند. طبق برآورد آنها، مقدار فرسایش سالانه حوضه ۱۹/۸۵ تن بر هکتار بود. محسنی و رزاقیان<sup>۷</sup> (۲۰۱۳)، با استفاده از روش ژئومورفولوژی مبتنی بر مدل MPSIAC در محیط GIS، میزان فرسایش و رسوب در حوضه معروف کسلیان را برآورد کردند. بر این اساس، مقدار رسوب و فرسایش کل برآوردشده به ترتیب برابر با ۴۳۶۹۳ و ۱۷۴۷۷۲۲ تن در سال بود. افخمی<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از مدل‌های IRIFR و MPSIAC، فرسایش آبی و بادی در حوضه

فرسایش و رسوب‌زایی یکی از مشکلات مهم در مدیریت حوضه‌های آبخیز است. فرسایش و پیامدهای ناشی از آن، با تشدید بهره‌برداری انسان از طبیعت از اوایل قرن بیستم، تأثیرات منفی خود را در اکوسیستم حیاتی برجای گذاشته است (Lu et al., 2001). به‌رغم مطالعات و تحقیقات بسیاری که در دهه‌های اخیر، درمورد فرسایش خاک، حمل رسوب و سرانجام رسوب‌گذاری صورت گرفته، هنوز راهی طولانی برای درک کامل این پدیده باقی مانده است (Amini, 2018a). اکوسیستم آسیب‌پذیر ایران با تمامی عوامل نامساعد طبیعی و سابقه بهره‌برداری هزاران ساله در بخش‌هایی از آن و همچنین، با فشارهای فزاینده‌ای که از سوی جامعه بر آن وارد می‌شود و سرانجام، به‌دلیل بهره‌برداری سنتی که بدون توجه به حفاظت خاک آن صورت می‌گیرد، امروزه در تمامی نقاط در معرض تهدید قرار گرفته و به‌عبارتی، مدت‌هاست که از حالت تعادل خارج گشته است (Refahi, 2008). برای تقلیل تأثیرات زیان‌بار رسوب، پرشدن مخازن ذخیره آب، و نیز حل مشکلات تصفیه آب‌های مشروب و از بین رفتن حاصل‌خیزی خاک، شناخت عوامل مؤثر در فرایند رسوب‌زایی در حوضه آبخیز ضروری است (Davari et al., 2005). برآورد رسوب از طریق آمار ایستگاه‌های رسوب‌سنجی امکان‌پذیر است. از آن‌رو که ممکن است آمار این ایستگاه‌ها کامل نباشد و یا حوضه چنین ایستگاه‌هایی نداشته باشد، محققان به استفاده از مدل‌های گوناگونی روی آورده‌اند. یکی از این مدل‌ها مدل MPSIAC است.

تاج‌بخش و معماریان<sup>۱</sup> (۲۰۰۳) در زیرحوضه کردیان، با استفاده از مدل MPSIAC و GIS، فرسایش و رسوب را ارزیابی کردند. نتایج کار آنها نشان داد که کل حوضه، از نظر تولید رسوب، به سه کلاس متوسط، نسبتاً زیاد و زیاد طبقه‌بندی می‌شود. د‌ونته<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۵) میزان فرسایش خاک در مخازن سدها در اسپانیا را با روش‌های نیمه کمی مطالعه کردند

1. Tajbakhsh & Memarian
2. De Vente
3. Rastgo
4. Hashemi Tangestani
5. Landi
6. Diosalar
7. Mohseni & Razzaghian
8. Afkhami

ضروری به نظر می‌رسد. برگزیدن راه‌حلهایی، به‌منظور مدیریت فرسایش و رسوب این حوضه، مستلزم بررسی عوامل مؤثر در فرسایش و اطلاع از میزان فرسایش حوضه است. بررسی تحقیقات پیشین از فقدان ایستگاه رسوب‌سنجی در خروجی و یا نزدیک حوضه آبخیز خورخوره حکایت دارد؛ ضمن اینکه تا کنون پژوهشی انجام نشده است که عوامل مؤثر در فرسایش و مقدار آن را در این حوضه برآورد کرده باشد. بدین‌دلیل، در این پژوهش با تلفیق بررسی‌های صحرایی و داده‌های مکانی، عوامل تأثیرگذار در فرسایش این حوضه و مقدار کل فرسایش سالانه، با استفاده از مدل MPSIAC بررسی شد زیرا این مدل تعداد پارامترهای بیشتر و در نتیجه این شیوه، در قیاس با دیگر روش‌ها، برآوردی نزدیک‌تر به واقعیت دارد.

## ۲- مواد و روش‌ها

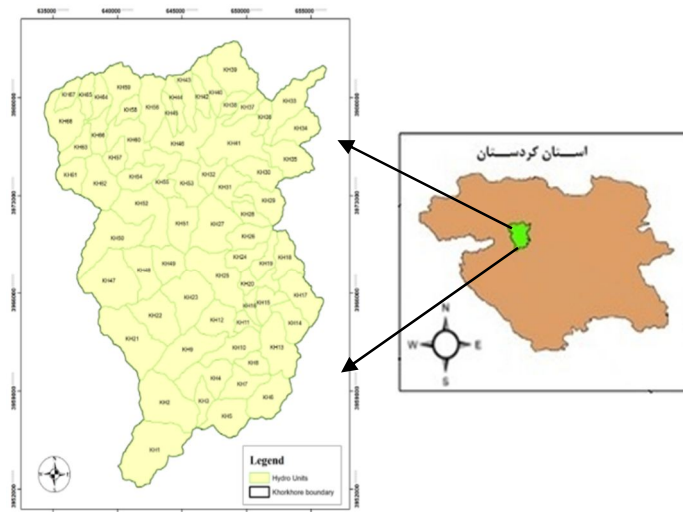
### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز خورخوره، با وسعت ۴۲۷۶۹/۸ هکتار، در مختصات جغرافیایی ۲۹° ۴۶' تا ۴۳° ۴۶' طول شرقی و ۴۲° ۳۵' تا ۵۹° ۳۵' عرض شمالی قرار گرفته است. این حوضه آبخیز از جنوب به کوه‌های درویشان، سورحال و سلطان اغزتو، از شمال به کوه‌های سرتزین، بردروازه و شاخ چناران، از شرق به کوه‌های ناله‌خوشه، بردرش و گلوران و از غرب به کوه‌های چهل‌چشمه (کانی میر) محدود شده است. در این پژوهش، این حوضه به ۶۸ واحد هیدرولوژیکی تقسیم شد. شیب میانگین اراضی حوضه آبخیز خورخوره ۴۶٪ به‌دست آمد که بیانگر کوهستانی‌بودن اراضی این حوضه است. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه و نقشه واحدهای هیدرولوژیک حوضه آبخیز خورخوره را نشان می‌دهد.

