

ارزیابی روش برآورد هدررفت خاک با شاخص‌های میدانی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهرک، طالقان)

- ❖ نیره غضنفرپور؛ دکتری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ❖ سادات فیض نیا؛ استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ❖ حسن احمدی؛ استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ❖ محمد جعفری؛ استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ❖ مسعود نصری؛ استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اردستان

چکیده

برآورد مقادیر هدررفت خاک از طریق اندازه‌گیری شاخص‌های میدانی روشی کم‌هزینه و برای یادگیری و استفاده کاربران آسان است. به منظور اندازه‌گیری و ارزیابی مقادیر هدررفت خاک برآورد شده با روش شاخص‌های میدانی در حوضه آبخیز شهرک، نخست نقشه واحدهای کاری تهیه و شاخص‌های میدانی در واحدهای کاری اندازه‌گیری شد. پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل EPM برای منطقه مورد مطالعه، صحت مقادیر هدررفت خاک اندازه‌گیری شده با شاخص‌های میدانی با استفاده از مدل تجربی مذکور ارزیابی شد. مقدار میانگین خطای نسبی کم (برابر ۷/۶) و ضریب همبستگی بالا (برابر ۰/۹) بین مقادیر هدررفت خاک برآورد شده به روش شاخص‌های میدانی و مدل EPM نشان‌دهنده صحت روش شاخص‌های میدانی در برآورد هدررفت خاک منطقه مورد مطالعه است. مقادیر میانگین فرسایش خاک مربوط به شاخص رخنمون سنگ ۴۷/۶۱ تن در هکتار، تجمع رسوب پشت مانع ۳۴/۷۸ تن در هکتار، پدستال ۲۲/۶۱ تن در هکتار، فرسایش شیبی ۵/۶۷ تن در هکتار، زهکش اراضی ۲/۲۱ تن در هکتار و فرسایش خندقی ۲/۱۷ تن در هکتار به دست آمد.

واژگان کلیدی: حوضه آبخیز شهرک، شاخص‌های میدانی، هدررفت خاک، مدل تجربی EPM.

مقدمه

فرسایش خاک فرایند پیچیده‌ای است که اندازه‌گیری و برآورد دقیق آن مشکل است [۹]. کارایی اقدام‌های حفاظتی و کنترل فرسایش خاک تا حد زیادی به چگونگی فناوری برآورد فرسایش خاک وابسته است [۱۷]. از این رو، تلاش در راستای دستیابی به روش‌های مناسب و کارا برای پیش‌بینی میزان فرسایش خاک و رسوب‌زایی حوضه‌های آبخیز ضروری است. برآورد مقادیر فرسایش و رسوب از طریق اندازه‌گیری شاخص‌های میدانی روشی نسبتاً ساده است و اندازه‌گیری‌های نزدیک به واقعیت ارائه می‌کند، به‌خصوص که برآورد مقادیر هدررفت خاک از طریق شاخص‌های میدانی به صورت درون‌آبخیزی^۱ یا محلی است و این موضوع در تعیین فرسایش خاک در مقیاس مکانی، به‌ویژه روی دامنه‌ها، اهمیت دارد.

این تحقیق قصد دارد طی برآورد هدررفت خاک با استفاده از روش شاخص‌های میدانی و اعتبارسنجی آن از طریق مدل EPM، روشی به‌نسبت سریع و نزدیک به واقعیت برای تخمین مقدار فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز مختلف ارائه کند. پویسن و همکاران در اسپانیا تولید رسوب ناشی از شاخص فرسایش خندقی، شیاری و بین شیاری را از طریق نقشه‌برداری و تجزیه و تحلیل عکس‌های هوایی ارزیابی کردند [۱۵] و مقادیر هدررفت خاک سالانه شاخص فرسایش خندقی را ۳/۶، ۳/۲ و ۹/۷ متر مکعب در هکتار برای سه سایت مورد بررسی به‌دست آوردند. مورناگان و استوکینگ روش

