پژوهشهای جغرافیائی ـ شماره ۴۰، مهر ماه ۱۳۸۰
صص ۹۱ـ۷۳

کارایی واحدهای ژئومرفولوژی در ارزیابی فرسایش و رسوب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بوجان)

دکتر جمشید جداری عیوضی ـ دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه تهران
عیسی جوکار سرهنگی ـ دانشجوی دورهٔ دکترای جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

حوضه‌های آبخیز در ایران از نظر زمین‌شناسی، ناهمواری، اقلیم و سایر عوامل مؤثر در امر فرسایش بسیار متفاوت هستند؛ بطوریکه ارزیابی فرسایش و اولویت‌بندی اراضی در روش استفاده از واحدهای هیدرولوژیکی را با مشکل مواجه می‌سازند. تحقیق حاضر، شناخت ویژگی واحدهای ژئومرفولوژی را جهت ارزیابی میزان فرسایش و رسوب ضروری می‌داند؛ بطوریکه بتوان از آن بعنوان مدل و پلان کار استفاده نمود.

در این روش، ابتدا با استفاده از ملاکهای جنس سنگ و عوامل توپوگرافی یعنی ارتفاع ، شیب و جهت دامنه‌ها می‌توان واحدهای ژئومرفولوژی یک منطقه را تعیین نمود. سپس برای تخمین مقدار فرسایش در این واحدها و طبقه‌بندی اراضی بر اساس معیارهای کمّی، با یک دید همه جانبه از کلیه عوامل مؤثر، از روش پسیاک استفاده نمود. ارزیابی فرسایش با روش مذکور در واحدهای ژئومرفولوژی ثابت می‌کند که فرضیات تحقیق در باره سرعت، دقت عمل بیشتر ، تشخیص مهمترین عوامل فرسایش و بحرانی‌ترین نواحی از نظر تولید رسوب ، تعیین روابط و نحوهٔ توزیع مکانی فرسایش خاک در سطح منطقه صحیح می‌باشد.

واژگان کلیدی: *ارزیابی فرسایش، واحدهای ژئومرفولوژی، واحدهای هیدرولوژی، حوضهٔ آبخیز بوجان*

مقدمه

فرسایش خاک عامل نابودی و از بین رفتن خاک می‌باشد. این عمل بطور طبیعی وجود دارد، اما دخالت انسان آن را تشدید نموده است. این در حالی است که تشکیل مجدد خاک به قرنها زمان نیاز دارد. با توجه به آنکه فرسایش طی دهه‌های اخیر در سطح کشور روند صعودی داشته است و همچنین با ملاحظه اهمیت منابع طبیعی ضروریست فرایندهای تخریب و فرسایش توسط روشهای دقیقتری مورد مطالعه و ارزیابی قرار گیرند. تخمین مقدار تخریب و فرسایش هم برای طرح نظریات تاریخی تکامل اشکال زمین و هم برای اهداف سودمندتر و کاربردی‌تر کوتاه مدت، مهم است؛ که در

این تحقیق مورد نظر می‌باشد.

هر چند تعیین میزان فرسایش و رسوب‌زائی حوضه‌ها و زیر حوضه‌ها (واحدهای هیدرولوژیکی) جهت اولویت‌بندی اراضی و اجرای برنامه‌های حفاظت، احیاء عمران و اعمال مدیریت بهینه محیط طبیعی، بعنوان معیاری سهل‌الوصول و قابل قبول مطرح است و این امر علاوه بر کمک به مطالعات هیدرولوژی در برنامه‌ریزی آمایش سرزمین نیز تاثیر خوبی دارد؛ اما بعلت وجود مشکلاتی از قبیل عدم تطبیق مرز استانها با مرز حوضه‌های آبخیز و تفکیک وظایف بین وزارتخانه‌های مختلف و میزان اختصاص منابع مالی جهت تهیه طرح، در نظر گرفتن این موضوع همیشه امکان‌پذیر نیست. همچنین بسیاری از طرح‌ها در مقیاسی هستند که سیستم‌های رودخانه‌ای بخش یا قسمتی از منطقهٔ طرح را شامل می‌شوند و با اینکه محدودهٔ پروژه‌ها با ملاحظهٔ اهداف سیاسی و اقتصادی و بدون توجه به مرزهای طبیعی حوضه‌های آبخیز تعیین می‌شوند. از طرف دیگر، در روش مذکور که واحدهای کاری تنها بر اساس خط‌الرأس ارتفاعات حواشی تعیین می‌گردد؛ اغلب بیانگر نواحی با فرسایش و توان رسوب‌دهی یکسانی نمی‌باشند، بلکه حوضه‌های آبخیز بویژه در ایران از نظر سنگ‌شناسی ، ناهمواری و سایر عوامل مؤثر در امر فرسایش بسیار متفاوت می‌باشند، بطوریکه ارزیابی و اولویت‌بندی اراضی در روش استفاده از واحدهای هیدرولوژیکی را با مشکل مواجه می‌سازد.

با توجه به مطالعات انجام یافته، بین پوشش گیاهی، خاک و واحدهای ژئومرفولوژی ارتباط بسیار نزدیکی وجود دارد و دخالت این عوامل در فرایند فرسایش و تولید رسوب قطعی است . با بهره گیری از واحدهای ژئومرفولوژی، ضمن رفع خطاهای ناشی از توجه به میانگین در زیر حوضه‌ها، می‌توان نسبت به ارزیابی خصوصیات سطح زمین مبادرت ورزید و جزئیات طرح را با ویژگیها و شرایط چهرهٔ زمین هماهنگ نمود؛ زیرا واحدهای ژئومروفولوژی، پایه‌ای برای اطلاعات بدست می‌دهند که می‌تواند بطور دقیق منعکس کنندهٔ وضع فرسایش و رسوبدهی اراضی آبخیزها باشد.

واحدهای ژئومرفولوژی و تاثیر فرایندهای موجود در آن بر روی شدت تولید رسوب یا توان رسوب‌زایی آنها، عاملی مهم و اساسی است که مطالعات و پژوهشهای مورد نیاز در مورد فرسایش را تشکیل می‌دهد. برای این منظور، یکی از زیر حوضه‌های کوچک سد لتیان جهت مطالعه موردی انتخاب شد تا بر اساس بکارگیری واحدهای ژئومرفولوژی، مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد. بطوریکه بتوان به مقایسه‌های لازم پرداخته و در نهایت با تطبیق آن با سایر مطالعات و یا اندازه گیری‌ها به نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات بایسته برسیم.

سابقهٔ تحقیق

بررسی جریانهای سطحی و فرسایش رودخانه‌ای از دیرباز مورد توجه بوده و در حال حاضر به دلیل پیچیده‌تر شدن زندگی بشر، بر اهمیت این نوع مطالعات افزوده شده است . با توجه به عوامل اصلی فرسایش خاک و در پی درک فرایندهای مختلف مربوطه، باگذشت زمان، این امکان بوجود آمده که بتوان به کمک روشهای تجربی نسبت به برآورد آن اقدام نمود. این روشها که از حوصلهٔ بحث ما خارج است، عمدتاً همه عوامل را در نظر نگرفته و خالی از اشکال نیستند. با این وجود در نیمهٔ دوم قرن بیستم، برای تخمین مقدار فرسایش، روشهای جامع و مناسبی چون روش پسیاک

(P.S.I.A.C)[1] ارائه شده است.

برای برآورد شدت و مقدار فرسایش و در نهایت، محاسبهٔ میزان تولید رسوب از حوضه‌های آبخیز، بطور معمول از مدلهای متعدد برآورد فرسایش و رسوب در واحدهای کاری هیدرولوژی استفاده می‌شود که از جمله در سال ۱۳۷۳ کاربرد و ارزیابی مدل پسیاک در یکی از زیر حوضه‌های سد لتیان به نام لوارک مورد بررسی قرار گرفت که در آن، دقت مدل بالغ بر ۸۵ درصد ارزیابی گردید. در همان سال، برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از این مدل در واحدهای هیدرولوژیکی کل حوضهٔ مذکور تدوین گردید که باز هم دقت مدل به میزان ۸۳ درصد مورد تایید قرار گرفت. همچنین بررسیهایی توسط سازمانها و ادارات دولتی در بعضی از حوضه‌های آبخیز تحقق یافته که در رابطه با منطقهٔ مورد مطالعه بطور مستقیم و یا غیر مستقیم مورد استفادهٔ این پژوهش قرار گرفته‌اند.

در زمینهٔ موضوع تحقیق، گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی کرج در قالب طرحهای جامع مرتع‌داری، آبخیزداری و بیابان‌زدایی در چند منطقه از کشور به مطالعه و ارزیابی قابلیت منابع طبیعی در مقیاس ۱:۵۰/۰۰۰ اقدام و از روش ژئومرفولوژی استفاده نموده‌اند؛ اما در روش پیشنهادی با وجودی که از مطالعات ژئومرفولوژی در مشخص نمودن واحدهای کاری استفاده شده است. معهذا مطالعات مرحله بعد بر اساس حوضه‌های هیدرولوژیکی انجام شده است؛ ضمن آنکه در تعیین واحدهای ژئومرفولوژی از عوامل ارتفاع از سطح دریا و جهت جغرافیایی دامنه‌ها چشم‌پوشی و صرفنظر شده است. همچنین مطالعات پراکنده‌ای بصورت چند پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد بویژه در دانشکده‌های منابع طبیعی کرج و نور در این زمینه تهیه و از روش کیفیِ مطالعهٔ فرسایش خاک در تیپ‌بندی شدت فرسایش استفاده نموده‌اند.

