

## ارزیابی فرسایش خاک و تولید رسوب با به‌کارگیری مدل پسیاک اصلاحی و GIS در حوضه آبریز عشق‌آباد - سوله (جنوب باختر قوچان)

یعقوب نصیری<sup>۱</sup>، سمیرا تقدیسی نیک‌بخت\*<sup>۲</sup>، محمدحسین محمودی قرایی<sup>۳</sup>، اسداله محبوبی<sup>۴</sup>، محمد خانه‌باد<sup>۵</sup>،  
مصطفی صداقت‌نیا<sup>۶</sup> و عفت پاسبان<sup>۷</sup>

۱ و ۲- مربی گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد  
۳ و ۴- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد  
۵- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد  
۶- دانشجوی دکترا رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان  
۷- دانش‌آموخته دکترا رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

نویسنده مسئول: samirataghdsi@gmail.com

دریافت: ۹۹/۸/۶ پذیرش: ۹۹/۹/۲۹

نوع مقاله: پژوهشی

### چکیده

فرسایش خاک در حوضه آبریز و رسوب‌زایی حاصل از آن یکی از مشکلات اصلی محیطی در ایران است. هدف از این مطالعه استفاده از مدل پسیاک اصلاحی و کاربرد GIS به منظور به‌کمینه رساندن خطاهای احتمالی در ارزیابی فرسایش خاک و رسوب‌زایی در حوضه آبریز عشق‌آباد- سوله است. ناحیه مورد نظر در جنوب باختر قوچان قرار دارد و دارای مساحت ۸۱/۳۶ کیلومتر مربع و شکلی کشیده است. این حوضه در زون بینالود قرار گرفته و دارای توالی نسبتاً ستبری از سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی است. لایه‌های اطلاعاتی مدل پسیاک اصلاحی متشکل از ۹ عامل موثر در فرسایش و رسوب‌زایی حوضه آبریز است که بوسیله رقومی شدن و رده‌بندی اطلاعات پایه در برنامه GIS تهیه شدند. از مجموع لایه‌های اطلاعاتی بدست آمده نقشه نهایی فرسایش تهیه شد. نتایج مدل پسیاک اصلاحی نشان می‌دهد که ۴۶/۷۹٪ معادل ۳۸۰۷/۱۷ هکتار در رده IV رده‌بندی فرسایش با رسوب‌زایی زیاد و ۵۳/۲٪ معادل ۴۳۲۹/۳۲ هکتار در رده III با رسوب‌زایی میانگین طبقه‌بندی می‌شود. میانگین تولید رسوب بر اساس مدل پسیاک اصلاحی به ترتیب ۵/۰۴ تن در هکتار و ۲/۸۴ تن در هکتار محاسبه شد. مقایسه میانگین رسوب تولیدی در حوضه با میانگین داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه رسوب‌سنجی نتایج نسبتاً قابل قبولی را در بکارگیری روش پسیاک اصلاحی بدست می‌دهد.

واژگان کلیدی: فرسایش، رسوب‌زایی، GIS، مدل پسیاک اصلاحی

### پیشگفتار

سامارا کون، ۲۰۰۲). روش‌های تجربی ریاضی یک بخش جدا نشدنی از هر مطالعه فرسایشی است که میزان تولید رسوب را تخمین می‌زند (بارتچ و همکاران، ۲۰۰۲). در مطالعات مدیریت حوضه آبخیز، دانش مربوط به فرسایش خاک، موقعیت و شدت فرسایش و تاثیر مورد انتظار کنترل‌های حفاظتی، در درک فرسایش اهمیت بسزایی دارند (صفا منش و همکاران، ۲۰۰۶؛ دانش‌فراز و همکاران، ۲۰۱۷).

شرایط فرسایش و مقدار تولید رسوب بستگی به عوامل موجود از قبیل فعالیت‌های انسانی (کشاورزی و نابودی مراتع، تغییرات کاربری زمین، تغییر پوشش گیاهی طبیعی،

آزاد شدن ذرات خاک از محل اولیه و انتقال آن‌ها به محیط جدید تحت تاثیر عوامل مختلف مثل آب، باد و دیگر عوامل طبیعی و مصنوعی را فرسایش گویند. فرسایش و رسوب‌زایی یکی از مشکلات بزرگ محیطی در مدیریت حوضه‌های آبخیز کشور است بطوری که کیفیت خاک و آب را کاهش می‌دهد (محبوبی و همکاران، ۱۳۹۲؛ غضنفری و همکاران، ۱۳۹۳؛ اوپانگ و بارتولیس، ۲۰۰۱؛ محبوبی و همکاران، ۲۰۱۱). مدل‌سازی فرسایش خاک فرایندی است که از نظر ریاضی توصیف کننده انفصال ذرات خاک، انتقال و رسوب‌گذاری آن‌ها در سطح زمین است (ویجسکرا و

و تولید رسوب در سطح حوضه آبخیز، یکی از متداول‌ترین مدل‌های تجربی است که در مقایسه با سایر روش‌ها در حوضه‌های آبخیز ایران بطور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است (رفاهی، ۱۳۸۵؛ شرکت دلتاسازه سناباد، ۱۳۸۹). دلیل استفاده از این مدل صحت نتایج بدست آمده است. لذا جهت ارزیابی فرسایش و رسوب در حوضه مورد مطالعه از مدل‌پسیاک اصلاحی استفاده شده است و با استفاده از نرم‌افزار GIS سعی شده که خطاهای موجود که بدلیل استفاده از روش دستی در کارهای پیشین اجتناب‌ناپذیر بوده، به حداقل کاهش یابد و در نهایت برای اطمینان از صحت انجام کار نتایج با داده‌های ایستگاه رسوب‌سنجی تطبیق داده شده است. هدف از این مطالعه ارایه نقشه پهنه‌بندی درجه رسوب‌دهی (Qs) و سپس میزان تولید رسوب کل (S) حوضه و همچنین تهیه نقشه شدت فرسایش است. با توجه به اینکه حوضه مورد مطالعه بدون ایستگاه رسوب‌سنجی است؛ لذا برای اطلاع از میزان صحت و دقت روش بکار رفته در این مطالعه، نتایج با داده‌های ایستگاه رسوب‌سنجی چکنه (میانگین آماری سال‌های ۱۳۵۲-۱۳۹۲ (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۲) (جدول ۸)) که نزدیک‌ترین ایستگاه موجود به حوضه عشق‌آباد- سوله است و در جنوب خاوری آن قرار دارد، مقایسه شده است.

#### موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

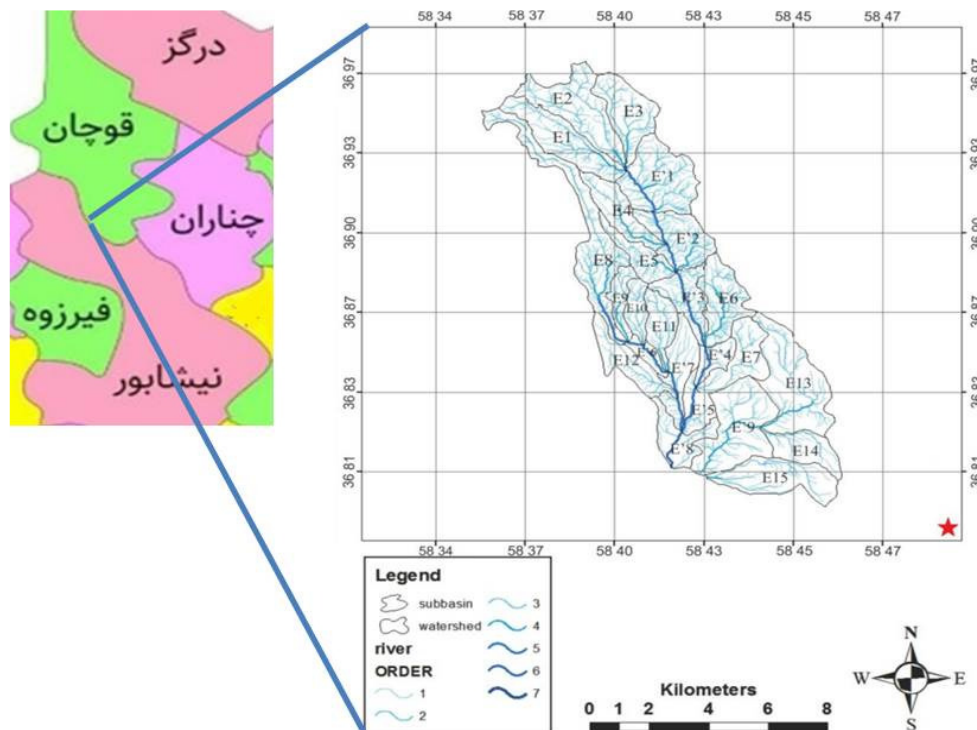
حوضه‌ی آبریز عشق‌آباد- سوله در جنوب‌باختر قوچان در طول  $58^{\circ} 19' 6''$  تا  $58^{\circ} 27' 14''$  و عرض  $36^{\circ} 49'$  تا  $36^{\circ} 21' 58''$  شمالی قرار دارد. شبکه هیدروگرافی حوضه با فرم شاخه درختی از سمت شمال به طرف جنوب جریان داشته و خروجی حوضه در جنوب باختری آن قرار دارد. وسعت این حوضه  $81/365$  کیلومتر مربع بوده و به شکل کشیده است (تقدیسی نیک‌بخت و همکاران، ۱۳۸۹ الف، ب، پ) (شکل ۱). کمینه ارتفاع منطقه  $1640$  متر و بیشینه ارتفاع آن  $2525$  متر است. میانگین بارندگی حوضه  $351$  میلی‌متر و میانگین دمای سالانه منطقه  $8/5$  درجه سانتی‌گراد است. در این حوضه شاهد توالی نسبتاً ستبری از سنگ‌های رسوبی (سنگ آهک‌های سازند تیزکوه به سن کرتاسه زیرین) و آتشفشانی (به سن پلیوکواترن) رخنمون دارند. محدوده‌ی مورد مطالعه با توجه به تقسیمات زمین‌شناسی ایران در زون

عملیات معدنکاری و استخراج کانی، اصلاح و تغییر کانال، مساحت حوضه آبریز، شیب منطقه، بافت خاک، رخساره‌های زمین‌شناسی، میزان رواناب، توزیع زمانی و مکانی بارندگی و شدت و مدت آن دارد (فالكون و همکاران، ۲۰۰۹؛ لویز و همکاران، ۲۰۰۱؛ زیلاسی و همکاران، ۲۰۰۶؛ دانش‌فراز و همکاران، ۲۰۱۷).

