

## کاربرد مدل MPSIAC و GIS در برآورد میزان فرسایش: مثالی از حوضه آبریز سرغایه - سرنیش (جنوب مشهد)

اسداله محبوبی\*، عفت پاسبان، محمدحسین محمودی قرائی، محمد خانه‌باد و سمیرا تقدیسی نیک‌بخت

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم پایه، گروه زمین‌شناسی

\*amahboobi2001@yahoo.com

دریافت: ۹۱/۷/۲۵ پذیرش: ۹۲/۱/۱۷

### چکیده

فرسایش خاک و رسوب‌زایی در حوضه‌های آبریز یکی از مشکلات بزرگ اکثر کشورهای جهان (از جمله ایران) محسوب می‌شود. هدف این پژوهش برآورد تولید رسوب و شدت فرسایش با استفاده از روش GIS و مدل اصلاح شده پسیاک در حوضه آبریز سرغایه - سرنیش با مساحت ۷۰/۶۵۴ کیلومتر مربع واقع در جنوب مشهد انجام شده است. واحدهای سنگی منطقه شامل افیولیت ملانژهای کرتاسه شمال تربت حیدریه، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، شیل، مارن و ژئیس ترشیری است. نتایج نشان می‌دهد که ۱۴/۸٪ (معادل ۱۰۴۵/۶۵ هکتار) از کل مساحت حوضه آبریز در رده V (رسوب‌زایی خیلی زیاد)، و ۸۵/۲٪ (معادل ۶۰۱۹/۷۵ هکتار) در رده IV (رسوب‌زایی زیاد) و ۰/۵۱٪ (۳۶/۴۳ هکتار) در رده III (رسوب‌زایی متوسط) قرار می‌گیرند. میانگین تولید رسوب بر اساس این مدل به ترتیب ۹/۹۱، ۵/۹۱ و ۳/۱۲ تن در هکتار محاسبه گردید. انواع اشکال فرسایشی موجود در منطقه به ترتیب اهمیت شامل فرسایش‌های آبراه‌های، شیاری، سطحی، واریزه‌ای، خندقی و کناری است.

**واژه‌های کلیدی:** فرسایش، رسوب‌زایی، مدل اصلاح شده پسیاک، سرغایه - سرنیش

### مقدمه

سطح زمین، بافت خاک، توپوگرافی، زمین‌شناسی، مساحت حوضه آبریز، میزان رواناب، میزان دبی و توزیع زمانی و مکانی بارندگی به داده‌های بیش‌تری نیاز دارد [۱۸، ۱۵ و ۱۱]. مدل‌های فیزیکی و تجربی متعددی برای ارزیابی شدت فرسایش خاک ارائه شده است [۲۱ و ۱۳]، که به دلیل کمبود اطلاعات و آمار در حوضه‌های آبریز، این گونه مطالعات بیش‌تر از مدل‌های تجربی استفاده می‌شود. در شرایط خشک و نیمه‌خشک و نبود ایستگاه‌های هیدرومتری در بیش‌تر حوضه‌های کشور، مدل اصلاح شده پسیاک (MPSIAC) از جمله مدل‌های تجربی است که در ارزیابی فرسایش رسوب حوضه‌های بدون آمار و اطلاعات از دقت نسبتاً خوبی برخوردار است [۱۰ و ۹].

هدف اصلی این مطالعه ارائه نقشه پهنه‌بندی درجه رسوب‌دهی، برآورد میزان تولید رسوب با استفاده از مدل MPSIAC و کاربرد روش GIS و تهیه نقشه شدت فرسایش و بررسی انواع فرسایش در حوضه سرغایه - سرنیش در جنوب مشهد است. با توجه به واحدهای

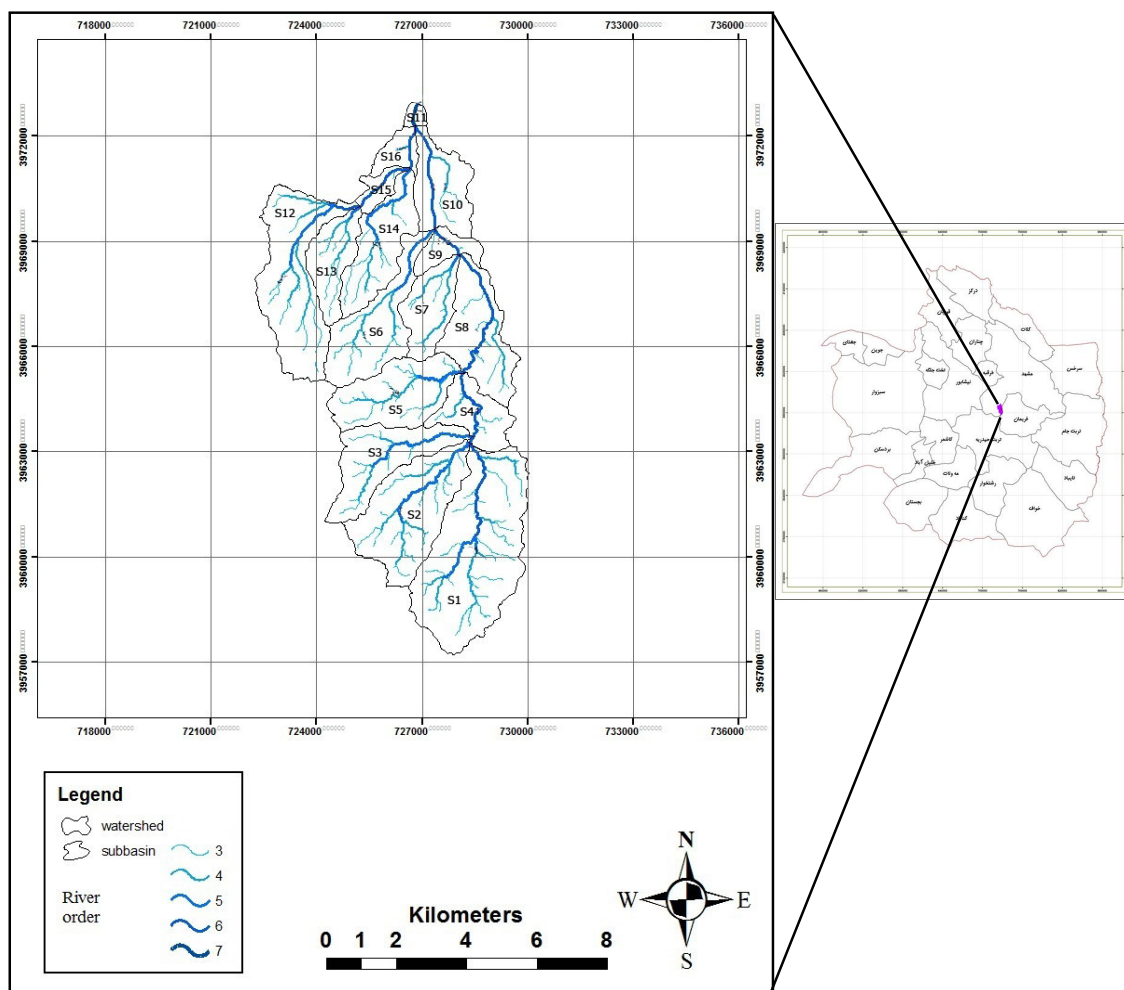
خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی است و جدایش ذرات آن باعث کاهش حاصل‌خیزی، تضعیف پوشش گیاهی، تخریب اکوسیستم‌های طبیعی و تشدید بیابان‌زایی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک می‌شود [۱۷، ۱۴ و ۱۲]. فرسایش، فرآیندی است که طی آن ذرات خاک از بستر خود جدا شده و به کمک یک عامل انتقال دهنده مانند آب، باد و یخچال به مکانی دیگر حمل می‌شوند و در نهایت رسوب حاصل باعث بروز مشکلات محیطی می‌شود [۱۹ و ۱۳]. فرسایش خاک تحت تاثیر عوامل گوناگونی از جمله زمین‌شناسی، ریخت‌شناسی، سنگ‌شناسی (کانی‌شناسی، بافت و ساخت سنگ‌ها) و اثرات متقابل بین این عوامل است. یکی از مهم‌ترین فرآیندهای فروپاشی خاک، فرسایش آبی است که باعث فقیر شدن خاک، از بین رفتن خاک‌های حاصل‌خیز، رسوب‌زایی و آلودگی آب‌های سطحی می‌شود [۲۰ و ۸]. ارزیابی شدت فرسایش خاک و میزان رسوب‌زایی به علت تاثیر عوامل مختلف نظیر فعالیت‌های انسانی، شرایط آب و هوایی، پوشش

کیلومتر مربع در یک منطقه کوهستانی قرار دارد. شبکه هیدروگرافی این حوضه با شکلی دندریتی از جنوب تا شمال جریان دارد و خروجی حوضه در شمالی‌ترین نقطه آن (در پایین دست روستای بررود) قرار دارد. بیشینه و کمینه ارتفاع این حوضه به ترتیب ۲۴۱۰ و ۱۴۲۰ متر از سطح دریا است. متوسط بارندگی سالیانه ۳۲۰ میلی‌متر و متوسط حرارت سالیانه ۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد است. حوضه آبریز مورد مطالعه بر اساس شاخه‌های رودخانه‌های اصلی و فرعی به ۱۶ زیرحوضه تقسیم می‌گردد. واحدهای زمین‌شناسی این منطقه شامل افیولیت‌ملاژ (کرتاسه)، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، شیل، مارن و ژئیس (ترشیاری) است [۶] (شکل ۲).