تحقیق حاضر که کاربرد و نحوهٔ استفاده از واحدهای ژئومرفولوژی را با ملاکها و معیارهای مورد بحث، برای اولین بار بعنوان پایه و اساس کار ارزیابی فرسایش و رسوب در مقیاس تفضیلی ـ اجرایی (مقیاس ۱:۲۰/۰۰۰) مطالعه و بررسی می‌کند با توجه به روند رو به تزاید فرسایش و هدر رفتن خاک در آبخیزها و لزوم برنامه ریزی صحیح ومتناسب با شرایط آبخیزهای کشور در جهت حفاظت از منابع آب و خاک تدوین گردیده است.

روش و مراحل تحقیق

تحقیق حاضر از نظر روش و ماهیت، از نوع نیمه تجربی و توصیفی موردی محسوب می‌گردد که در آن فرسایش و رسوبدهی اراضی یک حوضهٔ آبخیز در قالب واحدهای ژئومرفولوژی مورد شناسایی و ارزیابی قرار گرفته است. این فرایند شامل گامهایی است که به ترتیب یکی پس از دیگری باید برداشته شوند و بطور کلی عبارت از شناسایی منابع و عوامل موثر در امر فرسایش و جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آنها و ارزیابی و درجه‌بندی رسوبدهی اراضی واحدها می‌باشد. لذا ضروریست ابتدا مشخصات و خصوصیات زمین‌شناسی، آب و هوا و هیدرولوژی منطقه مورد بررسی قرار

۱- روش پسیاک (Pacific Southwest Inter - Agency Committee) در سال ۱۹۶۸ توسط کمیته مدیریت آب در امریکا برای محاسبهٔ فرسایش خاک و تولید رسوب در مناطق خشک و نیمه خشک غرب کشور ارائه شد و آزمایش گردید که پس از مقایسه با روش اندازه‌گیری شده از طریق آزمون آماری با درجهٔ همبستگی ۰/۸ درصد بهترین روش شناخته شده است. این روش برای اولین بار در ایران توسط مهندسین مشاور Development of Resources (۱۳۵۲) در حوضهٔ سد دز بکار برده شده و از آن تاریخ تاکنون با توجه به کارایی بالا و بهره‌گیری از بیشترین عوامل مؤثر در فرسایش و همچنین دقت نسبتاً خوب آن در مقایسه با سایر روشها، بیشترین ارزیابیها و برآورد فرسایش و تولید رسوب را به خود اختصاص داده است تشریح این روش را بهمراه کاربرد آن در ارزیابی فرسایش و رسوب منطقه خواهیم داشت.

گیرند. برای این منظور به جمع آوری آمار و اطلاعات و گزارشهای موجود در ارتباط با موضوع و اهداف تحقیق پرداخته و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی، نقشه‌های هیدروگرافی، هیپسومتریک، جهت دامنه‌ها و شیب منطقه تهیه شده، ضمن آنکه طی عملیات صحرائی و میدانی کنترل و تعدیلات لازم بعمل آمده است. سپس با تلفیق این اطلاعات و بر حسب یکی از معیارهایی که به آن اشاره خواهد شد ، واحدهای کاری ژئومرفولوژی که در واقع اصل و متن مطالعات و نقشه‌های خاک و پوشش گیاهی را نیز تشکیل می‌دهد، بصورت محدوده‌هایی با ویژگیهای مشابه فیزیکی تعیین شده است. پس از تهیهٔ نقشه‌های مذکور، بدلیل بالا بودن حجم اطلاعات و دشواری پردازش و تلفیق آنها و بمنظور دستیابی به دقت لازم، از تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شده است. برای این کار کلیه نقشه‌های مورد نیاز بعنوان لایه‌های اطلاعاتی رقومی شده و در محیط ARC EDIT وارد سیستم گردید. سپس با ادغام آنها در برنامه ARC.INFO واحدهای دارای ویژگیهای مشترک، مشخص و محدوده و مساحت آن تعیین گردید. جهت تخمین میزان فرسایش و رسوبدهی آنها، با توجه به مزیت روش کمّی پسیاک اصلاح شده در بهره گیری از اغلب پارامترهای دخیل در امر فرسایش استفاده و نهایتاً با مقایسه‌های بعمل آمده نتایج حاصله تجزیه و تحلیل شده است.

واحدهای هیدرولوژی و واحدهای ژئومرفولوژی

جهت کاربرد مدل مورد استفاده و برآورد مقادیر کمّی عوامل فرسایش، ابتدا لازم است که منطقهٔ مورد مطالعه را به واحدهای هیدرولوژیکی (زیر حوضه‌ها) و یا هر واحد مناسب دیگر تقسیم‌بندی نمود.

در روش واحدهای هیدرولوژی، حوضهٔ آبخیز بعنوان یک واحد طبیعی قلمداد شده و شامل مساحتی از زمین است که کلیهٔ آبهای حاصل از نزولات جوی را جمع آوری و از طریق یک آبراهه به دهانهٔ خروجی هدایت و تخلیه نماید. در مرحلهٔ بعدی، مشخص نمودن کلیهٔ شاخه‌های فرعی و آبراهه‌های مختلف یک حوضه و همچنین تعیین حد و مرز بین آنها جهت تقسیم‌بندی واحدهای هیدرولوژی و بمنظور شناخت هر چه بهتر این واحدها صورت می‌گیرد. به این ترتیب امکان شناخت بهتر و بیشتر از خصوصیات واحدهای مختلف، امکان تعیین اولویت در اجرای طرحها و سهولت در تدوین برنامهٔ زمانبندی شده رانیز فراهم می‌آورد. از طرفی جمع آوری آمار هیدرولوژی و میزان رسوب تولیدی برای عملی کردن طرحهای عمرانی از قبیل احداث سد و همچنین بمنظور اجرای طرحهای مکانیکی حفاظت آب و خاک نظیر انواع بندها، تنها با استفاده از یک مدل هیدرولوژیکی امکان‌پذیر است. لذا می‌توان حوضه‌های آبخیز را یک قالب کلی مطلوب برای اینگونه مطالعات محسوب نمود. با این همه، مطالعه و تحلیل مناطق در روش واحدهای هیدرولوژی، به ماهیت پدیده‌ها کمتر اهیمت داده و بیشتر در پی دریافت روابط موجود بین اعضاء و واحدهای یک مجموعهٔ مستقل است. این روش حتی رغبت چندانی در اینکه این روابط را عِلّی بخواند نیز نشان نمی‌دهد، ضمن آنکه واحدهای هیدرولوژیکی بخاطر متغیّر بودن شرایطی محیطی و عوامل طبیعی موجود در آنها، از قبیل پوشش سطحی، وضعیت ناهمواری ، شرایط آب و هوایی و ...نیاز به مدلهای پیچیده‌تری دارند و خاصّه در مطالعات فرسایش و رسوب، مزایای ویژه استفاده از واحدهای ژئومرفولوژی را ندارند.

تحلیل و استفاده از واحدهای ژئومرفولوژی، مبتنی بر تقسیمات واحدهای کوچک و بزرگی است که چهرهٔ زمین را بوجود آورده است. این روش مطالعاتی می‌تواند بر شناسایی رابطهٔ بین شکل زمین، واحدهای زمین‌شناسی، شبکه زهکشی، خاک و پوشش گیاهی یک منطقه استوار شده باشد ، برای این منظور بایستی کلیهٔ اطلاعات مربوط به عوامل

مذکور را بر روی نقشه‌ها ترسیم و با ارزیابی موقعیتها، وضعیتها، رابطهٔ بین این مقولات و تلفیق آنها با یکدیگر، از همهٔ این اطلاعاتِ به ظاهر منفک بهره برد. در این تحقیق واحدهای ژئومرفولوژی بیانگر سطوح همگنی است که بویژه از نظر زمین‌شناسی و ژئومرفولوژی مشابهت داشته و تحت همین شرایط است که می‌تواند در برآورد فرسایش و رسوب، قابلیت استفادهٔ بیشتری از واحدهای هیدرولوژی داشته باشد. همچنانکه خواهیم دید، چون عوامل فرسایش در واحدهای ژئومرفولوژی یکنواخت می‌باشد لذا امکان شناسایی و تحلیل آنها بهتر و دقیق‌تر بوده و جهت امتیازدهی به این عوامل نظیر زمین‌شناسی سطحی ، شیب یا پوشش زمین و....متوسط گیری نخواهیم داشت و از همگنی و تجانس نسبی عوامل مورد بحث در این واحدها برای اِعمال یک مدیریت مشترک در سایر زمینه‌های مربوط به منابع طبیعی تجدید شونده نیز می‌توان استفاده نمود. در واقع این روش بر این باور است که تأثیر تغییرات عوامل محیطی در امر فرسایش را می‌توان در تنوع عواملی جستجو کرد که برای تفکیک واحدها در نظر گرفته شده است.

ملاک تعیین واحدهای ژئومرفولوژی

همبستگی پدیدهٔ فرسایش و رسوبدهی یک منطقه با عوامل دیگر محیطی ایجاب می‌کند که مطالعات حفاظتی خاک و آب و بهره‌وریهای متناسب از منابع نیز بر اساس روابط پدیده‌ها انجام پذیرد. در این خصوص، استفاده از ملاکها و معیارهای مورد بحث جهت تعیین واحدهای ژئومرفولوژی می‌تواند در تحقق بخشیدن به اهداف یاد شده بسیار مؤثر باشد.