امروزه حدود  $76\%$  سطح زمین‌های ایران در معرض فرسایش است، بطوری‌که میانگین فرسایش سالیانه حوضه‌های آبخیز ایران بیش از  $20$  برابر میزان میانگین پذیرفته شده جهانی است (جلالیان و همکاران، ۱۹۹۷). هدررفت خاک از دهه ۱۹۵۰ تا ۱۹۹۰ به طرز وحشتناکی از  $500$  میلیون تن در سال به  $2200$  میلیون تن در سال افزایش یافته است. علاوه بر تغییرات آب و هوایی و شرایط توپوگرافی که نقش مهمی در میزان فرسایش دارند، فعالیت‌های نادرست کاربری‌زمین و از بین رفتن مواد ارگانیکی در لایه بالایی خاک که سبب پایداری ذرات خاک می‌شود، مشکل فرسایش را شدت بخشیده‌اند (نیخامی و همکاران، ۲۰۰۲). اگرچه نمی‌توان بطور کامل از فرسایش خاک جلوگیری کرد ولی می‌توان با اقدامات به‌جا و مناسب، حجم، میزان و سرعت آن را کاهش داد. به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت و کنترل فرسایش خاک و کاهش رسوبدهی ضرورت دارد که حجم کل بار رسوبی و شدت فرسایش‌پذیری در یک حوضه آبخیز ارزیابی و برآورد شود و عوامل مؤثر در فرسایش حوضه شناسایی شوند. شناسایی این عوامل ما را در انتخاب راهکارهای مناسب جهت کنترل فرسایش و حفظ منابع طبیعی یاری می‌نماید. لذا تحلیل و برآورد میزان فرسایش و رسوب، تهیه نقشه شدت فرسایش، بررسی عوامل خطر فرسایش و ارایه راهکارهای مدیریتی با توجه به روند فزاینده فرسایش خاک و مساحت وسیع زمین و گاهی سخت‌گذر بودن مناطق، با استفاده از مدل‌های تجربی برآورد رسوب و سامانه اطلاعات جغرافیایی امری ضروری به‌نظر می‌رسد. امروزه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) همراه با GIS بطور گسترده‌ای در تلفیق اطلاعات حاصل از عوامل مختلف که گاه نیز با هم متضاد هستند بکار می‌روند و در مدیریت و تصمیم‌گیری‌ها موثر هستند (ویجسکرا و ساماراکون، ۲۰۰۲؛ زو و ژانگ، ۲۰۱۳). دانش‌فراز و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعات تحقیقاتی در ایران نشان می‌دهند که مدل‌پسیاک اصلاحی برای تخمین فرسایش

سنگ‌های آذرآواری مانند توف و آگلمورا (PLQvc)، روانه‌های لاهار (PLQla)، سنگ‌آهک‌های تیره‌رنگ اوربیتولین‌دار سازند تیزکوه به سن کرتاسه (K11) و میکروگرانودیوریت (Mgd) است (شکل‌های ۲ و ۳).

بیناود قرار گرفته که بدلیل موقعیت ویژه ساختاری دارای توالی نسبتاً ستبری از سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی است. واحدهای سنگی آن شامل سنگ‌های ولکانیکی (PLQv)، سنگ‌های ولکانیکی داسیتی آندزیتی (PLQda)،



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز عشق‌آباد - سوله با تغییراتی از (سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۳۶۱) (علامت ستاره موقعیت ایستگاه رسوب‌سنجی چکنه را نشان می‌دهد)

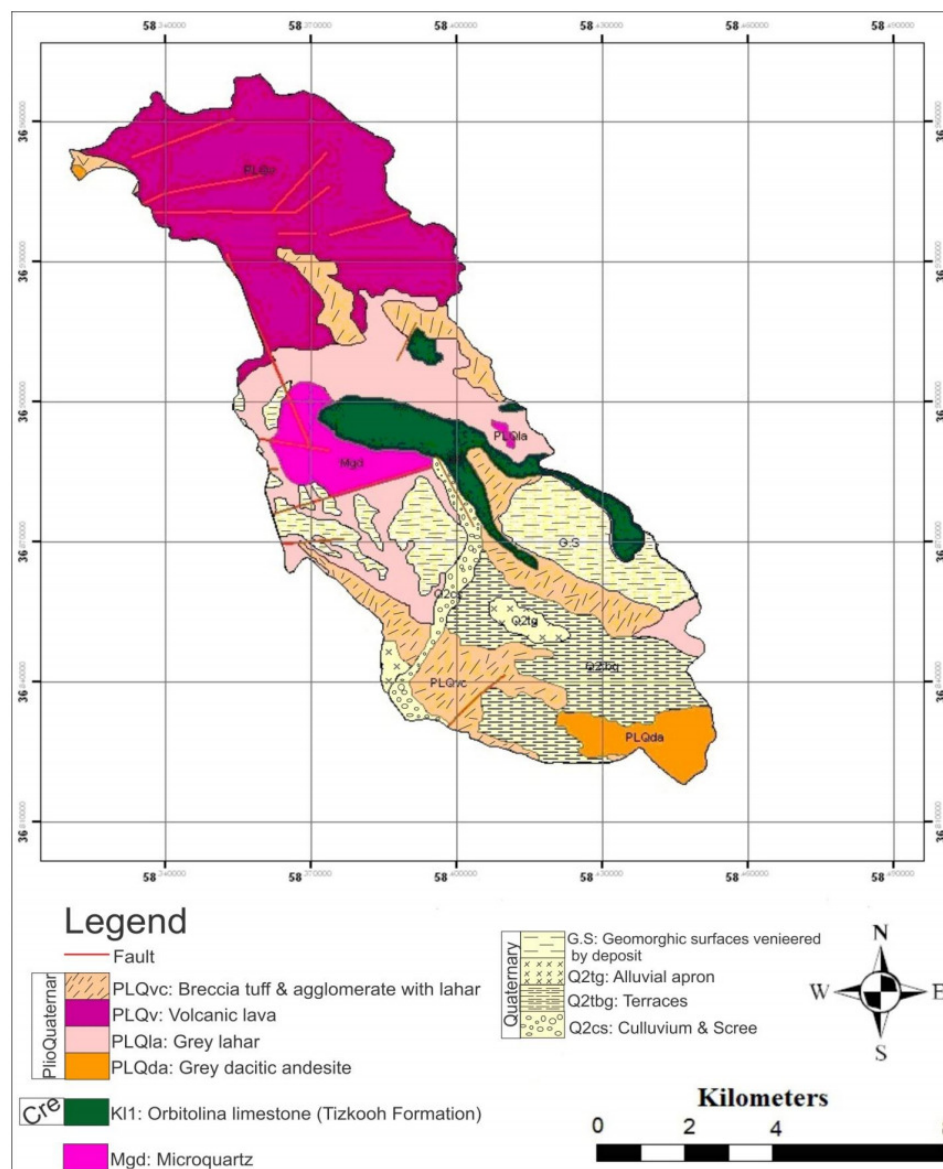
### روش کار

در این مقاله براساس مدل پسیاک اصلاحی نقش ۹ عامل موثر در فرسایش از طریق وارد نمودن لایه‌های اطلاعاتی به محیط GIS، رقومی‌سازی و رده‌بندی آن‌ها، هریک از لایه‌های اطلاعاتی مورد بررسی قرار گرفته و عوامل غالب و موثرتر در فرسایش مشخص شده است. میزان تأثیر هر عامل در فرسایش و رسوب‌زایی حوضه تعیین گردیده است. بدین منظور ابتدا نقشه پایه حوضه مورد مطالعه براساس نقشه‌های توپوگرافی (شماره‌های NW 7663, 7663 NE, 7663 SE) با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور (سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۳۶۱) تهیه شد و چارچوب حوضه آبریز بر اساس روش کار هیدرولوژیک (فیض‌نیا، ۱۳۸۷) و دنبال کردن خط‌الراس‌ها تا محل خروجی حوضه تعیین شد. شرح مراحل انجام گرفته در این مدل به ترتیب زیر است:

- ۱- استفاده از نقشه‌های شیب، پوشش، کاربری و تیپ زمین (شرکت دلتا سازه سناباد، ۱۳۸۹)،
- ۲- تهیه نقشه زمین‌شناسی (امینی و خان‌نظر، ۱۳۷۷) حوضه مورد مطالعه و کنترل میدانی آن‌ها با استفاده از عملیات میدانی و عکس‌های هوایی مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۹۶۶).
- ۳- زمین مرجع نمودن لایه‌های اطلاعاتی برای دقت در انطباق لایه‌های تهیه شده با نقشه‌های اولیه (وارد کردن مختصات جغرافیایی به لایه‌های اطلاعاتی).
- ۴- تهیه نقشه‌های مورد نیاز (حوضه، زیرحوضه‌ها، رتبه آبراهه‌ها، مدل ارتفاعی رقومی، شیب، جهت شیب) از روی نقشه توپوگرافی.
- ۵- پلی‌گون نمودن واحدهای مورد نظر و دادن ضرایب مناسب به هر پلی‌گون.

۷- تعیین امتیاز ۹ عامل موثر در مدل‌پسیاک اصلاحی از طریق نمره‌دهی به این عوامل (جانسون و گبهارت، ۱۹۸۲).  
۸- محاسبه مجموع نمرات عوامل ۹ گانه در هر زیرحوضه به منظور تعیین میزان فرسایش و رسوب‌زایی و تهیه نقشه شدت فرسایش.

۶- انطباق لایه‌های زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، آب و هوایی، رواناب، شیب، پوشش‌زمین، کاربری‌زمین، اشکال فرسایش و فرسایش رودخانه‌ای و تهیه نقشه شدت فرسایش و محاسبه میزان رسوبدهی بر اساس وزن هر کدام از واحدهای همگن.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز عشق‌آباد - سوله (با تغییراتی پس از امینی و خان‌نظر، ۱۳۷۷)

(Y3)، رواناب (Y4)، توپوگرافی (Y5)، پوشش سطح زمین (Y6)، کاربری‌زمین (Y7)، وضعیت فرسایش فعلی (Y8) و فرسایش رودخانه‌ای (Y9) است. برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در هر یک از واحدهای زمین یا واحد هیدرولوژیک، بر اساس ۹ عامل فوق و برحسب شدت و ضعف آن‌ها از نظر کیفی (با سه درجه زیاد، متوسط و کم)

لازم به توضیح است که در مدل اصلاح شده پسیاک تاثیر و نقش نه فاکتور مهم و موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبریز ارزیابی می‌شود (رزمجو و همکاران، ۱۳۸۳). از این‌رو در این روش بسته به نقش هر عامل، عددی به آن نسبت داده می‌شود. این فاکتورها شامل زمین‌شناسی سطحی (Y1)، خاک‌شناسی (Y2)، آب و هوا

پسیاک اصلاح شده) پسیاک اصلاحی (به دلایل زیر استفاده شده است:

الف- در مقایسه با سایر روش‌های تجربی موجود این روش، بیش‌ترین عامل موثر در فرسایش خاک جهت محاسبه فرسایش خاک و تولید رسوب بکار رفته است (رفاهی، ۱۳۸۵)

ب- این روش برای چندین حوضه آبریز سدهای مخزنی کشور بکار رفته و بخوبی با داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری انطباق داده شده است (احمدی، ۱۳۷۴).

پ- این مدل در ارزیابی فرسایش و رسوب حوضه‌های بدون آمار و اطلاعات از دقت نسبتاً خوبی برخوردار است.