اندازه‌گیری و محاسبه میزان هدررفت خاک را با استفاده از شاخص‌های میدانی بیان نمودند [۲۰]. برگزمای طی مشاهدات صحرایی خود اشکال مختلف میکروتوپوگرافی سطح خاک را ثبت و بررسی کرد و، با توجه به توزیع آن‌ها، شدت فرسایش را تعیین نمود [۲]. ویگیاک در مطالعه‌ای در تانزانیا از شاخص‌های میدانی به منزله ابزار ارزیابی فرسایش خاک به شکل درخت طبقه‌بندی استفاده کردند [۲۴]. نتایج مطالعه استرک و اوکابا نشان داد که ویژگی‌های مرتبط با شاخص شیاری و پدستال برای برآورد هدررفت خاک در ارتفاعات مرکزی کنیا مناسب و همبستگی بین آن‌ها مثبت است [۱۱]. نصری از شاخص‌های فرسایش و تحلیل چندمتغیره به منظور ارائه مدل منطقه‌ای فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز مندرجان استفاده کرد. برآوردهای صورت‌گرفته به روش آماری، تجربی و اندازه‌گیری در سطح ۹۹ و ۹۵ درصد معنی‌دار بودند [۱۰]. فبلز و همکاران برخی از شاخص‌های خاک را برای بررسی فرسایش خاک استفاده کردند [۵]. این شاخص‌ها روند تخریب خاک را مشخص کردند و نقش چرای بیش از اندازه و فشار بر اراضی کشاورزی را در فشردگی خاک نشان دادند. روستانیو و دگرگ ارتباط بین میزان فرسایش خاک و شاخص سنگ‌فرش بیابان را بررسی [۱۸] و بیان کردند که این شاخص برای ارزیابی وسعت و شدت فرایند فرسایش در مناطقی از آرژانتین مناسب است. هدف از مطالعه حاضر ارزیابی هدررفت خاک اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط شاخص‌های صحرایی در حوضه آبخیز شهرک است. حوضه آبخیز شهرک در منطقه‌ای قرار دارد که عوامل فرسایش از نظر شرایط اقلیمی، جنس خاک و نوع پوشش گیاهی