برای تعیین و تفکیک واحدهای ژئومرفولوژی یک منطقه می‌توان از روشهای مختلفی سود جست. آنچه مسلم است، در تمامی موارد، عوامل جنس زمین و میزان ارتفاع از سطح دریا و شیب و جهت دامنه‌ها نقش کلیدی را در ایجاد واحدهای ژئومرفولوژی ایفاء می‌نمایند. در این صورت چارچوب این تقسیم‌بندی بر اساس عواملی استوار شده که در مدیریت محیطی نیز مطرح هستند از طرفی با دخالت پارامترهای ساختمانی چون گسلها و یا عوامل انسانی، می‌توان انتظار تغییر در واحدهای نسبتاً پایدار ژئومرفولوژی داشت که در این صورت بایستی نسبت به شناسایی این عوامل اقدام و در تعیین واحدها از آنها کمک گرفت .

همچنانکه این عوامل در واژه ژئومرفولوژی نیز مستترند، در این بررسی ملاک تعیین و طبقه‌بندی واحدها را بر پایهٔ تلفیق جنس و مقاومت سنگ با شکل توپوگرافی قرار دادیم. به این ترتیب ممکن است دو واحد هیدرولوژیکی که در آنها عوامل مذکور یکسان باشند، بصورت یک واحد ژئومرفولوژیکی مستقل در نظر گرفته شوند.

جنس سنگ مادر و نوع تشکیلات سطحی در کیفیت تشکیل و تحول خاکها و همچنین در عملِ فرسایش نقش مهمی ایفاء می‌کند. از سوی دیگر، شرایط آب و هوایی بویژه میکرو اقلیم در شدت بخشیدن به اعمال فرسایشی بسیار مؤثر است. خاکها همچنین در دامنه‌های رو به آفتاب و پشت به آن، تحت تسلط میکرواقلیم‌های گوناگون قرار می‌گیرند. تاثیر شیب دامنه‌ها چنان است که بیشتر خاکشناسان نیز آنرا تنها عامل تمایز در تولید و تحول خاکها قلمداد می‌کنند. این عامل بهمراه جهت دامنه‌ها، بیانگر چگونگی زاویه تابش و میزان دریافت انرژی خورشید بوده که خود می‌تواند در وضعیت اقلیم، پوشش گیاهی و تحولات مرفولوژیک منطقه نقش مهمی را ایفاء نماید. شایان ذکر است که نقش عوامل توپوگرافی با توجه به تاثیر ساختار زمین‌شناسی و عوامل شکل‌زایی اهمیت پیدا می‌کند؛ بعبارتی، توپوگرافی یک منطقه، عوامل ژئومرفولوژی را در ارتباط با جنس زمین و رژیم آب و هوایی حاکم بر آن به فعالیت واداشته و خود نیز تحت تاثیر آنها

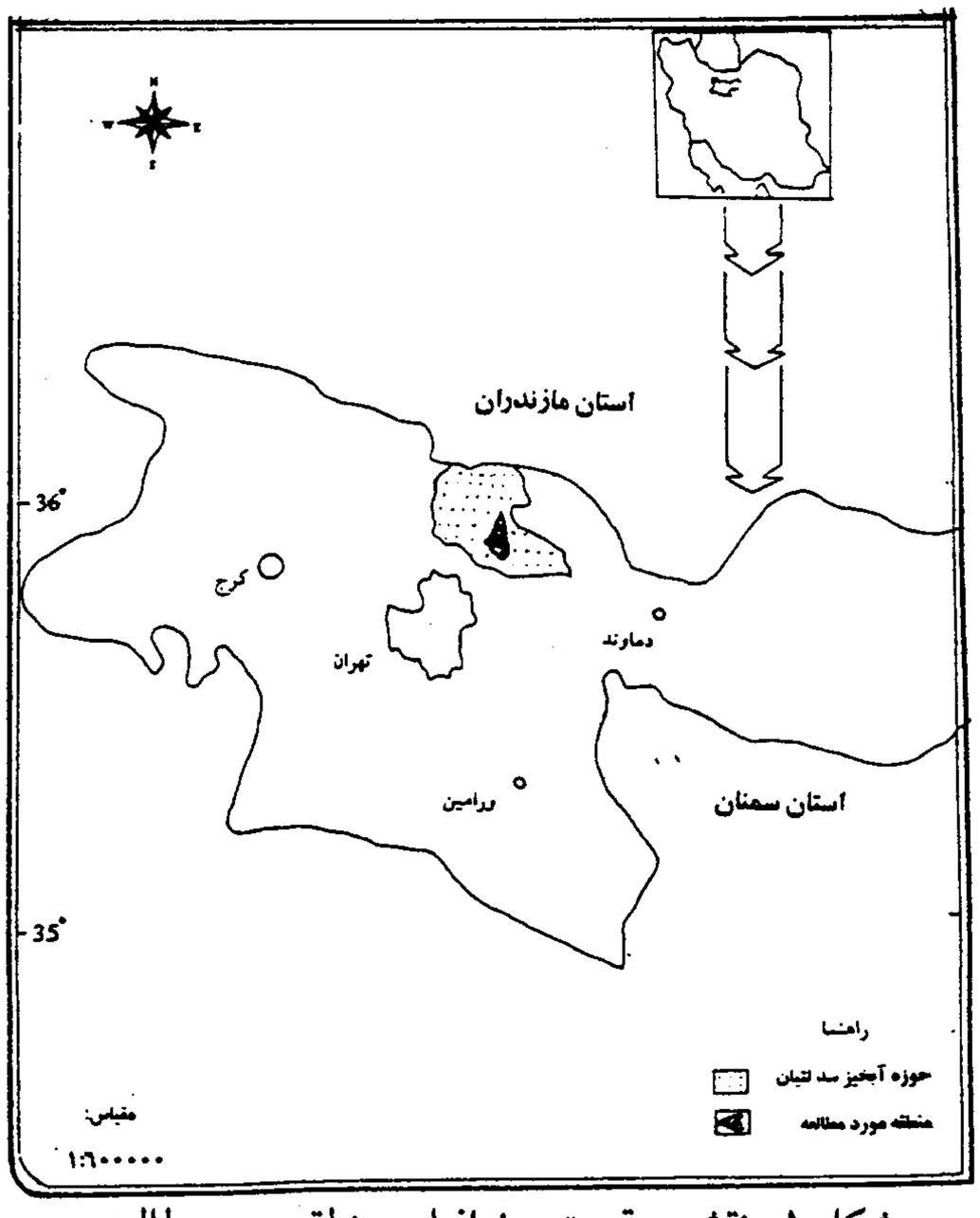
تغییر شکل می‌یابد.

بهرحال استفاده از ملاکهای فوق‌الذکر سبب گردیده تا روش تعیین واحدهای ژئومرفولوژی از یک طرف ژنتیکی بوده، بطوریکه اشکال اولیهٔ ناهمواری و سپس فرایندهای شکل‌زاییِ فعال دخالت داده می‌شوند و از طرف دیگر برای حل مسئلهٔ کاربردی تحقیق حاضر که بعنوان اساس مطالعات ارزیابی فرسایش و رسوب در نظر گرفته شده، مطلوب است؛ ضمن آنکه دو عامل از معیارهای اصلی ارزیابی روش پسیاک مشتمل بر زمین‌شناسی و پستی و بلندی، بهنگام تفکیک واحدها مستقیماً تعیین می‌گردند.

مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبخیز بوجان

حوضهٔ آبخیز مورد مطالعه بنام بوجان، یکی از زیر حوضه‌های سد لتیان واقع در شمالشرقی تهران است که در موقعیت جغرافیایی ′۵۰ °۳۵ الی ′۵۵ °۳۵ عرض شمالی و ′۳۴ °۵۱ الی ′۳۸ °۵۱ طول شرقی قرار دارد. این حوضه به وسعت ۲۹۴۶/۸ هکتار یا ۴/۲ درصد از مساحت کل آبخیز سد لتیان در دامنهٔ جنوبی البرز مرکزی واقع شده و از شمال و شمالغربی به حوضهٔ آبخیز امامه و از جنوب و جنوبغربی به زیر حوضه‌های کوچک رودخانهٔ جاجرود محدود می‌شود. همچنین یک رشته ارتفاعات که دارای روند شمالی ـ جنوبی است، در شرق حوضه سبب تفکیک آن با حوضهٔ مجاور شرقی به نام «کند» شده است (شکل ۱).

تمامی آبراهه‌های حوضه از نوع فصلی و موقتی بوده و طول بزرگترین آبراهه ۸/۷۴ کیلومتر و شیب آن ۱۱/۹۶ درصد می‌باشد. از نظر ارتفاعی، حداکثر و حداقل ارتفاع این حوضه به ترتیب ۳۷۰۰ متر در بلندیهای شمالی و ۱۷۵۰متر در نقطهٔ خروجی آن بوده و با ارتفاع متوسط وزنی ۲۳۴۶ متر منطقه‌ای کوهستانی بشمار می‌رود.



شکل ۱ - نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

واحدهای ژئومرفولوژی منطقه

با توجه به آنکه نقش عوامل سنگ‌شناسی ، میزان ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب و جهت جغرافیایی دامنه‌ها هر یک بطور مستقیم یا غیر مستقیم در فرایند فرسایش و تولید رسوب قطعی است؛ در صورت مشخص شدن این عوامل در سطح اراضی منطقه و در نتیجه تعیین واحدهای ژئومرفولوژی ، ضمن ارزیابی دقیق‌تر میزان فرسایش و رسوب می‌توان راهکارهای مناسب را در برنامه‌های حفاظت خاک تشخیص داده و مسایل و مشکلات ناشی از آنهارا برطرف نمود.