ت- بکارگیری این روش در محیط GIS امکان‌پذیر بوده و نیازی به استفاده از ضرایب خاص هیدرولوژیکی منطقه و یا رسوب‌زایی ندارد.

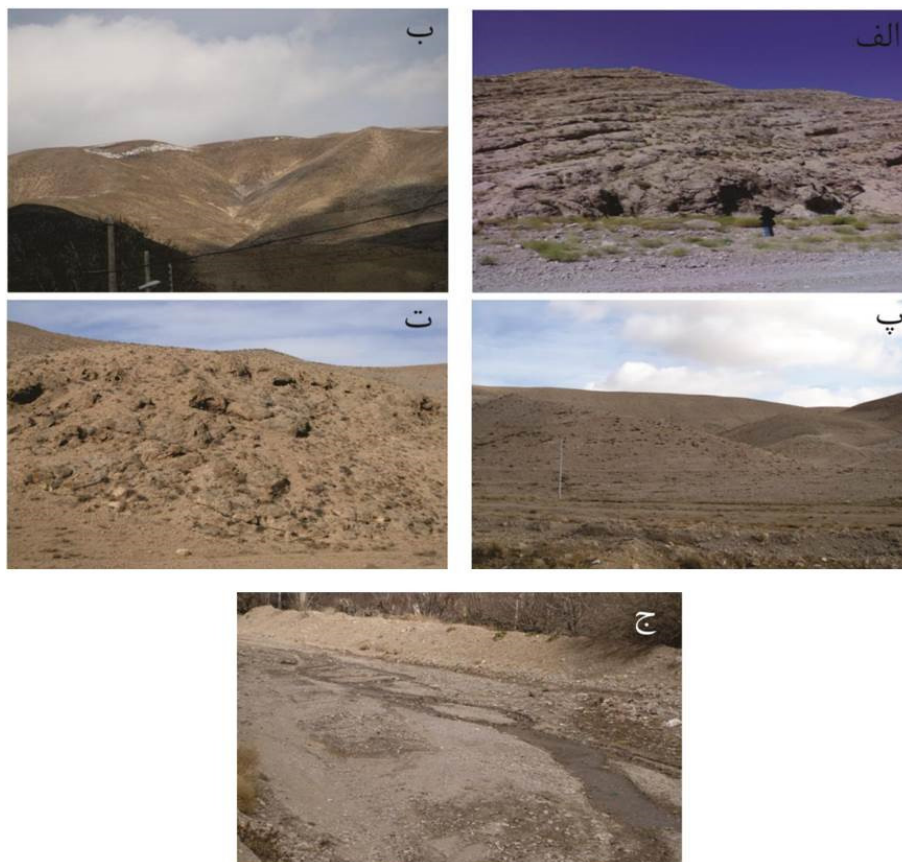
و یا کمی (از ۱۰- تا ۲۵+) و با استفاده از جداول موجود وزن‌دهی می‌گردند (جانسون و گبهارت، ۱۹۸۲).

پس از تعیین امتیازات عوامل نه‌گانه و محاسبه مجموع این امتیازات (R)، درجه یا شدت رسوب‌دهی تعیین شده، و سپس میزان تولید رسوب (Qs) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$Q_s = 0.253e^{0.036R} \quad (1)$$

در این رابطه جرم مخصوص ظاهری رسوب ۱۳۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب فرض شده است (فیض‌نیا، ۱۳۸۷).

در مرحله پایانی میزان تولید رسوب و فرسایش حوضه بر اساس رده‌های خیلی‌زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تعیین می‌گردد (جانسون و گبهارت، ۱۹۸۲). جهت برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز عشق‌آباد- سوله از مدل



شکل ۳. الف) واحد سنگ‌آهکی سازند تیزکوه (کرتاسه زیرین) در قسمت میانی حوضه، ب) نمایی از واحد گدازه‌های ولکانیکی پلیوکواترنر (PLQv) در شمال حوضه، پ) گدازه‌های داسیتی آندزیتی (PLQda) به سن پلیوکواترنر که در جنوب خاوری حوضه رخنمون دارند، ت) توف برشی و آگلومرا (PLQvc) (پلیوکواترنر) در خاور روستاهای عشق‌آباد و سوله، ث) آبرفت‌های رودخانه‌ای کواترنر

عوامل ۹گانه موثر در فرسایش و تولید رسوب مدل پسیاک اصلاحی در حوضه مورد مطالعه به شرح زیر است.

که در آن  $F_p$  پارامتر اندازه ذرات (بی‌بعد)،  $Pom$  درصد مواد آلی،  $Sstruc$  رده ساختمان خاک‌دانه،  $F_{perm}$  رده نفوذپذیری پروفیل،  $P_{clay}$  درصد رس و  $Psilt+vfs$  درصد سیلت+ ماسه خیلی‌ریز است.

**۳- عامل آب و هوا:** فرسایش و رسوب‌زایی هر منطقه تا حد زیادی وابسته به آب و هوای منطقه است. زیرا آب و هوا علاوه بر تاثیر در ایجاد خاک، بر روی پوشش گیاهی منطقه نیز اثر می‌گذارد. از عوامل مؤثر آب و هوایی که در فرسایش خاک اهمیت زیادی دارند، بارش و دما است (رفاهی، ۱۳۸۵). جهت تعیین عامل آب و هوا طبق روش پسیاک اصلاحی ابتدا نیاز به تعیین مقدار بارندگی شش ساعته با دوره بازگشت دو ساله است. طبق تحقیقات انجام شده این نوع بارش‌ها، بیش‌ترین همبستگی را با فرسایش خاک دارند (ضیایی، ۱۳۸۰). برای تعیین امتیاز مربوط به عامل آب و هوا از رابطه (۵) استفاده شد.

رابطه (۵)

$$Y_3 = 0.2X_3$$

$X_3$  مقدار بیشینه بارش ۶ ساعته با دوره بازگشت دو ساله است که از گزارش هواشناسی حوضه آبریز عشق‌آباد- سوله، تهیه شده توسط (شرکت دلتا‌سازه سناباد، ۱۳۸۹)، بدست آمده (جدول ۲) و پس از جایگذاری در رابطه ۵ امتیاز مربوط به عامل آب و هوا ( $Y_3$ ) محاسبه شده و مقادیر بدست آمده در جدول ۹ نشان داده شده است.

**۴- عامل هرز آب یا رواناب:** دبی ویژه یا جریان آب در واحد زمان معیار مناسبی برای ارزیابی عامل رواناب است (رفاهی، ۱۳۸۵). طبق روش پسیاک اصلاحی عامل ارتفاع رواناب و دبی اوج ویژه برای برآورد عامل رواناب بصورت رابطه زیر استفاده می‌شوند:

$$Y_4 = 0.2 (0.3R + 50Q_p) = 0.006R + 10Q_p$$

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. اعداد مذکور با استفاده از گزارش هیدرولوژی حوضه آبریز عشق‌آباد- سوله که توسط (شرکت دلتا‌سازه سناباد، ۱۳۸۹) انجام شده، بدست آمد و پس از جای‌گذاری در رابطه ۵ عامل رواناب ( $Y_4$ ) در هر زیرحوضه بدست آمد (جدول ۸، شکل‌های ۵ و ۶).

**۱- عامل زمین‌شناسی سطحی:** در مدل پسیاک اصلاحی جهت تعیین فاکتور زمین‌شناسی سطحی از این رابطه استفاده می‌شود.

$$Y_1 = X_1 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه  $X_1$  امتیاز فاکتور زمین‌شناسی و  $Y_1$  شاخص فاکتور زمین‌شناسی سطحی است (رزمجو و همکاران، ۱۳۸۳). در این مطالعه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (امینی و خان‌نظر، ۱۳۷۷) واحدهای زمین‌شناسی منطقه و برآورد میزان حساسیت هریک از واحدها به فرسایش و رسوب‌گذاری بررسی شده و با توجه به مطالعات منطقه‌ای، هریک از واحدهای مذکور با امتیاز بین ۰ تا ۱۰ کدگذاری شدند (عدد ۱ بیش‌ترین مقاومت و عدد ۱۰ بیش‌ترین حساسیت به فرسایش را نشان می‌دهد) (رفاهی، ۱۳۸۵).

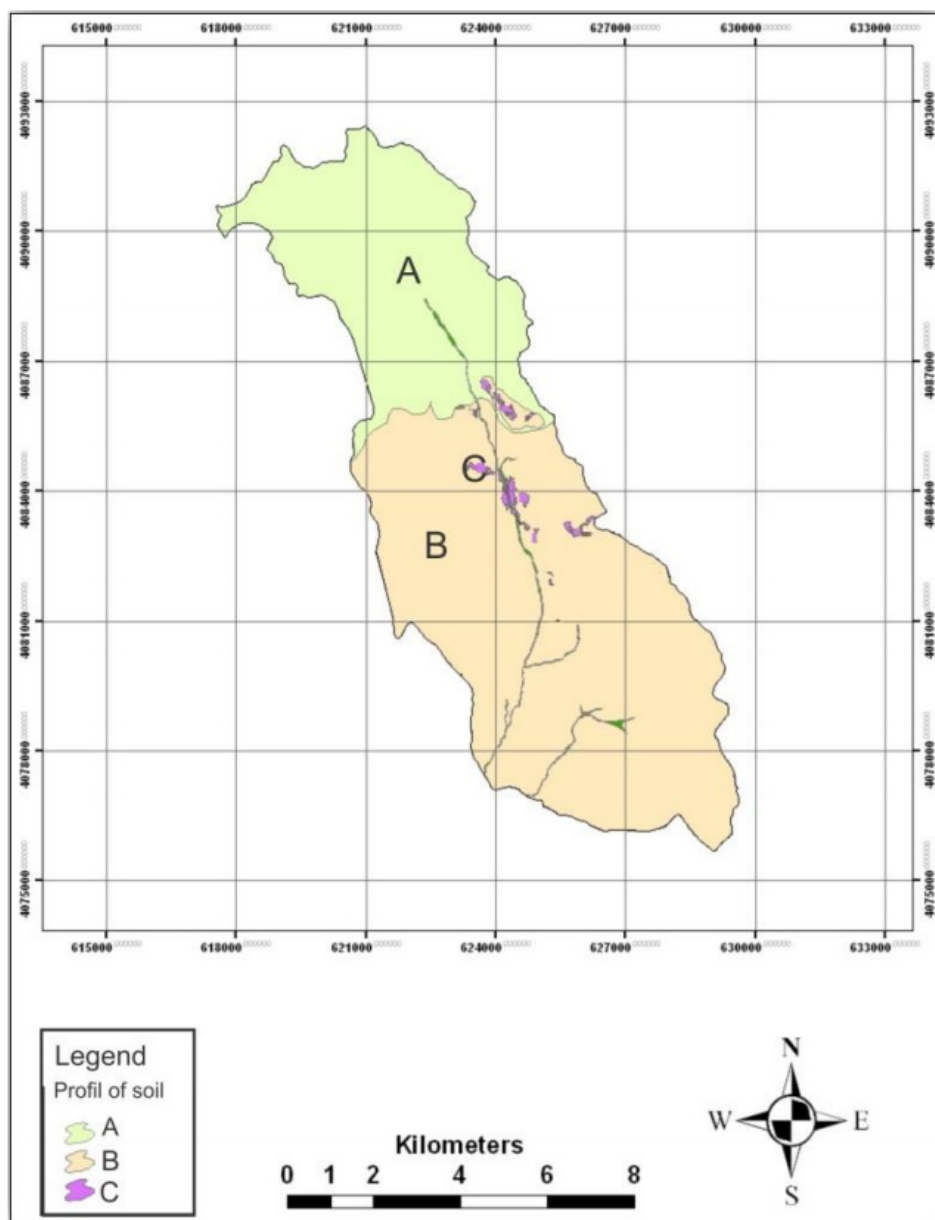
**۲- عامل خاک:** این عامل در مدل پسیاک اصلاحی از رابطه زیر محاسبه می‌شود (رزمجو و بیرودیان، ۱۳۸۳).

