

بررسی حساسیت سازندهای زمین‌شناسی نسبت به فرسایش و تولید رسوب در حوزه آبخیز لتیان^۱

مریم زارع خوش‌اقبال^۲

سادات فیض‌نیا^۲

چکیده

در مطالعات فرسایش و حفاظت خاک ویژگی‌های سنگ‌شناسی حوزه آبخیز از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. رفتار سنگ‌های مختلف در مقابل فرسایش متفاوت بوده و بعضی از واحدهای سنگ‌شناسی حساس به فرسایش و مستعد تولید رسوب هستند. رفتار سنگ‌ها و نهشته‌های کواترنر در مقابل هوازگی و فرسایش بستگی به عوامل چندی دارد که بعضی از عوامل مربوط به سرشت سنگ و عوامل دیگر مربوط به محیط خارجی دربرگیرنده سنگ است. در حوزه‌های آبخیز کوچک نقش عوامل مربوط به سرشت سنگ با اهمیت‌تر از عوامل مربوط به محیط خارجی دربرگیرنده سنگ است. عوامل متعدد دیگری مانند ژئومورفولوژی، نوع اقلیم، وضعیت پوشش گیاهی، عامل انسانی و... در فرسایش موثرند. بررسی تمامی عوامل موثر در فرسایش مشکل بوده و کار را پیچیده می‌نماید؛ بنابراین بایستی عوامل موثر را اولویت‌بندی نموده و در نظرگرفت تا واحدهای کاری (ژئومورفولوژی) با اندازه قابل بررسی به دست آمده و از نظر آماری بتوان بین عوامل موثر و آمار رسوب ارتباط برقرار نمود. منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز لتیان و زیرحوزه‌های آن است. با توجه به بررسی‌های اولیه در منطقه مشخص شد که سه عامل مواد زمین‌شناسی، شیب و اقلیم مهم‌ترین عوامل موثر در فرسایش می‌باشند؛ بنابراین این سه عامل مورد بررسی قرارگرفت و با یکدیگر تلفیق شدند تا واحدهای کاری به دست آیند. سپس حساسیت کیفی سنگ‌ها و سازندهای ماقبل کواترنر پیوسته با استفاده از معیارهای روش مقاومتی و سختی توده سنگ سلیبی (۱۹۸۰) به صورت صحرائی تعیین شد. برای تعیین حساسیت کیفی سنگ‌ها و سازندهای ماقبل کواترنر نسبتاً ناپیوسته و سازندهای کواترنر از عامل K در مدل USLE استفاده شد. در مرحله آخر برای کمی کردن فرسایش‌پذیری سازندها از آمار رسوب ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه لتیان استفاده شد.

واژه‌های کلیدی: فرسایش، رسوبزایی، حساسیت به فرسایش، تولید رسوب، هوازگی، حوزه آبخیز لتیان، سازندهای زمین‌شناسی ایران.

^۱ - تاریخ دریافت ۸۰/۱۰/۳۰، تاریخ تصویب نهایی: ۸۲/۴/۳۰

^۲ - استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران (E-mail: sfeiz@chamran.ut.ac.ir)

^۳ - کارشناس ارشد گروه فرسایش و رسوب، دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزها

مقدمه

یکی از جنبه‌های مهم در آبخیزداری، ویژگی‌های زمین اعم از پوشش سنگ و خاک می‌باشد. در مناطقی مثل ایران که اغلب دارای ناهمواری‌های جوان است، ویژگی‌های خاک عمدتاً تابعی از ویژگی‌های سنگ است (فیض‌نیا، ۱۳۷۴). برای اندازه‌گیری شدت فرسایش درحوزه‌های آبخیز از روش‌های تجربی و یا نمونه‌برداری رسوب استفاده می‌شود. در اغلب روش‌های تجربی مثل PSIAC و روش EPM نیاز به این می‌باشد که نقشه زمین‌شناسی منطقه تهیه شده و ویژگی‌های سنگ‌های مختلف تشخیص داده شده و سنگ‌های حوزه آبخیز از این نظر درجه‌بندی و ترتیب‌بندی شوند.

یکی از مشکلات موجود در طرح‌های حفاظت خاک و کنترل فرسایش این است که عموماً شناخت کافی از سنگ‌شناسی حوزه آبخیز وجود ندارد. از طرف دیگر ترتیب‌بندی سنگ‌ها از نظر حساسیت به فرسایش در مدل‌های تجربی با مشکلاتی روبه‌رو است. در این تحقیق سعی گردیده روش مناسبی برای بررسی حساسیت سنگ‌ها و سازندهای زمین‌شناسی به فرسایش ارائه شود که عمدتاً بر پایه بررسی‌های صحرایی، آزمایشگاهی و آمار رسوب متکی بوده و نظرات شخصی و کارشناسی کمتر در آن اعمال گردد.

مواد تشکیل‌دهنده سطح زمین ممکن است از نظر سنی از مواد ماقبل کواترنر و یا مواد کواترنر باشند. مواد ماقبل کواترنر عمدتاً متشکل از سنگ‌ها یا سازندهای پیوسته هستند، اما به مقدار کم شامل واحدهای نسبتاً ناپیوسته نیز هستند (مارن‌ها و خاکسترهای آتشفشانی ...). مواد کواترنر متشکل از خاک یا مواد ناپیوسته برجا و نهشته رسوب یا مواد ناپیوسته انتقالی و نابرجا می‌باشند. نحوه بررسی فرسایش سنگ‌های پیوسته ماقبل کواترنر و مواد ناپیوسته کواترنر و ماقبل کواترنر و خاک متفاوت می‌باشد. در این تحقیق دو دسته مواد فوق از نظر فرسایش مورد بررسی قرار می‌گیرند. در بررسی فرسایش مواد کواترنر تنها نهشته‌های رسوبی و انتقالی کواترنر مورد توجه قرار خواهند

گرفت؛ چون بحث حساسیت به فرسایش خاک‌ها نیاز به بررسی‌های دقیق و جداگانه دارد.

منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز لتیان در شمال شرق تهران در $33^{\circ} 23' 51''$ تا $24^{\circ} 49' 51''$ طول شرقی و $14^{\circ} 46' 35''$ تا $3^{\circ} 24' 36''$ عرض شمالی است. این حوزه از هشت زیرحوزه شامل لوارک، افجه، کند، امامه، گرمابدر، شمشک، آهار و رودک تشکیل شده است (شکل ۱). رودخانه اصلی حوزه جاجرود است که از ارتفاعات البرز سرچشمه می‌گیرد. به طور کلی شش ایستگاه هیدرومتری به شرح زیر در منطقه وجود دارد: لوارک (علی‌آباد)، افجه (نارون)، گلندوک (کند)، امامه (کمرخانی)، جاجرود (رودک) و جاجرود (سد). باتوجه به ناکامل بودن آمار بعضی از ایستگاه‌های هیدرومتری، از چهار زیرحوزه و ایستگاه‌های هیدرومتری آن به شرح زیر استفاده شد: زیرحوزه لوارک (لواسان)، زیرحوزه افجه، زیرحوزه کند و زیرحوزه رودک بزرگ (که دربرگیرنده زیرحوزه‌های امامه، گرمابدر، شمشک، آهار و رودک کوچک است).

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر براساس روند نمای پیش‌بینی شده (شکل ۲) به شرح زیر سامان داده شده است:

۱- تعیین مقدار رسوب:

مقدار رسوب زیرحوزه‌های آبخیز لتیان براساس مطالعات قبلی انجام شده (حیدری‌یان ۱۳۷۳) تعیین شد.

۲- تهیه نقشه واحدهای ناحیه‌ای یا کاری^۱

با توجه به بررسی‌های اولیه مشخص شد که عوامل مواد زمین‌شناسی (سنگ یا سازند)، شیب و اقلیم مهم‌ترین عوامل موثر در فرسایش درحوزه لتیان می‌باشند. سازندهای زمین‌شناسی حوزه لتیان از نظر سنی متعلق به پرکامبرین تا کواترنر و از نظر سنگ‌شناسی متنوع می‌باشند. سازندهای کواترنر منطقه شامل نهشته‌های مخروط‌افکنه و پادگانه (Q_a) و لغزش‌ها و واریزه‌ها (Q_t) هستند. از اینرو برای مشخص کردن واحدهای زمین‌شناسی مهم از نظر حساسیت

^۱ -Terrain Mapping Units

سلیبی (۱۹۸۰) که براساس آن می‌توان اقدام به طبقه‌بندی مقاومت سنگ‌ها نمود به شرح زیر استفاده شد.

طبقه‌بندی سلیبی، طبقه‌بندی مهندسی سنگ است که در آن شش عامل به شرح زیر در صحرا بررسی و نمره‌بندی می‌شوند (جدول ۱).

الف- مقاومت سنگ یکپارچه (بکر، دست‌نخورده یا بی‌عیب Intact) که از طریق مقدار واجهش چکش اشمیت نوع (Normal)N که R خوانده می‌شود، تعیین می‌گردد (جدول ۱). در این مرحله معمولاً بر روی هر نوع سنگ مقدار واجهش چکش اشمیت ده بار خوانده می‌شود سپس داده‌ها از صعودی به نزولی مرتب شده و پنج داده پایین حذف شده و از پنج داده بالا میانگین گرفته می‌شود. هرچه مقدار واجهش چکش اشمیت بیشتر باشد مقاومت سنگ بیشتر بوده و نمره بیشتری به آن داده می‌شود (جدول ۱).

ب- شدت هوازدگی: سنگ‌ها براساس شدت هوازدگی از سنگ تازه و هوازده نشده تا خاک برجای مانده به شش طبقه تقسیم‌بندی می‌شوند. برای این طبقه‌بندی از سه معیار اصلی به شرح زیر استفاده می‌شود: مقدار تغییر رنگ سنگ در اثر هوازدگی، نسبت سنگ به قطعات سنگی باقیمانده، حضور یا عدم حضور بافت و ساخت اولیه سنگ، از اینرو براساس مقدار هوازدگی سنگ، نمره‌بندی مربوط به آن انجام می‌شود (جدول ۱).

ج- فاصله بین درزه‌ها، سطوح لایه‌بندی و گسل‌ها: هرچه درزه‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر باشند، توده سنگ ضعیف‌تر است (جدول ۱). براساس فاصله درزه‌ها، سنگ نامگذاری شده و می‌توان از این طریق مقاومت فشاری (C) و زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) آن را به دست آورد.