آبخیز را بررسی کردند. طبق نتایج، میزان رسوب ناشی از فرسایش آبی درمورد برخی رخنه‌ها زیاد بود اما درمورد کل حوضه، میزان رسوب ویژه اندک (۱۷/۹۰ مترمکعب در کیلومترمربع در سال) برآورد شد. ژانگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۵) مناطقی از شمال‌غرب چین را با استفاده از نمونه فیزیکی EPM و با کمک تصاویر سنجنده TM و ETM، طی یک دوره ۲۶ ساله، بررسی کردند. این محققان به این نتیجه رسیدند که طی این مدت، فرسایش خاک ۲۳٪ افزایش یافته و علت اصلی آن فعالیت‌های انسانی و ازبین‌رفتن پوشش گیاهی در منطقه بوده است. علی‌پور<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۶) شدت فرسایش و رسوب حوضه آبخیز ایور را با استفاده از روش MPSIAC برآورد کردند. نتایج نشان داد وجود تشکیلات حساس ماری از دلایل فرسایش طبیعی در منطقه شمرده می‌شود. خالدیان و بیات<sup>۳</sup> (۲۰۱۶)، با استفاده از مدل PSIAC و بررسی آزمون‌های آماری، نقش پروژه‌های آبخیزداری را در کاهش فرسایش و رسوب حوضه‌های آبخیز بررسی کردند. نتایج نشان داد رسوب دهی ویژه حوضه از ۲/۷ به ۲/۵ تن در هکتار کاهش یافته است؛ همچنین از سطح کلاس‌های دارای رسوب‌دهی زیاد کاسته شده و سطح کلاس‌های با رسوب‌دهی اندک افزایش یافته است. تحلیل آماری نیز مشخص کرد، بین رسوب‌دهی قبل و پس از اجرای عملیات آبخیزداری، اختلافی معنی‌دار وجود دارد. رضانی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۶) وضعیت فرسایش و تولید رسوب حوضه آبخیز سد برنجستانک را با دو روش MPSIAC و EPM بررسی کردند. در هر دو روش، شدت فرسایش حوضه مورد مطالعه اندک بود؛ ضمن اینکه مدل MPSIAC، به دلیل استفاده از پارامترهای بیشتر، دقیق‌تر از مدل EPM تشخیص داده شد.

حوضه خورخوره در استان کردستان، در سال‌های اخیر، با فرسایش آبی شدید مواجه بوده است. با توجه به خروج بخش عظیمی از خاک فرسایش‌یافته از این حوضه و لزوم حفظ منابع خاک، تحقیق در این حوضه

1. Zhang
2. Alipour
3. Khaledian & Bayat
4. Ramezani



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (الف)؛ واحدهای هیدرولوژیک مورد مطالعه در حوضه خورخوره (ب)

## ۲-۲- روش پژوهش

نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی منطقه مورد مطالعه از وب‌گاه‌ها و نقشه‌های مرجع جمع‌آوری شد. با استفاده از این اطلاعات، در محیط نرم‌افزار GIS، نقشه‌های اولیه حوضه تهیه شد. با تطبیق این نقشه‌ها و براساس مشاهدات صحرایی، اصلاحات لازم به منظور تهیه نقشه نهایی تیپ و گونه‌های فرسایش اعمال شد. همچنین در این مرحله، فرم BLM<sup>۱</sup> که به وضعیت فرسایش منطقه مرتبط است، تکمیل شد (Nawjawan et al., 2013). بررسی‌های انجام‌شده حاکی از نبود ایستگاه رسوب‌سنجی در خروجی و یا نزدیکی حوضه آبخیز خورخوره، به منظور تعیین مقدار رسوب خروجی آن است؛ بنابراین برای برآورد رسوب این حوضه، از روش تجربی MPSIAC استفاده شد.

## ۲-۲-۱- روش MPSIAC

مدل PSIAC را کمیته مدیریت آب در آمریکا در سال ۱۹۶۸، با نه عامل فرسایش، معرفی کرد که و از آن هنگام، در ایران به کار می‌رود. در سال ۱۹۸۲، عوامل محیطی نه‌گانه PSIAC به صورت معادلات عددی و اصلاح ضریب فرسایش درآمد و این مدل اصلاح‌شده به

MPSIAC شهرت یافت (Johnson & Gebhardt, 1982). روش MPSIAC، به دلیل دارا بودن تعداد پارامترهای بیشتر از دیگر روش‌های تجربی، برآوردی نزدیک‌تر از آن شیوه‌ها به واقعیت دارد؛ از این رو در این پژوهش نیز از همین روش استفاده شد. برای استفاده از مدل MPSIAC در برابر وضعیت فرسایش و تولید رسوب در هریک از واحدهای کاری و در نهایت، واحد هیدرولوژیک، نه عامل مؤثر در فرسایش و رسوب‌دهی، شدت و ضعف نقش آنها در فرسایش خاک و تولید رسوب باید بررسی و به‌دقت ارزیابی شود. حاصل نهایی نمره و امتیاز این نه عامل، در هریک از واحدهای کاری، بیانگر شدت فرسایش خاک و رسوب‌دهی در آن واحد است (Afkhami et al., 2013). پس از به‌دست‌آوردن جمع امتیازات نه‌گانه (R)، با فرمول پیشنهادی مدل، مقدار رسوب‌دهی برحسب مترمکعب در کیلومترمربع طبق رابطه (۱) تعیین می‌شود.

$$Q_s = 38.77e^{(0.0353R)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

1. Bureau of Land Management

در نظر گرفتن رابطه خطی بین میزان شیب و امتیاز آن در تولید رسوب و همچنین، اغلب بیش‌برآورد مقدار رسوب طبق رابطه (۱) باعث شد جانسون و گبارد<sup>۱</sup> (۱۹۸۲) معادله PSIAC را به صورت رابطه (۲) اصلاح کنند. در پژوهش حاضر، از رابطه (۲) استفاده شد.

$$Q_s = 18.6e^{(0.036R)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

کلاس‌های فرسایش در مدل MPSIAC در جدول ۲ آورده شده است.

در این معادله،  $Q_s$  رسوب (رسوب ویژه) تولیدی بر حسب مترمکعب بر کیلومترمربع در سال،  $e$  عدد نپرین (۲/۷۱۸) و  $R$  درجه رسوب‌دهی است. چنانکه گفته شد، این مدل نه پارامتر دارد که هفت پارامتر آن طبق گزارش‌های پایه و دو پارامتر دیگر با استفاده از فرم BLM در منطقه تعیین شده است. عوامل نه‌گانه و پارامترهای مورد نظر در جدول ۱ آورده شده است (Afkhami et al., 2013).

جدول ۱. پارامترهای نه‌گانه‌ی مدل PSIAC اصلاح‌شده

عامل مؤثر	رابطه	توضیحات
زمین‌شناسی سطحی	$X_1 = Y_1$ (۲)	$Y_1$ : حساسیت سنگ‌ها به فرسایش و شاخص فرسایش‌پذیری برای سازندهای مورد نظر تعیین و با محاسبه میانگین وزنی سازندهای تشکیل‌دهنده، شاخص فرسایش‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی، در هر واحد هیدرولوژیک، تعیین شد
خاک	$X_2 = 16.67K$ (۳)	$K$ : عامل اصلی فرسایش‌پذیری در فرمول جهانی خاک است که در پنج عامل درصد سیلت، شن ریز، درصد شن، درصد مواد آلی، ساختمان خاک و توانایی هدایت آب اندازه‌گیری می‌شود
آب‌وهوا	$X_3 = 0.2P_2$ (۴)	$P_2$ : مقدار بارندگی شش‌ساعته با دوره برگشت دو سال (mm)
رواناب	$X_4 = 0.006R + 10Q_p$ (۵)	$R$ : ارتفاع رواناب (mm) و $Q_p$ : دبی ویژه پیک سالیانه ( $m^3/s.km^2$ ) این عامل از طریق بررسی دبی ویژه، شدت طغیان، تداوم و تکرار طغیان‌ها و گروه هیدرولوژیک خاک تعیین شد
توپوگرافی	$X_5 = 0.33S$ (۶)	$S$ : شیب متوسط (%). (عبارت است از شیب متوسط حوضه بر حسب درصد)
پوشش زمین	$X_6 = 0.2P_b$ (۷)	$P_b$ : عبارت است از پوشش گیاهی بر حسب درصد
نحوه استفاده از اراضی	$X_7 = 20 - 0.2P_c$ (۸)	$P_c$ : درصد تاج‌پوشش (%)
وضعیت فعلی فرسایش	$X_8 = 0.25SSF$ (۹)	$SSF$ : فرسایش سطحی خاک با استفاده از BLM. به منظور تعیین این ضریب، هفت عامل دخالت داده شد که عبارت است از فرسایش سطحی، لاش‌برگ سطحی، پوشش گیاهی، آثار تخریب خاک و گیاه، فرسایش شیاری و ابعاد آن، جریان‌های سطحی و رسوبات آن، و درصد گونه‌های فرسایش‌خندقی
فرسایش رودخانه‌ای	$X_9 = 1.67SSF_g$ (۱۰)	$SSF_g$ : امتیاز عامل فرسایش رودخانه‌ای در روش BLM و عبارت است از فرسایش خندقی و به‌ویژه، خندق‌های ایجادشده در مناطق کم‌شیب و مجاور رودخانه