$$Y_2 = 16.67X_2 \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه  $X_2$  یا  $K$  عامل فرسایش‌پذیری خاک در فرمول جهانی فرسایش خاک است. تعیین عامل فرسایش‌پذیری خاک به ۵ عامل بستگی دارد که عبارتند از: درصد ماسه‌ریز و سیلت در خاک، درصد ماسه خاک، درصد ماده آلی خاک، درصد نفوذپذیری خاک و ساختمان خاک، که براساس این عوامل و بر مبنای اطلاعات بدست آمده از ۳ نوع خاک منطقه (شکل ۴) برای هر زیرحوضه با استفاده از رابطه (۴) بدست آمد و نقشه خاک‌شناسی حوضه آبریز تهیه شد (شرکت دلتا‌سازه سناباد، ۱۳۸۹). هر چقدر بافت خاک ریزتر باشد میزان نفوذپذیری آن کمتر و در نتیجه میزان جریان سطحی آن زیادتر می‌شود و در نهایت مقدار فرسایش و درجه رسوب‌دهی خاک افزایش می‌یابد (ضیایی، ۱۳۸۰). با استفاده از تعیین ویژگی‌های این ۵ عامل در خاک منطقه و همچنین نمودار تعیین عامل فرسایش‌پذیری خاک در فرمول جهانی فرسایش USLE مقدار  $X_2$  را در هر زیرحوضه به دست آورده (جدول ۱) و سپس با قرار دادن آن در فرمول، امتیاز عامل خاک ( $Y_2$ ) زیرحوضه‌ها محاسبه شد که در جدول ۹ مشاهده می‌شود.

$$K_{facci} = (1.292) \{ (2.1 \times 10^6 \times F_p^{1.4} (12 - P_{om})) + 0.032 \{ S_{struc} - 2 \} + 0.025 (F_{perm} - 3) \}$$

$$F_p = P_{silt+vfs} * (100 - P_{Clay})$$



شکل ۴. نقشه خاک حوضه که سه نوع متفاوت خاک (A، B و C) را نشان می‌دهد؛ برگرفته از (شرکت دلتاسازه سناباد، ۱۳۸۹).

جدول ۱. عامل فرسایش‌پذیری خاک برای هر زیرحوضه

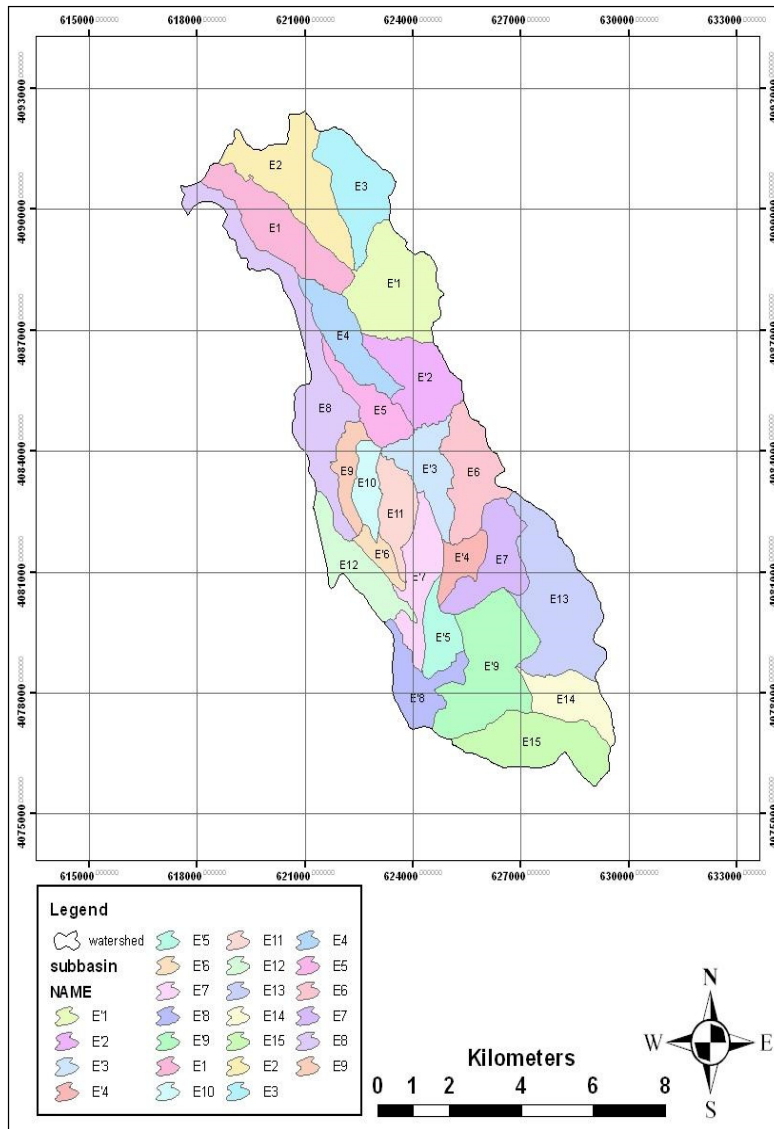
E15	E14	E13	E12	E11	E10	E9	E8	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	زیرحوضه
0.48	0.48	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.39	0.40	0.40	0.38	0.40	0.22	0.22	0.22	X2

E9	E8	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	زیرحوضه
0.48	0.40	0.40	0.40	0.48	0.40	0.40	0.37	0.40	X2

جدول ۲. مقادیر حداکثر بارش ۶ ساعته با دوره بازگشت دو ساله در هر زیرحوضه

E15	E14	E13	E12	E11	E10	E9	E8	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	زیرحوضه
16.6	20.7	11.2	13	17.3	22.9	9.3	8.6	16.1	18.1	17.5	16.8	19.6	15.5	14.1	X3

E9	E8	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	زیرحوضه
9.8	6.7	6.9	7.8	7.1	7.8	8.7	10.5	13.0	X3



شکل ۵. نقشه واحدهای هیدرولوژیکی (زیرحوضه‌ها)

(رفاهی، ۱۳۸۵). نقشه شیب این حوضه (شکل ۷) با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ (سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۳۶۱) و پس از ایجاد مدل رقومی ارتفاعی (DEM) (شکل ۸) در محیط نرم‌افزار ArcGIS، تهیه شده است. با استفاده از این نقشه، درصد میانگین شیب در هر زیرحوضه بدست آمده و بر اساس آن عامل توپوگرافی در هریک از زیرحوضه‌ها محاسبه شد. مقادیر مربوط به عامل توپوگرافی (Y5) در هر زیرحوضه بدست آمد (جدول ۸ و شکل ۸).

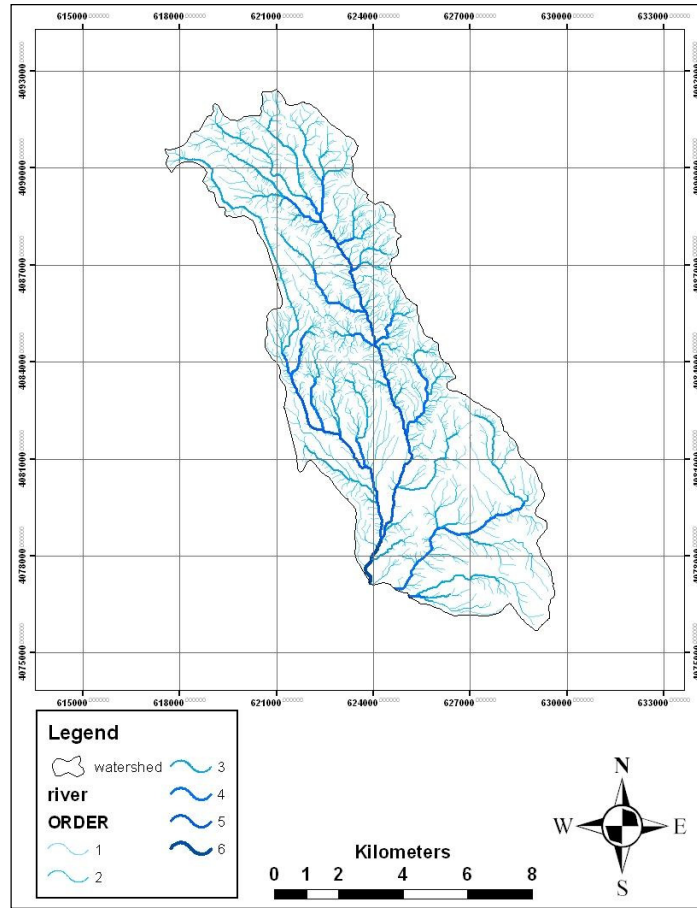
۶- عامل پوشش گیاهی: عامل پوشش گیاهی می‌تواند تحت کنترل انسان باشد. بر اساس تحقیقات به عمل آمده چنانچه میزان پوشش گیاهی در یک منطقه از ۲۰ درصد

۵- عامل توپوگرافی: یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبخیز، پستی و بلندی است که معمولاً با شاخص شیب سنجیده می‌شود. اهمیت شیب و توپوگرافی زمین در فرسایش باعث شده است که در روش پسیاک اصلاح شده برای این عامل امتیاز بین ۰-۲۰ در نظر گرفته شود. در این دامنه به زمین با شیب کمتر از ۳ درصد و هم‌چنین مناطق دشتی و آبرفتی با شیب کم امتیاز صفر و به زمین کوهستانی با شیب بیش‌تر از ۳۰ درصد امتیاز ۲۰ داده می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۵). جهت تعیین عامل پستی و بلندی از رابطه  $Y5 = 0.33X5$  (رابطه ۷)، که در آن X5 درصد میانگین شیب در هر زیرحوضه است (جدول ۳)



(رابطه ۷). در این رابطه  $X6$  درصد زمین لخت و نبود پوشش گیاهی است (جدول ۴). با استفاده از نقشه پوشش گیاهی منطقه (شرکت دلتاسازه سناباد، ۱۳۸۹) میزان  $X6$  در هر زیرحوضه محاسبه و با جایگذاری در فرمول، امتیاز پوشش گیاهی در هر زیرحوضه بدست آمد. در جدول ۹ نشان داده شده است.