د- جهت یافتگی درزه‌ها و شکستگی‌ها و مقدار شیب آنها نسبت به شیب دامنه: براساس اینکه درزه‌ها جهت یافته هستند یا نه و شیب آنها نسبت به شیب دامنه به چه صورت است، سنگ طبقه‌بندی شده و سپس نمره‌بندی می‌گردد (جدول ۱).

ه- عرض درزه‌ها و سطوح لایه‌بندی: براساس عرض درزه‌ها سنگ طبقه‌بندی و نمره‌بندی می‌شود (جدول ۱).

به فرسایش، سنگ‌هایی که از نظر فرسایش رفتار یکسانی داشتند با یکدیگر تلفیق گردیدند و براین اساس نقشه زمین‌شناسی کاربردی و با حذف جزئیات غیرکاربردی تهیه شد.

برای تهیه نقشه شیب از نرم‌افزار ILWIS و ARC-View در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. با بررسی‌های اولیه‌ای که در منطقه انجام شد مشخص گردید که طبقات شیب با فاصله ۱۵ درصد بهترین طبقه‌های شیب را برای منطقه ارائه می‌دهند در نتیجه شش طبقه شیب شامل ۰-۱۰، ۱۰-۳۰، ۳۰-۴۵، ۴۵-۶۰، ۶۰-۷۵ و بیشتر از ۷۵ درصد در نظر گرفته شد.

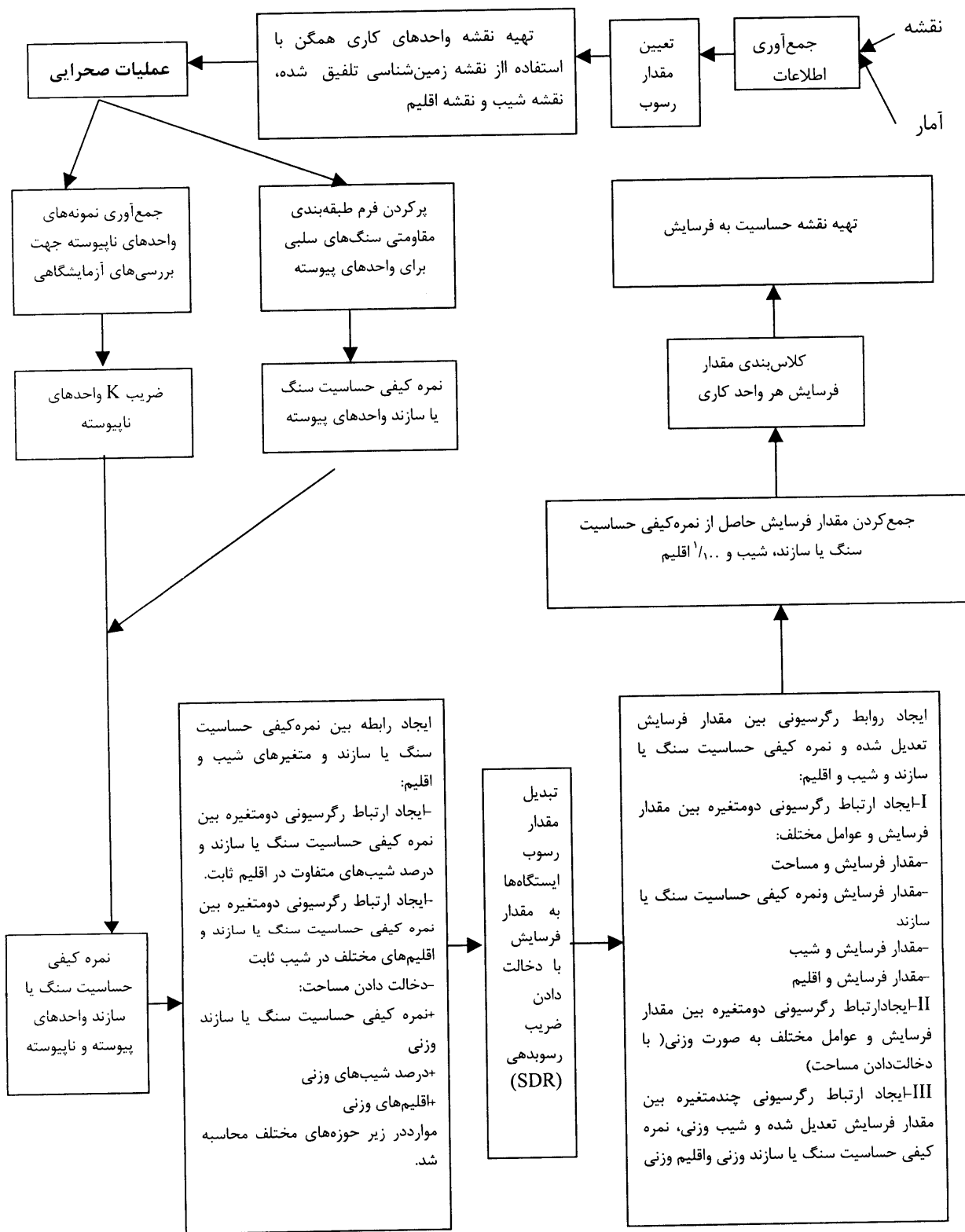
برای تعیین وضعیت اقلیم منطقه از نقشه اقلیم جاماب به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ که در آن روابط بین ارتفاع و بارندگی و ارتفاع و متوسط حرارت گرم‌ترین ماه سال و ارتفاع و متوسط حرارت سردترین ماه سال براساس روش آمبرژه بکار گرفته شده استفاده گردید. اقلیم خرد با یکدیگر تلفیق شد و با تلفیق آنها در کل منطقه دو کلاس اقلیم کلان به صورت زیر در نظر گرفته شد:

اقلیم ۱- نیمه خشک و مدیترانه‌ای عمدتاً در قسمت جنوبی حوزه و اقلیم، ۲- نیمه مرطوب و مرطوب عمدتاً در بخش شمالی حوزه.

پس از تهیه نقشه‌های پایه فوق‌الذکر، نقشه واحدهای کاری از طریق رویهم‌گذاری نقشه‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. در تحقیق حاضر اثر کاربری اراضی با توجه به ایجاد پلی‌گون‌های واحد کاری بسیار کوچک در نظر گرفته نشد. بدیهی است تاثیر یا عدم تاثیر کاربری اراضی در حساسیت سازندها به فرسایش موضوعی است که ضرورت دارد به طور جداگانه مورد بررسی قرار گیرد.

۳- برآورد کیفی فرسایش‌پذیری مواد زمین‌شناسی در صحرا و آزمایشگاه:

مواد زمین‌شناسی به دو دسته سنگ‌ها و سازندهای ماقبل کواترنر و مواد و سازندهای کواترنر تقسیم‌بندی می‌شوند. اغلب سنگ‌ها و سازندهای ماقبل کواترنر پیوسته می‌باشند. به این دلیل برای بررسی حساسیت آنها به فرسایش، روش



شکل ۲- روند نمای (Flow chart) مراحل مختلف بررسی حساسیت به فرسایش و تولید رسوب سنگ‌ها و سازندهای حوزه آبخیز لتیان به روش کیفی و کمی

طبقه‌بندی می‌گردند (جدول ۱). لازم به ذکر است که برای تعیین هر یک از عوامل ششگانه، جداول و نمودارهای خاصی وجود دارد که در منبع فیض‌نیا و زارع خوش‌اقبال (۱۳۸۱) آورده شده‌اند.

و- ممتد بودن یا نبودن جانبی و عمودی درزه‌ها و مقدار پرشدگی آنها (جدول ۱). پیوستگی درزه‌ها به طور کلی با بررسی وضعیت آنها مشخص شده و بر این اساس نمره‌بندی می‌شود.

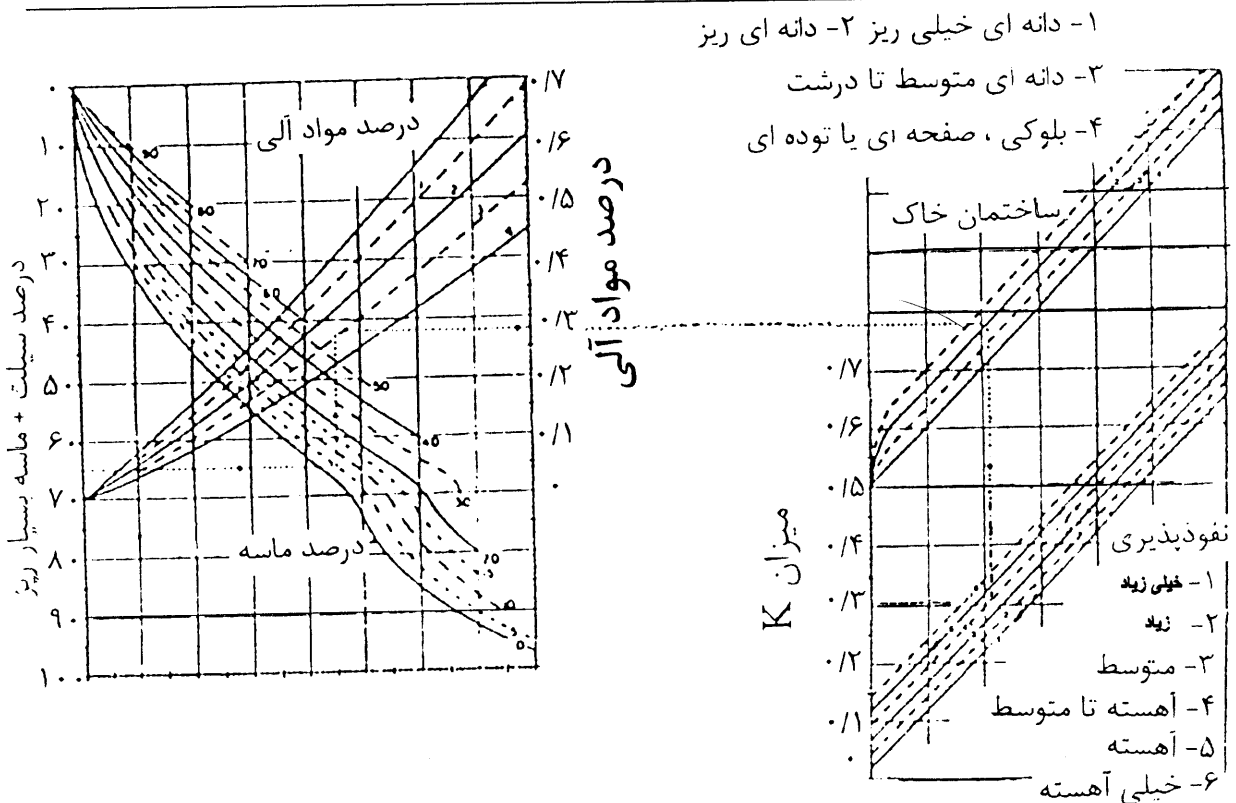
با بررسی شش عامل بالا و نمره‌دادن به هر یک از عوامل، جمع نمرات مشخص شده و سنگ‌ها از نظر مقاومت