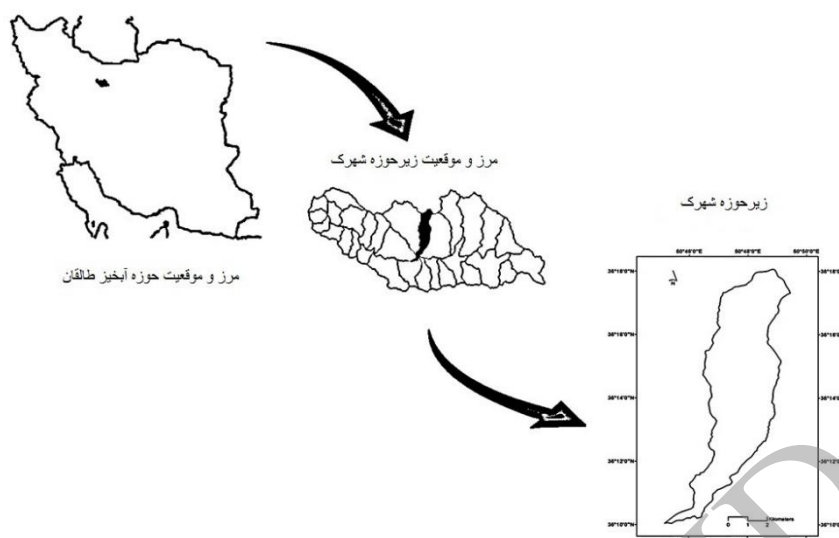
1. on-site

Geomatca زمین مرجع شدند، استفاده شد (شکل ۳). در تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز شهرک با تفسیر عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ مربوط به سال ۱۳۷۹ واحدهای اصلی به دست آمد. با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10 این لایه‌های اطلاعاتی رقومی و تلفیق شد و نقشه واحدهای کاری با ۴۴ واحد کاری و در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ آماده شد. شاخص‌های میدانی در قالب این واحدهای کاری اندازه‌گیری شد. با استفاده از دستورالعمل مورنگان و استوکینگ، شاخص‌های هدررفت خاک در منطقه شناسایی و اندازه‌گیری شد [۲۰]. بدین منظور، برای هر شاخص در منطقه واحدهای معرف شناسایی شد و اندازه‌گیری‌ها در آن واحدها انجام گرفت. اندازه‌گیری‌ها به نحوی انجام یافت که معرف فرسایش فصلی نیز باشند. از این رو، در خرداد ۱۳۹۰، پس از فصل بارندگی، مشاهدات صحرائی مورد نظر جمع‌آوری شد [۳، ۱۲]. این فرصت مناسبی بود تا اثر بارندگی قبلی و خسارت فرسایش گذشته قبل از کندوکاو ناشی از برداشت فصل جاری دیده شود. به منظور اجرای شبکه اندازه‌گیری شاخص‌ها در منطقه، در طول ترانسکت و بر روی دامنه‌ها از خط تقسیم به سمت کف دره برداشت‌ها انجام شد. ترانسکت‌ها بر روی نواحی مختلف آبخیز انتخاب شدند؛ به نحوی که نشان‌دهنده ترکیب مختلفی از واحد زمین‌شناسی، نوع کاربری اراضی، شیب، جهت و رخساره فرسایشی موجود بودند. ترانسکت‌ها به طول ۱۰ متر و فواصل ۵ متر از خط تقسیم تا کف دره کشیده شد [۱۲].

هر یک به نحوی عمل تخریب خاک و فرسایش را تشدید می‌کنند.

روش‌شناسی تحقیق

حوضه آبخیز شهرک یکی از زیرحوضه‌های آبخیز طالقان است و با مساحتی در حدود ۳۷۱۲/۱۴ هکتار مرکز طالقان به‌شمار می‌رود. این منطقه بین عرض جغرافیایی $36^{\circ}10'3''$ تا $36^{\circ}18'3''$ شمالی و طول جغرافیایی $50^{\circ}45'12''$ تا $50^{\circ}49'27''$ شرقی واقع شده است و رودخانه شهرک، واقع در آن، با امتداد شمالی-جنوبی در پایین دست به رودخانه طالقان ختم می‌شود (شکل ۱). در راستای اجرای تحقیق حاضر، شاخص‌های میدانی در قالب واحدهای کاری اندازه‌گیری شد. به منظور تهیه نقشه واحدهای کاری به روش ژئومورفولوژی در حوضه آبخیز شهرک، نقشه‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی، رخساره‌های فرسایشی، شیب و جهت‌های جغرافیایی تهیه شد [۱]. نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه شکران، که سازمان زمین‌شناسی کشور آن را تهیه کرده است، به عنوان نقشه پایه استفاده شد. نیز از مطالعات انجام‌یافته توسط حسینی در تدقیق واحدهای زمین‌شناسی منطقه بهره‌گیری شد [۶]. بدین ترتیب، نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ به دست آمد (شکل ۲). در تهیه نقشه میزان شیب و جهت شیب از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ رقومی شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور استفاده شد. برای تعیین رخساره‌های ژئومورفولوژی یا فرسایشی موجود در سطح منطقه و مرزبندی دقیق آن‌ها از تفسیر عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ مربوط به سال ۱۳۷۹، که در محیط نرم‌افزاری



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز شهرک واقع در حوضه طالقان

قرار دارد. تحت این فرض برداشت خاک توسط فرسایش برابر با ارتفاع سنگ نمایان شده است. ارتفاع پدستال‌ها را می‌توان با یک خط‌کش اندازه‌گیری کرد. معمولاً ارتفاع تعداد زیادی پدستال اندازه‌گیری و میانگینی از آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. در اندازه‌گیری شاخص زهکش اراضی کشاورزی حجم رسوب داخل آبگذر را می‌توان با اندازه‌گیری عمق رسوب، عرض و طول آبگذر محاسبه کرد. برای اندازه‌گیری شاخص تجمع رسوب پشت موانع، بسته به شکل مانع، حجم خاک تجمع یافته در پشت مانع محاسبه می‌شود و با اندازه‌گیری طول آن، مقدار خاک ته‌نشست شده به دست می‌آید. از بین شاخص‌های بررسی شده، شاخص فرسایش شیاری، فرسایش خندقی، رخنمون سنگ، پدستال و زهکش اراضی کشاورزی شاخص‌های هدررفت خاک در نظر گرفته شدند و شاخص تجمع رسوب پشت موانع شاخص ته‌نشست در نظر گرفته شد. بنابراین، برای محاسبه