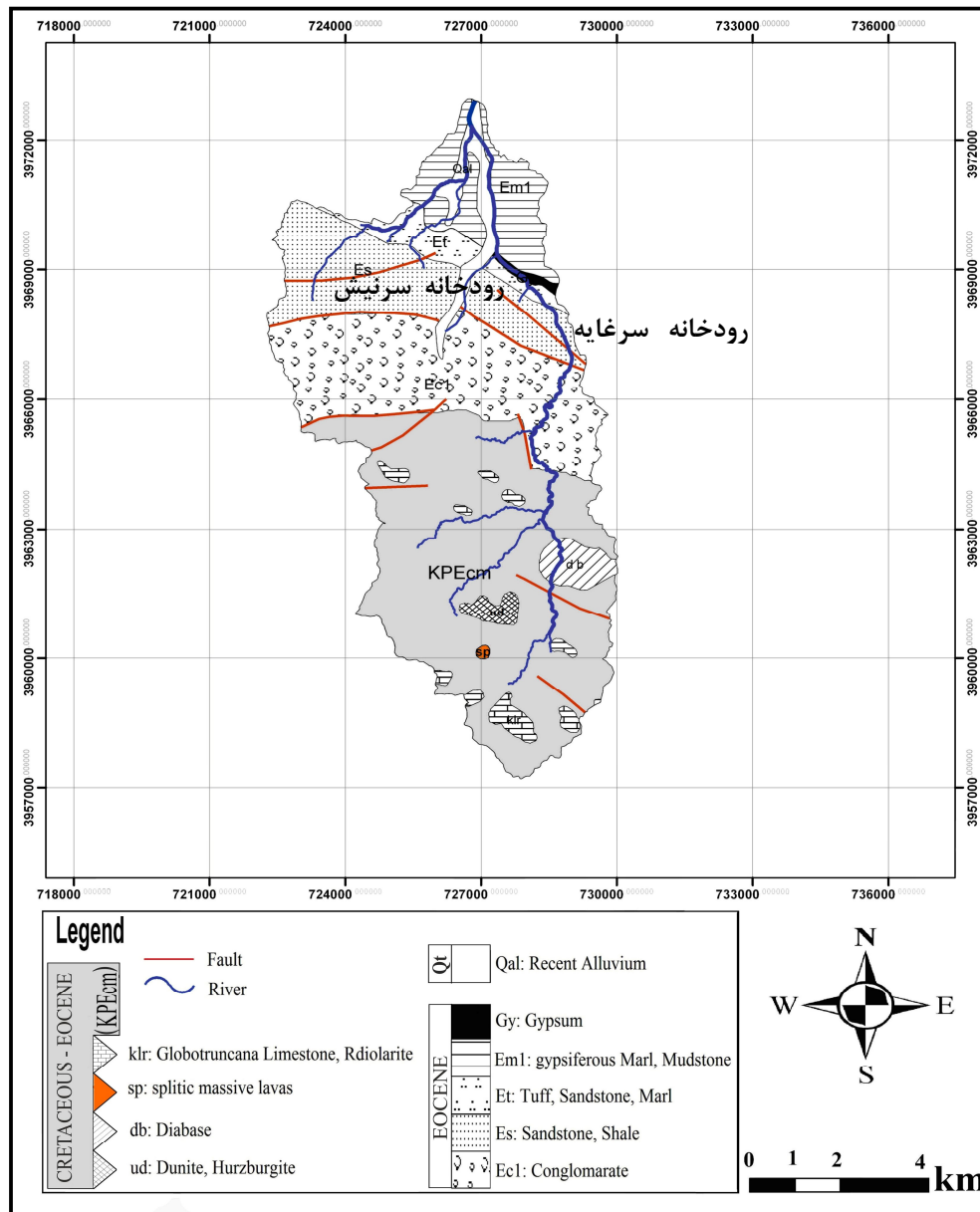
فرسایش‌پذیر و شیب نسبتاً زیاد در این حوضه میزان تولید رسوب بالا است بنابراین جهت بررسی شدت فرسایش و رسوب‌دهی مورد مطالعه قرار گرفت تا اقدامات مهندسی، ساخت سازه و روش‌های مهار سیلاب در خروجی حوضه تعبیه شود. این پژوهش نگرشی ویژه به اشکال فرسایش و رتبه‌بندی آن‌ها از نظر شدت تاثیر داشته است.

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز سرغایه - سرنیش در ۵۰ کیلومتری جنوب مشهد در طول جغرافیایی ۳۳° ۲۷' ۵۹" تا ۳۶° ۳۲' ۵۹" و عرض ۴۴° ۰۱' ۳۵" تا ۴۲° ۳۳' ۵۲" شمالی قرار دارد (شکل ۱). این حوضه با شکلی کشیده و مساحت ۷۰/۶۵۴



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز سرغایه - سرنیش واقع در جنوب مشهد



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی حوضه سرغایه - سریش با استفاده از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه [۶]

### روش کار

در این پژوهش نقشه پایه حوضه مورد مطالعه بر مبنای نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ [۵] تهیه شده است. از نقشه‌های شیب، پوشش، کاربری، تیپ اراضی [۱] زمین‌شناسی [۶] و نهایتاً کنترل میدانی به عنوان لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز جهت تهیه لایه‌های رقومی استفاده شده است. نقشه‌های مرز حوضه، مرز زیرحوضه‌ها، رتبه آبراهه‌ها، مدل ارتفاعی رقومی، شیب و جهت شیب با استفاده از نقشه توپوگرافی تهیه و پس از پلی‌گون نمودن واحدهای مورد نظر، ضرایب مناسب به هر پلی‌گون داده

شده است. از آنجایی که هیچ ایستگاه رسوب‌سنجی در این حوضه تا سال ۱۳۹۱ وجود نداشته است، تمام نتایج این پژوهش بر مبنای روش تجربی پسیاک اصلاح شده بنا نهاده شده است. تمام لایه‌های زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، آب و هوایی، رواناب، شیب، پوشش زمین، کاربری اراضی، اشکال فرسایش و فرسایش رودخانه‌ای روی هم قرار گرفته و نقشه شدت فرسایش و میزان رسوب‌دهی بر اساس وزن هر کدام از واحدهای همگن محاسبه شده است. امتیاز ۹ عامل موثر در مدل اصلاح شده پسیاک از طریق نمردهی به این عوامل [۱۶] تعیین و براساس مجموع

زیاد قرار گرفته و محدوده امتیاز ۱ تا ۹/۵ برای آن‌ها منظور می‌گردد (جدول ۱). در نهایت لایه زمین‌شناسی سطحی با رقمی کردن نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ورقه تربت حیدریه [۶]. جهت تعیین عامل زمین‌شناسی سطحی پس از تعیین امتیاز هر واحد سنگی ( $X_1$ ) [۲] و سپس با استفاده از فرمول  $Y_1 = X_1$  امتیاز این عامل ( $Y_1$ ) برای هر یک از زیر حوضه‌ها به دست آمده است به طوری که عدد ۱ بیش‌ترین مقاومت و عدد ۱۰ بیش‌ترین حساسیت به فرسایش را نشان می‌دهد [۲].