جدول ۱- طبقه‌بندی مقاومتی سنگ‌ها (سلبی ۱۹۸۰)

| طبقه‌ها | پارامترها | | | |
|--|--|--|---|---|
| | بسیار نامقاوم | نامقاوم | مقاومت متوسط | مقاوم |
| مقاومت سنگ یکپارچه براساس مقدار واجهش چکش اشمیت® | ۱۰-۳۵ | ۲۵-۴۰ | ۴۰-۵۰ | ۶۰-۱۰۰ |
| | نمره ۵ | ۱۰ | ۱۴ | ۲۰ |
| هوازگی | کاملاً هوازده | هوازگی زیاد | هوازگی متوسط | کمی هوازده |
| | نمره ۳ | ۵ | ۷ | ۹ |
| فاصله بین درزه‌ها | کمتر از ۵۰ میلی‌متر | بین ۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر | بین ۰/۳ تا ۱ متر | بین ۱ تا ۳ متر |
| | نمره ۸ | ۱۵ | ۲۱ | ۲۸ |
| جهت یافتگی درزه‌ها نسبت به شیب دامنه | خیلی نامساعد - درزه‌ها دارای شیب تند بوده، شیب درزه‌ها در خلاف جهت شیب دامنه است | نامساعد- درزه‌ها دارای شیب متوسط بوده، شیب درزه‌ها در خلاف جهت شیب دامنه است | نسبتاً مساعد- درزه‌ها نسبت به دامنه افقی یا تقریباً افقی می‌باشند (فقط در مورد سنگ‌های سخت) | مساعد- درزه‌ها دارای شیب متوسط بوده، شیب درزه‌ها در جهت شیب دامنه است |
| | نمره ۵ | ۹ | ۱۴ | ۱۸ |
| عرض درزه‌ها | بیش از ۲۰ میلی‌متر | ۵ تا ۲۰ میلی‌متر | ۱ تا ۵ میلی‌متر | ۰/۱ تا ۱ میلی‌متر |
| | نمره ۲ | ۴ | ۵ | ۶ |
| پیوستگی درزه‌ها | پیوسته با پرشدگی زیاد | پیوسته با پرشدگی کم | پیوسته، بدون پرشدگی | تعداد کمی از درزه‌ها پیوسته می‌باشند |
| | نمره ۱ | ۴ | ۵ | ۶ |
| جمع نمرات | کمتر از ۲۴ | ۲۵ تا ۴۶ | ۴۷ تا ۶۶ | ۶۷ تا ۸۵ |

عامل فرسایش‌پذیری (K) در روش USLE استفاده شد. برای این کار با استفاده از نتایج دانه‌بندی به روش الک‌تر و هیدرومتری، ترکیب کانی‌شناسی رسوب (به‌جای درصد کربن)، ضریب فرسایش‌پذیری (K) سازندهای با استحکام

از آنجا که بعضی از سنگ‌های ماقبل کواترنر مانند مارن‌ها و خاکسترهای آتشفشانی، استحکام چندانی ندارند از اینرو؛ برای تعیین حساسیت آنها به فرسایش به همراه واحدهای کواترنر که آنها نیز اغلب مستحکم نمی‌باشند، از



شکل ۲- ارزیابی عامل K در مدل USLE

در نمودارهای فوق:

a- درصد سیلت + ماسه ریز (۰/۰۰۲ تا ۰/۱ میلی متر)

b- درصد ماسه (۰/۱ تا ۲ میلی متر)

c- درصد مواد آلی (که در این تحقیق به وسیله ترکیب کانی شناسی و سنگ شناسی یا لیتولوژی نهشته کواترنر جایگزین گردید).

d- کد ساختمان خاک: ۱- دانه‌های خیلی ریز ۲- دانه‌های متوسط تا درشت ۴- بلوکی، صفحه‌ای یا توده‌ای.

e- رده نفوذپذیری پروفیل خاک: ۱- زیاد ۲- متوسط تا زیاد ۳- متوسط ۴- آهسته تا متوسط ۵- آهسته ۶- خیلی آهسته.

همچنین با توجه به اینکه نهشته‌های کواترنر و مارن‌های منطقه نسبتاً ریزدانه و عمدتاً فاقد قطعات درشت‌دانه (قلوه‌سنگ، تخته سنگ و...) بودند استفاده از دو رده دانه‌بندی (a و b در شکل ۳) نیز مناسب تشخیص داده شد.

۴- ایجاد روابط رگرسیونی بین نمره کیفی حساسیت سنگ یا سازند و عوامل موثر

در این مرحله ابتدا ارتباط رگرسیونی دو متغیره بین نمره کیفی حساسیت سنگ یا سازند و درصد شیب‌های متفاوت در اقلیم ثابت و ارتباط رگرسیونی دو متغیره بین نمره کیفیت حساسیت سنگ یا سازند و اقلیم‌های مختلف

کم به دست آمد و با اعمال تمهیدات کارشناسی و استفاده از نمودار عامل K در مدل USLE نمره کیفی حساسیت واحدهای با استحکام کم در راستای تغییرات نمره کیفی حساسیت واحدهای مستحکم نیز به دست آمد (شکل ۳). به طوری که منحنی‌های درصد مواد آلی به وسیله ترکیب کانی‌شناسی نهشته کواترنر جایگزین شد؛ به طور مثال در مواردی که مواد زمین‌شناسی حاوی کانی‌ها و قطعات سنگی بسیار مقاوم مثل کوارتز و کوارتزیت باشد از منحنی درصد مواد آلی ۴ درصد و به ترتیب در مواردی که مقدار مواد مقاوم کمتر و مقدار مواد نامقاوم بیشتر بود از منحنی مواد آلی ۳، ۲، ۱ و صفر درصد استفاده شد.

ضریب رسوبدهی در جدول ۴ آورده شده است. نتایج حاصل از ایجاد روابط رگرسیونی بین میزان فرسایش و عوامل موثر در زیرحوزه‌ها به شرح زیر می‌باشد.

۱- روابط رگرسیون دومتغیره و چندمتغیره بین مقدار فرسایش و عوامل مختلف:

۱-۱- رگرسیون دومتغیره بین مقدار فرسایش و مساحت

وزنی

Y مقدار فرسایش

$$Y = 13/17x_1 + 9420/6$$

$$R^2 = 0/992 \quad \text{Adjusted } R^2 = 0/989$$

۱-۲- رگرسیون دومتغیره بین مقدار فرسایش و نمره

کیفی حساسیت سنگ یا سازند وزنی.

$$Y = 99694/8x_2 - 5689714$$

$$R^2 = 0/497 \quad \text{Adjusted } R^2 = 0/246$$

۱-۳- رگرسیون دومتغیره بین مقدار فرسایش و شیب

وزنی

$$Y = 756323/4x_3 - 2083127$$

$$R^2 = 0/786 \quad \text{Adjusted } R^2 = 0/68$$

۱-۴- رگرسیون دومتغیره بین مقدار فرسایش و اقلیم

وزنی

$$Y = -1846391 x_4 + 2447947/9$$

$$R^2 = 0/727 \quad \text{Adjusted } R^2 = 0/591$$

به طور کلی مشاهده می‌شود چهار متغیر مستقل در حوزه در نظر گرفته شدند و روابط نشان می‌دهد که بیشترین همبستگی بین مقدار فرسایش و مساحت وجود دارد (حدود ۰/۹۹) و چون مساحت نقشی در حساسیت به فرسایش ندارد، با حذف آن، رابطه چندمتغیره بین مقدار فرسایش و متغیرهای مستقل دیگر برقرار گردید (رابطه ۵-۱).

$$Y = 84394/6x_2 - 475459/8x_3 - 2726583x_4 - 56600/5$$

$$R^2 = 1 \quad \text{Adjusted } R^2 = 1 \quad \text{رابطه ۵-۱}$$

X_2 نمره کیفی حساسیت سنگ یا سازند وزنی، X_3

شیب وزنی و X_4 اقلیم وزنی.

شایان ذکر است که برای در نظر گرفتن نقش مساحت

باید آن را به نحوی در فرسایش زیرحوزه‌ها تاثیر داد. به این

در شیب ثابت برقرار شد (شکل ۲). سپس با در نظر گرفتن مساحت، این ارتباط به صورت وزنی و به شرح زیر به دست آمد: در هر واحد کاری به ترتیب نمره کیفی حساسیت سنگ یا سازند، درصد شیب و اقلیم در مساحت آن واحد کاری ضرب شده، سپس با تقسیم اعداد به دست آمده بر مجموع مساحت‌ها، نمره کیفی حساسیت سنگ یا سازند وزنی، درصد شیب وزنی و اقلیم وزنی در زیرحوزه‌های لوارک، افجه، کند و رودک بزرگ به دست آمد.

۵- تبدیل مقدار رسوب ایستگاه‌ها به مقدار فرسایش با دخالت دادن ضریب رسوبدهی

برای این منظور با استفاده از منابع، ضریب رسوبدهی (S.D.R) ۰/۸ استفاده شد.

۶- ایجاد روابط رگرسیونی بین مقدار فرسایش و عوامل موثر در زیرحوزه‌ها

برای به دست آوردن ارتباط بین مقدار فرسایش و عوامل موثر، ابتدا رگرسیون دو متغیره بین مقدار فرسایش و عوامل مختلف و سپس رگرسیون چندمتغیره بین مقدار فرسایش و نمره کیفی حساسیت وزنی، شیب وزنی و اقلیم وزنی برقرار شد.