پس از اندازه‌گیری‌های اولیه طی برداشت‌های صحرائی گسترده، برآورد هدررفت خاک متناظر با هر شاخص محاسبه شد. برای اندازه‌گیری شاخص فرسایش شیاری، تعدادی عمق و عرض در هر مقطع اندازه‌گیری شد تا متوسطی برای سطح مقطع هر شیار به دست آید. متوسط سطح مقطع شیارها و طول آن‌ها برای اندازه‌گیری مقدار خاک جابه‌جا شده از شیارها استفاده شد. اندازه‌گیری هدررفت خاک از خندق‌ها مشابه شیار ولی در مقیاس بزرگ‌تر و با شکل سطح مقطع متفاوت است. به منظور محاسبه مقدار کمی هدررفت خاک در شاخص فرسایش خندق، باید عمق، پهنا در بالا و کف و طول خندق اندازه‌گیری شود. برای اندازه‌گیری شاخص رخنمون سنگ، عمق خاک برداشته شده با اندازه‌گیری عمودی سطح خاک فعلی تا مرز رنگی که بر روی سنگ وجود دارد به دست می‌آید. در حالتی که سنگ کاملاً مدفون شده است فرض می‌شود که سنگ زیر سطح قدیمی خاک

شدت فرسایش (Z) با استفاده از چهار عامل - فرسایش فعلی (ϕ)، استفاده از زمین (X_a)، حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط (I) - و با به‌کارگیری جداول اصلاح‌شده هر یک از این عوامل و استخراج ضرایب مورد نظر محاسبه شد. سپس، فرسایش ویژه (Wsp) برای هر واحد کاری با استفاده از دما (T)، بارش (H) و ضریب شدت فرسایش (Z) به‌دست آمد. در برآورد مقدار رسوب حوضه، با استفاده از ضریب رسوب‌دهی محاسبه‌شده برای کل حوضه آبخیز شهرک (R_{II})، مقدار رسوب ویژه (Gsp) به‌دست آمد. از حاصل ضرب مقدار رسوب ویژه در مساحت حوضه مقدار رسوب کل (Gs) محاسبه شد. به منظور ارزیابی مقادیر هدررفت خاک برآوردشده با روش شاخص‌های میدانی، از معیارهای صحت‌سنجی میانگین خطای نسبی (MRE) و ضریب همبستگی پیرسون (R) استفاده شد.

نتایج

مقادیر هدررفت خاک اندازه‌گیری شده به

روش شاخص‌های میدانی

جدول ۱ ویژگی‌های واحدهای کاری منطقه مورد مطالعه و جدول ۲ نوع شاخص‌های شناسایی شده برای هر واحد کاری و نیز مقادیر هدررفت خاک محاسبه‌شده برای آن‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۴ نقشه پراکنش شاخص‌های مورد بررسی در این تحقیق را در قالب واحدهای کاری و با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ نشان می‌دهد. تعداد نمونه برداشت‌شده برای شاخص فرسایش شیار ۱۱۵ عدد، برای شاخص فرسایش

مقدار فرسایش خاک در هر واحد کاری، مقادیر فرسایش خاک متناظر با شاخص‌های هدررفت (فرسایش شیار، فرسایش خندقی، رخنمون سنگ، پدستال و زهکش اراضی کشاورزی) با یکدیگر جمع زده شد و مقدار هدررفت خاک متناظر با شاخص تجمع رسوب پشت موانع از مجموع آن‌ها کسر شد. به منظور اعتبارسنجی مقادیر هدررفت خاک حاصل از روش شاخص‌های میدانی از مدل تجربی EPM استفاده شد. نخست مدل تجربی اجرا شد. سپس، با داده‌های مربوط به یک سال آماربرداری رودخانه، که تالی خشک آن را جمع‌آوری کرده بود، مقایسه شد [۲۱]. سپس، با تغییر ضریب‌های کاربری اراضی و ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش برای منطقه مورد مطالعه مدل تجربی واسنجی و اعتبارسنجی شد. برای اعتبارسنجی روش EPM، از آمار رسوب خروجی حوضه شهرک و جمع‌آوری شده توسط تالی خشک استفاده شد [۲۱]. تالی خشک نمونه‌های رواناب و رسوب مربوط به زمان‌های سیلابی رودخانه اصلی شهرک و در محل خروجی آن را به مدت یک سال (از تیر ۱۳۸۹ تا تیر ۱۳۹۰) جمع‌آوری کرد و با در نظر گرفتن میزان بار بستر معادل ۱۴٫۷ درصد بار معلق [۷] منحنی سنج را برای حوضه شهرک به‌دست آورد. با استفاده از معیار خطای نسبی کارایی مدل EPM ارزیابی شد. سرانجام، در واحدهای کاری منطقه مورد مطالعه، مقدار فرسایش با استفاده از این مدل برآورد شد [۲۵]. به منظور برآورد مقدار فرسایش و رسوب در واحدهای کاری به روش EPM، نخست ضریب