## 1. Johnson & Gebhardt

جدول ۲. طبقه‌بندی شدت رسوب‌دهی مدل MPSIAC

تولید رسوب		جمع اعداد به‌دست‌آمده از نه عامل مؤثر	طبقه‌بندی کیفی فرسایش	کلاس فرسایش
Ton/km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /km			
>۲۵۰۰	>۱۴۵۰	>۱۰۰	خیلی زیاد	V 1
۱۵۰۰-۲۵۰۰	۴۵۰-۱۴۵۰	۷۵-۱۰۰	زیاد	IV 2
۵۰۰-۱۵۰۰	۲۵۰-۴۵۰	۵۰-۷۵	متوسط	III 3
۲۰۰-۵۰۰	۹۵-۲۵۰	۲۵-۵۰	کم	II 4
>۲۰۰	<۹۵	<۲۵	خیلی کم	I 5

هیدرولوژیک با نقشه اشکال فرسایش حوضه، در محیط GIS، تلفیق شد و براین اساس مساحت اشکال گوناگون فرسایشی در هر زیرحوضه تعیین شد. همچنین در این مرحله، فرم BLM که به وضعیت فرسایش منطقه مرتبط است، تکمیل شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- گونه‌ها و تیپ‌های فرسایش حوضه

در حوضه آبخیز خورخوره به‌دلیل شرایط آب‌وهوایی، نوع سازندهای زمین‌شناسی، شیب و دخالت‌های انسان، دو نوع فرسایش طبیعی و تشدید (مخرب) مشاهده می‌شود. فرسایش طبیعی شامل فرسایش مکانیکی (M) و فرسایش تشدید شامل فرسایش‌های سطحی (S)، شیاری (R)، خندقی (G)، آبراهه‌ای (Ch) و رودخانه‌ای (Sh) است. شکل ۲ گونه‌های تلفیقی انواع فرسایش را نشان می‌دهد.

مطابق شکل ۲، واحد کاری ۱۸ که ۴۰٪ مساحت حوضه را دربر می‌گیرد، تمامی گونه‌های فرسایش سطحی، شیاری، خندقی، آبراهه‌ای و رودخانه‌ای با درجه متوسط را شامل می‌شود. همچنین در بیشتر واحدهای کاری، همه انواع فرسایش به‌چشم می‌خورد.

#### ۳-۲- پارامترهای فرسایش و رسوب

در روش MPSIAC، با تعیین نُه پارامتر محیطی در فرسایش، درجه رسوب‌دهی و رسوب ویژه حوضه تعیین می‌شود. امتیاز این عوامل در ادامه بیان می‌شود.

#### ۳-۲-۲- نسبت تحویل رسوب و فرسایش ویژه

برای محاسبه فرسایش ویژه ( $Q_e$ ) از روی رسوب ویژه تولیدی حوضه، به محاسبه SDR یا نسبت تحویل رسوب نیاز است. این نسبت از رابطه (۳) به‌دست می‌آید.

$$\text{رابطه (۳)} \quad \text{SDR} = 0.467A^{(-0.2071)}$$

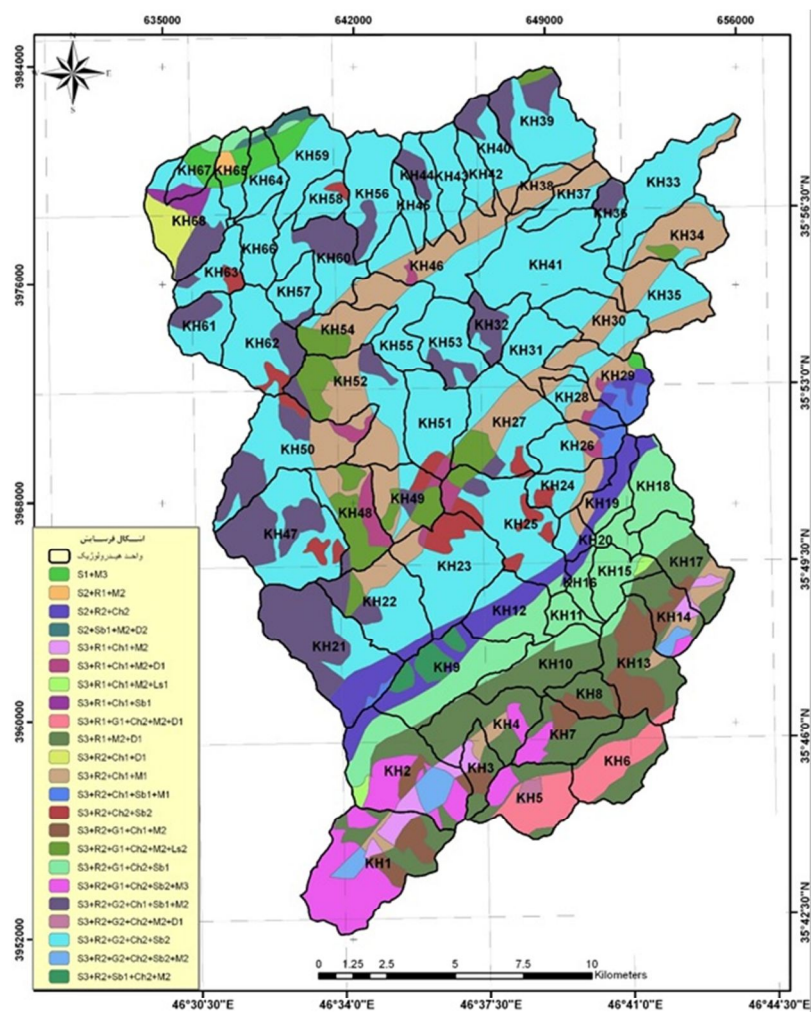
A مساحت برحسب مایل مربع است. با توجه به اینکه نسبت تحویل رسوب (SDR) با نسبت رسوب ویژه به فرسایش ویژه ( $Q_e$ ) برابر است، طبق رابطه (۴) می‌توان فرسایش ویژه ( $Q_e$ ) را محاسبه کرد.

$$\text{رابطه (۴)} \quad Q_e = \frac{Q_s}{\text{SDR}}$$

$Q_e$  فرسایش ویژه برحسب مترمکعب بر کیلومتر مربع در سال است. پس از تعیین مقادیر فرسایش و رسوب ویژه، شدت فرسایش و رسوب‌دهی به‌صورت کیفی و کمی و نیز مقدار فرسایش کل سالانه تعیین شد.

#### ۳-۲-۲- اطلاعات مکانی

پس از جمع‌آوری نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی منطقه مورد مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار GIS، نقشه‌های پایه حوضه در لایه‌های ارتفاعی، آبراهه، بافت خاک و دیگر اطلاعات مورد نیاز مدل به‌شرح جدول ۱ تهیه شد. با تطبیق این نقشه‌ها و براساس مشاهدات صحرائی، اصلاحات لازم به منظور تهیه نقشه نهایی تیپ و گونه‌های فرسایش اعمال شد. برای تعیین اشکال فرسایش، نقشه واحدهای



شکل ۲. گونه‌های فرسایش حوضه خورخوره

### ۳-۲-۱- زمین‌شناسی سطحی

با توجه به واحدهای زمین‌شناسی حوضه آبخیز خورخوره، فرسایش‌های متنوع و با شدت‌های متفاوت در این حوضه مشاهده می‌شود. بر این اساس، می‌توان گفت وجود تشکیلات سنگی که اغلب از جنس آتشفشانی و آهکی‌اند، سبب بروز تخریب‌های مکانیکی و انحلالی می‌شوند و تشکیلات حساس به فرسایش، از جمله شیست، شیل، ماسه‌سنگ‌های قرمز و رسوبات آبرفتی و رودخانه‌ای نیز باعث بروز فرسایش‌های متنوع با شدت‌های گوناگون و رسوب‌زایی متوسط در بیشتر مناطق حوضه شده‌اند. جدول ۳ شاخص فرسایش‌پذیری واحد هیدرولوژیکی KH1 را، برای نمونه، نشان می‌دهد. متوسط امتیاز این عامل در کل حوضه خورخوره ۸.۲ به‌دست آمد.