عامل خاک ( $Y_2$ ): این عامل نیز مانند عامل قبل دارای امتیاز بین صفر تا ۱۰ است. برای امتیازدهی به این عامل در ابتدا شاخص شدت فرسایش‌پذیری خاک منطقه ( $X_2$  یا  $K$ ) که وابسته به ۵ فاکتور درصد شن ریز و سیلت خاک، درصد شن خاک، درصد ماده آلی خاک، درصد نفوذپذیری خاک و ساختمان خاک دارد و با توجه به اختصاصات هفت نیمرخ خاک در حوضه مورد مطالعه برای هر زیر حوضه و با استفاده از فرمول جهانی فرسایش (رابطه ۲) به دست آمده است (جدول ۲). امتیاز این عامل با استفاده از معادله  $Y_2 = 16.67 X_2$  بین ۶/۲ تا ۹/۵۴ محاسبه شده است [۲].

نمرات در هر زیرحوضه، میزان فرسایش و رسوب‌زایی محاسبه و نقشه شدت فرسایش تهیه شده است. از مزایای روش پسیاک اصلاح شده، به کارگیری این روش در محیط GIS بدون استفاده از ضرایب خاص هیدرولوژیکی منطقه و یا رسوب‌زایی است. در مدل اصلاح شده پسیاک برای برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در هر یک از واحدهای اراضی یا واحد هیدرولوژیکی، ۹ عامل برحسب شدت و ضعف نقش آن‌ها از نظر کیفی (با سه درجه زیاد، متوسط و کم) و یا کمی (از ۱۰- تا ۲۵+) و بر اساس جداول موجود وزن‌دهی شده و در انتها میزان تولید رسوب و فرسایش حوضه بر اساس رده‌های خیلی زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تعیین شده است.

پس از تعیین امتیاز هر یک از عوامل نه‌گانه در این مدل، مجموع این نمرات ( $R$ )، درجه یا شدت رسوب‌دهی را مشخص می‌کند [۴]، پس از تعیین درجه رسوب‌دهی برآورد تولید رسوب با استفاده از مدل توسط رابطه (۱) محاسبه می‌گردد.

$$Q_s = 0.253e^{0.036R} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه جرم مخصوص ظاهری رسوب ۱۳۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب فرض شده است [۴].

### بحث و بررسی

روش اصلاح شده پسیاک برای برآورد فرسایش و تولید رسوب در هر زیرحوضه بر حسب امتیازدهی به ۹ شاخص است. با استفاده از نقشه‌های پایه و بهره‌گیری از سیستم GIS لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز (زمین‌شناسی سطحی، خاک‌شناسی، آب و هوا، رواناب، توپوگرافی، پوشش سطح زمین، کاربری اراضی، فرسایش با مشخصات زیر تهیه شده‌اند:

۱- عامل زمین‌شناسی سطحی ( $Y_1$ ): محدوده‌ی مورد مطالعه با توجه به تقسیمات زمین‌شناسی ایران در زون سبزواری قرار گرفته است [۷]. واحدهای زمین‌شناسی این حوضه شامل افیولیت ملانژهای شمال تربت حیدریه (کرتاسه) در بالادست (شکل ۳ الف)، کنگلومرا و ماسه سنگ ترشیاری در بخش‌های میانی (شکل ۳ ب) و ماسه‌سنگ، شیل، مارن و ژئیس (ترشیاری) در پایین دست حوضه است (شکل ۳ پ و ت). حساسیت واحدهای مذکور در برابر فرسایش بر اساس مشاهدات صحرائی در سه گروه فرسایشی متوسط، زیاد و خیلی

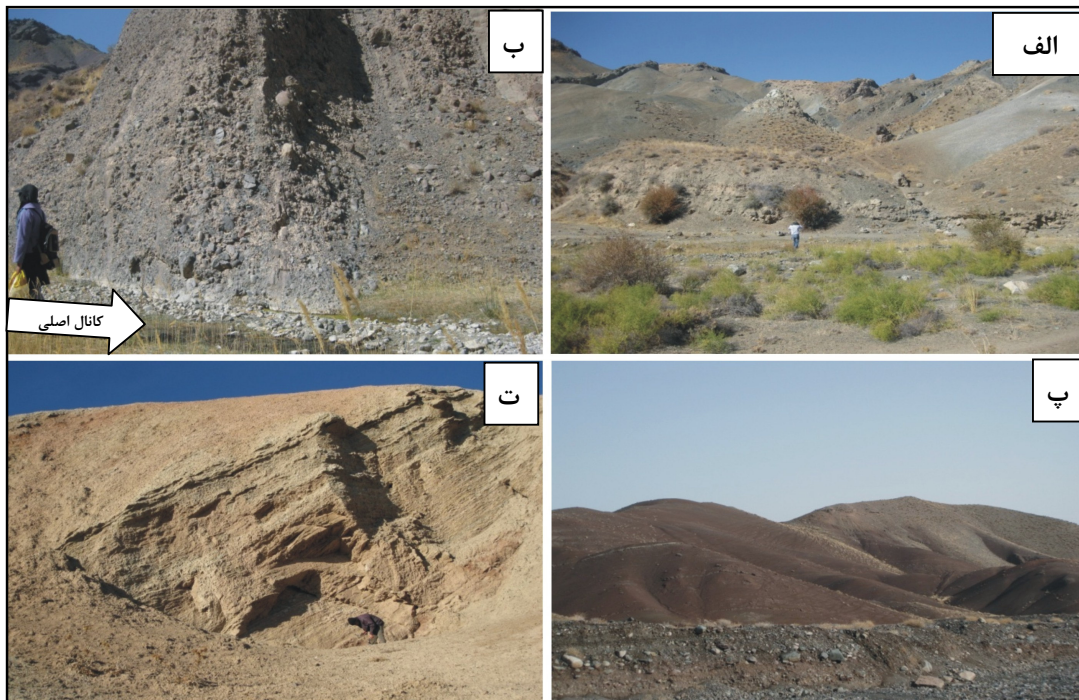
$$K_{fact} = (1.292) \{ (2.1 \times 10^{-6} \times F_p^{1.14} (12 - P_{om})) + 0.0325 S_{struct} - 2 + 0.025 F_{perm} - 3 \}$$

$$F_p = P_{silt+vfs} * (100 - P_{clay}) \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه  $F_p$  پارامتر اندازه ذرات (بی بعد)،  $P_{om}$  درصد مواد آلی،  $S_{struct}$  کلاس ساختمان خاکدانه،  $F_{perm}$  کلاس نفوذپذیری پروفیل،  $P_{clay}$  درصد رس و  $P_{silt+vfs}$  درصد سیلت + شن خیلی ریز است.

۳- عامل آب و هوا ( $Y_3$ ): جهت تعیین عامل آب و هوا طبق روش MPSIAC ابتدا نیاز به تعیین میزان بارندگی شش ساعته با دوره بازگشت دو ساله است، زیرا این نوع بارش‌ها، بیش‌ترین هم‌بستگی را با فرسایش خاک دارند [۳]. امتیاز این عامل از رابطه  $Y_3 = 0.2X_3$  به دست می‌آید به طوریکه  $X_3$  مقدار حداکثر بارش ۶ ساعته با دوره بازگشت دوساله است. برای تعیین مقدار بارندگی شش ساعته با دوره بازگشت دو ساله از گزارش هیدرولوژی حوضه آبریز سرغایه - سرنیش [۱] استفاده شد (جدول ۳) و با بهره‌گیری از فرمول ارائه شده امتیازدهی برای هر زیر حوضه صورت گرفت. مقادیر

مربوط به عامل آب و هوا ( $Y_3$ ) در جدول ۹ نشان داده شده است.