در این رابطه ابتدا به کمک مطالعات زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه و تهیهٔ نقشهٔ مربوط به آن و همچنین بر اساس مطالعهٔ عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰/۰۰۰ و نقشهٔ توپوگرافی و مشاهدات صحرایی مبنی بر دخالت دادن ویژگیهای توپوگرافی چون ارتفاع، شیب و جهت دامنه‌ها، تهیهٔ نقشه‌های مربوطه و ترکیب و تلفیق آنها، سیمای ژئومرفولوژی منطقه به واحدهای اصلی کوهستان، کوهپایه و تپه ماهوری، دره و نهشته‌های رودخانه‌ای تقسیم کرده که هر یک می‌تواند بیانگر روابط مستند و مشخص از جنس و فرم سطحی زمین، خاک و پوشش گیاهی باشد.

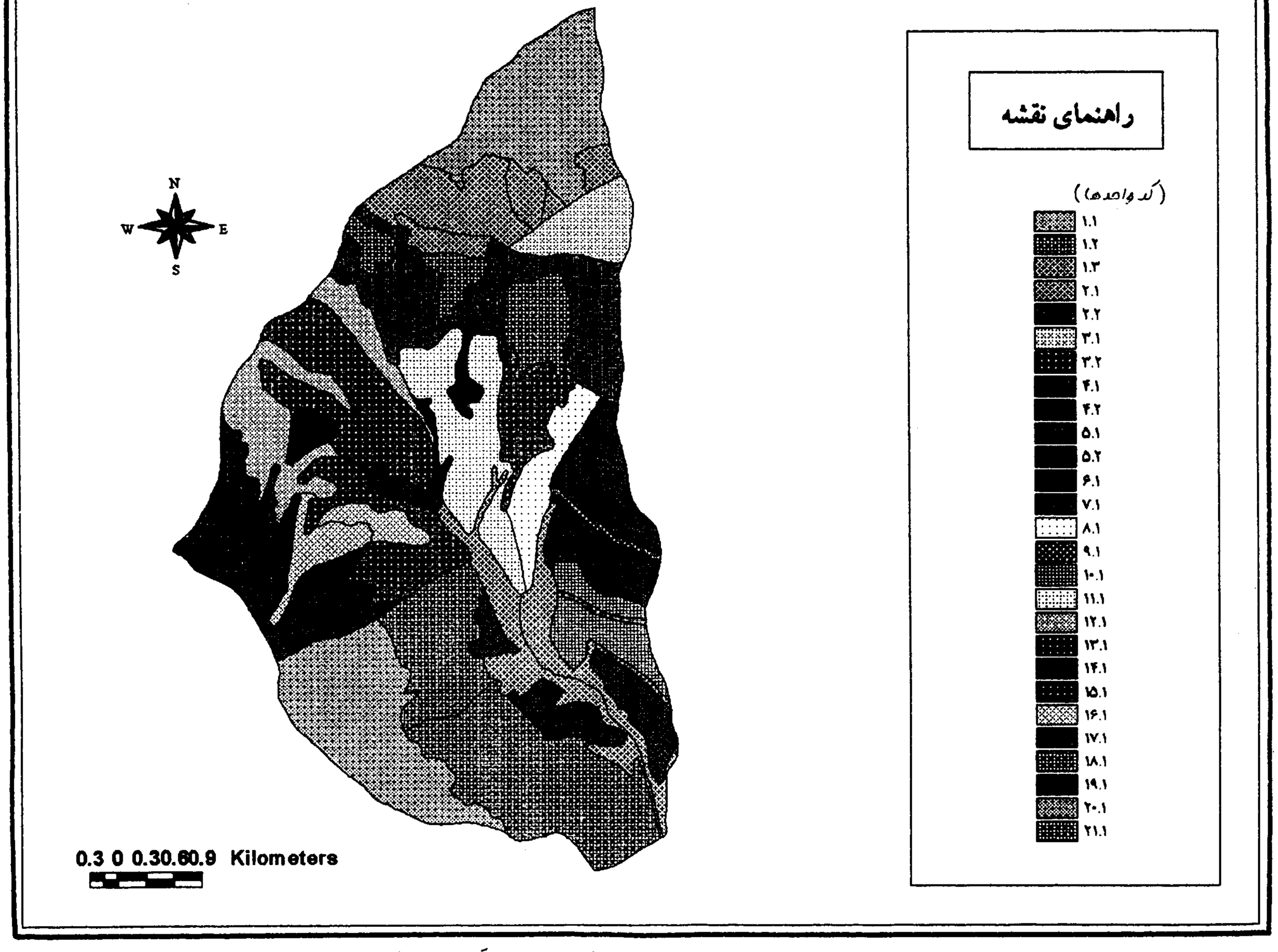
از آنجاکه خصوصیات زمین‌شناسی، اقلیم، ژئومرفولوژی، خاک و پوشش گیاهی نقاط مختلف واحدهای اصلی مذکور در یک حوضه با یکدیگر متفاوت بوده و در نتیجه نقش هر قسمت از آنها در میزان فرسایش و تولید رسوب نیز متفاوت می‌باشد، لذا جهت تعیین میزان این نقش، می‌بایستی واحدهای اصلی مذکور را به واحدهای فرعی همگن ژئومرفولوژی تفکیک نمود.

در تفکیک واحدهای فرعی ژئومرفولوژی، باید توجه داشت که در حوضه‌هایی که دارای چندین واحد ژئومرفولوژی هستند، باید سطح و موقعیت هر یک از آنها در نظر گرفته شود؛ اما واحدهایی راکه در مقایسه با وسعت منطقهٔ مورد مطالعه دارای گسترش بسیار موضعی و محدودی بوده و مساحت آنها کمتر از یک درصد مساحت حوضه باشد، به جهت نداشتن توجیه اقتصادی و بمنظور قابلیت کاربردی هر چه بیشتر این روش، صرفنظر کنیم . بنابراین سعی ما بر آن بوده است که واحدها را تا حد ممکن همگن و نیز در مساحتهایی در نظر بگیریم که قابلیت اجرایی برنامه‌های حفاظتی را نیز دارا باشند. با این وجود، سطوح غیر قابل نفوذ همچون رخنمونهای سنگی و یا واحدهایی که با وجود وسعت کم از نظر میزان فرسایش و رسوبدهی، می‌توانند بسیار تأثیرگذار باشند(از قبیل لغزشها) باید همواره در نظر گرفته شوند.

واحدهای اصلی مذکور در منطقهٔ مورد مطالعه با توجه به دخالت پارامترهای دیگر به ۲۸ زیر واحد تقسیم‌بندی شده که هر یک مشخصات اساسی یکنواخت و مخصوص به خود دارند لذا باکد و علائم ثابتی نشان داده شده‌اند. در کدگذاری واحدها، عدد اول بیانگر ۱ ـ کوهستان ۲ ـ کوهپایه‌ای ۳ـ دره و عدد دوم، واحدهای فرعی را مشخص می‌سازد. همچنین در ستون علائم، طبقهٔ ارتفاعی جهت دامنه‌ها و میزان شیب، در صورت و جنس سنگها، در مخرج کسر مربوط به هر یک از واحدها نشان داده شده است. این علائم و کدگذاری واحدهای ژئومرفولوژی مورد بحث بهمراه پاره‌ای از خصوصیات و ویژگیهای مهم آنها، بعنوان واحدهای کاری ارزیابی فرسایش و رسوب در جدول شمارهٔ (۱) و شکل (۲) آمده است.