### ۳-۲-۲- خاک

خاک نیز از عوامل فرسایش‌پذیر است و از این‌رو باید بررسی شود. در شکل ۳، تلفیق اجزای واحد اراضی خاک با واحدهای هیدرولوژیکی ارائه شده است. این عامل، در واحدهای هیدرولوژیکی ۳ و ۳۲، به‌ترتیب با امتیاز ۷/۶ و ۱۰/۴ کمترین و بیشترین نقش را در رسوب‌زایی دارد. میانگین امتیاز این عامل در کل حوضه خورخوره، ۹/۵ به‌دست آمد. در محدوده مطالعاتی حوضه، در مجموع، دو تیپ اراضی مشاهده شد که شامل تیپ کوه‌ها و تپه‌هاست. غالب‌ترین فرسایش‌ها در بیشتر مناطق حوضه سنگی و از نوع سطحی، انحلالی، مکانیکی (واریزه‌ای) و آبراه‌ای است و فرسایش‌هایی مانند خندقی، توده‌ای و رودخانه‌ای در سطح کمتری از حوضه و محدود به

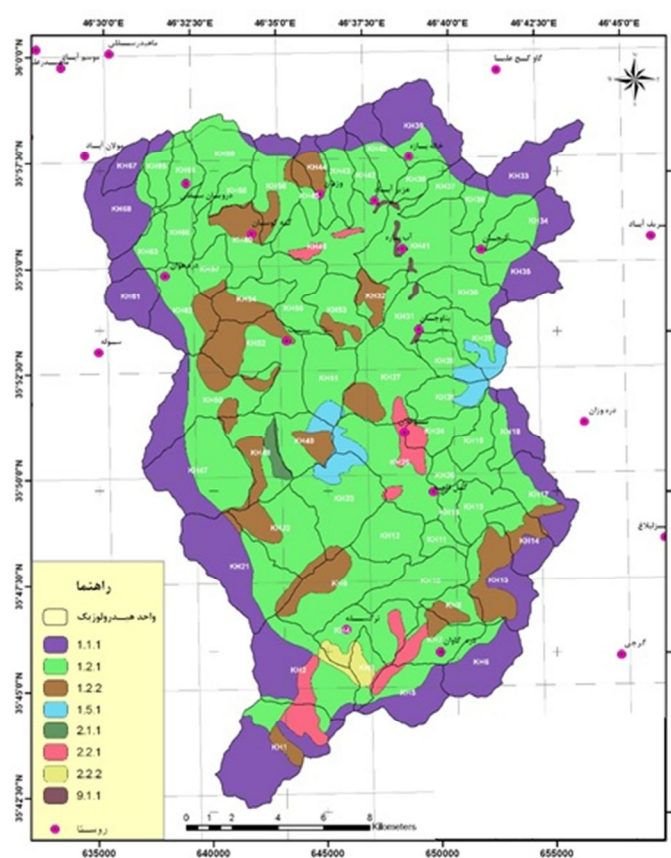
## عطا امینی و همکاران

مناطق خاک‌دار، با شدت متوسط دیده می‌شوند. با این توصیف، وضعیت خاک‌شناسی منطقه نقش مهمی در بروز فرسایش سطحی و مکانیکی دارد.

این عامل در واحدهای هیدرولوژیکی ۱۱ و ۲۱، به ترتیب با امتیاز ۵ و ۸/۴، کمترین و بیشترین نقش را در رسوب‌زایی برعهده دارد.

جدول ۳. مساحت سازندهای زمین‌شناسی و میانگین شاخص فرسایش‌پذیری آنها در واحد هیدرولوژیکی KH1

واحد هیدرولوژیکی	واحد سنگی	توصیف	عدد حساسیت به فرسایش	مساحت (هکتار)	حساسیت واحد زمین‌شناسی *مساحت	امتیاز عامل زمین‌شناسی
KH1	K3	آهک اریبتولین‌دار لایه‌ای و گاه توده‌ای	۵	۲۵/۲۴	۱۲۶/۲	
KH1	K4	شیل آرژیلی با رنگ خاکستری تیره	۸	۴۹۰/۲۴	۳۹۲۱/۹	۸/۲
KH1	K6	سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی	۵	۱۷۰/۹۸	۸۵۴/۹	
KH1	Qls	مصالح زمین‌لغزشی	۹	۸۴۵/۵۲	۷۶۰۹/۷	
جمع	-	-	-	۱۵۳۱/۹۸	۱۲۵۱۲/۷	



شکل ۳. اجزای واحد خاک در حوضه خورخوره



### ۳-۲-۳- آب‌وهوا و رواناب

داده‌های بارندگی حوضه مورد نظر و رگبارهای با دوره بازگشت متفاوت استخراج شد. شدت رگبار شش‌ساعته، با دوره بازگشت دو سال، برابر با  $4/2$  میلی‌متر در ساعت بوده؛ بنابراین عمق رگبار شش‌ساعته با دوره بازگشت دو سال، درمورد تمامی واحدهای هیدرولوژیک، یکسان و برابر با  $25/2$  میلی‌متر به‌دست آمده است. با توجه به رابطه بیان‌شده، درمورد کل حوضه، امتیاز این عامل برابر با  $5$  شد. وقوع باران‌های کم‌حجم و با شدت زیاد، بارش‌های برفی، و وجود سازندهای زمین‌شناسی حساس به فرسایش در حوضه سبب کاهش زمان تمرکز و افزایش سرعت آبدوی هرزآب‌های تشکیل‌شده در سطح حوضه شده و به بروز اشکال گوناگون فرسایشی در حوضه منتهی شده است. امتیاز رواناب با توجه به مقدار رواناب و دبی پیک ویژه تعیین می‌شود. برای نمونه، مقدار رواناب زیرحوضه KH1 برابر با  $261/2$  میلی‌متر و مقدار دبی ویژه آن  $0/78 \text{ m}^3/\text{s.km}^2$  است؛ بنابراین با توجه به رابطه (۴)، مقدار امتیاز عامل مورد نظر برای این واحد  $9/4$  خواهد بود. عامل رواناب در واحدهای هیدرولوژیکی  $41$  و  $11$ ، به‌ترتیب با امتیاز  $9$  و  $18/8$ ، کمترین و بیشترین نقش را در رسوب‌زایی دارند. میانگین امتیاز این عامل درمورد کل حوضه،  $11/5$  شد. حوضه مطالعاتی خورخوره دارای ارتفاع و شیب زیاد است. این حوضه، از نظر سازندهای تشکیل‌دهنده و واحدهای زمین‌شناسی، نفوذپذیری اندک تا متوسط دارد؛ بنابراین در بخش‌های با میزان نفوذپذیری اندک و حتی متوسط، در زمان بارش یا ذوب‌شدن برف، مقدار نفوذ آب به داخل زمین کاهش می‌یابد و این سبب تشکیل هرزآب‌ها می‌شود. با توجه به اینکه بیشتر مساحت حوضه را این واحدها تشکیل می‌دهد ( $52/6\%$  کم،  $19/4\%$  متوسط و  $28\%$  زیاد)، هرزآب‌های سطحی تأثیر زیادی در فرسایش می‌گذارد. در پی وقوع چنین رواناب‌هایی، فرسایش‌های سطحی، شیاری، آبراهه‌ای، خندقی (به‌صورت کم و موردی) و رودخانه‌ای در سطح حوضه پدیدار شده است.