به ۶۰ درصد برسد میزان رسوب آن یک چهارم مقدار اولیه خواهد شد (ضیایی، ۱۳۸۰). انواع پوشش سطح زمین شامل پوشش گیاهی، لاشبرگ و پوشش سنگی است. در مدل پسیاک اصلاحی با توجه به این موضوع که اعداد منفی را زمین با پوشش گیاهی خوب به خود اختصاص می‌دهند، امتیاز این عامل بین ۱۰- تا ۱۰ در نظر گرفته شده است که از فرمول  $Y6 = 0.2X6$  قابل محاسبه است



شکل ۶. نقشه هیدروگرافی (آبراهه‌ها)

جدول ۳. مقادیر شیب میانگین برای هر زیرحوضه

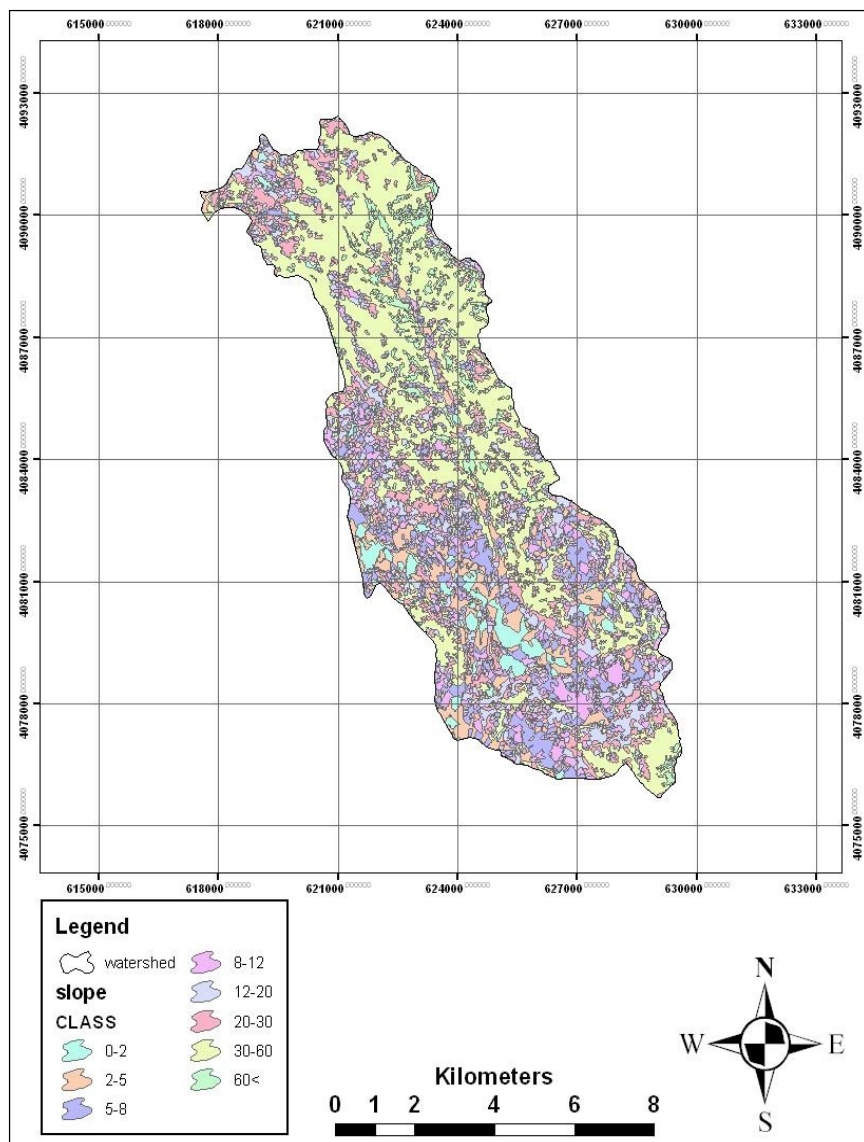
E15	E14	E13	E12	E11	E10	E9	E8	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	زیرحوضه
26.98	21.30	18.57	13.84	17.70	24.18	22.30	26.28	19.53	35.53	34.69	39.35	48.05	35.01	32.21	<b>X5</b>

E'9	E'8	E'7	E'6	E'5	E'4	E'3	E'2	E'1	زیرحوضه
13.96	13.51	12.41	10.32	9.52	21.51	39.20	39.16	45.10	<b>X5</b>

جدول ۴. درصد زمین لخت و فاقد پوشش گیاهی برای هر زیرحوضه

E15	E14	E13	E12	E11	E10	E9	E8	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	زیرحوضه
56.93	35.87	20.77	33.31	32.65	11.49	53.09	45.75	19.12	31.31	32.20	47.30	46.29	46.29	46.29	<b>X6</b>

E'9	E'8	E'7	E'6	E'5	E'4	E'3	E'2	E'1	زیرحوضه
32.68	21.53	25.62	31.54	24.74	20.44	21.12	40.30	42.90	<b>X6</b>



شکل ۷. نقشه شیب (بر حسب درجه) حوضه آبریز عشق‌آباد - سوله

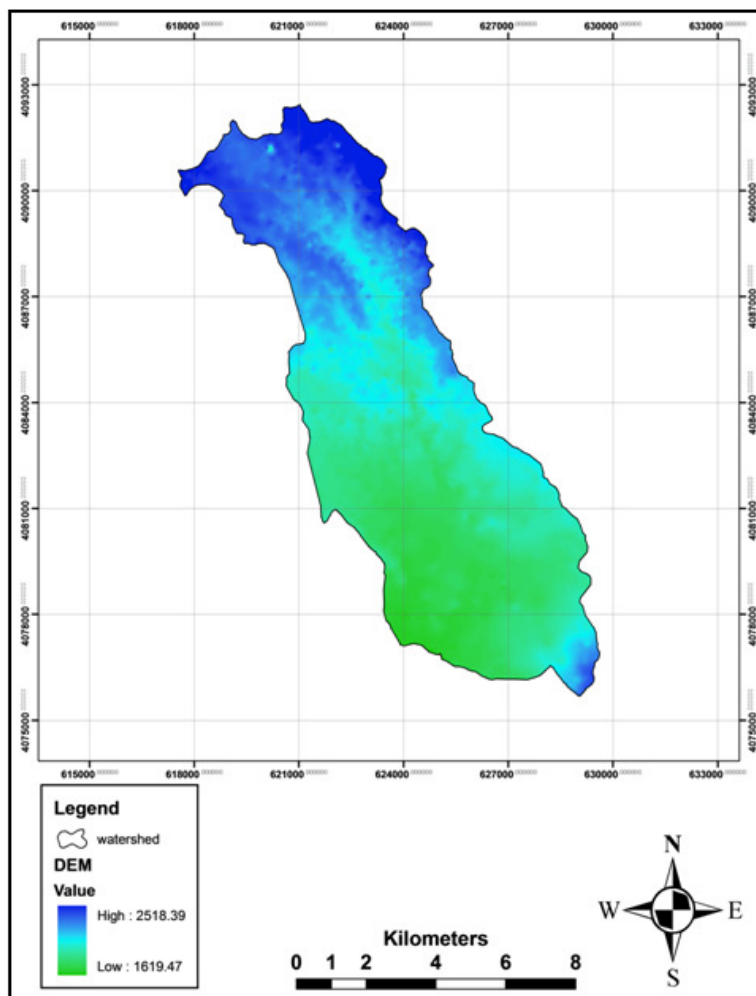
کاربری زمین در هر زیرحوضه محاسبه شد. نتایج بدست آمده در جدول ۹ قابل مشاهده است.

**۸- عامل وضعیت فعلی فرسایش:** به دلیل اهمیت این عامل در فرسایش و تولید رسوب، در مدل پسیاک اصلاحی برای این عامل، امتیازی بین صفر تا ۲۵ در نظر گرفته شده است که با استفاده از فرمول  $Y8 = 0.25X8$  قابل محاسبه است (رابطه ۹). در این فرمول امتیاز عامل سطحی خاک است که با استفاده از روشی که توسط اداره مدیریت زمین آمریکا پیشنهاد شده است (روش BLM) بدست می‌آید (رفاهی، ۱۳۸۵). در حوضه مورد مطالعه برای تعیین امتیاز عامل سطحی خاک از هفت عامل دیگر کمک گرفته شده است که عبارتند از حرکت توده خاک (فرسایش

**۷- عامل کاربری زمین:** فعالیت‌های انسان از زمانی که شروع به بهره‌برداری از زمین نمود در جهت تشدید فرسایش بوده و میزان این فرسایش با بهره‌برداری زیادتر انسان افزایش خواهد یافت. در مدل پسیاک اصلاحی جهت تعیین امتیاز این عامل به میزان کاربری زمین برحسب درصد توجه می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۵) و از رابطه  $Y7 = 20 - (0.2X7)$  قابل محاسبه است (رابطه ۸)، که در آن X7 مجموع درصد زمین قابل پوشش است که مجموع زمین آبی، دیم و مراتع را شامل می‌شود (رضایی، ۱۳۸۰). با توجه به نقشه کاربری زمین و اطلاعات اخذ شده از (شرکت دلتاسازه سناباد، ۱۳۸۹)، درصد زمین آبی، دیم و مرتع در هر زیرحوضه شناسایی (جدول ۵) و براساس آن نقشه

از این عوامل (جدول ۶) و جمع نمرات حاصل در هر زیرحوضه، امتیاز وضعیت فعلی فرسایش بدست آمد (جدول ۹).

سطحی خاک)، پوشش لاشبرگ، پوشش سنگی سطح زمین، قطعات سنگی تحکیم یافته، شیارهای سطحی، فرم آبراهه‌ها، و توسعه فرسایش خندقی. با نمره‌دهی به هریک



شکل ۸. نقشه مدل رقمی ارتفاعی (DEM)

جدول ۵. درصد زمین آبی، دیم و مرتع در هر زیرحوضه

E15	E14	E13	E12	E11	E10	E9	E8	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	زیرحوضه
18.46	11.17	7.14	14.26	10.17	13.30	16.54	21.66	8.16	13.16	14.72	28.23	29.21	29.21	29.21	X7

E'9	E'8	E'7	E'6	E'5	E'4	E'3	E'2	E'1	زیرحوضه
13.47	13.58	12.38	9.83	12.43	10.21	8.87	18.30	27.07	X7

موثر بر فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب می‌توان به شیب میانگین بستر رودخانه، نوع سنگ‌ها در مسیر رودخانه، و انرژی جریان سیلاب‌ها اشاره کرد. از عوامل مهم و موثر در جلوگیری از فرسایش رودخانه‌ای نیز می‌توان به پوشش گیاهی موجود در داخل آبراهه‌ها اشاره نمود. در

۹- عامل فرسایش رودخانه‌ای: در این عامل دو پدیده فرسایش کناره رودخانه و حمل رسوب توسط سیلاب مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. این فرسایش نتیجه تخریب و شسته شدن دیواره آبراهه‌هاست که بیش‌تر در مواقع سیلابی و فصول پر باران صورت می‌گیرد. از جمله عوامل

X9 در هر زیرحوضه محاسبه و پس از جایگذاری در فرمول، عامل فرسایش رودخانه‌ای در هر زیرحوضه بدست آمد که نتایج در جدول ۹ قابل مشاهده است (جدول ۷).  
پس از تعیین امتیاز ۹ عامل ذکر شده در هر زیرحوضه و محاسبه مجموع این امتیازات (R)، درجه یا شدت رسوب‌دهی تعیین شده، و در نهایت میزان تولید رسوب با استفاده از رابطه (۱) بدست آمد (جدول ۸).