جدول ۱ ـ مشخصات و ویژگیهای واحدهای ژئومرفولوژی منطقه

کد واحد	علامت واحد	مساحت (کیلومتر)	تراکم زهکشی	ارتفاع متوسط(متر)	خصوصیات مهم ژئومرفولوژی
۱-۱	E1.S.IV CF	۱۰۳/۳	۳/۶	۳۰۲۰	سنگ و خرسنگ مرتفع با برونزدگی و دامنه نامنظم مخلوط و خاک توسعه کلوویال
۲-۱	E2.SE.SW.IV Qs	۲۶۲	۲/۹	۲۶۳۰	گستره قلوه‌ای با دامنه متشکل فرسایش سطحی و شیاری
۳-۱	E3.SE.SW.IV Sh.S.L	۲۰/۳	۳/۱	۲۰۰۹	کوههای مرتفع با برونزدگی سنگی و دامنه نامنظم متشکل فرسایش شیاری و آبراهه‌ای
۴-۱	E3.SE.SW.III M.	۲۱/۸	۰/۳	۲۳۶۵	تپه‌های جدید فرسایشی با اشکال مرکب گودالی زمین و فرسایش خندقی
۵-۱	E3.E.II M	۲۹/۸	۰/۲	۲۲۵۰	لغزش غیرفعال و ایجاد مانتس، وجود پوشش گیاهی متراکم
۶-۱	E3.NW.III TSH	۳۱/۹	۴/۶۹	۲۱۶۳	دامنه نامنظم با برونزدگی سنگی و پوشش فرسایشی فرسایش شیاری و آبراهه‌ای
۷-۱	E3.SW.II TSH.	۱۶۷/۵	۴/۵	۲۰۱۳	کوههای کم‌ارتفاع، متشکل با فرسایش شدید هزارفره‌ای و خندقی
۸-۱	E3.SE.II TSH.	۶۳/۴	۶/۶	۲۱۱۱	کوههای کم‌ارتفاع، فرسایش شیاری و آبراهه‌ای با خندقی
۹-۱	E3.SW.II T.	۲۰	۴/۵	۲۰۳۷	دامنه نامنظم با توده سنگی و پوشش بادرفتی
۱۰-۱	E3.SW.III TSH	۲۷/۹	۵/۱	۲۰۱۳	کوههای کم‌ارتفاع با فرسایش شدید هزارفره و خندقی
۱۱-۱	E3.S.SW.III TSH	۱۵۳/۲	۳/۲	۲۱۷۰	کوههای کم‌ارتفاع با دامنه منظم، فرسایش شیاری و آبراهه‌ای
۱۲-۱	E3.NE.III TSH	۱۴۰/۲	۴/۵	۲۲۹۲	دامنه منظم مخلوط با پوشش گیاهی متراکم، فرسایش سطحی و شیاری
۱۳-۱	E3.SE.SW.III TSH	۱۳۸/۱	۴/۹	۲۱۷۰	دامنه منظم مخلوط با فرسایش هزارفره‌ای و خندقی
۱۴-۱	E2.NE.III TSH	۸۹/۹	۳/۳۳	۲۰۷۵	کوههای مرتفع با دامنه منظم مرکب، فرسایش شیاری و آبراهه‌ای
۱۵-۱	E3.NE.F.IV TSH	۱۰۱/۵	۴/۰۶	۲۲۳۵	دامنه نامنظم و مخلوط با برونزدگی سنگی، فرسایش آبراهه‌ای
۱۶-۱	E2.N.NE.III TSH	۶۹/۱	۱/۸۷	۲۱۱۶	دامنه منظم و مخلوط، فرسایش شیاری و آبراهه‌ای
۱۷-۱	E2.NE.F.IV Tsh	۱۲۱/۲	۳/۴۷	۲۱۵۳	کوههای مرتفع با دامنه منظم و مخلوط، فرسایش شیاری و آبراهه‌ای
۱۸-۱	E3.F.III Tsh	۱۴۹	۳/۸	۲۱۹۰	دامنه نامنظم و مخلوط با برونزدگی سنگی، فرسایش آبراهه‌ای
۱۹-۱	E3.NE.F.II Tsh	۱۰۸	۵	۱۹۳۰	کوههای کم‌ارتفاع با فرسایش شدید هزارفره‌ای و خندقی
۲۰-۱	E2.F.II Tsh	۲۳۱/۳	۴/۵	۲۳۱۴	کوههای مرتفع با فرسایش شیاری و سولیفلوکسیون شدید
۲۱-۱	E3.NE.III Tsh	۲۶۰/۶	۴/۴	۲۱۴۰	دامنه منظم با برونزدگی سنگی و فرسایش آبراهه‌ای
۱-۲	E3.SI Qt	۱۰۵	۴/۳۸	۲۳۹۳	کوهپایه و دشتهای سایکوهی، عدم تشکل تراکمی، وجود بادرفت
۲-۲	E3.S.II Qt	۱۲۵/۹	۵/۰۴	۲۳۲۰	کوهپایه با بهشه‌های متعدد، مجموعه رسوبهای گشترش و فرسایش فرسایش سطحی
۳-۲	E3.SI CQt	۶۸/۲	۴/۴۱	۲۲۹۰	کوهپایه و آبرفتی تپه‌ماهوری، فرسایش سطحی و شیاری
۴-۲	E3.SW.III Qt	۲۸/۸	۷/۱	۲۱۴۳	کوهپایه ـ آبرفتی بادی، فرسایش سطحی و گلبادکی
۵-۲	E3.NE.III Qt	۳۵/۳	۴/۲۴	۲۱۴۲	آبرفتی بادی با فرسایش سطحی و گلبادکی
۱-۳	E3.SW.NE.II Qt	۱۲۰/۶	۵/۱	۱۹۰۸	دره و رسوبهای پادگانه‌های آبرفتی و مسیر رودخانه‌ها با فرسایش گشترده و با فرسایش کنده‌ای



شکل ۲ ـ نقشه واحدهای ژئومرفولوژی حوضه آبخیز بوجان

برآورد عوامل فرسایش خاک و درجهٔ رسوبدهی واحدها

هدف اصلی تحقیق حاضر را استفاده از واحدهای ژئومرفولوژی در ارزیابی فرسایش و رسوب تشکیل می‌دهد. برای این منظور، از روش پسیاک استفاده شده که در کاربرد آن تاثیر و نقش ۹ عامل مهم و مؤثر در فرسایش خاک و رسوبزایی (مندرج در جدول ۲) مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد و نتیجهٔ آن بصورت ارقام یا نمراتی است که نشان دهندهٔ اهمیت وشدت تاثیر عوامل مورد نظر می‌باشد.

جدول ۲ - روابط مورد استفاده در روش پسیاک جهت ارزش‌دهی به عوامل

ردیف	عوامل فرسایش	معادله و توضیحات عوامل مورد نظر
1	زمین شناسی سطحی	$y_1 = x_1$ شاخص فرسایش زمین شناسی انواع سنگها بر اساس حساسیتشان به فرسایش درجه‌بندی می شوند
2	خاک	$y_2 = 16.67 x_2$ حساسیت خاک به فرسایش این عامل با استفاده از معادله جهانی فرسایش خاک محاسبه می‌شود
3	آب و هوا	$y_3 = 0.2 x_3$ میزان بارندگی ۶ ساعته با دوره برگشت ۲ ساله
4	رواناب	$y_4 = 0.2 x_4$ $x_4 = [(0.03 \bar{v}) + (50 Q_p)]$ ۱ ارتفاع رواناب سالانه و Q= دبی ویژه اوج
5	پستی و بلندی	$y_5 = 0.33 x_5$ شیب متوسط به درصد
6	پوشش زمین	$y_6 = 0.2 x_6$ درصد زمین لخت
7	استفاده از زمین	$y_7 = 20 - 0.2 x_7$ درصد تاج پوشش
8	فرسایش سطحی	$y_8 = 0.25 x_8$ فرسایش سطحی خاک که با استفاده از روش BLM محاسبه می‌شود
9	فرسایش خندقی	$y_9 = 1.67 x_9$ فرسایش خندقی

برای مثال، اولین عامل روش مورد بحث توسط رابطهٔ $y_1=x_1$ بیان شده که در اینجا x_1 شاخص فرسایش زمین‌شناسی است و بر اساس نوع سنگ ،سختی و مقاومت آن تعیین می‌شود. میزان ارزش این پارامتر از ۰ تا ۱۰ متغیر است؛ به این ترتیب که هر چه سنگ سخت‌تر باشد ، عدد کمتر و برعکس به آن بیشتر ارزش داده می‌شود.

نحوهٔ کار جهت ارزیابی این عامل در واحدهای هیدرولوژی معمولاً به این صورت است که پس از امتیازدهی به جنس سنگهای مختلف در یک زیرحوضه، سطح اشغال شده توسط هر سنگ در آن زیر حوضه پلانیمتری شده و در نهایت، امتیاز مربوطه بصورت میانگین وزنی برای هر زیر حوضه محاسبه می‌گردد. اما در این تحقیق چون در هر یک از واحدهای ژئومرفولوژی، تشکیلات زمین‌شناسی یکنواخت است؛ لذا جهت امتیازدهی به این عامل، در آنها نیازی به عملیات مذکور نبوده و هیچگونه متوسط گیری نخواهیم داشت و فقط کافی است تا درجهٔ حساسیتِ تشکیلاتِ خاصِ هر واحد ژئومرفولوژی را دانست تا یکی از عوامل نه گانه بدست آید. جهت ارزش دهیِ باقیِ عوامل نیز مطابق با روابط موجود در جدول شمارهٔ (۲) عمل نموده که نتیجهٔ آن در جدول شمارهٔ (۳) آمده است با استفاده از این جدول می‌توان شدت رسوبدهی واحدهای ژئومرفولوژی منطقه را بشرح ذیل تفکیک و طبقه‌بندی نمود:

۱ - شدت فرسایش بسیار زیاد با درجه رسوبدهی بالاتر از ۱۰۰، شامل واحدهای ۱-۴ (بدلیل وجود اراضی سست