### ۳-۲-۴- توپوگرافی

عوامل توپوگرافی، همانند شیب و جهت آن، نقش پررنگی در ایجاد فرسایش و تولید رسوب دارند. برای نمونه، با توجه به شیب متوسط  $48/6\%$  برای واحد KH1 و رابطه (۴)، امتیاز این عامل در این واحد برابر با  $16$  خواهد بود. عامل توپوگرافی، در واحدهای هیدرولوژیکی  $11$  و  $7$ ، به‌ترتیب با امتیاز  $9/5$  و  $17$  کمترین و بیشترین نقش را در رسوب‌زایی دارد. میانگین امتیاز این عامل، درمورد کل حوضه،  $15/2$  به‌دست آمد. حوضه خورخوره نسبتاً مرتفع است. شیب متوسط اراضی در حدود  $46\%$  محاسبه شده که بیانگر شیب زیاد این اراضی است. می‌توان نتیجه گرفت که شیب زیاد یکی از عوامل مهم فرسایش در حوضه آبخیز خورخوره شمرده می‌شود.

### ۳-۲-۵- پوشش زمین و کاربری اراضی

منظور از پوشش زمین هرگونه پوششی است که خاک را در مقابل عوامل فرساینده، مانند ضربه قطرات باران، رواناب و باد حفاظت کند و معمولاً شامل پوشش گیاهی، لاش‌برگ و سنگ و سنگریزه می‌شود. این عامل می‌تواند نقش مهمی در کاهش فرسایش خاک و تولید رسوب داشته باشد. شکل ۴ وضعیت پوشش گیاهی حوضه خورخوره را نشان می‌دهد. عامل پوشش گیاهی در واحدهای هیدرولوژیکی  $3$  و  $68$ ، به‌ترتیب با امتیاز  $3$  و  $9/7$ ، کمترین و بیشترین نقش را در رسوب‌زایی دارد. میانگین امتیاز این عامل، برای کل حوضه، برابر با  $6/1$  شد. در حوضه آبخیز خورخوره، در بخش‌هایی که ارتفاع زیاد و شیب تند دارند، پوشش سنگی به‌صورت نسبتاً یکنواخت وجود دارد. در دامنه‌های پایین‌دست که دارای خاک‌اند و سطح بیشتری را در مقایسه با توده‌های سنگی در بر گرفته‌اند، پوشش گیاهی و لاش‌برگ سطح خاک متوسط تا خوب است و می‌توان پوشش خوبی از خانواده *leguminose*، *Graminae*، *Compositae* و گیاهان علفی یک‌ساله را مشاهده کرد. ممکن است نوع کاربری اراضی از سوی انسان در میزان رسوب‌دهی حوضه

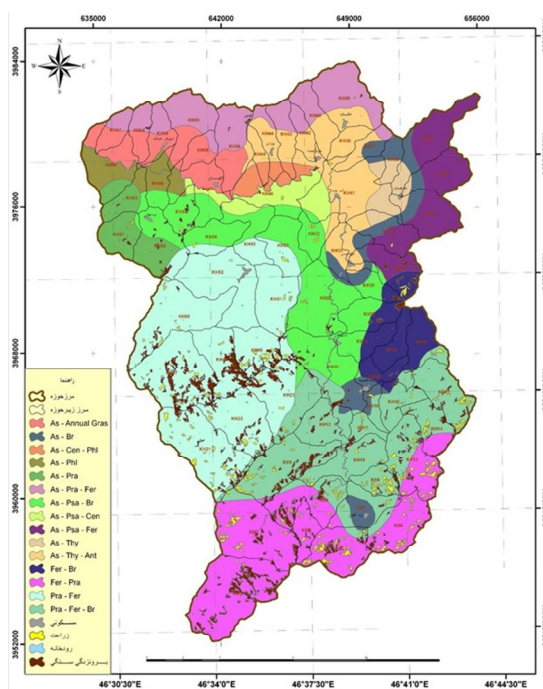
## عطا امینی و همکاران

بیشتر از ۱۲٪، فشار بر اراضی کشاورزی و شخم در جهت شیب باعث از بین رفتن حاصل خیزی و گسترش فرسایش خندقی در این اراضی و ورود رسوب به رودخانه اصلی شده است.

### ۳-۲-۶- وضعیت فعلی فرسایش سطحی

جدول ۴ فاکتورهای هفتگانه فرم BLM را برای نمونه، در سه واحد کاری نشان می‌دهد. با مقایسه وضعیت فرسایشی فعلی با شرایط طبیعی، امتیازی به هریک از فاکتورهای هفتگانه این فرم اختصاص یافت؛ سپس با جمع هفت عدد تعیین شده برای هر واحد کاری، امتیاز عامل سطحی خاک آن واحد (SSF) مشخص شد.

تغییرات وسیعی به وجود آورد. معمولاً این عامل با عناوین عملیات کشاورزی (کشت و کار ویژه در اراضی) و وضعیت چرای دام ارزیابی می‌شود. اگر در حوضه‌ای عملیات کشاورزی و چرای زیاد انجام نشود و حوضه پوشش مناسبی داشته باشد، مقدار فرسایش و تولید رسوب حوضه اندک خواهد بود. عامل کاربری اراضی در واحدهای هیدرولوژیکی ۱۳ و ۵۸، به ترتیب با امتیاز ۴/۵ و ۱۳/۵، کمترین و بیشترین نقش را در رسوب‌زایی دارد. میانگین امتیاز این عامل، در مورد کل حوضه، ۸/۳ شد. کاربری بیشتر این حوضه مرتع و کشاورزی (زراعت دیوم) است؛ بنابراین حضور کشاورزان و دامداران در این منطقه برای تأمین نیازها، زراعت دیوم در شیب‌هایی



شکل ۴. پوشش گیاهی حوضه خورخوره

جدول ۴. فرم BLM تکمیل شده برای واحدهای کاری حوضه آبخیز خورخوره

واحدهای کاری	مساحت به هکتار	رخساره	واحد زمین شناسی	حرکت توده خاک	پوشش لاش‌برگ	پوشش سنگی	سطح زمین	قطعات سنگی	تحکیم یافته	شیارهای سطحی	فرم آبراهه‌ها	توسعه فرسایش خندقی	جمع امتیازها
۱	۵۴/۵	Ls	Ev	۸	۸	۵	۸	۴	۲	۲	۲۸		
۲	۲۵۰/۰	Ls	K1	۱۲	۸	۶	۹	۱۰	۴	۵۸			
۳	۷۰/۴	Ls	K3	۱۱	۹	۶	۶	۸	۷	۵۰			

سنجش از دور و GIS ایران

سال چهاردهم = شماره چهارم = زمستان ۱۴۰۱

شدت فرسایش کناره‌ای رودخانه متوسط است و نقش چندانی در تولید رسوب این حوضه ندارد.

### ۳-۳- میزان رسوب‌دهی

پس از محاسبه جمع نمرات عوامل نه‌گانه مدل، میزان رسوب‌دهی (R) هر واحد هیدرولوژیکی مشخص شد. واحدهای هیدرولوژیک ۱۰ و ۶، به ترتیب با مقدار ۷۴/۹ و ۱۰۹، کمترین و بیشترین رسوب‌دهی را دارند. میانگین رسوب‌دهی حوضه برابر با ۸۹ است. به‌منظور تعیین کلاس فرسایش و شدت رسوب‌دهی حوضه و زیرحوضه‌ها، پس از محاسبه میزان رسوب‌دهی، کلاس فرسایش درمورد هر واحد هیدرولوژیک تعیین و برای نمونه، نتایج مربوط به شش واحد کاری در جدول ۵ آمده است.