شکل ۶ نقشه طبقه‌بندی شدت فرسایش خاک به روش EPM را در حوضه آبخیز شهرک نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

مقادیر میانگین فرسایش خاک مربوط به شاخص‌های میدانی هدررفت خاک نشان داد که شاخص رخنمون سنگ با ۴۷/۶۱ تن در هکتار، پدستال با ۲۲/۶۱ تن در هکتار، فرسایش شیاری با ۵/۶۷ تن در هکتار، زهکش اراضی با ۲/۲۱ تن در هکتار و فرسایش خندقی با ۲/۱۷ تن در هکتار به ترتیب اولویت اول تا پنجم را از لحاظ وزنی و مقدار هدررفت خاک دارا هستند (جدول ۲). به دلیل حضور و رخنمون سنگ‌های نسبتاً فراوان به‌ویژه در سازند کواترنری منطقه مورد مطالعه، میانگین مقدار هدررفت خاک متناظر با شاخص رخنمون سنگ بیش از سایر شاخص‌ها به‌دست آمد. شاخص پدستال شاهدی بر اثر برخورد قطرات باران بر روی سطح خاک و برداشت لایه‌های سطحی به وسیله فرسایش ورقه‌ای است. از آنجا که زمان اندازه‌گیری این شاخص در تحقیق حاضر بلافاصله پس از فصل بارش‌های فرساینده و وقوع رواناب سطحی زیاد بود (خردادماه)، اندازه‌گیری شاخص مذکور سهم نسبتاً زیادی را در تولید رسوب منطقه به‌دست داده است [۱۱]. تراکم نسبتاً کم برای خندق‌های حوضه و نیز ابعاد نسبتاً کوچک این خندق‌ها باعث شد تا مقدار هدررفت خاک کمتری برای این شاخص اندازه‌گیری شود. ضمن اینکه مقدار هدررفت خاک واقعی خندق‌ها تحت تأثیر سیکل‌های کش و پُرشدن این اشکال فرسایشی طی وقایع بارش‌اند؛ به طوری که مقدار هدررفت واقعی تحت تأثیر جریان‌های متمرکز ممکن است چندین برابر

خندقی ۲۰، برای پدستال ۹۴۶، برای رخنمون سنگ ۲۵۰، برای تجمع رسوب پشت مانع ۱۶۷ و برای زهکش ۲۶ عدد است. شکل ۵ نقشه پراکنش شاخص‌های شناسایی و اندازه‌گیری شده در واحدهای کاری معرف را نشان می‌دهد.

نتایج برآورد هدررفت خاک به روش EPM و مقایسه آن با نتایج روش شاخص‌های میدانی

نخست مدل تجربی EPM اجرا و نتایج آن با رسوب مشاهده‌ای مقایسه شد. صحت نتایج مذکور با معیار خطای نسبی ارزیابی شد. از آنجا که مقدار خطای نسبی ۲۵/۸ به‌دست آمد، به واسنجی مدل اقدام شد. جدول ۳ مقادیر محاسبه‌شده ضریب شدت فرسایش (Z) با استفاده از عوامل مختلف مربوطه به آن (کالیبره‌شده) و طبقه‌بندی کیفی واحدهای کاری بر اساس آن ضریب (Z) و نیز مقادیر فرسایش برآوردشده به روش EPM را نشان می‌دهد. مقدار رسوب مشاهده‌ای برای کل حوضه برابر ۱۰۶۴۹/۱ تن در سال محاسبه شد و مقدار رسوب برآوردشده به روش EPM برای کل حوضه برابر ۱۰۱۲۱/۸۰ تن در سال است. بدین ترتیب، میزان خطای نسبی پس از واسنجی به مقدار ۴/۹ به‌دست آمد. جدول ۴ مقایسه مقادیر هدررفت خاک برآوردشده به روش شاخص‌های میدانی و مدل EPM را نشان می‌دهد. همبستگی آماری دو روش مذکور بررسی شد و ضریب همبستگی پیرسون به مقدار ۰/۹۰ و در سطح آماری ۰/۰۱ معنی‌دار به‌دست آمد. همچنین، میزان میانگین خطای نسبی (MRE) برابر ۷/۶ محاسبه شد.