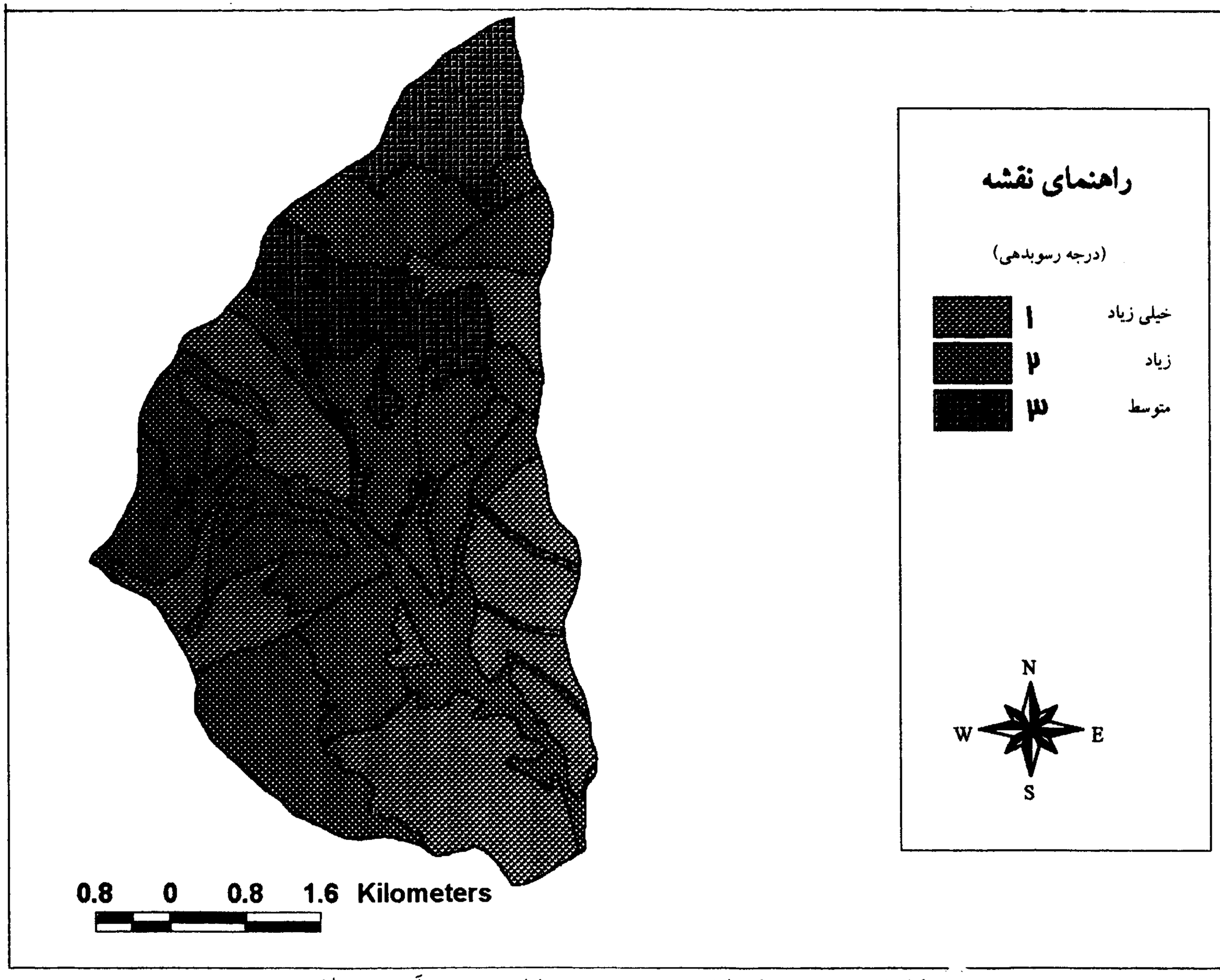
مارنی و لغزشها)، ۱-۷ ، ۱-۱۰، ۱-۱۳، ۱-۱۹ (با فرایندها و اشکال فرسایشی بدلند یا هزاردره) و واحد ۱-۲۰ (با جریانات سولیفلوکسیون) می‌باشد. همچنین واحدهای ۱-۱۷ و ۱-۲۱ به ترتیب با درجهٔ رسوبدهی ۵/ ۱۰۰ و ۱۰۰۸ نیز در این طبقه جای گرفته که از عوامل مهم فرسایش در آنها می‌توان به شیب زیاد و فرسایش سطحی بالا اشاره نمود.

۲- شدت فرسایش زیاد با درجهٔ رسوبدهی ۷۵ الی ۱۰۰، که باقی واحدها را (بجز واحدهای بند ۳) شامل شده است . در این طبقه، واحدهای ژئومرفولوژی که حدود ۵۰ درصد از اراضی آنها را رخنمونهای سنگی تشکیل داده است (یعنی واحدهای ۱-۳، ۱-٦ و ۱-۱۸)، درجهٔ رسوبدهی کمتر از ۹۰ و در غیر این صورت بیش از آنرا نشان داده است.

۳- شدت فرسایش متوسط با درجهٔ رسوبدهی کمتر از ۷۵، مشتمل بر واحدهای ۱-۱ و ۱-۹ (بدلیل وجود اراضی صخره‌ای فاقد خاک)، ۱-۲ ، ۲-۲ و ۲-۴ (بدلیل وجود باغات و اراضی کشاورزی و حفظ خاک توسط بندها و تراسهای ایجاد شده) می‌باشد. با این حال، فعالیتهای انسانی و بهره‌برداریهایِ غیر اصولی با فرسایش سطحی و رودخانه‌ای زیاد سبب شده است تا واحدهای ۲-۳، ۲-۵ و ۳-۱ درجهٔ رسوبدهی بالاتر از متوسط را نشان بدهند.

جدول ۳ ـ نتیجهٔ نهاییِ ارزیابی عوامل فرسایش و تعیین درجهٔ رسوبدهی واحدهای ژئومرفولوژی

واحد	زمین‌شناسی	خاک	آب و هوا	رواناب	توپوگرافی	پوشش زمین	استفاده از زمین	فرسایش سطحی	فرسایش رودخانه‌ای	درجه رسوبدهی
(1-1)	6	0.83	7.2	8.4	23.1	2	18	7	1.7	74/2
(2-1)	8	6.5	7	8.1	19.4	7.9	13.3	15.5	10	95/7
(3-1)	6	3.7	6.9	9.2	23.1	4.9	15.6	11	6.7	87/1
(4-1)	8.5	9.6	6.9	8.9	16.5	7.9	13.3	20.3	18.4	110/3
(5-1)	8.5	9.6	6.8	10	9.9	7.9	13.3	17.3	15	98/3
(6-1)	7	5.2	6.7	10	16.5	5	15.6	13.8	8.4	88/2
(7-1)	7	9.6	6.7	7.2	9.9	7.9	13.3	22.1	23.4	107/1
(8-1)	7	9.6	6.7	8.8	9.9	7.9	13.3	18	15	96/2
(9-1)	5	0.83	6.8	10	16.5	2	18	10	5	74/1
(10-1)	7	9.6	6.6	8.2	16.5	7.9	13.3	18.5	18.4	106
(11-1)	7	9.6	6.7	7.5	16.5	7.9	13.3	16.2	15	99/7
(12-1)	7	6.5	6.8	7.6	16.5	8.5	14.6	13.8	13.4	94/7
(13-1)	7	9.6	6.7	7.4	16.5	8.5	14.6	18.5	16.7	105/5
(14-1)	7	6.5	6.9	8.9	16.5	8.5	14.6	15	13.4	97/3
(15-1)	7	3.7	6.8	8.2	23.1	5.2	16.3	12.5	10	92/9
(16-1)	7	6.5	6.9	9.1	16.5	8.5	14.6	13.5	10	92/7
(17-1)	7	6.5	7	8.6	23.1	8.5	14.6	14	11.7	100/5
(18-1)	7	3.7	6.8	7.8	16.5	5.2	16.3	12.8	10	86/1
(19-1)	7	9.6	6.6	8.6	9.9	8.5	14.6	20.5	21.7	106
(20-1)	7	9.6	7	7.7	16.5	8.5	14.6	19.5	13.4	103/8
(21-1)	7	9.6	6.7	6.9	16.5	8.5	14.6	16	15	100/8
(1-2)	8	7.3	6.8	8.3	4.9	2	8	14.8	11.7	71/7
(2-2)	8	7.3	6.8	7.9	9.9	2	8	14	10.8	74/7
(3-2)	7	7.3	6.7	8.8	9.9	7.9	13.3	15.5	15	91/4
(4-2)	8	7.3	6.7	10	16.5	2	8	13	11.7	83/2
(5-2)	8	7.3	6.7	9.8	16.5	3.5	9	15	13.4	89/2
(1-3)	8	7.3	6.6	7.1	7.8	2	8	15.6	16.7	79/1



شکل ۳ ـ نقشه شدت فرسایش و درجه رسوبدهی اراضی حوضه آبخیز بوجان

برآورد میزان رسوب کل و رسوب ویژهٔ واحدها

با استفاده از رابطه نماییِ بین درجهٔ رسوبدهی و میزان تولید رسوب، حجم برآوردی رسوب از هر کیلومترمربع و همچنین حجم مواد خروجی هر واحد محاسبه می‌شود:

$$Q=38.77e^{0.0353R}$$

که در آن Q_s میزان تولید رسوب (به متر مکعب در کیلومترمربع) R درجهٔ رسوبدهی یا حاصل جمع نمرات عوامل نه گانه و e لگاریتم بر مبنای نپرین (۲/۷۱۸۲۸۱۸۲۸) می‌باشد با احتساب وزن مخصوص متوسط رسوبها یعنی ۱۵۰۰ کیلوگرم در مترمکعب، میزان وزنی رسوب ویژه و همچنین رسوب کل واحدها بدست آمده است. جدول شمارهٔ ۴ نتیجهٔ این محاسبات را نشان می‌دهد که با توجه به آن، بیشترین رسوب ویژه مربوط به واحدهای ۱-۴ و ۱-۷ با بیش از ۲۵ تن در هکتار در سال می‌باشد. همچنین مجموع کل رسوب خروجی منطقه ۵۰۴۸۸/۹ تن در سال و رسوب ویژه کل آن ۱۷/۱۳ تن در هکتار در سال برآورد شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

به منظور دقت عمل بیشتر و همچنین تعیین روابط و نحوهٔ توزیع مکانی فرسایش خاک و رسوبدهی در سطح حوضهٔ آبخیز، بررسی و ارزیابی فرسایش و رسوب در این تحقیق بر پایهٔ واحدهای ژئومرفولوژی استوار گردیده است. این روش توانسته است تا واحدهای همگنی را ارائه دهد که عوامل اصلی فرسایش را بطریقی که بهتر و دقیق‌تر قابل تعیین و استفاده باشد، مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و میزان رسوبدهی آنها را برآورد نماید (ر.ک. به جدول ۳ و توضیح مربوط به آن در مبحث برآورد عوامل فرسایش).