۷- تهیه نقشه حساسیت به فرسایش:

با استفاده از روابط رگرسیونی به دست آمده، مقدار فرسایش در هر واحد کاری محاسبه شده و منطقه از نظر فرسایش به چندین کلاس طبقه‌بندی شد و در نهایت نقشه حساسیت به فرسایش تهیه گردید.

نتایج

حوزه آبخیز لتیان دارای ۱۱۸ واحد همگن کاری است. بخشی از نتایج نمره کیفی حساسیت مواد زمین‌شناسی پیوسته به روش سلبی در جدول ۲ آورده شده است. بقیه نتایج در منبع فیض‌نیا و زارع خوش‌اقبال (۱۳۸۱) موجود است. نتایج نمره کیفی حساسیت مواد زمین‌شناسی ناپیوسته در جدول ۳ آورده شده است. نتایج ایجاد روابط رگرسیونی بین نمره کیفی حساسیت سنگ یا سازند با عوامل موثر در جدول ۴ نشان داده شده است. همچنین نتایج تبدیل مقدار رسوب به مقدار فرسایش با دخالت دادن

۱-۸- رگرسیون دومتغیره بین مقدار فرسایش تعدیل شده و شیب وزنی

$$Y = -116.69/5X_3 + 10.9804/3$$

$$R^2 = 0.029 \quad \text{Adjusted } R^2 = -0.457$$

۱-۹- رگرسیون دومتغیره بین مقدار فرسایش تعدیل شده و اقلیم وزنی

$$Y = 1000.5/9X_4 + 641779/0.4$$

$$R^2 = 0 \quad \text{Adjusted } R^2 = -0.15$$

۱-۱۰- رگرسیون چندمتغیره بین مقدار فرسایش تعدیل شده و نمره کیفی حساسیت وزنی، شیب وزنی و اقلیم وزنی

$$Y = 60.69/0.7X_2 - 48.770.3X_3 - 1178233X_4 + 25941213$$

$$R^2 = 1 \quad \text{Adjusted } R^2 = 1$$

دلیل با دخالت دادن مساحت، روابط زیر به دست آمده اند که در آنها مقدار فرسایش با توجه به مساحت در هر زیرحوزه تعدیل شده است (جدول ۴).

۱-۶- رگرسیون دومتغیره بین مقدار فرسایش تعدیل شده و مساحت

$$Y = -1/68X_1 + 682925$$

$$R^2 = 0.025 \quad \text{Adjusted } R^2 = -0.462$$

۱-۷- رگرسیون دومتغیره بین مقدار فرسایش تعدیل شده و نمره کیفی حساسیت وزنی

$$Y = -30.749/3X_2 + 24811735/1$$

$$R^2 = 0.073 \quad \text{Adjusted } R^2 = -0.391$$

جدول ۲- نتایج نمره کیفی حساسیت مواد زمین شناسی پیوسته

| ردیف | شماره نمونه | زیر حوزه | روستا | واحدکاری* | طول و عرض جغرافیایی | ارتفاع (متر) | نمره (۱) مقدار واجهش چکش اشمنت (R) | نمره هوازدگی (۲) | نمره فاصله بین درزه‌ها (۳) | نمره جهت‌یافتگی درزه‌ها نسبت به شیب دامنه (۴) | نمره عرض درزه‌ها (۵) | نمره پیوستگی درزه‌ها (۶) | نمره کل سلبی یا نمره کیفی حساسیت مواد مستحکم | کاربری اراضی** |
|------|-------------|----------|-----------------------|-----------|----------------------|--------------|------------------------------------|------------------|----------------------------|---|----------------------|--------------------------|--|----------------|
| ۱ | ۱ | افجه | افجه | PE۴۱ | ۵۱/۴۵/۳۰ ۳۵/۵۳ | | ۵ | ۸ | ۱۴ | ۱۴ | ۴ | ۳ | ۴۸ | MP |
| ۲ | ۲ | افجه | به طرف برگ جهان | EKST۳۱ | ۵۱/۴۲ ۳۵/۵۲ | | ۱۴ | ۷ | ۲۱ | ۱۷ | ۴ | ۵ | ۶۸ | A |
| ۳ | ۴ | افجه | به طرف برگ جهان | Ig۳۱ | ۵۱/۴۳ ۳۵/۵۱ | | ۱۸ | ۹ | ۱۵ | ۱۴ | ۵ | ۶ | ۶۷ | R |
| ۴ | ۶ | گرما بدر | معدن خاتون شمالی | Pr۴۱ | ۵۱/۳۹/۴۶ ۳۵/۵۹/۲۷ | | ۱۴ | ۷ | ۱۵ | ۱۸ | ۳ | ۴ | ۶۱ | Bp |
| ۵ | ۱۰ | گرما بدر | آب‌نیک | G۳۱ | ۵۱/۳۷/۱۱ ۳۵/۵۹/۱۳ | | ۱۴ | ۷ | ۱۵ | ۹ | ۲ | ۳ | ۵۰ | Bp/A |
| ۶ | ۱۱ | گرما بدر | زاگون | El۲۱ | ۵۱/۳۵/۴۷ ۳۵/۵۸/۴۶ | | ۱۸ | ۹ | ۲۱ | ۱۶ | ۲ | ۶ | ۷۲ | Bp |
| ۷ | ۲۱ | میگون | بالا تر از میگون | El۲۱ | ۵۱/۲۸/۵۲ ۳۵/۵۹/۳۲ | ۲۴۶۸ | ۱۸ | ۹ | ۱۵ | ۱۸ | ۲ | ۵ | ۶۷ | Bp |
| ۸ | ۲۲ | میگون | نزدیک روستای روته | Pdo۴۱ | ۵۱/۲۸/۵۱ ۳۵/۵۹/۴۲ | ۲۴۶۸ | ۱۴ | ۹ | ۲۱ | ۱۶ | ۲ | ۵ | ۶۷ | Bp |
| ۹ | ۲۳ | میگون | درود | Pd۲۱ | ۵۱/۲۹/۵۶ ۳۶/۰۰/۲۱ | ۲۴۴۲ | ۱۴ | ۵ | ۱۵ | ۱۴ | ۴ | ۴ | ۵۶ | Bp/A |
| ۱۰ | ۲۴ | میگون | نزدیک روستای دربندسر | G۲۱ | ۵۱/۲۸/۴۰ ۳۶/۰۰/۵۶ | ۲۵۴۸ | ۱۸ | ۵ | ۲۱ | ۵ | ۲ | ۱ | ۵۲ | A |
| ۱۱ | ۲۵ | میگون | قبل از دوراهی شمشک | Md۳۱ | ۵۱/۲۸/۵۲ ۳۵/۵۹/۱۲ | ۲۴۱۵ | ۱۴ | ۹ | ۱۵ | ۱۴ | ۲ | ۶ | ۶۰ | Bp |
| ۱۲ | ۲۶ | میگون | بعد از دربندسر | MI۵۱ | ۵۱/۲۸/۵۸ ۳۵/۵۸/۳۸ | ۲۴۱۵ | ۱۴ | ۷ | ۱۵ | ۹ | ۲ | ۴ | ۵۱ | R |
| ۱۳ | ۲۹ | میگون | دربندسر | Pd۲۱ | ۵۱/۲۸/۱۰ ۳۶/۰۰/۳۸ | ۲۶۲۷ | ۱۸ | ۷ | ۱۵ | ۱۴ | ۴ | ۴ | ۶۲ | Bp/A |
| ۱۴ | ۳۲ | میگون | بعد از شمشک | JS۵۱ | ۵۱/۲۹/۰۵ ۳۶/۰۰/۴۲ | ۲۵۱۴ | ۵ | ۵ | ۸ | ۱۴ | ۵ | ۴ | ۴۱ | Bp/A |
| ۱۵ | ۴۶ | گرما بدر | زاگون | Ps۴۱ | ۵۱/۳۵/۱۶ ۳۵/۵۸/۲۰ | ۲۲۴۵ | ۵ | ۷ | ۱۵ | ۵ | ۲ | ۶ | ۴۰ | Bp |
| ۱۶ | ۵۵ | امامه | ابتدای مسیر فشم-امامه | EKst۲۱ | ۵۱/۳۲/۰۱ ۳۵/۵۵/۰۸ | ۱۹۸۷ | ۱۴ | ۷ | ۲۱ | ۹ | ۵ | ۷ | ۶۳ | Bp |

*اطلاعات راجع به هر واحد کاری در منبع فیض‌نیا و زارع‌خوش‌اقبال (۱۳۸۱) موجود است.
**کاربری اراضی: MP مرتع متوسط، BP مرتع ضعیف، A اراضی کشاورزی، R مناطق بدون کاربری

جدول ۳- نتایج نمره کیفی حساسیت مواد زمین‌شناسی تاپو بسته

| کاربری اراضی ** | نمره k در راستای ابعاد سلی یا نمره کیفی حساسیت مواد زمین‌شناسی | نمره k | (۵) عامل نفوذپذیری | (۴) عامل ساختمان | (۳) عامل ترکیب کانی‌شناسی (جایگزین درصد مواد آلی) | (۲) عامل درصد ماسه | (۱) عامل درصد سیلت+ماسه ریز | طول و عرض جغرافیایی | واحدکاری * | شماره نمونه | ردیف |
|-----------------|--|--------|--------------------|------------------|---|--------------------|-----------------------------|---------------------|------------|-------------|------|
| BP | ۲۹ | ۰/۵ | ۲ | ۴ | ۰ | ۲۲/۵۶ | ۵۱/۳ | ۵۱ ۴۷ | Mur21 | ۷۰ | ۱ |
| BP | ۲۷ | ۰/۵۳ | ۲ | ۳ | ۱ | ۴۲/۷ | ۱۶/۸۶ | ۵۱ ۴۷ | Mur31 | ۱۰۰ | ۲ |
| MP | ۲۶ | ۰/۵۴ | ۶ | ۴ | ۰ | ۲۷/۶۷ | ۵۰/۶۹ | ۵۱ ۴۲ | Mur41 | ۱۱ | ۳ |
| A | ۳۳ | ۰/۴۵ | ۲ | ۳ | ۱ | ۱۰/۵۷ | ۲۳ | ۵۱ ۳۹ | Js11 | ۵۷ | ۴ |
| A | ۶۲ | ۰/۱۱۷ | ۱ | ۱ | ۰ | ۱۰ | ۵۰ | ۵۱ ۲۱ | Qa11 | ۷۴ | ۵ |
| BP | ۵۶ | ۰/۲۵ | ۳ | ۲ | ۱ | ۲۵/۶۵ | ۳۳ | ۵۱ ۴۴ | Qa12 | ۱۱۹ | ۶ |
| BP | ۵۶ | ۰/۲۵ | ۲ | ۲ | ۱ | ۲۹/۴۵ | ۴۲/۵ | ۵۱ ۴۹ | Qa22 | ۸۸ | ۷ |
| A | ۵۹ | ۰/۲ | ۵ | ۳ | ۱ | ۲۹/۵ | ۲۹/۲ | ۵۱ ۴۴ | Qa31 | ۱۰۹ | ۸ |
| BP | ۵۶ | ۰/۲۵ | ۲ | ۱ | ۱ | ۵۷/۵ | ۲۵/۵۵ | ۵۱ ۴۹ | Qa32 | ۸۷ | ۹ |
| BP | ۵۸ | ۰/۲۳ | ۵ | ۲ | ۱/۱ | ۲۱/۴ | ۵۰ | ۵۱ ۴۴ | Qa41 | ۷۳ | ۱۰ |