شکل ۳. الف) واحد افیولیت ملانژ  $KPE^{cm}$  در بالادست حوضه آبریز، ب) واحد کنگلومرایبی و ماسه‌سنگی، جهت رودخانه خلاف جهت امتداد لایه‌ها، پ) واحد ماسه سنگ و شیل‌های قرمز رنگ ( $E^S$ )، ت) واحد مارنی با میان لایه‌های گچ

جدول ۱. نمرات عامل زمین‌شناسی در مدل پسیاک اصلاح شده

زمین‌شناسی سطحی		
الف- سازندهای توده‌ای و سخت ب- دولومیت‌ها پ- لایه‌های گراول و آبرفت رودخانه‌ای	الف- سنگ‌های با سختی متوسط، سنگ‌های دگرگونی ب- سنگ‌های با هوازدگی متوسط پ- سنگ‌های با ترک‌خوردگی متوسط ت- گرانیت‌ها ث- آهک‌های نرم ج- کنگلومراها چ- آهک‌های با لایه‌بندی ضخیم	الف- شیل‌های دریایی و گلسنگ‌ها و سیلت‌سنگ‌های مربوطه ب- مارن‌های ژیبسی و انیدریتی پ- سیلت‌سنگ‌ها و شیل‌های سخت ت- ماسه‌سنگ‌ها
(۰) میزان تولید رسوب کم	(۵) میزان تولید رسوب متوسط	(۱۰) میزان تولید رسوب بالا

جدول ۲. عامل فرسایش پذیری خاک برای هر زیرحوضه (S12-S16) زیرحوضه‌های سرنیش

S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	زیر حوضه
۰/۳۹۵	۰/۴۰۷	۰/۳۷۴	۰/۳۷۷	۰/۵۷۲۵	۰/۵۷۲۵	۰/۵۷۲۵	۰/۵۷۲۵	۰/۵۷۲۵	$X_2$

S16	S15	S14	S13	S12	S11	S10	زیر حوضه
۰/۴۷	۰/۳۹۵	۰/۴۰۷	۰/۳۷۷	۰/۴۰۱	۰/۴۸۷۵	۰/۴۸۷۵	$X_2$

وضعیت چرای دام مد نظر است. حال چنانچه در سطح حوضه آبریز فعالیت زیاد کشاورزی معمول نباشد یا پوشش در حد مناسب باشد و یا چرای دام کم باشد، میزان امتیاز این عامل منفی خواهد بود. اما در مدل MPSIAC جهت تعیین امتیاز این عامل به میزان کاربری اراضی برحسب درصد توجه می‌شود [۲].

در مدل MPSIAC این عامل از رابطه  $Y_7 = 20 - (0/2) X_7$  محاسبه می‌شود و  $X_7$  مجموع درصد اراضی قابل پوشش (اراضی آبی، دیم و مراتع) را شامل می‌شود [۳]. بنابراین برای امتیاز دهی به این عامل ابتدا درصد هر یک از اراضی با استفاده از نقشه کاربری اراضی منطقه [۱] در هر زیر حوضه محاسبه شد که مقادیر آن‌ها در جدول ۶ ارائه شده است. مقادیر به دست آمده برای عامل کاربری اراضی در جدول ۹ نشان داده شده است.

۸- عامل فرسایش ( $Y_8$ ): به دلیل اهمیت این عامل در فرسایش و تولید رسوب، در مدل MPSIAC برای این عامل امتیازی بین صفر تا ۲۵ در نظر گرفته شده است که از فرمول  $Y_8 = 0/25 X_8$  به دست می‌آید. در این فرمول  $X_8$  امتیاز عامل سطحی خاک است که با استفاده از روش <sup>۱</sup>BLM که توسط اداره مدیریت اراضی آمریکا پیشنهاد شده، به دست می‌آید. در این روش برای تعیین امتیاز عامل سطحی خاک از هفت عامل دیگر شامل حرکت توده خاک، پوشش لاشبرگ، پوشش سنگی سطح، زمین، قطعات سنگی تحکیم یافته، شیاریهای سطحی، فرم آبراهه‌ها، و توسعه فرسایش خندقی استفاده می‌شود. در ابتدا هفت عامل ارائه شده در روش BLM برای هر زیر حوضه با استفاده از نقشه اشکال و رخساره‌های فرسایشی و همچنین داده‌های موجود [۱] امتیاز دهی شد که مقدار آن به هر عامل در جدول ۷ ارائه شده است و در نهایت امتیاز عامل وضعیت فرسایش فعلی تعیین شده است (جدول ۹). انواع اشکال فرسایشی موجود در حوضه مورد مطالعه شامل فرسایش سطحی، شیاری، آبراهه‌ای، واریزه‌ای، خندقی و کناری است.

۴- عامل رواناب ( $Y_4$ ): مطابق مدل اصلاح شده پسیاک، ارتفاع رواناب و دبی اوج ویژه برای برآورد عامل رواناب از رابطه ۳ استفاده می‌شوند:

$$Y_4 = 0/2 (0/3R + 50Q_p) = 0/006 R + 10 Q_p \quad (3)$$

در این رابطه  $Y_4$  امتیاز عامل رواناب،  $R$  ارتفاع رواناب سالانه منطقه بر حسب میلی‌متر، و  $Q_p$  دبی اوج ویژه است که از تقسیم دبی اوج سیلاب منطقه به سطح حوضه به دست می‌آید [۳]. با استفاده از داده‌های حوضه آبریز سرغایه - سرنیش [۱] و به کارگیری رابطه ۳، عامل رواناب ( $Y_4$ ) در هر زیر حوضه به دست آمده است (جدول ۹).

۵- عامل توپوگرافی ( $Y_5$ ): اهمیت شیب و توپوگرافی زمین در فرسایش باعث شده است که در روش اصلاح شده پسیاک برای این عامل امتیاز بین صفر تا ۲۰ در نظر گرفته شود. در حوضه مورد مطالعه به اراضی با شیب کمتر از ۳ درصد و همچنین مناطق دشتی و آبرفتی با شیب کم امتیاز صفر و به اراضی کوهستانی با شیب بیش‌تر از ۳۰ درصد امتیاز ۲۰ داده شده است. جهت تعیین عامل پستی و بلندی از رابطه  $Y_5 = 0/33 X_5$  استفاده شده به طوریکه  $X_5$  درصد متوسط شیب هر زیرحوضه است که در جدول ۴ ارائه شده است. میانگین شیب حوضه مورد مطالعه برابر  $30/225$  درجه در جهت شمال غربی است.

۶- عامل پوشش زمین ( $Y_6$ ): در مدل MPSIAC با توجه به این موضوع که اعداد منفی را اراضی با پوشش گیاهی خوب به خود اختصاص می‌دهند، امتیاز این عامل بین ۱۰- تا ۱۰ در نظر گرفته شده که از فرمول  $Y_6 = 0/2 X_6$  قابل محاسبه است. در این رابطه  $X_6$  درصد زمین‌های بدون پوشش گیاهی است (جدول ۵). جهت تهیه این لایه از نقشه پوشش گیاهی [۱] استفاده شده است. مقادیر به دست آمده برای عامل پوشش زمین ( $Y_6$ ) در جدول ۹ نشان داده شده است.

۷- عامل کاربری اراضی ( $Y_7$ ): در این مدل با توجه به اینکه این عامل نیز می‌تواند در فرسایش و تولید رسوب نقش منفی اعمال کند دارای امتیاز ۱۰- تا ۱۰ است. معمولاً جهت تعیین نحوه کاربری زمین در مدل پسیاک دو شاهد عملیات کشاورزی در سطح حوضه آبریز و

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

جدول ۳. مقدار حداکثر بارش ۶ ساعته با دوره بازگشت دو ساله در هر زیر حوضه (S12-S16) زیر حوضه‌های سرنیش [۱]

زیر حوضه	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
X <sub>3</sub>	۱۲	۱۲/۹	۱۳/۳	۹/۵	۱۶/۱	۱۴/۳	۱۸/۳	۷/۳	۷/۰

زیر حوضه	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
X <sub>3</sub>	۶/۲	۶/۲	۱۲/۸	۱۶/۸	۱۲/۳	۱۰/۷	۹/۵

جدول ۴. مقدار شیب متوسط برای هر زیر حوضه (S12-S16) زیر حوضه‌های سرنیش

زیر حوضه	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
X <sub>5</sub>	۴۱/۳۵	۴۶/۴۵	۴۹/۲۶	۴۶/۶۴	۳۵/۱	۴۴/۸۴	۹/۳۲	۳۳/۱۴	۲۰/۳۷

زیر حوضه	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
X <sub>5</sub>	۱۴/۲۰	۹/۷۲	۲۶/۵۲	۲۲/۴۶	۱۹/۴	۸/۹	۱۴/۳۵

جدول ۵. درصد اراضی فاقد پوشش گیاهی برای هر زیر حوضه (S12-S16) زیر حوضه‌های سرنیش

زیر حوضه	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
X <sub>6</sub>	۶۲/۵۵	۶۳/۳۳	۶۵/۵۰۵	۵۴/۷۱	۵۹/۷۶	۲۶/۹۶	۲۱/۷۱	۳۱/۰۷	۴۵/۷۹