برای تعیین درجهٔ دقت برآورد انجام گرفته، می‌توان از رابطهٔ همبستگیِ بین دبی و رسوب استفاده نمود؛ اما در تحقیقاتِ قبلی از این حوضه برای ارزیابی نتیجه و کارایی مدلها از میزان متوسط رسوب‌گذاری در مخزن سد استفاده نموده‌اند، چراکه اختلاف رسوبهای مخزن سد با آمار کل رسوبهای خروجی از ایستگاهها قابل توجه می‌باشد و علت آنرا در بررسیهای که از این حوضه وجود دارد، به عدم نظم مشخص در نمونه‌برداری از ایستگاهها، تعداد کم نمونه‌بردایها در هر ایستگاه و همچنین متوسط تعداد کم نمونه‌برداری در هر سال نسبت داده‌اند. بدلیل دقت مناسب مطالعات عمق‌یابی در مخزن سد و بدلیل آنکه رسوبهای جمع شده در مخزن، شامل بار معلق و بار بستر نیز می‌باشد؛ بطوریکه کل رسوبها در مواقع سیلابی و غیر سیلابی را در یک دورهٔ طولانی دریافت نموده است ، لذا می‌توان از متوسط رسوبگذاری ویژه آن به تن در هکتار برای منطقهٔ مورد مطالعه نیز استفاده نمود. گزارشات امور آب، میزان رسوب سالیانه ویـژه حـاصل از عمق‌یابی تا سال ۱۳۶۸ را ۱۶/۵۸ تن در هکتار نشان داده است.

تجزیه و تحلیل آمار رسوب‌سنجی حوضهٔ سد لتیان و بعضی از زیر حوضه‌های آن در منابع دیگر نیز آمده است. طرح جامع این سد در مقایسه با سایر ارزیابیها، بیشترین میزان برآوردی رسوب را به خود اختـصاص داده است. در گزارش فرسایش و رسوب طرح آبخیزداری جهاد، میزان رسوب حمل شده توسط ایستگاه گلندوک ۱۸۴۳۲ تن برآورد شده که با استناد به دلایلی، آمار آنرا قابل اطمینان ندانسته و استفاد ننموده است این منبع میزان فرسایش و رسوب ویژه منطقه را با بهره گیری از مدل پسیاک ۱۰/۹ تن در هکتار تخمین زده که دو سوم متوسط رسوبگذاری مخزن سد را شامل می‌شود.

پژوهشی دیگر در حوضهٔ سد، از ایستگاه رودک که بطور متوسط ۳۰ بار در سال نمونه‌برداری داشته و تعداد سالهای بدون آمار آن در حداقل است، استفاده نموده است . ایستگاه مذکور نیز با توجه به آنکه دو سوم از سطح کل حوضهٔ سد را در برگرفته و بدلیل اختلاف زیاد با رسوبهای مخزن سد رسوب قابل توجهی را نشان نداده است . در این رابطه با قبول شرایط غیر سیلابی در ۱۰ ماه از سال، نسبت به اصلاح آمار آن بر اساس شرایط مذکور و غیرِ آن اقدام شده که با اعمالِ ضریب حاصله و با ملاحظهٔ بار کف مقدار تخریب ویژهٔ منطقه، بطور متوسط ۲۲/۸۶ تن در هکتار بدست آمده است.

از مجموعه تجزیه و تحلیل‌هایی که ذکر آن گذشت، می‌توان استنباط نمود که تولید رسوب سالانه منطقهٔ مورد مطالعه از رسوب ویژهٔ کل حوضهٔ سد، کمتر نباشد؛ اما از محاسبهٔ آمار مقدار رسوب‌سنجی به میزان ۲۲/۸۶ تن در هکتار تا حدودی فاصله داشته که این امر با برآورد میزان رسوبدهی از طریق مدل پسیاک در واحدهای ژئومرفولوژی منطقه (یعنی ۱۷/۱۳ تن در هکتار) همخوانی نشان می‌دهد.

همچنین تحلیل‌های آماری با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره و یافتنِ رابطهٔ بین وضعیت فعلی فرسایش (SSF یا عامل مشاهده شده) بعنوان متغیر وابسته و سایر عوامل فرسایش (یا عوامل محاسبه شده) بعنوان متغیرهای مستقل با استفاده از نرم‌افزار SPSS، بیانگر وجود همبستگی در سطح معنی‌دار بالایی است. نتایج حاصل از این روش در جدول شمارهٔ (۵) و رابطهٔ زیر[۱] نشان می‌دهد که متغیّرهای خاک، پوشش زمین و توپوگرافی از اهمیت بیشتری برخوردار هستند.

$$SSF=14.0274+(-0.7575C)+(-0.0421G)-(0.0446L)+(0.2628P)+(-0.0094R)+(0.8976S)+(-0.1113T)$$

در نهایت، ارزیابی فرسایش و رسوبدهی اراضی منطقه با تعیین و استفاده از واحدهای همگن ژئومرفولوژی ثابت می‌کند که فرضیات تحقیق در بارهٔ سرعت، دقت عمل بیشتر، تشخیص مهمترین عوامل فرسایش و بحرانی‌ترین نواحی از نظر تولید رسوب، تعیین روابط و نحوهٔ توزیع مکانی فرسایش خاک در سطح منطقه و ... صحیح می‌باشد. ملاحظهٔ روند تخریب منابع طبیعی در سطح منطقه و ارقام برآوردی فرسایش خاک و رسوبدهی خیلی زیاد (مندرج در جداول ۳ و ۴)، انجام عملیات مناسب آبخیزداری و اجرای طرحهای حفاظتی را الزامی می‌سازد. با مشخص شدن شدت فرسایش و درجهٔ رسوبدهی هر یک از واحدهای ژئومرفولوژی منطقه در این تحقیق، ضروریست در برنامه‌ریزیهای اجرایی جهت کاهش میزان فرسایش خاک، این اولویتها مدنظر قرار گیرد؛ بطوریکه پیشنهادات برای تعیین محل مناسب اجرای طرحها، از قبیل گابیون‌بندی ، ایجاد بند ، تراس‌بندی و ...

بر حسب مورد و با توجه به ویژگیهای مکانی هر یک از واحدها، باید از بحرانی‌ترین واحدها (برای مثال از واحدهای ۱-۴ و ۱-۷) آغاز گردد .

۱- در این رابطه متغیرهای مستقل باعلائم G(زمین شناسی سطحی) S (خاک) C (آب و هوا) R (رواناب) T (توپوگرافی) P(پوشش زمین) L (استفاده از زمین) نشان داده شده‌اند .

جدول ۴ ـ اطلاعات مربوط به برآورد رسوب ویژه واحدهای ژئومورفولوژی

واحد ژئومرفولوژی	رسوب ویژه مترمکعب در کیلومتر مربع	حجم رسوب متر مکعب	وزن رسوب تن در سال	رسوب ویژه تن در کیلومتر مربع در سال
(۱-۱)	۵۲۲/۱	۱۰۸۰/۲	۱۶۲۰/۳	۲۹۸/۲
(۱-۲)	۱۱۲۶/۷	۱۸۲۱/۲	۲۷۳۲/۱	۱۷۰۵
(۱-۳)	۸۲۹/۱	۵۸۷/۲	۸۸۱	۱۲۵۸/۵
(۱-۴)	۱۹۰۲/۱	۱۲۵۱/۲	۲۰۲۶/۸	۲۸۵۲/۶
(۱-۵)	۱۲۲۵/۹	۲۶۲۸	۵۶۰/۷	۱۸۵۹
(۱-۶)	۸۷۲/۲	۲۷۹/۱	۲۱۸/۶	۱۲۸۸/۲
(۱-۷)	۱۶۹۹/۸	۲۸۲۸/۷	۲۲۵۸/۱	۲۵۲۹/۷
(۱-۸)	۱۱۵۶/۹	۲۷۸/۹	۱۰۹۲/۲	۱۷۲۵/۵
(۱-۹)	۵۶۰/۲	۱۰۶/۱	۱۵۹/۲	۲۹۵/۸
(۱-۱۰)	۱۴۲۵/۱	۱۲۷۵/۲	۱۹۱۲/۱	۲۶۵۲/۷
(۱-۱۱)	۱۲۰۹	۲۰۲۵/۸	۳۰۰۶/۲	۱۹۶۲/۵
(۱-۱۲)	۱۰۹۷/۱	۱۵۲۷/۱	۲۲۲۸/۷	۱۴۲۵/۹
(۱-۱۳)	۱۴۰۶/۵	۲۲۹۷/۹	۳۰۷۸/۲	۲۲۰۹/۷
(۱-۱۴)	۱۲۰۲/۷	۱۰۸۲/۲	۱۶۲۳/۴	۱۸۰۲
(۱-۱۵)	۱۰۲۹/۷	۱۰۴۰	۱۵۶۰	۱۵۲۲/۶
(۱-۱۶)	۱۰۲۲/۲	۷۰۵/۵	۱۰۵۸/۲	۱۵۲۲۸
(۱-۱۷)	۱۲۲۶/۵	۱۶۲۹/۲	۲۴۴۴	۳۰۱۹/۸
(۱-۱۸)	۸۰۹/۹	۱۰۲۲/۸	۱۵۳۴/۲	۱۲۱۱/۹
(۱-۱۹)	۱۴۲۵/۱	۹۲۷/۲	۱۳۹۰/۱	۲۲۵۲/۶
(۱-۲۰)	۱۵۰۷/۶	۲۲۹۷/۶	۳۴۴۶/۵	۲۲۶۷/۲
(۲-۱)	۱۲۶۰/۶	۲۵۵۱/۶	۳۷۷۲/۸	۲۰۲۱/۲
(۲-۲)	۲۲۷/۲	۵۱۳/۶	۷۷۰/۲	۲۰۲۰/۶
(۲-۳)	۵۴۱/۶	۶۷۷	۱۰۱۵/۵	۸۲۲/۱
(۲-۴)	۴۷۶/۶	۲۴۴/۱	۴۹۶/۲	۲۶۲۱/۹
(۲-۵)	۷۲۱/۱	۲۱۲	۳۱۸	۲۰۹۶/۶
(۲-۶)	۹۰۲/۶	۲۲۶/۲	۳۲۹/۵	۲۳۵۰۶
(۲-۷)	۶۲۲/۶	۱۰۸۷/۵	۱۶۳۱/۸	۹۹۸/۹