در شصت واحد هیدرولوژیک حوضه آبخیز خورخوره، کلاس فرسایش IV یا فرسایش زیاد، مساحت ۳۹۲۸۳/۵ هکتار (۰/۹۱۱/۸)، کلاس فرسایش III یا فرسایش متوسط فقط در یک واحد هیدرولوژیک (KH10)، مساحت ۶۴۸/۲ هکتار (۰/۱/۵)، و کلاس فرسایش V یا فرسایش خیلی زیاد در هفت واحد هیدرولوژیک، مساحت ۲۸۳۷/۹ هکتار (۰/۶/۶) از کل حوضه را دربر می‌گیرند. کلاس فرسایش کل حوضه نیز IV یا زیاد است. گونه‌های غالب فرسایش سطحی، مکانیکی و آبراهه‌ای است و گونه‌های فرسایش انحلالی، شیاری، حرکات توده‌ای و رودخانه‌ای در سطح کمتری دیده می‌شود. قرارگرفتن ۰/۹۲ حوضه آبخیز خورخوره در کلاس فرسایش زیاد (کلاس چهارم) نشان از ضرورت اقدامات حفاظتی، تقریباً در کل حوضه دارد.

هر واحد هیدرولوژیک حوضه شامل چند واحد کاری است. برای نمونه، واحد هیدرولوژیک KH1 شامل واحدهای کاری ۴، ۵، ۱۳، ۱۴، ۲۱ و ۲۲ است؛ بنابراین امتیاز این عامل در واحد KH1، با توجه به مساحت‌های این شش واحد کاری و محاسبه میانگین وزنی آنها محاسبه می‌شود. این عامل در واحدهای هیدرولوژیک ۶۵ و ۶۶ به ترتیب، با امتیاز ۱۲/۸ و ۱۸، کمترین و بیشترین نقش را در رسوب‌زایی دارد. میانگین امتیاز این عامل درمورد کل حوضه برابر با ۱۶/۵ شد.

### ۳-۲-۷- فرسایش آبراهه‌ای

این عامل در واحد هیدرولوژیک ۴، با امتیاز ۱/۷، کمترین و در واحدهای ۳۶، ۵۳، ۵۶، ۵۷ و ۶۱، با امتیاز ۱۳/۴، بیشترین نقش را در رسوب‌زایی دارد. میانگین امتیاز این عامل درمورد کل حوضه، ۱۰ به دست آمد. با توجه به اینکه بیشترین میزان رواناب تشکیل شده در سطح حوضه از طریق شبکه آبراهه‌ها انتقال می‌یابد، در صورتی که اراضی بستر و اطراف آبراهه‌ها به فرسایش حساس باشند، نقش پررنگی در ایجاد فرسایش و افزایش میزان گل‌آلودگی و مقدار رسوب خروجی حوضه خواهند داشت. در حوضه آبخیز خورخوره، وجود تشکیلات سست و حساس در برابر فرسایش، مانند رسوبات آبرفتی و رودخانه‌ای در دامنه‌ها و حاشیه آبراهه‌ها و برخورد جریانات آب ورودی به آنها، باعث تشدید فرسایش و برداشت رسوب از کناره‌های آبراهه‌ها و تخریب اراضی اطراف شده است؛ درحالی که میزان

جدول ۵. کلاس فرسایش واحدهای هیدرولوژیک حوضه خورخوره

واحد هیدرولوژیک	میزان رسوب‌دهی (R)	کلاس و طبقه فرسایش	واحد هیدرولوژیک	میزان رسوب‌دهی (R)	کلاس و طبقه فرسایش
KH1	۸۱/۶	IV	KH4	۷۵/۴	IV
KH2	۷۹/۷	IV	KH5	۸۳/۵	IV
KH3	۷۸/۷	IV	KH6	۱۰۹/۰	V

## ۳-۴- فرسایش و رسوب تولیدی حوضه

در بخش پیشین، نتایج امتیازدهی به عوامل نُه‌گانه در مدل MPSIC و میزان رسوب و فرسایش در واحدهای هیدرولوژیکی مورد مطالعه و میزان رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها، به تفکیک، محاسبه شد.

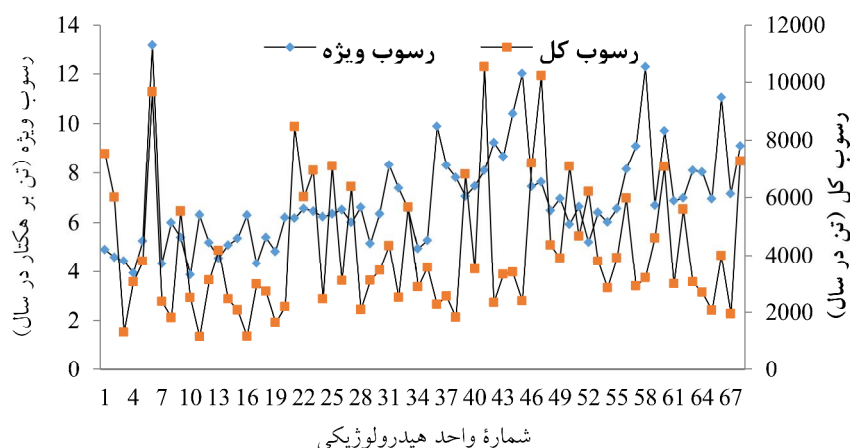
با توجه به این محاسبات و نتایج بخش‌های قبلی، عوامل وضعیت فعلی فرسایش و توپوگرافی حوضه، به‌ترتیب با امتیاز ۱۶/۵ و ۱۵/۲، بیشترین تأثیر را در رسوب‌دهی کل حوضهٔ خورخوره دارند. کمترین تأثیر را نیز عوامل آب‌وهوا و پوشش زمین، با امتیاز ۵/۶۲ و ۵، در رسوب‌دهی کل حوضه دارند. این نتایج با یافته‌های محمدی‌ها<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲) هم‌خوانی دارد. همچنین به‌رغم تأثیرات متفاوت پارامترهای نُه‌گانه در میزان رسوب‌دهی در حوضه، به‌نظر می‌رسد اثر پارامترهای تشدیدکننده فرسایش با عوامل ایجادکننده آن تفاوت‌هایی داشته باشد. برای نمونه، در بازدهی‌های صحرایی مشاهده شد پوشش گیاهی به‌شدت در حال تغییر و اراضی در حال تشدید فرسایش در حال تغییر کاربری است. به این موضوع، در پژوهش امینی<sup>۲</sup> (۲۰۱۸b) نیز اشاره شده و از دیگرسو، این نتیجه با

یافته‌های بیات و رستمی<sup>۳</sup> (۲۰۱۶)، در زمینه نقش عوامل گوناگون در فرسایش، هم‌خوانی دارد. پارامترهای نُه‌گانه تأثیر متفاوتی در میزان رسوب‌دهی دارند. عوامل وضعیت فعلی فرسایش و توپوگرافی در فرسایش حوضه، نقش مهمی دارند. اگرچه نمی‌توان با تغییر توپوگرافی منطقه این نقش را کاهش داد، با تمرکز بر عوامل هفت‌گانهٔ فرم BLM و اقدامات حفاظتی، می‌توان نقش عامل وضعیت فعلی فرسایش را کمرنگ‌تر کرد.

## ۳-۴-۱- برآورد رسوب ویژه و کل

مقادیر رسوب ویژه، برحسب تن بر هکتار در سال و رسوب کل، برحسب تن در سال در زیرحوضه‌ها در شکل ۵ آمده است.

با توجه به شکل ۵، واحدهای ۱۰ و ۶ به‌ترتیب با مقدار ۳/۹ و ۱۳/۲ تن بر هکتار در سال، کمترین و بیشترین مقدار رسوب‌دهی را دارند. میانگین رسوب ویژه، در کل حوضه، معادل ۶/۴ تن بر هکتار در سال است. واحدهای ۱۱ و ۴۱ نیز، به‌ترتیب با مقدار ۱۱۴۹ و ۱۰۵۳۰ تن در سال، کمترین و بیشترین مقدار رسوب‌دهی کل را دارند. مقدار رسوب کل حوضه معادل ۲۷۳۳۳۳ تن در سال است.