زیر حوضه	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
X <sub>6</sub>	۵۲/۹۴	۱۵/۹۱	۲۷/۶۸	۳۷/۳۰	۴۹/۸۴	۳۴/۰۳	۶۰/۴۶

جدول ۶. درصد اراضی آبی، دیم و مرتع در هر زیر حوضه (S12-S16) زیر حوضه‌های سرنیش

زیر حوضه	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
X <sub>7</sub>	۱۹/۱۵	۱۹/۸۸	۲۱/۹۳	۱۴/۸۹	۱۹/۰۴	۷/۲۶	۶/۳۰	۴/۰۰	۱۰/۷۵

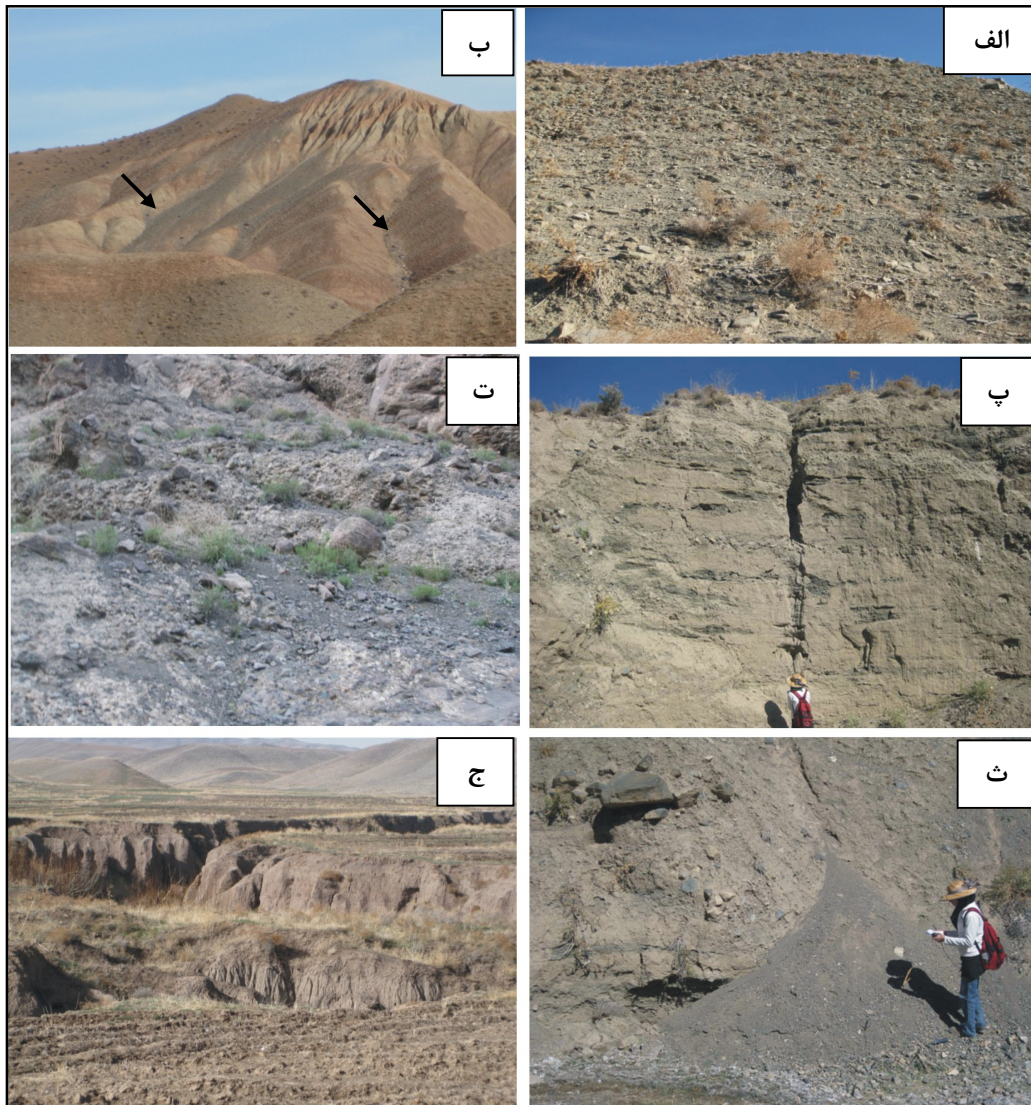
زیر حوضه	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
X <sub>7</sub>	۱۲/۶۰	۵/۵۷	۴/۵۲	۶/۳۰	۸/۹۵	۸/۴۶	۱۴/۵۰

فرسایش یافته و فرسایش نیافته، وجود ذرات متوسط تا دانه درشت آزاد در سطح زمین، لخت شدن پای درختان و یکدست نبودن پوشش گیاهی از علایم این تخریب است. این نوع فرسایش با شدت کم در واحدهای ماسه‌سنگی و کنگلومرا، متوسط در واحدهای افیولیتی، ماسه‌سنگی و کنگلومرا و شدید در واحدهای ماری و شیلی مشاهده می‌شود (شکل ۴ الف). شدت فرسایش‌های شیاری و آبراه‌ای در حوضه سرغابه - سرنیش متوسط است. در قسمت‌های بالادست حوضه با

انواع اشکال فرسایشی موجود در منطقه مورد مطالعه به ترتیب اهمیت شامل فرسایش آبراه‌ای، شیاری، سطحی، واریزه‌ای، خندقی و کناری است. گسترده‌ترین شکل فرسایش موجود در این حوضه، فرسایش سطحی (با شدت کم، متوسط و شدید) است که مهم‌ترین عامل در تشکیل آن جریان‌های سطحی حاصل از بارندگی و ذوب برف‌ها و فقدان پوشش گیاهی کافی است. این نوع تخریب با ظهور لکه‌های سفید و روشن در سطح نمودار می‌شود. اختلاف رنگ بین قسمت‌های

می‌شود (شکل ۴ ت و ث). وسعت فرسایش خندقی در قسمت‌های بالادست و میانی حوضه به علت مقاوم بودن لایه‌های سنگی کم است و اما در قسمت‌های پایین دست حوضه با توجه به حضور واحدهای فرسایش‌پذیر نظیر شیل و مارن (بالادست روستا سرنیش) و هم‌چنین در اثر فعالیت‌های کشاورزی، چرای بیش از حد و سیستم‌های آبیاری و لوله‌کشی نامناسب، شدت و عمق فرسایش‌های شیاری و آبراهه‌ای افزایش یافته و در نتیجه منجر به تشکیل خندق می‌شود (شکل ۴ ج).

توجه به حضور افیولیت ملانژها، شیب بیش‌تر و نبود پوشش گیاهی مناسب و در نتیجه تاثیر شدیدتر رگبارها به ویژه در ماه‌های خشک سال، وسعت و شدت این نوع از فرسایش‌ها بیش‌تر است (شکل ۴ ب و پ). در این حوضه فرسایش کناره‌ای در زمین‌های حاشیه رودخانه اصلی و شاخه‌های فرعی منتهی به آن دیده می‌شود که اکثراً آبرفتی و با شیب کم هستند و باغات و زراعت‌های آبی در زمین‌های اطراف آن گسترش دارند. این نوع فرسایش با شدت‌های کم و متوسط در حوضه مورد مطالعه مشاهده



شکل ۴. انواع اشکال فرسایشی در حوضه آبریز سرغایه - سرنیش؛ الف) فرسایش سطحی؛ ب) فرسایش آبراهه‌ای؛ پ) فرسایش شیاری؛ ت) فرسایش واریزه‌ای با شدت متوسط؛ ث) فرسایش واریزه‌ای در اثر تولید تراس‌های آبرفتی؛ ج) فرسایش خندقی در پایین دست حوضه آبریز