مدل MPSAIC این عامل از رابطه  $Y9 = 1.67X9$  به دست می‌آید (رابطه ۱۰)، که در این رابطه X9 نمره نهایی فرسایش خندقی عامل سطحی خاک در روش BLM است که با توجه به پوشش گیاهی، شیب آبراهه‌ها، نوع سنگ‌های موجود در مسیر آبراهه‌ها و انرژی پتانسیل جریان سیلاب‌ها در منطقه محاسبه می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۵). در حوضه مورد مطالعه با در نظر گرفتن شدت و ضعف این عوامل در هر زیرحوضه و نمره دهی به آن‌ها،

جدول ۶. عوامل روش BLM برای هر زیرحوضه

فرسایش خندقی	پوشش سنگی سطح زمین	قطع‌ات سنگی تحکیم یافته	پوشش لاشبرگ	فرسایش آبراهه‌ای	فرسایش شیلی	فرسایش سطحی	زیر حوضه‌ها
5.68	14	1.83	12	6.77	11	6	E1
6.29	14	1.87	12	6.60	11	6	E2
8.69	14	2	12	6.76	11	6	E3
7.50	14	1.97	12.11	7.09	10.75	6	E4
8.56	14	1.87	13.41	7.03	3.32	4.88	E5
11.95	11.33	3	13.43	7.04	5.87	6.07	E6
6.88	6.99	1.90	14	6.50	6.66	6.70	E7
4.52	14	1	12.76	6.96	9.73	6.13	E8
11.22	14	0.98	13.38	4.85	7.62	5.96	E9
10.27	12.60	1.84	13.57	6.58	7.09	5.89	E10
5.87	9.64	1.82	13.76	6.75	7.39	6.27	E11
4.15	12.22	0.96	13.35	6.50	6.69	6.65	E12
5.67	6.08	0.94	13.90	6.87	6.90	6.47	E13
5.30	10.58	1.91	13.69	6.50	8	6.40	E14
1.80	14	1.81	13.23	6.87	7.84	6.10	E15
7.91	14	1.92	12.18	6.50	11	6.04	E'1
7.52	14	1.93	13.03	7.77	8.66	5.80	E'2
10.09	7.64	1.82	13.74	7.73	4.67	5.66	E'3
4.97	8.39	0.85	13.59	8.50	5.55	6.52	E'4
2.72	10.21	0.80	13.42	8.02	6.01	6.80	E'5
2.13	9.31	0.78	13.78	8.50	8	6.48	E'6
2.86	10.26	0.79	13.44	8.25	7.18	6.82	E'7
5.16	10.58	0.86	13.26	8.74	5	6.99	E'8
2.76	10.65	0.88	13.42	7.22	6.86	6.56	E'9

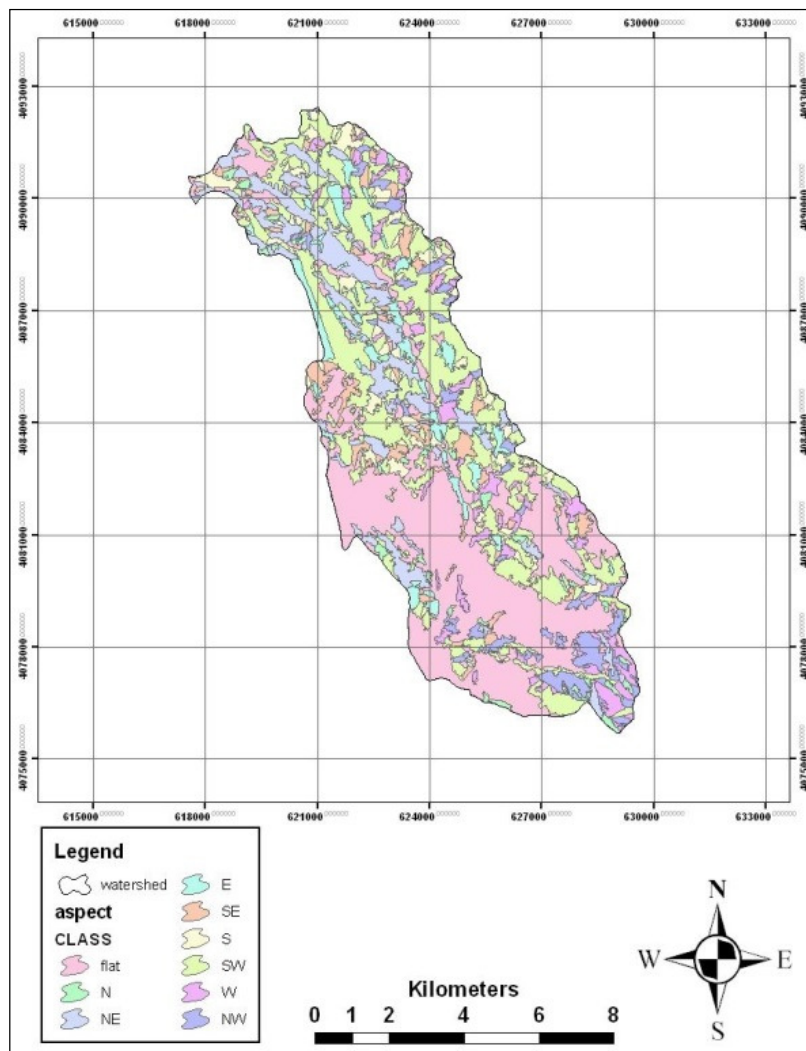
### نتایج

۲۰۱۲). انواع اشکال فرسایشی موجود در حوضه مورد مطالعه شامل فرسایش سطحی، شیاری، آبراهه‌ای، کناره رودخانه‌ای و واریزه‌ای است. گسترده‌ترین شکل فرسایش موجود در حوضه عشق‌آباد- سوله فرسایش سطحی است (شکل ۱۰ الف) و بیش‌تر در قسمت‌های پایین دست حوضه که دارای باغات و زمین‌های کشاورزی است (در زیرحوضه- های E'8، E'7، E'5 و E'7 بیش‌ترین گسترش و رسوب‌زایی را دارد) به چشم می‌خورد. هم‌چنین در دامنه ارتفاعات پایین دست حوضه که محل چرای دام است نیز این شکل فرسایش را می‌توان مشاهده کرد. فرسایش شیاری در

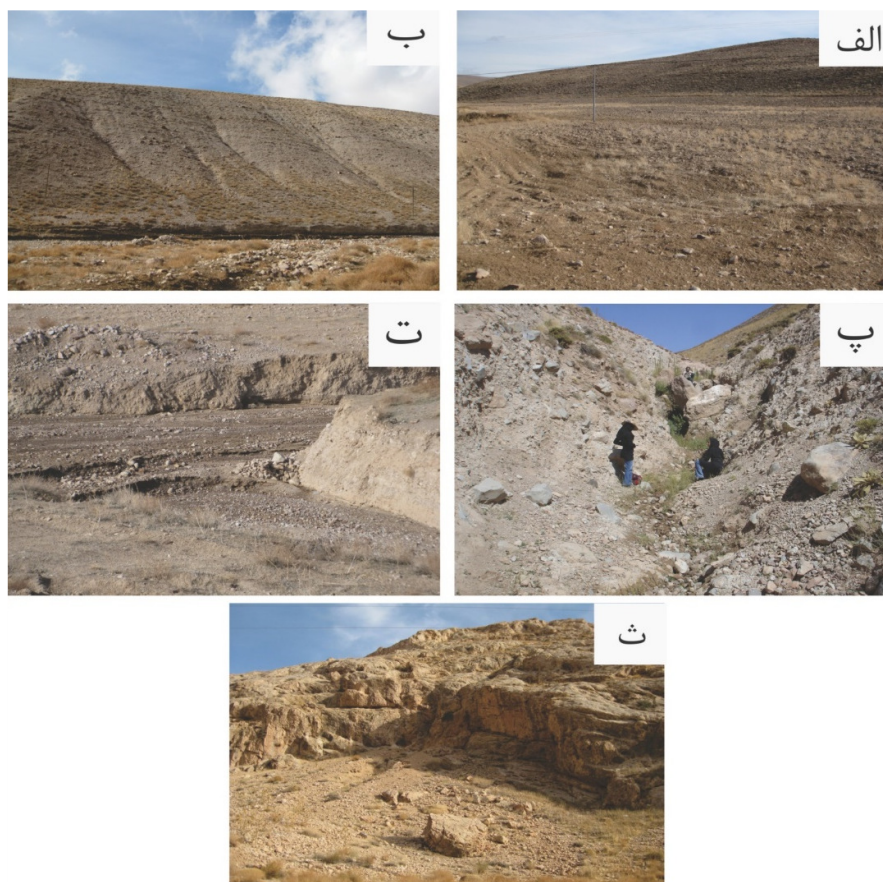
حساسیت واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه در برابر فرسایش بر اساس مشاهدات میدانی متوسط بوده و محدوده امتیاز ۴ تا ۵/۵ برای آن‌ها منظور شد. واحدهای آبرفتی (Q2tg, Q2tbg, Q2cs, G.s) دارای بیش‌ترین مقاومت در برابر فرسایش بوده و امتیاز ۱ به آن‌ها داده شد (رفاهی، ۱۳۸۵). در نهایت لایه بدست آمده در محیط GIS رقومی شده و عامل زمین‌شناسی سطحی برای هر یک از زیرحوضه‌ها (که خود شامل دو یا چند واحد سنگ‌شناسی هستند) محاسبه و وارد مدل شد (حشمتی و همکاران،

حاشیه رودخانه اصلی و شاخه‌های فرعی منتهی به آن (بیش‌ترین گسترش و میزان رسوب‌زایی در زیرحوضه‌های E6، E9، E10 و E'3) دیده می‌شود که اکثراً آبرفتی و با شیب کم هستند و باغات و زمین‌های کشاورزی در زمین‌های اطراف آن گسترش دارند. در مواقع سیلابی انرژی آب باعث فرسایش رسوبات دیواره رودخانه شده و این شکل فرسایش را در منطقه ایجاد کرده است. فرسایش واریزه‌ای عموماً در اراضی توده سنگی و یا دارای برونزد سنگی دیده می‌شود و واریزه‌ها از سنگ‌ها بر اثر هوازدگی جدا شده و در روی دامنه‌ها و یا پای دامنه‌ها ریزش می‌کنند. این فرسایش در واحد آهکی (سازند تیزکوه) (زیرحوضه E'3) مشاهده شده است (شکل ۱۰ ت).