ادامه جدول ۳-

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|--|------|---|---|------|------|--|-------|-------|----|----|-----|-------------------------|-----|----|
| A | ۴۴ | | ۰/۳۲ | ۱ | ۲ | | | | ۲۷/۹۳ | ۲۲/۱۵ | ۵۱ | ۳۲ | ۰/۵ | Qr ¹¹ | ۷۵ | ۱۱ |
| A | ۴۶ | | ۰/۳ | ۱ | ۱ | | -۰/۷ | | ۴۰ | ۵۰ | ۵۱ | ۳۵ | | Qr ²¹ | ۸۰ | ۱۲ |
| BP | ۴۱ | | ۰/۳۹ | ۴ | ۱ | ۲ | | | ۵۲ | ۶۹/۱۷ | ۵۱ | ۲۶ | ۰/۵ | Qr ³¹ | ۸۱ | ۱۳ |
| BP | ۴۳ | | ۰/۳۵ | ۴ | ۲ | -۰/۹ | | | ۳۷/۳ | ۴۴ | ۵۱ | ۳۶ | | Qr ⁴¹ | ۸۲ | ۱۴ |
| BP | ۴۲ | | ۰/۳۷ | ۲ | ۲ | -۰/۶ | | | ۶۱/۱۲ | ۲۶/۶۳ | ۵۱ | ۳۳ | ۰/۵ | Qr ⁶¹ | ۸۳ | ۱۵ |
| A | ۶۰ | | ۰/۱۹ | ۱ | ۱ | ۲ | | | ۲۵/۴۶ | ۵۵ | ۵۱ | ۴۱ | | PLQ12 | ۱۰۵ | ۱۶ |
| A | ۶۶ | | ۰/۱۲ | ۳ | ۲ | ۱ | | | ۱۷ | ۲۹/۵ | ۵۱ | ۴۴ | ۱/۶ | PLQ21 | ۱۱۴ | ۱۷ |
| D | ۶۴ | | ۰/۱۵ | ۱ | ۱ | ۱/۵ | | | ۳۰/۵ | ۴۶ | ۵۱ | ۴۰ | ۰/۵ | PLQ22 | ۱۰۶ | ۱۸ |
| MP | ۶۲ | | ۰/۱۷ | ۴ | ۲ | ۰/۷ | | | ۳۳/۱ | ۲۸/۳ | ۵۱ | ۳۳ | ۵۵ | PLQ32 | ۱۱۵ | ۱۹ |
| MP | ۵۰ | | ۰/۲۸ | ۲ | ۴ | ۰/۵ | | | ۲۰ | ۴۸ | ۵۱ | ۳۷ | ۰/۵ | Ek _n مارن | ۱۱۳ | ۲۰ |
| BP | ۶۰ | | ۰/۱۹ | ۱ | ۱ | ۲ | | | ۲۵/۵ | ۵۵ | ۵۱ | ۴۴ | ۳۸ | Qa21 | ۱۱۶ | ۲۱ |
| BP | ۵۴ | | ۰/۲۷ | ۳ | ۲ | ۱/۲ | | | ۴۹ | ۳۷ | ۵۱ | ۳۳ | ۵۱ | Qa42 | ۱۱۷ | ۲۲ |
| A | ۶۱ | | ۰/۱۸ | ۱ | ۱ | ۱/۱ | | | ۳۱/۵ | ۴۶ | ۵۱ | ۳۲ | ۵۱ | Qa61 | ۱۱۸ | ۲۳ |
| | | | | | | | | | | | ۳۵ | ۴۹ | ۱/۶ | | | |

**کاربری اراضی: MP- مرتع متوسط، BP- مرتع ضعیف، A- اراضی کشاورزی، D- دیمزار اطلاعات راجع به هر واحدکاری در منبع قبضینیا و زارع خوش اقبال (۱۳۸۱) موجود است.

جدول ۴- نتایج محاسبه عوامل مختلف با میزان فرسایش اصلاح شده برحسب مساحت در زیرحوزه‌های حوزه لتیان

| زیرحوزه | رسوب (تن درسال) | مساحت (هکتار) | نسبت مساحت زیرحوزه به کل | رسوب اصلاح شده بامساحت (تن در سال) | ۲۰ درصد رسوب اصلاح شده با مساحت (تن در سال) | مقدار فرسایش اصلاح شده با مساحت (تن درسال) | نمره کیفی حساسیت وزنی | شیب وزنی | اقلیم وزنی |
|-----------|-----------------|---------------|--------------------------|------------------------------------|---|--|-----------------------|----------|------------|
| لوارک | ۹۵۲۲۷ | ۱۰۳۳۴ | ۰/۲۲ | ۳۰۰۳۷۷/۴ | ۶۰۰۷۵/۵ | ۳۶۰۴۵۲/۹ | ۵۹/۱ | ۳/۰۲ | ۱/۳۴ |
| افجه | ۵۸۰۹۷ | ۴۲۹۷/۵ | ۰/۰۹ | ۶۴۵۵۹۲/۲ | ۱۲۹۱۰۴/۴ | ۷۷۴۶۲۶/۶ | ۶۰ | ۲/۷ | ۱/۳۴ |
| کند | ۱۰۷۹۰۳ | ۷۲۲۹/۸ | ۰/۱۵ | ۷۰۴۸۸۱/۲ | ۱۴۰۹۷۶/۳ | ۸۴۵۸۵۷/۵ | ۵۷/۰۹ | ۳/۰۹ | ۱/۱۶ |
| رودک بزرگ | ۵۲۸۴۲۳ | ۴۷۲۲۹ | ۱ | ۵۲۸۴۲۳ | ۱۰۵۶۸۴/۶ | ۶۳۴۱۰۷/۶ | ۶۱/۶ | ۳/۴۶ | ۱/۰۵ |

رگرسیون‌های زیربند به شرح بیان شده با اطمینان بیشتری قابل دستیابی و استفاده می‌تواند باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق هدف این بوده است که از بین همه عوامل موثر در فرسایش و تولید رسوب در یک حوزه آبخیز، حساسیت سازندها نسبت به فرسایش و رسوبدهی بررسی شود. در این راستا دو جنبه به شرح زیر مدنظر بوده است:

الف) - ارائه روش یا روش‌هایی برای رتبه‌بندی و ترتیب‌بندی درست سازندها از نظر حساسیت به فرسایش به طوری که امتیازدهی به عامل زمین‌شناسی در روش‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز را عملی‌تر و علمی‌تر نماید.

ب) - اندازه‌گیری مقدار رسوبدهی و فرسایش سازندها و سنگ‌های یک حوزه آبخیز.

در چهارچوب جنبه اول باید توجه داشت که تاکنون در دنیا تعدادی روش ارائه شده که بسیاری از آنها ناقص بوده و یا وابسته به نظرات کارشناسی هستند. بنابراین ضرورت دارد برای تعیین عامل زمین‌شناسی روش یا روش‌هایی در نظر گرفته شوند که با انجام چند آزمایش ساده صحرایی بتوان سازندهای زمین‌شناسی را رتبه‌بندی نمود. به طوری که اگر شخص دیگری در همان منطقه اقدام به رتبه‌بندی و امتیازدهی به عامل زمین‌شناسی نماید به جواب یکسانی برسد. لازمه دستیابی به این هدف معرفی این معیارها و نحوه تعیین آنها است.

برای تهیه نقشه حساسیت به فرسایش، با استفاده از روابط رگرسیونی به دست آمده می‌توان سه محدوده اطلاعاتی جدید در جدول واحدهای کاری به شرح زیر ایجاد شد:

مقدار فرسایش برحسب نمره کیفی حساسیت، مقدار فرسایش برحسب نمره درصد شیب و مقدار فرسایش برحسب اقلیم در هر زیرحوزه. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه اقلیم نقش فرعی‌تری در حساسیت سازندها به فرسایش و تولید رسوب دارد، به اقلیم ارزش ۱/۱۰۰ داده شد. سپس داده‌های به دست آمده از مقدار فرسایش برحسب نمره کیفی حساسیت، مقدار فرسایش برحسب درصد شیب و ۱/۱۰۰ مقدار فرسایش برحسب اقلیم با یکدیگر جمع شد و مقدار فرسایش کل (در هر واحد کاری، بدون در نظر گرفتن مساحت) محاسبه شد. با مرتب نمودن داده‌ها که مشخص می‌نماید مقدار فرسایش هر واحد کاری بدون در نظر گرفتن مساحت به چه مقدار است، منطقه مورد مطالعه به ۲۰ کلاس فرسایشی تقسیم‌بندی و نقشه حساسیت سازندهای زمین‌شناسی به فرسایش تهیه گردید (جدول ۵ و شکل ۴). با توجه به مجموع مطالب بیان شده و تهیه نقشه مربوطه می‌توان مقدار فرسایش هر رده حساسیت به فرسایش را مشخص نمود.