جدول ۷. عوامل هفت‌گانه BLM برای هر زیر حوضه (S12-S16) زیر حوضه‌های سریش

فرسایش خندقی	پوشش سنگی سطح زمین	قطعات سنگی تحکیم یافته	پوشش لاشیرگ	فرسایش آبراه‌های	فرسایش شیبی	فرسایش سطحی	زیر حوضه‌ها
۶/۸۹۰	۱۴/۰۰	۲/۹۰	۱۲/۱۷	۸/۵۷	۷/۰۰	۷/۰۰	S1
۷/۴۸۷	۱۴/۰۰	۲/۹۴	۱۲/۳۵	۷/۹۰	۷/۰۰	۷/۰۰	S2
۷/۵۹۰	۱۰/۶۵	۲/۹۵	۱۲/۰۰	۸/۱۶	۷/۰۰	۷/۰۰	S3
۷/۲۸۲	۱۴/۰۰	۲/۸۹	۱۲/۷۵	۹/۷۱	۷/۳۲	۶/۵۰	S4
۸/۵۹۶	۱۲/۹۴	۳/۰۰	۱۲/۵۰	۷/۷۹	۷/۱۰	۶/۷۷	S5
۸/۶۱۷	۹/۳۲	۱/۹۶	۱۳/۵۰	۷/۸۸	۸/۳۷	۵/۰۲۶	S6
۶/۷۸۰	۴/۶۸	۱/۸۸	۱۴/۰۰	۷/۵۸	۲/۵۲	۳/۹۷	S7
۷/۲۲۵	۷/۳۰	۱/۸۸	۱۳/۷۰	۹/۵۱	۸/۷۶	۵/۳۷	S8
۷/۳۴۹	۹/۳۶	۱/۹۲	۱۳/۳۲	۱۰/۵	۷/۶۲	۷/۵۲	S9
۴/۸۴۰	۶/۶۲	۱/۸۵	۱۳/۱۴	۹/۵۴	۹/۰۰	۸/۸۱۶	S10
۶/۱۹۰	۱/۸۴	۱/۷۰	۱۳/۸۵	۱۱/۵	۷/۰۰	۹/۹۴	S11
۸/۶۹۰	۶/۰۷	۱/۹۶	۱۳/۷۷	۷/۹۹	۸/۷۲	۵/۳۲	S12
۸/۳۰۰	۶/۰۷	۲/۰۰	۱۳/۹۲	۷/۶۸	۸/۸۵	۵/۵۶	S13
۶/۶۲۳	۹/۷۹	۱/۹۵	۱۳/۶۲	۸/۰۷	۸/۱۸	۶/۵۰۵	S14
۷/۶۱۰	۴/۵۲	۱/۹۱	۱۳/۵۰	۱۰/۵۰	۷/۰۰	۹/۱۰	S15
۴/۹۸۰	۷/۶۲	۱/۹۰	۱۳/۰۰	۹/۸۹	۷/۰۰	۸/۸۵	S16

جدول ۸. امتیاز هریک از عوامل موثر در فرسایش رودخانه‌ای در هر زیر حوضه (S12-S16) زیر حوضه‌های سریش

درصد عامل پوشش سطح زمین	درصد عامل زمین شناسی	درصد دبی ویژه	درصد شیب متوسط	زیر حوضه‌ها
۱۵/۶۳	۱۸/۱۷۵	۷/۸۸۳	۱۰/۲۵	S1
۱۵/۸۲	۱۸/۶۷	۸/۰۰۱	۱۱/۶۱	S2
۱۶/۳۷	۱۸/۶۰	۸/۲۳۴	۱۲/۳۱	S3
۱۳/۶۷	۱۷/۸۷	۵/۹۹۷	۱۱/۶۵	S4
۱۴/۹۳	۱۸/۳۲	۹/۱۲۸	۱۳/۲۷	S5
۶/۶۲	۱۴/۸۵	۶/۴۱۲	۱۱/۲۱	S6
۵/۴۲	۱۶/۴۲	۱/۱۲۸	۸/۲۲	S7
۷/۷۶	۱۶/۳۵	۴/۹۱۵	۸/۲۷	S8
۱۱/۴۵	۲۱/۶۰	۶/۸۰۷	۵/۰۹	S9
۱۳/۲۳	۱۸/۰۲	۶/۱۸۰	۳/۵۵	S10
۳/۹۷	۱۴/۰۲	۶/۱۰۰	۲/۴۲	S11
۶/۹۱	۱۷/۷۲	۸/۶۴۴	۶/۶۲	S12
۹/۳۲	۱۸/۶۲	۹/۹۹۰	۵/۶۱	S13
۱۲/۴۵	۱۸/۵۵	۸/۹۱۹	۴/۸۵	S14
۸/۵۰	۱۹/۶۵	۹/۴۶۴	۲/۲۲	S15
۱۱	۱۷/۶۰	۸/۸۷۴	۳/۸۹	S16

طوری که  $X$  نمره نهایی فرسایش خندقی عامل سطحی خاک در روش BLM است و به شیب متوسط بستر آبراه‌ها، نوع سنگ‌ها در مسیر رودخانه و انرژی پتانسیل جریان سیلاب‌ها و همچنین پوشش گیاهی در سطح منطقه بستگی دارد.

۹- عامل فرسایش رودخانه‌ای ( $Y_9$ ): در این عامل فرسایش کناره رودخانه و حمل رسوب توسط سیلاب مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. این فرسایش نتیجه تخریب و شسته شدن دیواره آبراه‌هاست که بیش‌تر در مواقع سیلابی و فصول پر باران صورت می‌پذیرد [۲]. این عامل از رابطه  $Y_9 = 1/67X_9$  به دست می‌آید به

ضمناً از آنجایی که شیب یکی دیگر از عوامل مهم و مؤثر در فرسایش است، در صورتی که عواملی از قبیل پوشش گیاهی، مدیریت بهره‌برداری و نوع کاربری مناسب نباشد، شیب مهم‌ترین عاملی خواهد بود که فرسایش را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

سایر عوامل به ترتیب اهمیت پوشش زمین، رواناب، خاک‌شناسی، زمین‌شناسی و آب و هوا هستند.

خصوصیات سنگ‌ها و سازندها به طور مستقیم و غیرمستقیم بر میزان فرسایش تاثیر می‌گذارد. از اینرو در مطالعات فرسایش و حفاظت خاک، ویژگی‌های سنگ‌شناسی و رتبه‌بندی سازندها از نظر مقاومت در برابر فرسایش از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. برای رتبه‌بندی مقاومت به فرسایش مواد پیوسته (سنگ‌ها)، اغلب خصوصیاتی از سنگ نظیر سختی، درز و شکاف، لایه‌بندی، شدت هوازدگی سنگ‌ها و ... مد نظر قرار می‌گیرد و در مواد ناپیوسته، بافت، ساختمان، نفوذپذیری، ترکیب کانی‌شناسی، میزان مواد آلی و ... بررسی شده و میزان حساسیت یا مقاومت آن‌ها در برابر عامل فرساینده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

از لحاظ زمین‌شناسی قسمت بالادست حوضه به دلیل حضور واحدهای افیولیتی، نسبت به قسمت‌های میانی و پایین دست حوضه از فرسایش‌پذیری بالاتری برخوردار است (جدول ۱). این واحدها دارای کانی‌های نامقاوم در برابر هوازدگی هستند و با توجه به کوهستانی بودن حوضه، چنین واحدهایی در اثر هوازدگی فیزیکی دارای درز و شکاف فراوانند که این به فرسایش‌پذیری آن‌ها می‌افزاید. البته نقش گسل‌ها در فرسایش‌پذیری واحدهای سنگی را نباید نادیده گرفت چرا که گسل‌ها باعث ایجاد سطوح ضعف و مسیری برای عبور جریان‌ها می‌شوند.