قسمت بالادست حوضه بر روی واحدهای ولکانیکی و دیواره کانال رودخانه (بیش‌ترین گسترش در زیرحوضه‌های E1، E2، E3 و E4 که باعث افزایش رسوب‌زایی در این زیرحوضه‌ها نیز شده است) مشاهده می‌شود که در آن شیارهایی به موازات هم و با فاصله تقریبی ۰/۵ متر از یکدیگر به چشم می‌خورند (شکل ۱۰ ب). فرسایش آبراهه‌ای براحتی بر روی شیب ارتفاعات مشهود بوده (با بیش‌ترین گسترش و میزان رسوب‌زایی در زیرحوضه‌های E'4، E'6، E'5 و E'7) که باعث فرسایش خاک و حتی سنگ مادر شده و آبراهه‌های حوضه را تشکیل داده است (شکل ۱۰ پ). فرسایش کناره رودخانه‌ای یکی از مهم‌ترین اشکال فرسایشی در حوضه مورد مطالعه است (شکل ۱۰ ت). فرسایش در زمین‌های



شکل ۹. نقشه جهت شیب (aspect)



شکل ۱۰. انواع اشکال فرسایشی موجود در حوضه آبریز عشق آباد- سوله؛ الف) فرسایش سطحی در زیر حوضه E'8، ب) فرسایش شیبی در زیر حوضه E'1، پ) فرسایش آبراهه‌ای در زیر حوضه E'4، ت) فرسایش کناره رودخانه‌ای در زیر حوضه E6 و ث) فرسایش واریزه‌ای در زیر حوضه E'3 (محل زیر حوضه‌ها در شکل ۱).

جدول ۷. امتیاز هر یک از عوامل موثر در فرسایش رودخانه‌ای در هر زیر حوضه

زیر حوضه‌ها	شیب متوسط (%)	دبی ویژه (%)	عامل زمین‌شناسی (%)	عامل پوشش سطح زمین (%)
E1	8.05	3.67	10.07	11.57
E2	8.75	4.13	10	11.57
E3	12	5.18	10	11.57
E4	9.75	4.93	10.63	11.82
E5	8.65	3.03	11.75	8.05
E6	8.87	9.33	11.10	7.82
E7	4.87	7.51	4.75	4.77
E8	6.57	3.04	9.95	11.43
E9	5.57	3.04	11.35	13.25
E10	6.05	3.48	11.8	2.87
E11	4.42	4.58	9.72	8.16
E12	3.45	4.72	7.61	8.32
E13	4.62	4.25	6.50	5.18
E14	5.32	6.20	6.97	8.96
E15	6.72	3.42	7.33	14.72
E'1	11.25	3.41	10.27	10.72
E'2	9.75	2.71	11.13	10.07
E'3	9.80	2.20	11.40	5.27
E'4	5.37	2.58	6.10	5.11
E'5	2.37	2.76	5.95	6.18
E'6	2.57	2.18	6.95	7.87
E'7	3.10	2.45	6	6.40
E'8	3.37	2.73	8.55	5.37
E'9	3.47	3.32	6.30	8.12

جدول ۸. داده‌های ایستگاه رسوب‌سنجی چکنه واقع در جنوب خاور حوضه آبریز عشق‌آباد- سوله (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۲)

سال	ماه	روز	رسوب‌دهی (تن در هکتار)	سال	ماه	روز	رسوب‌دهی (تن در هکتار)
1352	1	3	3.017	1361	8	26	12.36
1352	7	24	0	1362	2	28	2.91
1352	8	24	0	1361	11	22	1.20
1352	10	13	0.30	1362	9	23	0.60
1353	3	12	6.53	1362	12	18	6.06
1353	2	24	0.26	1363	1	18	17.39
1353	1	3	0.69	1363	2	18	3.41
1352	9	13	0	1363	2	9	1.46
1353	4	15	1.38	1363	1	12	5.61
1352	8	6	7.28	1362	10	26	1.29
1353	5	16	0.49	1365	1	20	1.03
1353	7	21	0.73	1365	2	25	4.04
1354	4	17	1.36	1365	12	11	3.08
1354	2	10	0.58	1366	1	11	5.99
1354	1	28	0.59	1366	12	6	4.07
1353	9	17	0.05	1367	1	17	0
1354	10	20	5.77	1371	2	19	10.44
1355	4	15	0.27	1371	12	25	2.71
1355	3	25	0.39	1373	1	30	3.79
1355	5	25	0.45	1375	1	27	3.35
1355	2	13	10.67	1376	1	12	0.59
1355	12	18	5.19	1377	2	6	7.86
1356	7	18	0.66	1376	12	24	0.47
1359	11	26	3.90	1376	8	14	3.65
1359	12	17	2.26	1379	1	23	1.52
1360	4	30	3.60	1380	1	7	6.81
1360	2	26	2.98	1380	1	12	1.28
1360	1	22	0.89	1380	11	13	0.04
1360	1	18	1.61	1383	1	10	0.26
1360	9	29	0.09	1392	3	20	0.33
1361	1	21	2.37	1391	12	16	0.04
1361	2	5	5.30	1391	11	10	0.03
1362	1	28	1.02	1392	6	27	0.30
1361	12	21	2.50	1392	5	27	0.10
1361	12	15	27.73	1392	2	24	0.36
1361	11	26	1.54	1392	4	25	0.07
1362	6	14	0.073				

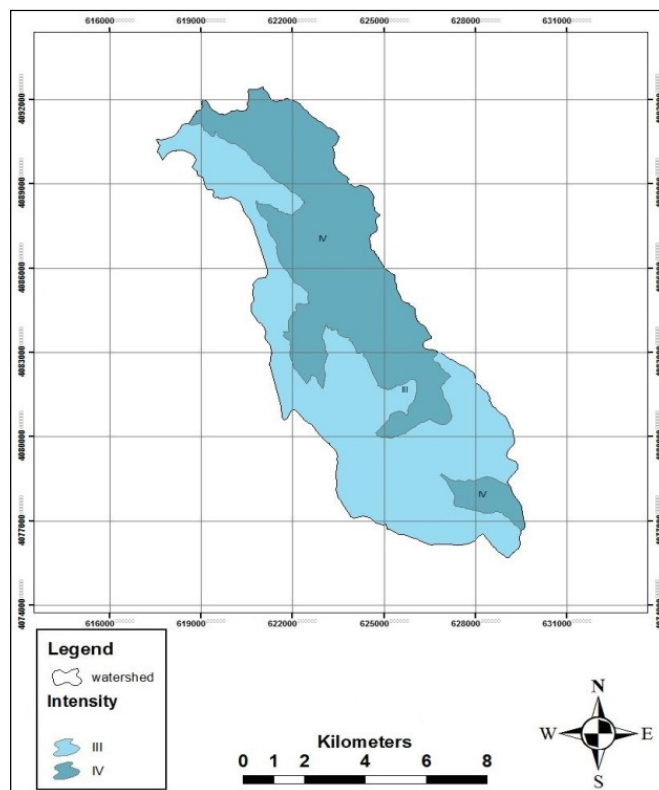
بهره‌برداری و نوع کاربری مناسب نباشد، شیب مهم‌ترین عاملی خواهد بود که فرسایش را تحت تاثیر قرار می‌دهد (شکل ۱۱). سایر عوامل به ترتیب اهمیت پوشش‌زمین، خاک‌شناسی، فرسایش رودخانه‌ای، زمین‌شناسی و آب و هوا هستند. با توجه به مطالعات و نقشه زمین‌شناسی حوضه، بیش‌ترین واحدهای زمین‌شناسی این حوضه را سنگ‌های آذرین بیرونی (تراکی‌آندزیت و آندزیت) تشکیل می‌دهد (۶۳ درصد با حساسیت به فرسایش نسبتاً یکسان با توجه به بازدیدهای صحرائی) و با توجه به اینکه حساسیت این واحدها در برابر فرسایش نسبتاً کم است، لذا واحدهای زمین‌شناسی در اکثر زیرحوضه‌ها نقش چندانی در میزان فرسایش زیرحوضه‌ها ندارند.

همان‌طور که در جدول ۹ مشاهده می‌شود درجه یا شدت رسوب‌دهی در زیرحوضه‌های مختلف از ۵۸/۶۱ تا ۹۹/۶۱ متغیر بوده و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به زیرحوضه E6 است در حالی که زیرحوضه E7 کمترین شدت رسوب‌دهی را نشان می‌دهد. هم‌چنین مقادیر تولید رسوب از الگوی مشابه و متناسب با مقادیر R تبعیت کرده و از کمترین مقدار تولید رسوب در زیرحوضه E7 به میزان ۲/۵۶ تن در هکتار در سال تا بیش‌ترین مقدار تولید رسوب در زیرحوضه E6 با میزان ۹/۰۰ تن در هکتار در سال متغیر است. هم‌چنین کاربری زمین، وضعیت فرسایش فعلی و رواناب از مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرسایش و تولید رسوب در اکثر زیرحوضه‌ها است.

شیب یکی دیگر از عوامل مهم و مؤثر در فرسایش است و در صورتی که عواملی از قبیل پوشش گیاهی، مدیریت

جدول ۹. امتیاز عوامل نه‌گانه، درجه و میزان رسوبدهی زیرحوضه‌ها در مدل پسیاک اصلاحی در حوضه آبریز عشق‌آباد- سوله