پایین دست و شیب‌های ملایم [۱۴، ۲۳] دامنه‌های شرقی و غربی حوضه دیده شد. نتایج مذکور- مبنی بر تغییرات مکانی شاخص‌های هدررفت خاک (شکل ۴)- نقش و اهمیت چنین اطلاعاتی را در تعیین نواحی بحرانی منطقه مورد مطالعه از نظر هدررفت خاک نشان می‌دهد. حضور شاخص‌هایی که معرف فرسایش فعلی‌اند، مانند شیار و پدستال در بخش‌های وسیعی از حوضه، حاکی از فعال‌بودن فرایندهای فرسایشی در منطقه است [۱۱]. علاوه بر این، توزیع شاخص‌های فرسایش تحت تأثیر مدت زمان فرایندهای فرسایش و فعالیت‌های مدیریت اراضی است [۲]. از این رو، نتایج این مطالعه تأکید می‌کند بر خنثی کردن توسعه بیشتر شاخص‌های پدستال و فرسایش شیاری از طریق افزایش پوشش سطح خاک در برابر اثر پاشمانی قطرات باران و اقدامات حفاظتی برای کاهش طول شیب دامنه [۱۱].

مدل EPM، پس از واسنجی، با استفاده از آمار رسوب مشاهداتی در خروجی آبراهه اصلی، برای حوضه آبخیز شهرک اعتبارسنجی شد. میزان خطای نسبی محاسبه شده برای ارزیابی مدل مذکور به مقدار ۴٫۹ به دست آمد. از آنجا که این رقم کمتر از ۱۰ است، مدل تجربی EPM برای استفاده و اعتبارسنجی روش شاخص‌های میدانی در تحقیق حاضر از صحت لازم برخوردار است. ملکی و شعبانی نیز، طی مطالعات خود، صحت و کارایی مدل تجربی EPM را در حوضه آبخیز طالقان تأیید کردند [۸، ۱۹]. چنین نتیجه‌ای نشان می‌دهد که دو پارامتر تعدیل و کالیبره شده برای مدل تجربی، یعنی ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش و نیز ضریب کاربری اراضی، به طور مناسب اصلاح و نمره‌دهی شده‌اند.

حجم نشان داده شده به وسیله اندازه‌گیری سطح مقطع کانال باشد [۲۲]. همچنین، به نظر می‌رسد مدیریت نسبتاً مناسب کشاورزان و عملیات کشت و شخم و شیار پیوسته بر روی اراضی کشاورزی مانع تشکیل و گسترش یا پُرشدن این نوع از اشکال فرسایشی در حوضه آبخیز شهرک شده است [۱۵]. سهم بیشتر شاخص فرسایش شیار نسبت به شاخص فرسایش خندقی در تولید رسوب منطقه را می‌توان به نوع رژیم بارندگی حوضه آبخیز شهرک نسبت داد؛ بدین ترتیب که منطقه مورد مطالعه، با واقع‌بودن در دامنه جنوبی سلسله‌کوه‌های البرز، از رژیم بارندگی مدیترانه‌ای با میانگین بارش ۷۲۶ میلی‌متر برخوردار است و حداکثر نزولات در اواخر زمستان و اوایل بهار اتفاق می‌افتد و پس از آن بارش‌های درخور توجهی در پاییز رخ می‌دهد و وقوع رگبارهای شدید مصادف با زمان‌هایی است که سطح زمین بدون پوشش گیاهی است. از این رو، شاخص فرسایش شیاری سهم بیشتری در تولید رسوب منطقه نسبت به شاخص فرسایش خندقی دارد [۲۳]. مطابق با نقشه پراکنش شاخص‌های میدانی بررسی شده در حوضه آبخیز شهرک (شکل ۴)، شاخص رخنمون سنگ بر روی دامنه‌های شرقی و غربی حوضه و نیز بخش‌هایی از سازند کرج که در بالادست منطقه مورد مطالعه واقع شده دیده شد. شاخص فرسایش شیاری بر روی دامنه‌های شرقی و غربی حوضه که عمدتاً از سازندهای مازنی تشکیل شده [۱۰] و در نواحی بالادست [۲۳] این دامنه‌ها دیده شد. پدستال در سرتاسر حوضه به استثنای اراضی مسکونی و باغ‌ها، زهکش اراضی کشاورزی در محدوده اراضی کشاورزی [۲۰] و شاخص فرسایش خندقی در