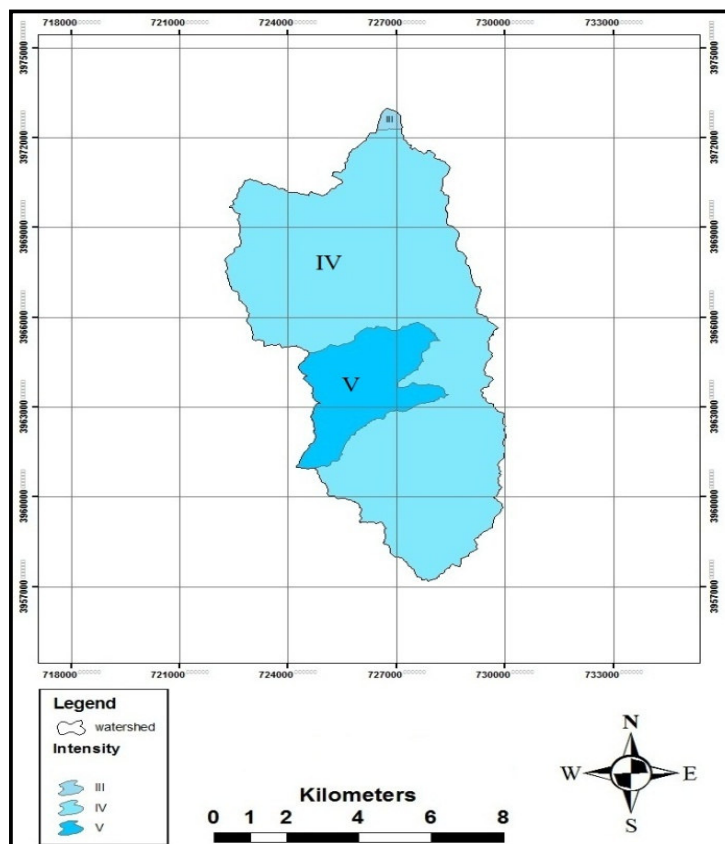
در حوضه سرغایه - سرنیش با در نظر گرفتن شدت و ضعف این عوامل در هر زیرحوضه و نمره‌دهی به آن‌ها (جدول ۸)،  $X_8$  در هر زیرحوضه محاسبه و مقادیر آن در ستون هفت جدول ۷ ارائه شد. در نهایت پس از جایگذاری  $X_8$  در فرمول مذکور، عامل فرسایش رودخانه‌ای در هر زیرحوضه به دست آمد که نتایج در جدول ۹ قابل مشاهده است.

پس از تعیین نمرات عوامل نه‌گانه و محاسبه مجموع این نمرات (R)، درجه یا شدت رسوبدهی تعیین، و سپس میزان تولید رسوب ( $Q_s$ ) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید (جدول ۹) و نقشه شدت فرسایش در محیط GIS تهیه شد (شکل ۵).

همان‌طور که در جدول ۹ و نقشه شدت فرسایش (شکل ۵) نشان داده شده است، از نظر میزان فرسایش و رسوب‌زایی، ۱۴/۷۹۹٪ از کل مساحت حوضه آبریز در رده V (خیلی زیاد)، ۸۵/۲٪ در رده IV (زیاد) و ۰/۵۱۵٪ در رده III (متوسط) طبقه‌بندی می‌شود. میانگین تولید رسوب بر اساس مدل MPSIAC به ترتیب ۹/۹۱۵ تن در هکتار در رده V، ۵/۹۱۶ تن در هکتار در رده IV و ۳/۱۲ تن در هکتار در رده III محاسبه گردید. براساس نتایج نهایی درجه یا شدت رسوبدهی در زیرحوضه‌های مختلف از ۶۹/۸۲۶ تا ۱۰۳/۶۴ متغیر بوده به طوریکه بیش‌ترین مقدار آن در زیرحوضه S5 و کم‌ترین آن در زیرحوضه S11 است. هم‌چنین مقدار تولید رسوب از الگوی مشابه و متناسب با مقادیر R تبعیت کرده و از کم‌ترین مقدار تولید رسوب در زیرحوضه S11 به میزان ۳/۱۲ تن در هکتار در سال تا بیش‌ترین مقدار تولید رسوب در زیرحوضه S5 با میزان ۱۰/۵۵ تن در هکتار در سال متغیر است. با توجه به جداول ۶ و ۷ میانگین شاخص کاربری اراضی ( $Y_7$ ) در ۱۶ زیرحوضه مورد مطالعه بیش‌ترین مقدار (۱۷/۶۷) و بعد از آن شاخص فرسایش فعلی ( $Y_8$ ) با مقدار متوسط ۱۳/۶۸ و فرسایش رودخانه‌ای ( $Y_9$ ) با مقدار میانگین ۱۱/۹۱ از مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرسایش و تولید رسوب در اکثر زیر حوضه‌ها هستند.

جدول ۹. امتیاز عوامل نه‌گانه، درجه و میزان رسوبدهی زیر حوضه‌ها در مدل MPSIAC

میزان رسوبدهی (تن در هکتار)	درجه رسوبدهی (R)	فرسایش رودخانه ای (Y <sub>۱</sub> )	وضعیت فلی فرسایش (Y <sub>۸</sub> )	کاربری اراضی (Y <sub>۷</sub> )	پوشش سطح زمین (Y <sub>۶</sub> )	توپوگرافی (Y <sub>۵</sub> )	رواناب (Y <sub>۴</sub> )	آب و هوا (Y <sub>۳</sub> )	خاکشناسی (Y <sub>۲</sub> )	زمین شناسی (Y <sub>۱</sub> )	زیر حوضه‌ها
۸/۰۷	۹۶/۱۹۰	۱۱/۵۱	۱۴/۶۳۰	۱۶/۱۷	۱۲/۵۱	۱۳/۶۴	۸/۵۱۶	۲/۴۰	۹/۵۴۳	۷/۲۷	S1
۹/۰۷	۹۹/۴۴۰	۱۲/۵۰	۱۴/۶۶۹	۱۶/۰۲	۱۲/۶۶	۱۵/۳۳	۸/۶۶۰	۲/۵۸	۹/۵۴۳	۷/۴۷	S2
۹/۲۸	۱۰۰/۰۵	۱۲/۶۸	۱۳/۸۳۷	۱۵/۶۱	۱۳/۱۰	۱۶/۲۵	۸/۹۲۲	۲/۶۶	۹/۵۴۳	۷/۴۴	S3
۷/۸۳	۹۵/۳۳۲	۱۱/۶۵	۱۵/۱۱۳	۱۷/۰۲	۱۰/۹۴	۱۵/۳۹	۶/۶۲۰	۱/۹۰	۹/۵۴۳	۷/۱۵	S5
۱۰/۵۵	۱۰۳/۶۴	۱۴/۳۵	۱۴/۶۷۴	۱۶/۱۹	۱۱/۹۵	۱۷/۵۲	۹/۸۵۴	۳/۲۲	۹/۵۴۳	۷/۳۳	S6
۶/۰۲	۸۸/۰۸۷	۱۴/۳۹	۱۳/۶۶۸	۱۸/۲۰	۵/۳۰۰	۱۴/۵۰	۷/۰۰۰	۲/۶۰	۶/۲۸۴	۵/۹۴	S7
۵/۴۵	۸۵/۲۹۸	۱۱/۳۳	۱۱/۳۵۲	۱۹/۲۰	۴/۳۴۲	۱۰/۸۶	۱۱/۷۵	۳/۶۶	۶/۲۳۴	۶/۵۷	S8
۴/۸۱	۸۱/۸۰۵	۱۲/۰۶	۱۳/۴۳۶	۱۸/۷۸	۶/۲۱۴	۱۰/۹۳	۵/۵۲۰	۱/۴۶	۶/۷۸۰	۶/۶۱	S10
۵/۲۸	۸۴/۳۹۱	۱۲/۲۷	۱۴/۳۹۷	۱۷/۸۵	۹/۱۵۸	۶/۷۲۲	۷/۳۷۰	۱/۴۰	۶/۵۸۴	۸/۶۴	S11
۴/۱۲	۷۷/۴۹۸	۸/۰۸۳	۱۳/۴۵۱	۱۷/۴۸	۱۰/۵۸	۴/۶۸۶	۶/۶۳۳	۱/۲۴	۸/۱۲۶	۷/۲۱	S12
۳/۱۲	۶۹/۸۲۶	۱۰/۳۴	۱۳/۰۰۰	۱۸/۸۸	۳/۱۸۲	۳/۲۰۷	۶/۲۳۷	۱/۲۴	۸/۱۲۶	۵/۶۱	S14
۵/۶۷	۸۶/۳۷۳	۱۴/۵۱	۱۳/۱۳۱	۱۹/۰۹	۵/۵۳۶	۸/۷۵۱	۹/۰۱۴	۲/۵۶	۶/۶۸۴	۷/۰۹	S15
۵/۸۷	۸۷/۳۵۴	۱۳/۲۸	۱۳/۰۹۶	۱۸/۷۴	۷/۴۶۰	۷/۴۱۲	۱۰/۲۷	۳/۳۶	۶/۲۸۴	۷/۴۵	S16
۵/۳۴	۸۴/۷۰۶	۱۰/۵۹	۱۳/۶۸۷	۱۸/۲۱	۹/۹۶۸	۶/۴۰۲	۹/۱۷۹	۲/۴۶	۶/۷۸۴	۷/۴۲	
۴/۶۲	۸۰/۷۰۳	۱۲/۷۱	۱۳/۴۵۱	۱۸/۳۰	۶/۸۰۶	۲/۹۳۷	۹/۸۲۳	۲/۱۴	۶/۵۸۴	۷/۸۶	
۴/۷۶	۸۱/۵۶۰	۸/۳۱۸	۱۳/۳۱۰	۱۷/۱۰	۱۲/۰۹	۴/۷۳۵	۹/۲۳۰	۱/۹۰	۷/۸۳۴	۷/۰۴	