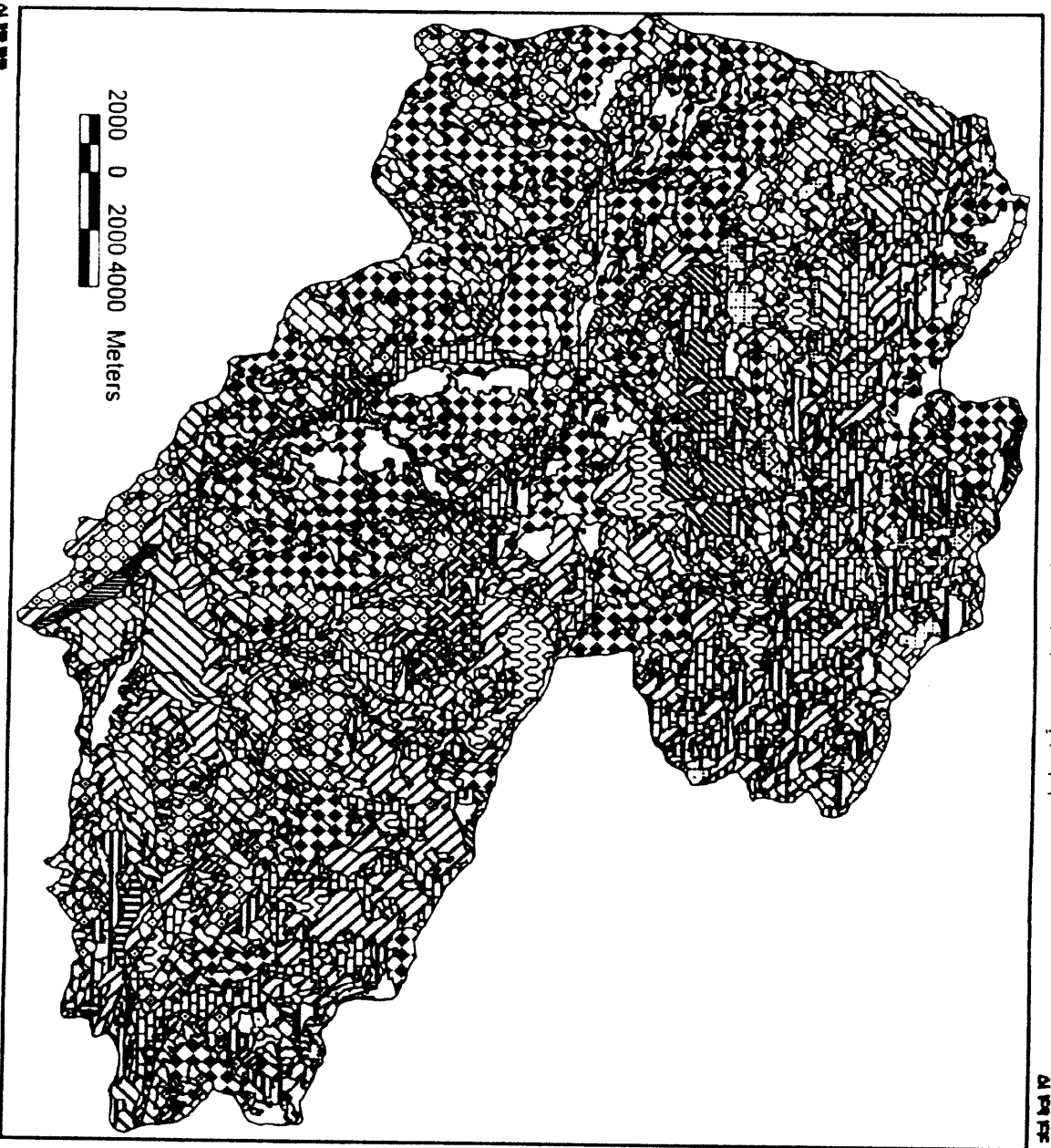
لازم به ذکر است که با توجه به تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری دارای آمار قابل قبول در حوزه مورد مطالعه، رابطه‌های رگرسیونی ارائه شده با سطح اطمینان زیر ۹۰ درصد به دست آمده‌اند. بی‌شک در حوزه‌های آبخیز، هرچه تعداد ایستگاه‌ها بیشتر و آمار آنها کامل‌تر باشد، رابطه‌های

جدول ۵- مقادیر فرسایش به دست آمده بر حسب ارتباط رگرسیون بین مقدار فرسایش و نمره کیفی حساسیت درصد شیب و اقلیم وزنی (گزارش فیض‌نیا و زارع خوش‌اقبال ۱۳۸۱)

| پلیگون | واحد کاری | سلبی | شیب | اقلیم | فرسایش | کلاس |
|--------|-----------|------|-----|-------|-------------|------|
| ۱ | EK st۱۱ | ۵۰ | ۱ | ۱ | ۱۸۴۴۵۱۷,۸۴۹ | ۷ |
| ۲ | EK st۱۲ | ۶۳ | ۱ | ۲ | ۱۴۴۴۸۷۵,۷۰۸ | ۱۱ |
| ۳ | EK st۲۱ | ۶۳ | ۲ | ۱ | ۱۳۲۸۷۰۶,۶۴۹ | ۱۲ |
| ۴ | EK st۲۲ | ۷۳ | ۲ | ۲ | ۱۰۲۱۳۱۲,۷۰۸ | ۱۵ |
| ۵ | EK st۳۱ | ۶۸ | ۳ | ۱ | ۱۰۵۸۸۹۰,۶۴۹ | ۱۵ |
| ۶ | EK st۳۲ | ۵۰ | ۳ | ۲ | ۱۶۱۲۴۷۹,۹۰۸ | ۹ |
| ۷ | EK st۴۱ | ۷۲ | ۴ | ۱ | ۸۱۹۸۲۴,۰۴۹ | ۱۸ |
| ۸ | EK st۴۲ | ۵۴ | ۴ | ۲ | ۱۳۳۴۱۳۳,۳۰۸ | ۱۲ |
| ۹ | EK st۵۱ | ۷۷ | ۵ | ۱ | ۵۵۰۰۰۸,۰۴۹ | ۲۰ |
| ۱۰ | EK st۱۱ | ۷۸ | ۶ | ۱ | ۴۰۳۱۸۹,۶۴۹ | ۲۰ |
| ۱۱ | EKn۲۱ | ۵۰ | ۲ | ۱ | ۱۷۲۸۴۴۸,۸۴۹ | ۸ |
| ۱۲ | e۱۱۱ | ۷۱ | ۱ | ۱ | ۱۱۹۸۷۸۰,۴۴۹ | ۱۳ |
| ۱۳ | e۱۱۲ | ۶۵ | ۱ | ۲ | ۱۳۸۳۳۷۱,۹۰۸ | ۱۲ |
| ۱۴ | e۱۲۱ | ۶۹,۵ | ۲ | ۱ | ۱۱۲۸۸۳۵,۵۴۹ | ۱۴ |
| ۱۵ | e۱۳۱ | ۷۳ | ۳ | ۱ | ۹۰۵۱۴۳,۶۴۹ | ۱۶ |
| ۱۶ | e۱۴۱ | ۶۴ | ۴ | ۱ | ۱۰۶۵۸۱۹,۲۴۹ | ۱۵ |
| ۱۷ | e۱۵۱ | ۶۸ | ۵ | ۱ | ۸۲۶۷۵۲,۶۴۹ | ۱۸ |
| ۱۸ | e۱۶۱ | ۶۹ | ۶ | ۱ | ۶۷۹۹۴۴,۲۴۹ | ۱۹ |
| ۱۹ | G۱۱۱ | ۶۶ | ۱ | ۱ | ۱۳۵۲۵۷۳,۴۴۹ | ۱۲ |
| ۲۰ | G۱۱۲ | ۵۹ | ۲ | ۱ | ۱۴۵۱۷۰۴,۲۴۹ | ۱۱ |
| ۲۱ | G۲۱۱ | ۴۹,۵ | ۳ | ۱ | ۱۶۲۷۷۵۴,۵۴۹ | ۹ |
| ۲۲ | G۱۱۱ | ۵۷ | ۴ | ۱ | ۱۲۸۱۰۶۵,۰۴۹ | ۱۳ |
| ۲۳ | G۵۱۱ | ۶۲ | ۵ | ۱ | ۱۰۱۱۲۴۹,۰۴۹ | ۱۵ |
| ۲۴ | G۱۱۱ | ۶۲ | ۶ | ۱ | ۸۹۵۱۸۰,۰۴۹ | ۱۷ |
| ۲۵ | Ig۱۱۱ | ۵۵ | ۱ | ۱ | ۱۶۹۰۷۷۰,۸۴۹ | ۸ |
| ۲۶ | Ig۱۱۲ | ۵۴ | ۱ | ۲ | ۱۷۲۱۶۲۰,۳۰۸ | ۸ |
| ۲۷ | Ig۲۱۱ | ۷۶ | ۲ | ۱ | ۹۲۸۹۶۴,۴۴۹ | ۱۶ |
| ۲۸ | Ig۲۱۲ | ۵۷ | ۲ | ۲ | ۱۵۱۳۳۰۳,۱۰۸ | ۱۰ |
| ۲۹ | Ig۳۱۱ | ۶۷ | ۳ | ۱ | ۱۰۸۹۶۴۰,۰۴۹ | ۱۵ |
| ۳۰ | Ig۳۱۲ | ۵۹ | ۳ | ۲ | ۱۳۳۵۷۳۵,۳۰۸ | ۱۲ |
| ۳۱ | Ig۴۱۱ | ۶۱ | ۴ | ۱ | ۱۱۵۸۰۶۷,۴۴۹ | ۱۴ |
| ۳۲ | Ig۵۱۱ | ۷۳ | ۵ | ۱ | ۶۷۳۰۰۵,۶۴۹ | ۱۹ |
| ۳۳ | Ig۶۱۱ | ۷۳ | ۶ | ۱ | ۵۵۹۹۳۱,۶۴۹ | ۲۰ |
| ۳۴ | JS۱۱۱ | ۳۸ | ۱ | ۱ | ۲۱۵۲۰۱۱,۸۴۹ | ۴ |
| ۳۵ | JS۱۱۲ | ۴۵ | ۲ | ۱ | ۱۸۸۲۱۹۵,۸۴۹ | ۶ |
| ۳۶ | JS۲۱۱ | ۵۷ | ۲ | ۲ | ۱۵۱۳۳۰۳,۱۰۸ | ۱۰ |
| ۳۷ | JS۲۱۲ | ۵۳ | ۳ | ۱ | ۱۵۲۰۱۳۱,۶۴۹ | ۱۰ |
| ۳۸ | JS۴۱۱ | ۵۲ | ۴ | ۱ | ۱۴۳۴۸۱۲,۰۴۹ | ۱۱ |
| ۳۹ | JS۵۱۱ | ۴۵,۵ | ۵ | ۱ | ۱۵۱۸۱۶۴,۱۴۹ | ۱۰ |
| ۴۰ | JS۶۱۱ | ۵۹ | ۶ | ۱ | ۹۸۷۴۲۸,۲۴۹ | ۱۶ |
| ۴۱ | Md۱۱۱ | ۷۱ | ۱ | ۱ | ۱۱۹۸۷۸۰,۴۴۹ | ۱۳ |
| ۴۲ | Md۲۱۱ | ۶۸ | ۲ | ۱ | ۱۱۷۴۹۵۹,۶۴۹ | ۱۴ |
| ۴۳ | Md۳۱۱ | ۶۰,۵ | ۳ | ۱ | ۱۲۸۹۵۱۱,۱۴۹ | ۱۳ |
| ۴۴ | Md۴۱۱ | ۶۴ | ۴ | ۱ | ۱۰۶۵۸۱۹,۲۴۹ | ۱۵ |
| ۴۵ | Md۶۱۱ | ۶۴ | ۶ | ۱ | ۸۳۳۱۸۱,۲۴۹ | ۱۷ |
| ۴۶ | MI۱۱۱ | ۶۳ | ۱ | ۱ | ۱۴۴۴۷۷۵,۶۴۹ | ۱۱ |
| ۴۷ | MI۱۱۲ | ۶۵ | ۱ | ۲ | ۱۳۸۳۳۷۱,۹۰۸ | ۱۲ |
| ۴۸ | MI۲۱۱ | ۶۳ | ۲ | ۱ | ۱۳۲۸۷۰۶,۶۴۹ | ۱۲ |
| ۴۹ | MI۲۱۲ | ۶۵ | ۲ | ۲ | ۱۲۶۷۳۰۷,۹۰۸ | ۱۳ |
| ۵۰ | MI۳۱۱ | ۶۳ | ۳ | ۱ | ۱۲۱۲۱۳۷,۶۴۹ | ۱۳ |
| ۵۱ | MI۳۱۲ | ۶۰ | ۳ | ۲ | ۱۳۰۴۹۸۵,۹۰۸ | ۱۲ |
| ۵۲ | MI۴۱۱ | ۶۱ | ۴ | ۱ | ۱۱۵۸۰۶۷,۴۴۹ | ۱۴ |
| ۵۳ | MI۴۱۲ | ۶۷ | ۴ | ۲ | ۹۷۳۷۱۱,۱۰۸ | ۱۶ |
| ۵۴ | MI۵۱۱ | ۵۱ | ۵ | ۱ | ۱۳۴۹۴۹۲,۴۴۹ | ۱۲ |
| ۵۵ | MI۵۱۲ | ۶۲ | ۵ | ۲ | ۱۰۱۱۳۴۹,۱۰۸ | ۱۵ |
| ۵۶ | MI۶۱۱ | ۵۶ | ۶ | ۱ | ۱۰۷۹۶۷۶,۴۴۹ | ۱۵ |
| ۵۷ | MI۶۱۲ | ۶۱ | ۶ | ۲ | ۹۲۶۰۲۹,۵۰۸ | ۱۶ |
| ۵۸ | MUR۱۱۲ | ۲۸ | ۱ | ۲ | ۲۵۲۱۱۰۴,۷۰۸ | ۱ |
| ۵۹ | MUR۲۱۱ | ۲۹ | ۲ | ۱ | ۲۳۷۴۱۸۶,۲۴۹ | ۳ |