شکل ۵. مقدار رسوب ویژه و کل در واحدهای هیدرولوژیکی حوضه

1. Mohammadiha
2. Amini
3. Bayat & Rostami

### ۳-۴-۲- نسبت رسوب تحویلی

در حوضه‌های آبخیز، برای تعیین میزان رسوب خروجی حوضه، از نسبت میزان رسوب به فرسایش ایجادشده<sup>۴</sup> استفاده می‌شود (Richards, 1993) و هرچه مقدار آن به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، رسوب‌زایی بیشتر حوضه را می‌رساند. مقادیر SDR برای هر واحد هیدرولوژیکی در شکل ۶ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، در بیشتر زیرحوضه‌های این حوضه، مقدار SDR بین ۳۲ تا ۵۰٪ متغیر است و در کل حوضه با توجه به مساحت کل، نزدیک به ۱۱٪ به‌دست آمده است. این نسبت، با توجه به وجود تشکیلات سنگی و نسبتاً مقاوم در ارتفاعات حوضه، بیانگر تولید فرسایش متوسط تا زیاد و در نهایت، ایجاد رسوب متوسط یا نسبتاً زیاد از میزان فرسایش تولیدی حوضه است.

### ۳-۴-۳- برآورد فرسایش ویژه و کل

با استفاده از مقادیر رسوب ویژه و نسبت SDR، مقدار رسوب ویژه و با توجه به مساحت واحدها، مقادیر رسوب کل برای زیرحوضه‌ها تعیین شد (شکل ۷).

واحدهای ۳ و ۱۰، با مقدار ۱۰ و واحد ۶، با مقدار ۳۵ تن بر هکتار در سال دارای کمترین و بیشترین مقدار فرسایش ویژه‌اند. میانگین فرسایش ویژه، در کل حوضه، برابر با ۱۷/۴ تن بر هکتار در سال به‌دست آمد. براساس مساحت واحدها، مقادیر فرسایش کل در زیرحوضه‌های گوناگون دارای تفاوتی چشمگیر است که از مساحت‌های متفاوت این زیرحوضه‌ها ناشی می‌شود. کمترین فرسایش کل متعلق به واحد ۱۱ (۲۲۸۷ تن در سال) و بیشترین آن مختص واحد ۴۱ (۳۱۴۹۷ تن در سال) است؛ بدین ترتیب مقدار فرسایش کل حوضه ۷۴۴۵۹۸ تن در سال به‌دست آمد.



شکل ۶. مقدار SDR برای هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی



شکل ۷. مقادیر فرسایش ویژه و کل در زیرحوضه‌ها

## 1. Sediment Delivery Ratio (SDR)

حوضه میزان رسوب‌دهی زیادی دارد و در کلاس فرسایش درجه چهار قرار می‌گیرد. در بیشتر زیرحوضه‌ها، شکل‌های غالب فرسایش از نوع سطحی، مکانیکی و آبراه‌ای است. این گونه فرسایش بیشتر به علت دخالت‌های انسان در طبیعت و با توسعه اراضی کشاورزی در حوضه ایجاد شده است و تغییر پوشش گیاهی، در بررسی‌های صحرائی به‌خوبی مشهود بود. درباره میزان رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها، دو زیرحوضه ۱۰ و ۶ به ترتیب با ۳/۹ و ۱۳/۲ تن بر هکتار در سال، کمترین و بیشترین مقدار رسوب‌دهی را دارند. مقدار نسبت رسوب تحویلی حوضه بین ۳۲ تا ۵۰٪ متغیر است. زیرحوضه‌های ۳ و ۱۰ نیز، با ۱۰ تن و واحد ۶، با ۳۵ تن بر هکتار در سال دارای کمترین و بیشترین مقدار فرسایش ویژه‌اند. همچنین مقدار رسوب ویژه و فرسایش ویژه کل حوضه، به ترتیب، ۶/۴ و ۱۷/۴ تن بر هکتار در سال حاصل شد. بررسی کلی میزان رسوب حوضه نشان داد سالیانه ۲۷۳۳۳۳ تن در هکتار رسوب در حوضه ایجاد می‌شود. بررسی اعداد بیان‌شده نشان می‌دهد که حوضه مورد مطالعه در معرض فرسایش چشمگیری قرار دارد. نتایج این تحقیق را، به‌ویژه با مشخص کردن زیرحوضه‌های دارای فرسایش‌پذیری‌های متفاوت، می‌توان در اولویت‌بندی اقدامات حفاظتی به‌کار برد.

#### ۵- منابع

- Afkhami, H., Riahi, S., Ahadei, A. & Rusta, H., 2013, **Assessment of Water and Wind Erosion Using IRIFR and MPSIAC Models (Case Study: Ghaleganj Watershed)**, Applied Geomorphology of Iran, 2(4), PP. 108-90.
- Alipour, H., Malekian, A., Khairkhah Zarkash, M.M. & Qarachelo, S., 2016, **Estimating the Severity of Erosion and Sedimentation in the Eiver Watershed Using MPSIAC Experimental Method**, Geography and Development, 14(45), PP. 268-243.

باید توجه داشت تمامی مواد فرسایش‌یافته به‌صورت بار رسوبی از حوضه خارج نخواهد شد اما به‌طور کلی می‌توان گفت رسوب خارج‌شده از حوضه تقریباً متناسب و در عین حال کمتر از مقدار فرسایش‌یافته است. مثلاً در حوضه مورد مطالعه، واحدهایی مانند KH6، با بیشترین رسوب ویژه بیشترین فرسایش ویژه را نیز دارند. در کل حوضه آبخیز خورخوره، مقدار فرسایش کل ۷۴۴۵۹۸ تن در سال است که از این مقدار ۳۷٪، یعنی ۲۷۳۳۳۳ تن در سال، به‌صورت بار رسوبی از حوضه خارج می‌شود. در برخی واحدهای هیدرولوژیکی مانند KH1، ۳۲٪ خاک فرسایش‌یافته به‌صورت بار رسوبی خارج می‌شود که کمترین مقدار را بین واحدهای هیدرولوژیکی دارد؛ در صورتی که در واحدهایی مانند KH11، KH16 و KH45 حدود ۵۰٪ خاک فرسایش‌یافته از این واحدها به‌صورت بار رسوبی خارج می‌شود. بنابراین علاوه‌بر تفاوت مقدار فرسایش، مقدار نسبت رسوب خروجی نیز در واحدهای گوناگون، متفاوت است. بدین ترتیب برای اعمال اقدامات حفاظتی، هم باید به سراغ واحدهای با کمترین و بیشترین مقدار فرسایش رفت تا عوامل بازدارنده و تسریع‌کننده فرسایش شناسایی شوند و هم واحدهای با نسبت SDR بالا و پایین را در نظر گرفت تا، به ترتیب، علل افزایش و کاهش خروج رسوب بررسی شود. پس از شناسایی این عوامل، می‌توان مقدار فرسایش و نسبت خروجی رسوب را در سایر واحدها، با اقدامات حفاظتی، کاهش داد.