شکل ۵. نقشه شدت فرسایش حوضه آبریز سرغایه - سرنیش

## نتیجه‌گیری

نتایج به کارگیری مدل MPSIAC در حوضه سرغایه - سرنیش نشان می‌دهد که  $14/799\%$  (معادل  $1045/6528$  هکتار) از کل مساحت این حوضه در رده V طبقه‌بندی فرسایش با رسوب‌زایی خیلی زیاد، و  $85/2\%$  (معادل  $6019/7472$  هکتار) در رده طبقه‌بندی فرسایش با رسوب‌زایی زیاد و  $0/515\%$  ( $36/43$  هکتار) در رده III طبقه‌بندی فرسایش با رسوب‌زایی متوسط طبقه‌بندی می‌شود.

میانگین تولید رسوب بر اساس مدل MPSIAC به ترتیب  $9/915$  تن در هکتار (رده فرسایش V)،  $5/916$  تن در هکتار (رده فرسایش IV) و  $3/12$  تن در هکتار (رده فرسایش III) محاسبه گردید. هم‌چنین بررسی عوامل موثر در هر یک از زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد که عامل کاربری اراضی با  $20/19$  درصد، بیش‌ترین تاثیر را در میزان رسوب‌خیزی حوضه و عامل آب و هوا با کم‌ترین امتیاز یعنی  $2/62$  در مرتبه آخر قرار دارد. علاوه بر این عوامل فرسایش سطحی در تمام زیر حوضه‌ها در رتبه دوم ( $15/61$  درصد) و عامل توپوگرافی برای زیر حوضه‌های بالادست حوضه در مرتبه سوم قرار می‌گیرد.

با توجه به جدول نهایی مقدار رسوب تولیدی حوضه سرغایه - سرنیش در زیر حوضه S5 با مقدار  $10/55$  تن در هکتار بیش‌ترین و در زیر حوضه S11 با مقدار  $3/12$  تن در هکتار کم‌ترین رسوب تولیدی را دارند. از دلایل موثر در تولید بالای رسوب زیر حوضه S5 می‌توان به نقش بیش‌تر عواملی همچون توپوگرافی، عامل فرسایش رودخانه‌ای، وضعیت فرسایش فعلی، کاربری اراضی و زمین‌شناسی اشاره کرد.

با توجه به شکل ۲ بیش‌تر مساحت حوضه مورد مطالعه به علت رخنمون واحدهای سنگی حساس به هوازدگی و فرسایش نظیر افیولیت ملائز، شیل، مارن و لایه‌های گچ دارای شدت فرسایش زیاد است. ضمناً در زیرحوضه‌هایی که واحدهای سنگی فرسایش‌پذیری متوسط دارند (کنگلومرا و ماسه‌سنگ)، وجود گسل‌ها و در مواردی شیب زیاد واحدها شدت فرسایش را افزایش داده است.

علت شدت بسیار زیاد فرسایش (رده V) در زیرحوضه‌های S3 و S5 را علاوه بر وجود واحدهای سنگی بسیار فرسایش‌پذیر (افیولیت ملائز) می‌توان به روراندگی آن‌ها که خود باعث افزایش شیب توپوگرافی (یکی از عوامل

مهم و مؤثر در فرسایش و تولید رسوب) شده است، نسبت داد.

## منابع

- [۱] اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی (۱۳۸۹) گزارشات پوشش گیاهی، هواشناسی، هیدرولوژی، خاک‌شناسی و فرسایش حوضه آبریز سرغایه - سرنیش، شرکت دلتا سازه سناباد.
- [۲] رفاهی، ح. ق (۱۳۸۵) فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۵۱ صفحه.
- [۳] ضیائی، ح. الف (۱۳۸۶) اصول مهندسی آبخیزداری. انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ دوم، ۲۱۰ صفحه.
- [۴] فیض نیا، س (۱۳۸۷) رسوب‌شناسی کاربردی با تاکید بر فرسایش خاک و تولید رسوب، ۳۶۳ صفحه.
- [۵] سازمان جغرافیایی کشور (۱۳۶۱) نقشه توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰). 7861 ISE, 7961 IVSW, 7961 IINW. اداره جغرافیایی ارتش، چاپ یکم، چهار ورقه.
- [۶] واعظی پور، م. ج. ۲۰۰۵. نقشه زمین شناسی فریمان، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [7] Alavi, M (1991) Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran, Geology Society Of Amer, Bull, 103: 983-992.
- [8] Altin, T (2009) Pleistocene and Holocene fluvial development of the Ecemis Valley (central Anatolia, Turkey), Quaternary International, 204: 76-83.
- [9] Asgari, S. Servati, M.R. Jafari, M.R (2008) Estimation of soil erosion and sediment yield in Ilam dam drainage basin using MPSIAC model, Geographic Reserches, 64: 29-35.
- [10] Bhattarai, R. Dutta, D (2007) Estimation of soil erosion and sediment yield Using GIS at Catchment Scale, Water Resour Manage, 21: 1635-1647.
- [11] Bou Kheir, R. Abdallah, C. Khawlie, M (2008) Assessing soil erosion in Mediterranean karst landscapes of Lebanon using remote sensing and GIS, Engineering Geology, 99: 239-254.
- [12] De Moor, J.J.W. Verstraeten, G (2008) Alluvial and colluvial sediment storage in the Geul River catchment (The Netherlands) - Combining field and modelling data to construct a Late Holocene sediment budget, Geomorphology, 95: 487-503.
- [13] De Vente, J. Poesen, J. Verstraeten, G. Van, R.A. Govers, G (2008) Spatially distributed modelling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain, Global Planet Change, 60 (3-4): 393-415.

- [14]Feng, X. Wang, Y. Chen, L. Fu, B. Bai, G (2010) Modeling soil erosion and its response to land-use change in hilly catchments of the Chinese Loess Plateau, *Geomorphology*, 118: 239-248.
- [15]Houben, P. Hoinkis, R. Santisteban, J.I. Salat, C. Mediavilla,R (2011) Combining allostratigraphic and lithostratigraphic perspectives to compile subregional records of fluvial responsiveness: The case of the sustainably entrenching Palancia River watershed (Mediterranean coast, NE Spain), *Geomorphology*, doi:10.1016/j.
- [16]Johnson, C.W. Gebhardt, K.A (1982) Predicting sediment yield from Sagebrush Rangelands, U.S. Dept. of Agriculture, SEA, Agricultural Research Service, Agricultural Reviews and Manuals, AEW-Western Series, 26: 145-156.
- [17]Lewis, C.J. McDonald, E.V. Sancho, C. Pena, J.L. Rhodes, E.J (2009) Climatic implications of correlated Upper Pleistocene glacial and fluvial deposits on the Cinca and Gallego Rivers (NE Spain) based on OSL dating and soil stratigraphy. *Global and Planetary, Change*, 67: 141-152.
- [18]Li, X.G. Wei, X (2011) Soil erosion analysis of human influence on the controlled basin system of check dams in small watersheds of the Loess Plateau, China, *Expert Systems with Applications*, 38: 4228-4233.
- [19]Ouyang, W. Skidmore, A.K. Hao, F. Wang, T (2010) Soil erosion dynamics response to landscape pattern, *Science of the Total Environment*, 408, 1358-1366.
- [20]Pieri, L. Bittelli, M. Wu, J.Q. Dun, S. Flanagan, D.S. Pisa, P.R. Ventura, F (2007) Using the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model to simulate field-observed runoff and erosion in the Apennines mountain range, Italy, *Journal of Hydrology*, 336: 84-97.
- [21]Wang, Y.F. Fu, B.J. Chen, L.D. Lv, Y.H. Luo, C.Y (2009) Effects of land use change on soil erosion intensity in small watershed of Loess Hilly Region: a quantitative evaluation with 137-Cesium tracer, *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20: 1571-1576.