| پلیگون | واحد کاری | سلبی | شیب | اقلیم | فرسایش | کلاس |
|--------|-----------|------|-----|-------|-------------|------|
| ۶۰ | MUR۲۲ | ۲۶ | ۲ | ۲ | ۲۴۶۶۵۳۴,۵۰ | ۲ |
| ۶۱ | MUR۳۱ | ۲۷ | ۳ | ۱ | ۲۳۱۹۶۶۶,۰۴ | ۴ |
| ۶۲ | MUR۴۱ | ۲۶ | ۴ | ۱ | ۲۲۳۴۲۹۶,۴۴ | ۴ |
| ۶۳ | P do۱۱ | ۶۵ | ۱ | ۱ | ۱۳۸۲۳۷۱,۸۴ | ۱۲ |
| ۶۴ | P do۲۱ | ۶۲ | ۲ | ۱ | ۱۳۵۹۴۵۶,۰۴ | ۱۲ |
| ۶۵ | P do۳۱ | ۶۹ | ۳ | ۱ | ۱۰۲۸۱۴۱,۲۴ | ۱۵ |
| ۶۶ | P do۴۱ | ۶۸,۵ | ۴ | ۱ | ۹۲۷۴۴۶۳,۹۴۹ | ۱۶ |
| ۶۷ | P do۵۱ | ۶۷ | ۵ | ۱ | ۸۵۷۵۰۲,۰۴۹ | ۱۷ |
| ۶۸ | P do۶۱ | ۷۰ | ۶ | ۱ | ۶۴۹۱۸۴,۸۴۹ | ۱۹ |
| ۶۹ | Pd۲۱ | ۵۹,۶ | ۲ | ۱ | ۱۴۳۲۵۴,۶۰ | ۱۱ |
| ۷۰ | Pd۳۱ | ۶۰,۶ | ۳ | ۱ | ۱۲۸۱۴۳۱,۲۰ | ۱۳ |
| ۷۱ | Pf۱۲ | ۴۵ | ۱ | ۲ | ۱۹۹۸۳۶۴,۹۰ | ۵ |
| ۷۲ | Pf۲۱ | ۵۹ | ۲ | ۱ | ۱۴۵۱۷۰۴,۲۴ | ۱۱ |
| ۷۳ | Pf۲۲ | ۴۵ | ۲ | ۲ | ۱۸۸۲۹۵۰,۹۰ | ۶ |
| ۷۴ | Pf۳۱ | ۵۶ | ۳ | ۱ | ۱۴۲۷۸۸۳,۴۴ | ۱۱ |
| ۷۵ | Pf۳۲ | ۴۵ | ۳ | ۲ | ۱۷۶۱۲۲۶,۹۰ | ۸ |
| ۷۶ | Pf۴۱ | ۴۹ | ۴ | ۱ | ۱۵۲۷۰۶۰,۲۴ | ۱۰ |
| ۷۷ | Pf۵۱ | ۵۱ | ۵ | ۱ | ۱۳۴۹۴۹۲,۴۴ | ۱۲ |
| ۷۸ | Pf۶۱ | ۵۱ | ۶ | ۱ | ۱۲۳۴۴۲۳,۴۴ | ۱۳ |
| ۷۹ | PLQ c,s۱۲ | ۶۰ | ۱ | ۲ | ۱۵۳۷۱۲۳,۹۰ | ۱۰ |
| ۸۰ | PLQ c,s۲۱ | ۶۶ | ۲ | ۱ | ۱۲۳۶۵۸۴,۴۴ | ۱۳ |
| ۸۱ | PLQ c,s۲۲ | ۶۴ | ۲ | ۲ | ۱۲۹۸۰۵۷,۳۰ | ۱۲ |
| ۸۲ | PLQ c,s۳۲ | ۶۲ | ۳ | ۲ | ۱۲۴۳۴۸۷,۱۰ | ۱۳ |
| ۸۳ | Pr۲۱ | ۵۴ | ۲ | ۱ | ۱۶۰۵۵۱۱,۲۴ | ۹ |
| ۸۴ | Pr۳۱ | ۵۶ | ۳ | ۱ | ۱۴۲۷۸۸۳,۴۴ | ۱۱ |
| ۸۵ | Pr۴۱ | ۶۱ | ۴ | ۱ | ۱۱۵۸۰۶۷,۴۴ | ۱۴ |
| ۸۶ | Pr۶۱ | ۶۷ | ۶ | ۱ | ۷۴۱۴۳۳,۰۴۹ | ۱۸ |
| ۸۷ | Ps۱۱ | ۴۹ | ۱ | ۱ | ۱۸۷۵۶۶۷,۲۴ | ۶ |
| ۸۸ | Ps۱۲ | ۵۱ | ۱ | ۲ | ۱۸۱۳۸۶۸,۵۰ | ۷ |
| ۸۹ | Ps۲۱ | ۴۷ | ۲ | ۱ | ۱۸۲۰۹۹۷,۰۴ | ۷ |
| ۹۰ | Ps۲۲ | ۴۹ | ۲ | ۲ | ۱۷۵۹۲۹۸,۳۰ | ۸ |
| ۹۱ | Ps۳۱ | ۵۴,۵ | ۳ | ۱ | ۱۴۷۴۰۰۷,۵۴ | ۱۱ |
| ۹۲ | Ps۴۱ | ۴۰ | ۴ | ۱ | ۱۸۰۳۸۰۴,۸۴ | ۷ |
| ۹۳ | Ps۵۱ | ۴۵,۵ | ۵ | ۱ | ۱۵۱۸۱۶۴,۱۴ | ۱۰ |
| ۹۴ | Ps۶۱ | ۴۵,۵ | ۶ | ۱ | ۱۴۰۲۵۵۰,۱۴ | ۱۱ |
| ۹۵ | pz۱۱ | ۴۵ | ۱ | ۱ | ۲۰۵۹۷۶۳,۶۴ | ۴ |
| ۹۶ | pz۱۲ | ۴۶,۵ | ۱ | ۲ | ۱۹۵۲۴۴۰,۸۰ | ۵ |
| ۹۷ | pz۲۱ | ۵۳ | ۲ | ۱ | ۱۶۳۶۲۰۰,۶۴ | ۹ |
| ۹۸ | pz۲۲ | ۴۲ | ۲ | ۲ | ۱۹۷۵۵۴۴,۱۰ | ۵ |
| ۹۹ | pz۳۱ | ۴۱ | ۳ | ۱ | ۱۸۸۹۱۲۴,۴۴ | ۶ |
| ۱۰۰ | pz۳۲ | ۴۱ | ۳ | ۲ | ۱۸۸۹۲۲۴,۵۰ | ۶ |
| ۱۰۱ | pz۴۱ | ۴۰ | ۴ | ۱ | ۱۸۰۳۸۰۴,۸۴ | ۷ |
| ۱۰۲ | Qa۱۱ | ۶۲ | ۱ | ۱ | ۱۴۷۵۵۲۰,۴ | ۱۱ |
| ۱۰۳ | Qa۱۲ | ۵۶ | ۱ | ۲ | ۱۶۶۰۱۶۱,۵۰ | ۹ |
| ۱۰۴ | Qa۲۱ | ۶۰ | ۲ | ۱ | ۱۴۲۰۹۵۴,۸۴ | ۱۱ |
| ۱۰۵ | Qa۲۲ | ۵۶ | ۲ | ۲ | ۱۵۴۴۰۵۲,۵۰ | ۱۰ |
| ۱۰۶ | Qa۳۱ | ۵۹ | ۳ | ۱ | ۱۳۳۵۶۳۵,۲۴ | ۱۲ |
| ۱۰۷ | Qa۳۲ | ۵۶ | ۳ | ۲ | ۱۴۲۷۹۸۳,۵۰ | ۱۱ |
| ۱۰۸ | Qa۴۱ | ۵۸ | ۴ | ۱ | ۱۲۵۰۳۱۵,۶۴ | ۱۳ |
| ۱۰۹ | Qa۴۲ | ۵۴ | ۴ | ۲ | ۱۳۷۳۴۱۳,۳۰ | ۱۲ |
| ۱۱۰ | Qa۶۱ | ۶۱ | ۶ | ۱ | ۹۲۵۹۲۹۴,۴۴ | ۱۶ |
| ۱۱۱ | Qt۱۱۱ | ۴۴ | ۱ | ۱ | ۲۰۲۹۰۱۴,۲۴ | ۴ |
| ۱۱۲ | Qt۱۲۱ | ۴۶ | ۲ | ۱ | ۱۸۵۱۴۴۶,۴۴ | ۷ |
| ۱۱۳ | Qt۱۳۱ | ۴۱ | ۳ | ۱ | ۱۸۸۹۱۲۴,۴۴ | ۶ |
| ۱۱۴ | Qt۱۴۱ | ۴۳ | ۴ | ۱ | ۱۷۱۱۵۵۶,۶۴ | ۸ |
| ۱۱۵ | Qt۱۵۱ | ۴۶ | ۵ | ۱ | ۱۵۰۳۳۳۹,۴۴ | ۱۰ |
| ۱۱۶ | Qt۱۶۱ | ۴۲ | ۶ | ۱ | ۱۵۱۰۱۶۸,۰۴ | ۱۰ |
| ۱۱۷ | Qtr۱۱ | ۵۶ | ۱ | ۱ | ۱۶۶۰۰۲۱,۴۴ | ۹ |
| ۱۱۸ | Qtr۲۱ | ۵۶ | ۲ | ۱ | ۱۵۴۹۹۵۲,۴۴ | ۱۰ |