جدول ۵ ـ نتایج محاسبات آماری و تحلیل رگرسیون فرسایش سطحی و سایر عوامل

* * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * *

Listwise Deletion of Missing Data

Equation Number 1 Dependent Variable.. SSF

Block Number 1. Method: Enter
C G L P R S T

Variable(s) Entered on Step Number
1.. T
2.. P
3.. R
4.. G
5.. C
6.. L
7.. S

Multiple R	.91458
R Square	.83646
Adjusted R Square	.77621
Standard Error	1.59496

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	7	247.21239	35.31606
Residual	19	48.33428	2.54391

F = 13.88259 Signif F = .0000

---------- Variables in the Equation ----------

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
C	-.757526	2.966595	-.032068	-.255	.8012
G	-.042091	.726408	-.009662	-.058	.9544
L	.044631	.144229	.046161	.309	.7604
P	.262830	.205488	.207209	1.279	.2163
R	-.009394	.365248	-.002614	-.026	.9797
S	.897584	.273624	.703162	3.280	.0039
T	-.111335	.091216	-.161200	-1.221	.2372
(Constant)	14.027409	20.378042		.688	.4995

End Block Number 1 All requested variables entered.

منابع و مآخذ:

۱ ـ آذرنیوند، حسین. ۱۳۷۳، بررسی پوشش گیاهی و خاك در رابطه با واحدهای ژئومرفولوژی در دامغان، اولین سمینار بررسی مسائل بیابانی

۲ ـ احمدی، حسن. ۱۳۷۴، ژئومرفولوژی کاربردی، جلد اول فرسایش آبی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران

۳ ـ جداری عیوضی ، جمشید. ۱۳۶۳، ناحیه شمال غرب ایران یك واحد بزرگ ژئومرفولوژیکی، انتشارات جغرافیایی دانشگاه تهران، شماره ۲۰

۴ ـ جوکار سرهنگی، عیسی. لایقی، نصرت الله. ۱۳۷۷، وضعیت آبخیزداری استان تهران، سازمان جهاد استان تهران، مدیریت آبخیزداری، (منتشر نشده)

۵ ـ چورلی، ریچارد جی. و همکاران، ۱۳۷۵، ژئومرفولوژی، جلد اول، ترجمه احمد معتمد، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها (سمت)، تهران

۶ ـ حیدریان، سید احمد. ۱۳۷۳، ارزیابی فرسایش و پیش‌بینی آن در مناطق کوهستانی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

۷ ـ رامشت، م.ح. ۱۳۷۵، کاربرد ژئومرفولوژی در برنامه‌ریزی (ملی، منطقه‌ای و اقتصادی)، انتشارات دانشگاه اصفهان.

۸ ـ رجایی، عبدالحمید، ۱۳۷۳، کاربرد ژئومرفولوژی در آمایش سرزمین و مدیریت محیط، نشر قومس، تهران.

۹ ـ رفاهی، حسینقلی، ۱۳۷۵، فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.

۱۰ ـ سازمان جغرافیایی کشور، نقشه توپوگرافی (مقیاس ۱:۵۰۰۰۰) لشگرك، برگ ۶۳۶۱، سری k753، ۱۳۵۲.

۱۱ ـ سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، ۱۳۵۲، طرح آبخیزداری سد لتیان، دفتر حفاظت خاك و آبخیزداری،(منتشر نشده).

۱۲ ـ سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۶۵ ، نقشه زمین‌شناسی (مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰) تهران.

۱۳ ـ سازمان نقشه‌برداری کشور، عکس‌های هوایی (مقیاس ۱:۲۰۰۰۰) منطقه در ۱۲ شماره

۱۴ ـ سازمان هواشناسی کشور، سالنامه‌ها و آمارنامه‌های بارندگی و تبخیر، ۱۳۷۵ ـ ۱۳۴۹.

۱۵ ـ شرکت آبخیزداران البرز، ۱۳۷۸، مطالعات تفضیلی ـ اجرایی ـ حوزه سد لتیان، سازمان جهاد سازندگی استان تهران، مدیریت آبخیزداری، (منتشر نشده).

۱۶ ـ طهماسبی پور، ناصر و همکاران. ۱۳۷۴، کاربرد و ارزیابی مدل جدید پسیاك برای تهیه نقشه فرسایش در حوزه آبخیز جاجرود (لوارك) با استفاده از تکنیکهای سنجش از دور و GIS ، مجموعه مقالات کنفرانس منطقه‌ای مدیریت منابع آب، اصفهان.

۱۷ ـ غیور نجف‌آبادی، حسنعلی. ۱۳۶۶، ژئومرفولوژی و برنامه‌ریزی فرسایش حاصله از آبهای روان و محاسبه آن بر مبنای بارندگی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، انتشارات آستان قدس رضوی، شماره مسلسل ۶.

۱۸ ـ فرجی، محمد، ۱۳۷۰، برآورد رسوب در حوزه‌های بدون آمار با استفاده از روش تجربی PSIAC، دومین سمینار سراسری آبخیزداری، زنجان.

۱۹ ـ فیض نیا، سادات. ۱۳۷۴، مقاومت سنگها در مقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴۷، تهران.

۲۰ ـ کردوانی، پرویز، ۱۳۶۳، حفاظت منابع طبیعی «خاك»، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

۲۱ ـ کك، رژه، ۱۳۷۰، ژئومرفولوژی، جلد دوم، ژئومرفولوژی اقلیمی، ترجمه فرج‌الله محمودی، انتشارات دانشگاه تهران.

۲۲ ـ کوك ،آر.یو. دورکمپ ، جی . سی. ۱۳۷۷، ژئومرفولوژی و مدیریت محیط، جلد اول، ترجمه شاپور گودرزی نژاد، انتشارات سمت.

۲۳ ـ مخدوم، مجید، ۱۳۷۴، شالوده آمایش سرزمین، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

۲۴ ـ مورگان، آر.پی.سی، ۱۳۶۸، فرسایش و حفاظت خاك، ترجمه امین علیزاده، معاونت فرهنگی آستان قدس رضوی.

۲۵ ـ وزارت نیرو، ۱۳۵۰، سالنامه‌ها و آمارنامه‌های جریان آب و بارندگی، ۷۶

26- Environmental systems Rseearch Institute , 1960, Undrestanding GIS, The ARC/INFO Metod , Inc . Redlands , CA , USA .

27- Chorley . R.J.(ed) 1960, water , Earth and Man , Methuen , London.

28- Cook , RU., Doornkamp , C., 1974, Geomorphology in environmental Management , oxford universitypress.

29- Doornkamp , C.1991, The Earth sciences and planning in the Third world , Liverpol university press.

30- F.A.O. 1976, Soil conservation for developing countries , soils Bulletin 30 . rome .

31- Foster , G.R.1982, Modeling the erosion process . Hydrologic modeling of small watersheds. American Society of Agricultural Engineers . St joseph. Mi.U.S.A.

32- Griffin , M.L.D.B.Beasley .J.J.Fletcher.1988, Estimating Soil Loss on topographically non unifow field and form units. JSWE.4.

33- Hart . M.G.1991, Geomorphology Pure and Applied , Allen and Unwin.

34- Imeson , A.C.1987, Soil Erosion & conservation , In human activity Environmental processes. John Willy & sons U.K.

35- Howard , J.A.Mitchell,C.W. 1985, Phytogeomorphlogy , Macgraw - Hill Book company.

36- Makhdoum , M.F.1992, Environment unit : An arbitrary ecosystem for land evalauation , AGEE 41 (2) : 209-214.

37- Morgan , R.P.C.1986, soil erosion and conservation . Longman scientific and Techrmical , John Wiley and sons.

38- Primdah , J. 1989, Landscape analysis and zoning as a planing method . Ecologia (CSSR). (2):155-165.

39- Speight . J.G.1968, Pararnetric description of landform . In Land Evaluation Macmillan of Aust . Melbourne :239-250.

40- Stodart , D.R. 1971, worid erosion and sedimentation , intradaction to fluvial processes . Edited by Richard , j . chorley chaclcer press.

41- Walling . D.E . 1982, Recent Development in the Explanation and prediction of Erosion and sediment Yield . IAHS no 137.

42- Way , D.S.1978, Terrain Analysis . 2nd ed . Dowden, Hutchin son and Ross Inc . Stroudsburg.

43- Zinck . J. A.1989, Physiography and Soils , Soil Survey Courses , IGAC.