میزان رسوبدهی (تن در هکتار)	درجه رسوبدهی (R)	فرسایش رودخانه‌ای (Y9)	وضعیت فعلی فرسایش (Y8)	کاربری اراضی (Y7)	پوشش سطح زمین (Y6)	توپوگرافی (Y5)	رواناب (Y4)	آب و هوا (Y3)	خاک‌شناسی (Y2)	زمین‌شناسی (Y1)	زیر حوضه‌ها
3.62	73.89	5.68	13.75	14.16	9.26	10.63	9.47	2.82	3.83	4.03	E1
4.02	76.78	6.49	13.81	14.16	9.26	11.55	10.88	3.10	3.83	4	E2
5.94	87.66	8.69	14.24	14.16	9.26	15.85	13.72	3.92	3.83	4	E3
5.51	85.60	7.50	14.10	14.35	9.46	12.98	12.93	3.36	6.67	4.25	E4
4.23	78.22	8.56	14.40	17.60	6.44	11.45	8.08	3.50	6.47	4.27	E5
9	99.61	11.95	13.47	17.37	6.26	11.72	23.81	3.62	6.67	4.44	E6
4.22	78.16	6.88	11.71	18.37	3.82	6.44	19.14	3.22	6.67	1.91	E7
3.34	71.17	4.52	13.32	15.67	9.15	8.67	8.03	1.72	6.65	3.98	E8
4.56	80.31	11.22	13.37	16.69	10.62	7.36	7.98	1.86	6.67	4.54	E9
3.95	76.38	10.27	13.43	17.34	2.29	7.98	9.09	4.58	6.67	4.72	E10
3.64	74.11	5.87	12.28	17.97	6.53	5.65	11.78	3.46	6.67	3.89	E11
3.06	69.32	4.15	12.21	17.15	6.66	4.57	12.12	2.60	6.67	3.19	E12
2.94	68.14	5.67	11.13	18.57	4.15	6.13	10.97	2.24	6.67	2.61	E13
4.64	80.79	5.30	12.56	17.77	7017	7.03	15.87	4.14	8.17	2.79	E14
3.68	74.42	1.80	12.66	16.31	11.39	8.90	8.95	3.32	8.17	2.93	E15
5.01	82.94	7.91	14.28	14.58	8.58	14.88	9.17	2.60	6.83	4.11	E'1
5.33	84.64	7.52	13.92	16.34	8.06	12.92	13.04	2.10	6.33	4.45	E'2
3.96	76.39	10.09	11.82	18.23	4.22	12.94	6.12	1.74	6.67	4.56	E'3
2.48	63.41	4.97	11.59	17.96	4.09	7.10	7.04	1.56	6.67	2.44	E'4
2.15	59.47	2.72	11.72	17.51	4.95	3.14	7.46	1.42	8.17	2.38	E'5
2.09	58.71	2.13	12.03	18.03	6.31	3.40	5.80	1.56	6.67	2.78	E'6
2.08	58.61	2.86	12.11	17.52	5.12	4.09	6.46	1.38	6.67	2.04	E'7
2.49	63.56	5.16	12.13	17.28	4.31	4.46	7.29	1.34	8.17	3.42	E'8
2.56	64.30	2.76	11.18	17.31	6.54	4.61	8.63	1.96	8.17	2.52	E'9



شکل ۱۱. نقشه شدت فرسایش حوضه آبریز عشق‌آباد- سوله



## نتیجه‌گیری

نتایج مدل پسیاک اصلاحی نشان می‌دهد که  $46/79\%$  (معادل  $3807/1751$  هکتار) در رده IV طبقه‌بندی فرسایش با رسوب‌زایی زیاد و  $53/2\%$  ( $4329/3249$  هکتار) در رده III طبقه‌بندی فرسایش با رسوب‌زایی متوسط طبقه‌بندی می‌شود. هم‌چنین میانگین تولید رسوب بر اساس مدل پسیاک اصلاحی به ترتیب  $5/4$  تن در هکتار (رده فرسایش IV) و  $2/844$  تن در هکتار (رده فرسایش III) محاسبه شد. بررسی عوامل ۹ گانه در همه زیرحوضه‌ها نشان داد که عامل کاربری زمین با  $22/49\%$  درصد، بیش‌ترین تاثیر را در رسوب‌زایی حوضه دارد و عامل آب و هوا با کمترین امتیاز یعنی  $3/53$  در مرتبه آخر قرار دارد. بیش‌ترین واحدهای زمین‌شناسی در حوضه عشق‌آباد - سوله سنگ‌های آذرین بیرونی (تراکی آندزیت و آندزیت) هستند و از آنجایی‌که این واحدها حساسیت نسبتاً کمی در برابر فرسایش دارند، لذا واحدهای زمین‌شناسی در اکثر زیرحوضه‌ها نقش‌چندانی در میزان فرسایش زیرحوضه‌ها ندارند. اشکال فرسایشی موجود در حوضه به ترتیب اهمیت فرسایش سطحی، کنار رودخانه‌ای، آبراه‌ای، واریزه‌ای و شیاری هستند.

## منابع

احمدی، ح (۱۳۷۴) ژئومورفولوژی کاربردی، جلد اول (فرسایش آبی)، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۸۰ ص.  
امینی، ب.، خان‌ناظر، ن (۱۳۷۷) نقشه زمین‌شناسی مشکان مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.  
تقدیسی‌نیکبخت، س.، محبوبی، الف.، محمودی‌قزائی، م. ح.، خانه‌باد، م.، پاسبان، ع (۱۳۸۹) بررسی پیوستگی‌های رسوبی در طول رودخانه عشق‌آباد - سوله (جنوب‌باختر قوچان). مجموعه مقالات چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی و بیست و هشتمین گردهمایی علوم‌زمین، ۲۵-۲۸ شهریور ۱۳۸۹، دانشگاه ارومیه.  
تقدیسی‌نیکبخت، س.، محبوبی، الف.، محمودی‌قزائی، م. ح.، خانه‌باد، م.، پاسبان، ع (۱۳۸۹) ارزیابی نقش زمین‌شناسی در مدل اصلاح شده پسیاک در تولید رسوب در حوضه آبریز عشق‌آباد - سوله (جنوب‌باختر قوچان) با استفاده از GIS. چهارمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام‌نور مشهد، ص ۱۱۶۸-۱۱۹۱.  
تقدیسی‌نیکبخت، س.، محمودی‌قزائی، م. ح.، محبوبی، الف.، خانه‌باد، م.، پاسبان، ع (۱۳۸۹) رخساره‌های رسوبی و

عناصر ساختاری حوضه آبریز عشق‌آباد- سوله (جنوب باختر قوچان). چکیده مجموعه مقالات بیست و نهمین گردهمایی علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۲۶-۲۷ بهمن، ص ۶۰.  
رزمجو، پ.، بیرویدیان، ن.، چرخایی، الف. ح (۱۳۸۳) بررسی کارایی مدل پسیاک اصلاح شده در برآورد میزان رسوب‌دهی ناحیه البرز جنوبی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم شماره اول، ص ۱۳۷-۱۴۶.  
رفاهی، ح (۱۳۸۵) فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم، ۵۵۱ ص.  
سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۹۶۶) عکس‌های هوایی سیاه و سفید مقیاس ۱:۲۰۰۰۰. بلوک ۷۹، رن ۳ (عکس‌های ۱۷ و ۱۹)، رن ۴ (عکس‌های ۱۹ و ۲۱)، رن ۶ (عکس‌های ۲۱، ۲۳ و ۲۵)، رن ۷ (عکس‌های ۱۹، ۲۱ و ۲۳) و رن ۸ (عکس‌های ۲۱ و ۲۳). ۱۲ برگ.  
سازمان نقشه‌برداری کشور (۱۳۶۱) نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰. شماره‌های 7663 SW, 7663 NE, 7663 NW, 7663 SE. اداره جغرافیایی ارتش. چاپ یکم. چهار ورقه. شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، (۱۳۹۲) داده‌های ایستگاه رسوب‌سنجی چکنه، ۱ ص.  
ضیائی، ح. الف (۱۳۸۰) اصول مهندسی آبخیزداری. انتشارات دانشگاه امام رضا، ۵۴۲ ص.  
فیض‌نیا، س (۱۳۸۷) رسوب‌شناسی کاربردی با تاکید بر فرسایش خاک و تولید رسوب، ۳۶۳ ص.  
گزارش‌های پوشش گیاهی، هواشناسی، هیدرولوژی، خاک‌شناسی و فرسایش حوضه آبریز عشق‌آباد- سوله (۱۳۸۹) شرکت دلتاسازه سناباد. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی.  
غضنفری، پ.، یونس‌زاده جلیلی، س.، قلی‌پوری، ش (۱۳۹۳) بررسی پتانسیل رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز خور و سفیدارک (هشتگرد، کرج) با نگرشی ویژه به اختلاف میان دو مدل EPM و پسیاک اصلاحی. نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۲، شماره ۳، ص ۷۴-۸۷.  
محبوبی، الف.، پاسبان، ع.، محمودی‌قزائی، م. ح.، خانه‌باد، م.، تقدیسی‌نیکبخت، س (۱۳۹۲) کاربرد مدل پسیاک اصلاحی و GIS در برآورد میزان فرسایش: مثالی از حوضه آبریز سرغایه - سرنیش جنوب مشهد. نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۱، شماره ۱، ص ۸۷-۹۹.  
Bartsch, K. P., Van Miegroet, H., Boettinger, J., Dobrowolski, J. P (2002) Using empirical erosion models and GIS to determine erosion risk at Camp Williams. Journal of Soil and Water Conservation, 57: 29-37.  
Daneshfaraz, R., Rahmati, M., Akbari Moghanjiq, P (2017) Soil erosion and sediment mapping in

- Wijesekera, S., Samarakoon, L (2002) Extraction of parameters and modeling soil erosion using GIS in a grid environment. Colombo: Sri Lanka Publishing Company.
- Xu, E., Zhang, H (2013) Spatially-explicit sensitivity analysis for land suitability evaluation. *Applied Geography*, 45: 1-9.
- Aidoghmoush watershed using Mpsiac model and GIS and RS technologies. *Environmental Resources Research*, 5(1): 35-49.
- Falcone, J. A., Carlisle, D. M., Weber, L. C (2009) Quantifying human disturbance in watersheds: variable selection and performance of a GIS-based disturbance index for predicting the biological condition of perennial streams. *Ecological Indicators*
- Jalalian, A., Ghahsareh, A. M., Karimzadeh, H. R (1997) Soil erosion estimation for some watershed in Iran. International Conference on Land, Degradation. Adana Turkey.
- 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.
- Heshmati, M., Arifin, A., Shamshuddin, J., Majid, N. M (2012) Predicting N, P, K and organic carbon depletion in soils using Mpsiac model at the Merek catchment, Iran. *Geoderma*, 175 – 176: 64 – 77.
- Lopez, V. L., Foliott, P. F., Baker, M. B (2001) Impact of vegetative practices on suspended sediment from watershed of Arizona. *Water Resources Planning and Management*, 121: 41-47.
- Mahboubi, A., Taghdisi Nikbakht, S., Mahmudi Gharaee, M. H., Khanehbad, M., Paseban, E (2011) Erosion and sedimentation modeling by Mpsiac method and GIS, A case study of Iran. 23rd Colloquium of African Geology. Abstracts volume. January 8-14. University of Johannesburg. Republic of South Africa. 253 p.
- Nikkami, D., Elektorowicz, M., Mehuys, G (2002) Optimizing the management of soil erosion. *water Quality Resource Journal of Canada*, 37(3): 577-586.
- Ouyang, D., Bartholic, J (2001) Web-Based GIS application for soil erosion prediction. Proceedings of an international symposium - Soil Erosion Research for the 21st Century Honolulu. HI.
- Safamanesh, R., Sulaiman, W. N. A., F. Ramli, M (2006) Erosion Risk Assessment Using an Empirical Model of Pasific South West Inter Agency Committee Method for Zargeh Watershed. Iran. *Journal of Spatial Hydrology*, 6(2): 105-120.
- Szilassi, P. G., Van Romapaey, J. A., Csillag, G (2006) Impacts of historical land use changes on erosion and agricultural soil properties in the KaliBasin at Lake Balaton. Hungary. *Carena*, 68: 96-108.
- Tenerelli, P., Carver, S (2012) Multi-criteria, multi-objective and uncertainty analysis for a gro-energy spatial modelling. *Applied Geography*, 32(2): 724 -736.