۱۴



شکل ۴- نقشه حساسیت به فرسایش حوزه آبخیز لتیان

۱۴

۳۰۰۰ م.م.م

معماریت به فرسایش

بلا

۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷ ۸ ۹ ۱۰ ۱۱ ۱۲ ۱۳ ۱۴ ۱۵ ۱۶ ۱۷ ۱۸ ۱۹ ۲۰

بلا

در چهارچوب جنبه دوم که هدف اندازه‌گیری کمی مقدار فرسایش و رسوبدهی سازندها و سنگ‌های حوزه‌های آبخیز است به شرح زیر می‌توان عمل نمود:

(الف) - اندازه‌گیری مقدار فرسایش و رسوبزایی سازندها در پلات و کرت‌های آزمایشی با بارش طبیعی و یا باران مصنوعی و در تکرارهای زیاد که در این تکرارها عوامل دیگر ثابت نگه داشته شده و مواد زمین‌شناسی تغییر داده شوند.

(ب) نمونه‌برداری و بررسی آمار رسوب در حوزه‌های آبخیز کوچک و یا پشت سازه‌های حفاظت آب و خاک که عموماً از یک نوع مواد زمین‌شناسی تشکیل شده باشند.

(ج) - نمونه‌برداری و بررسی آمار رسوب و دخالت‌دادن ضریب رسوبدهی و به‌دست آوردن مقدار فرسایش با استفاده از روابط رگرسیون دومتغیره و چندمتغیره در حوزه‌های آبخیز بزرگ با مواد زمین‌شناسی متنوع.

نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر که براساس روش (ج) انجام شده است، نشانگر این است که دستیابی به نتیجه با دقت قابل قبول امکان‌پذیر است و با تکرار تحقیق در چند آبخیز دیگر می‌توان روابط کاربردی را در زمینه موردنظر برای آبخیزهای ایران ارایه نمود.

سپاسگزاری

از همکاران محترم گروه ارزیابی و مطالعه فرسایش و رسوب، دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزها، معاونت آبخیزداری، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری برای در اختیار قراردادن امکانات انجام تحقیق قدردانی می‌نماید که این تحقیقات بدون همکاری‌هایشان امکان‌پذیر نبود.

عموماً در هنگام نقد و بررسی یک مدل ابتدا باید به نکات زیر توجه نمود:

(الف) - هدف اصلی طراح مدل یا روش چه بوده و در چه شرایط زمانی و مکانی، مدل را طراحی نموده است.

(ب) - هدف و انتظار از مدل یا روش چیست و آیا خواسته‌های ما با اهداف مدل انطباق دارد یا خیر.

پس از آن است که می‌توان مدل را مورد نقد و بررسی قرار داد و نکات ضعف یا قوت آن را با توجه به شرایط مکانی و زمانی بررسی نمود. مشخص شد که از بین روش‌های موجود برای تعیین مقاومت سنگ‌های مستحکم روش سلبی به لحاظ اینکه بین متدولوژی و اهداف طرح ارتباط منطقی‌تری ارائه نموده و طراح روش سعی کرده با دخالت عواملی که مستقیماً در پایداری و مقاومت سنگ دخالت دارند به مقدار سختی و مقاومت آن دست یابد، دارای قابلیت کاربرد بیشتری است. البته روش سلبی در بیان پاره‌ای از عوامل با مشکلاتی همراه است؛ به‌طور مثال شاخص جهت‌یافتگی درزه‌ها با استفاده از روش سلبی در سنگ‌هایی مثل گرانیت که چند جهت درزه دارند، دارای اشکالاتی است ولی می‌تواند با تغییرات جزئی برای مناطقی مانند ایران روش مناسبی باشد و صرفاً به عنوان یک پارامتر "مقاومت سنگ یا سازند دامنه" در کنار دیگر عوامل موثر در فرسایش که در روش‌های تجربی مثل MPSIAC استفاده می‌شود مورد توجه قرار گیرد. به‌طوری‌که امتیازدهی عامل زمین‌شناسی در روش‌های تجربی را علمی‌تر و عملی‌تر سازد. در ارتباط با سازندهای ما قبل کواترنر ناپیوسته و نهشته‌های کواترنر استفاده از عامل K تغییر داده شده در مدل USLE پیشنهاد می‌شود.

منابع

- ۱- حیدری‌یان، احمد، ۱۳۷۳. ارزیابی فرسایش و پیش‌بینی آن در مناطق کوهستانی (حوزه لتیان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- ۲- فیض‌نیا، سادات، ۱۳۷۴. مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقلیم مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران شماره ۴۷، ص ۹۵-۱۱۶.

- ۳- فیض‌نیا، سادات و مریم زارع خوش اقبال، ۱۳۸۱. گزارش نهایی طرح "بررسی حساسیت سازندهای زمین‌شناسی نسبت به فرسایش درحوزه آبخیز لتیان" گروه فرسایش و رسوب، دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزها، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری.
- ۴- نقشه‌های توپوگرافی حوزه آبخیز لتیان با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- ۵- نقشه‌های زمین‌شناسی حوزه آبخیز لتیان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- Selby, M.J., ۱۹۸۰. *A rock-mass strength classification for geomorphic purposes, with tests from Antarctica and New Zealand*, Zeit. Fur Geom, N.F., No. ۲۴, p. ۳۱-۵۱.

Sensitivity of Rocks and Formations to Erosion and Sediment Yield in Latian Drainage Basin Area

S. Feiznia^۱

M. Zare-Khosh Eghbal^۲

Abstract

In erosion and soil conservation projects, lithological characteristics of drainage basin are very important. Sensitivity of different rocks to erosion is different and some of the geological materials are very sensitive to erosion and sediment yield. Sensitivity of rocks and sediments to weathering and erosion are dependent on different factors, some of which are related to the nature of geological materials and the others related to the surrounding environment. In small drainage basins, the nature of geological materials is more important than the factors related to the surrounding environment. Different factors such as geomorphology, climate, vegetation cover, human effect, etc. are effective on erosion. The investigation of all effective factors is difficult and complex. Therefore, the effective factors should be listed according to their (decreasing) importance in erosion, and then the most effective factors should be studied. As a result, the homogeneous land units with the size suitable for investigation will be obtained by crossing these factors, and the relationship between effective factors and sediment yield data will also be reached.

The area studied was Latian Drainage Basin and its sub-catchments. By primary field investigation, it was found that among all effective factors on erosion, geological materials, slope and climate were the most effective ones in the area. Then, the maps of three mentioned factors were prepared and were overlain to obtain land units map of the area. Next, sensitivity of formations and rocks to erosion was obtained in each land unit; for pre-Quaternary consolidated geological materials, Rock Mass Strength Classification of Selby (۱۹۸۰) and for Quaternary sediments and pre-Quaternary unconsolidated geological materials, K factor in USLE model were used for qualitative approach. For quantifying sensitivity of geological materials to erosion, sediment yield data of hydrometric stations in Latian Drainage Basin were used.

Keywords: Erosion, Sediment production, Susceptibility to erosion, Erodibility, Sediment yield, Weathering, Latian Drainage Basin, Geological formation of Iran.

^۱ - Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

^۲ -Senior expert of Watershed Management Office, Ministry of Jihad-e-Agriculture, Tehran, Iran