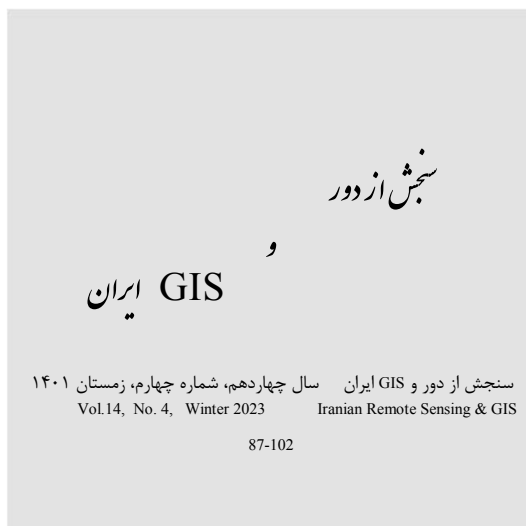
#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از مدل MPSIAC، عوامل مؤثر در فرسایش حوضه خورخوره در استان کردستان بررسی و میزان رسوب‌دهی و فرسایش زیرحوضه‌ها مشخص شد. میزان فرسایش‌پذیری حوضه با استفاده از اطلاعات مکانی در محیط GIS بررسی و دقت این داده‌ها با پیمایش صحرائی ارزیابی شد. درمورد فرسایش‌پذیری حوضه، نتایج نشان داد که ۹۲٪ کل

- Amini, A., 2018a, **Sedimentation Engineering, InTech Publication**, DOI: 10.5772/intechopen.68509, 150, London, UK.
- Amini, A. 2018b, **Introductory Chapter: Sustainable Development and Sediment Engineering**, Sedimentation Engineering, A. Amini, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.74683.
- Bayat, R. & Rostami, M., 2016, **Assessment of Soil Erosion and Watershed Prioritization Using Empirical Models EPM and MPSIAC (Case Study: Aro Watershed)**, Natural Ecosystems of Iran, 7(1), PP. 19-32.
- Davari, M., Bahrami, H.A., Qudousi, J. & Tahmasabipour, N., 2005, **Using Geographical Information System in Estimating Soil Erosion and Sediment Production in Nozhian Watershed (Southeast of Khorramabad)**, Program Space Planning and Preparation, 10(2), PP. 103-123.
- De Vente, J., Poesen, J. & Verstraeten, G., 2005, **The Application of Semi-Quantitative Methods and Reservoir Sedimentation Rates for the Porto Alegre Symposium**, IAHS, Porto Alegre, PP. 71-77.
- Diosalar, A., Zabihi, A., Shabani, M., Ebrahimi, S. & Hamidian, S., 2013, **Estimating the Volume of Sediments and Investigating Environmental Factors Affecting it Using the MPSIAC Model in a GIS Environment (Case Study: Solqan Watershed of Qom)**, Watershed Management Research Journal, 4(7), PP. 113-101.
- Hashemi Tangestani, M., 2006, **Comparison of EPM and PSIAC Models in GIS for Erosion and Sediment Yield Assessment in a Semi-Arid Environment: Afzar Catchment, Fars Province, Iran**, Journal of Asian earth sciences, 27(5), PP. 585-597.
- Johnson, C.W. & Gebhardt, K.A., 1982, **Predicting Sediment Yield from Sagebrush Rangeland: U.S. Agricultural Research Service**, AEW Western Series, 26, PP. 145-156.
- Khaledian, H. & Bayat, R., 2016, **The Role of Watershed Management Projects in Reducing Erosion and Sedimentation in Watersheds**, Environmental Engineering and Water Engineering, 3(3), PP. 213-200.
- Landi, A., Barzegar, A.R., Sayadi, J. & Khademalrasoul, A., 2011, **Assessment of Soil Loss Using WEPP Model and Geographic Information System**, Journal of Spatial Hydrology, 11(1), PP. 40-51.
- Lu, H., Geollant, J., Prosser, L. & Moran, G., 2001, **Prediction of Sheet and Rill Erosion over the Australian Contrinent: Incorporating Monthly Soil Loss Distribution**, Land and Water Technical Report, CSIRO, Canberra, Australia.
- Mohammadiha, S., Pairavan, H., Mousavi Harami, S.R., Feyznia, S. & Bayat, R., 2012, **Evaluation of Erosion and Sediment Production of Ivaneki Watershed Using FSM, MPSIAC and Sedimentation Station Models**, Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches, 27(4), PP. 31-48.
- Mohseni, B. & Razzaghian, H., 2013, **Estimating Soil Erosion and Sediment Production in Kesilian Basin Using Geomorphology Method Based on MPSIAC Model in GIS Environment**, Irrigation and Water Engineering Quarterly, 4(14), PP. 57-49.
- Nawjawan, M., Mohammadi, A.A. & Gholami, V., 2013, **Determining the Severity of Erosion Using Fargas and BLM Models, Case: Bandera Watershed**, Geography and Development, 10(29), PP. 119-130.
- Ramezani, B., Ebrahimi, H. & Haqqarast Mojdehi, L., 2016, **The Role of Natural Environment Parameters in the Rate of Erosion and Sediment Production Using MPSIAC and EPM Methods (Case Study: Barjstanak Dam Watershed)**, Geographical Engineering of the Land, 1(2), PP. 49-59.
- Rastgo, S., Kahraman, B., Sanai-Nejad, H., Davari, K. & Khodashanas, S.R., 2005, **Estimation of Erosion and Sedimentation of Tang Kasht Watershed with MPSIAC and EPM Experimental Models with the Help of GIS**, Agricultural Sciences and

- Techniques and Natural Resources, 10(1), PP. 91-105.
- Refahi, H.Q., 2008, **Water Erosion and Its Control**, Tehran University Press, 6th edition.
- Richards, K., 1993, **Sediment Delivery and the Drainage Network**, in: Beven, K., Kirkby, M.J. (Eds.), Channel Network Hydrology, Wiley, Chichester.
- Tajbakhsh, S.M. & Memarian, H., 2003, **The Sediment Yield Potential Estimation of Friabad and Kordian Urban Watershed Using MPSIAC Model in the GIS Framework, Map Asia**, 2nd Annual Asian Conference, Malaysia, Kuala Lumpur.
- Zhang, W., Zhou, J., Feng, G., David, C. & Sheng, J., 2015, **Characteristics of Water Erosion and Conservation Practice in Arid Regions of Central Asia: Xinjiang Province, China as an Example**, International Soil and Water Conservation Research, 3(2), PP. 97-111.





## Determining the Erosion and Sedimentation Using MPSIAC Model and GIS System in Khorkhoreh Watershed, Kurdistan, Iran

Amini A.<sup>1</sup>, Karami Moghadam M.\*<sup>2</sup>, Sedri M.H.<sup>3</sup>, Kazemi S.<sup>4</sup>

1. Associate Prof, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj
2. Associate Prof., Dep. of Agriculture, Payame Noor University (PNU)
3. Assistant Prof. of Soil and Water Research Dep., Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj
4. Ph.D. Candidate of Agricultural Economic, Kurdistan University, Sanandaj

### Abstract

In recent years, with the change of use and development of agricultural lands in the country's basins, the rate of erosion and sediment production has increased. Given that in most sub-basins, the long term data of sedimentation stations have not been recorded, it is difficult to estimate the amount of sedimentation and erosion. The objectives of this study was to determine the factors influencing erosion and sedimentation and to determine the quantitative values of erosion in the Khorkhoreh watershed, Kurdistan, Iran. For this purpose, first, using topographic maps, geology and aerial photographs in GIS environment, type and shape maps of erosion were prepared and evaluated by field survey. Based on the MPSIAC model, the nine factors influencing erosion for all sub-basins were identified separately and the scores of each factor were determined. By summing the factors, the degree of sedimentation for each sub-basin was determined and the amount of sedimentation and special erosion and total erosion in each sub-basin were calculated. The results showed that the topographic factors and the current state of erosion have the most role and the weather factor has the least role in the sedimentation rate of the basin. Moreover, 92% of the total basin has a high degree of sedimentation in the fourth order erosion class. The amount of Sediment Delivery Ratio of the basin (SDR) varies between 32 and 50 percent. The lowest and highest specific erosion rates in different sub-basins were 10 and 35 ton/ha.yr, respectively. Also, the amount of special sediment and special erosion of the whole basin was 6.4 and 17.4 ton/ha.yr, respectively.

**Keywords:** MPSIAC method, GIS, Sediment, Erosion, Basin management.