جدول ۱. مشخصات واحدهای کاری حوضه آبخیز شهرک

کد در نقشه	تعداد پلی گون	مساحت (ha)	واحد کاری	جهت	شیب (درصد)	کاربری	نام رخساره	کد رخساره	نام تپا	کد تپا	واحد زمین شناسی
۹	۲	۲۸/۲۱	۱-۱-۱	جنوب	۱۵-۰	باغ	فرسایش سطحی	۱-۱	Qal	۱	(سنگ گچ) - ماسه - گچ
۸	۲	۳۶/۱۴	۲-۱-۱	شرق							
۱۶	۲	۳۰/۳۷	۳-۱-۱	غرب							
۲۹	۱	۶/۵۵	۴-۱-۱	بدون جهت							
۱۳	۱	۱۳/۹۳	۵-۱-۱	شرق	۳۵-۱۵	کشاورزی	فرسایش سطحی	۱-۱	Qal	(سنگ گچ) - ماسه - گچ	
۲۴	۱	۷/۰۸	۶-۱-۱	غرب							
۲۶	۱	۸/۷۶	۷-۱-۱	جنوب	۱۵-۰	کشاورزی	فرسایش سطحی	۱-۱	Qal	(سنگ گچ) - ماسه - گچ	
۱۱	۳	۳۰/۶۹	۸-۱-۱	جنوب							
۱۵	۳	۳۹/۳۷	۹-۱-۱	بدون جهت							
۱۲	۱	۲۸/۶۰	۱۰-۱-۱	جنوب	۱۵-۰	مستقرنی	فرسایش سطحی	۱-۲	Q12	(سنگ گچ) - ماسه - گچ	
۲۸	۲	۲۷/۰۴	۱-۱-۲	غرب							
۶	۱	۱۶/۷۲	۲-۱-۲	شرق	۳۵-۱۵	مرتع	فرسایش شیاری	۱-۲	Q12	(سنگ گچ) - ماسه - گچ	
۲۳	۱	۸/۴۰	۱-۲-۲	شرق							
۱	۵	۹۱/۸۸	۱-۱-۳	غرب	۱۵-۰	کشاورزی	فرسایش سطحی	۲-۲	Q12	(سنگ گچ) - ماسه - گچ	
۲۱	۳	۴۸/۰۹	۲-۱-۳	جنوب							
۳	۱	۴۵/۱۲	۳-۱-۳	جنوب	۳۵-۱۵	مرتع	فرسایش آبراهه‌ای	۱-۳	NgSi	(سنگ گچ) - ماسه - گچ	
۷	۱	۱۸/۶۵	۴-۱-۳	غرب							
۴	۲	۴۱/۶۷	۵-۱-۳	غرب	۸۵-۶۰	مرتع	فرسایش شیاری	۲-۳	NgSi	(سنگ گچ) - ماسه - گچ	
۱۰	۱	۱۸/۶۹	۱-۲-۳	شرق							
۲۵	۱	۱۰/۹۰	۱-۳-۳	جنوب	۱۵-۰	مرتع	فرسایش سطحی	۳-۳	NgSi	(سنگ گچ) - ماسه - گچ	
۲۷	۱	۱۰/۶۸	۲-۳-۳	غرب							
۱۸	۲	۳۱/۶۸	۱-۱-۴	جنوب	۶۰-۳۵	مرتع	فرسایش آبراهه‌ای	۱-۴	NgSiH	۴	(سنگ گچ) - ماسه - گچ

ادامه جدول ۱. مشخصات واحدهای کاری حوضه آبخیز شهرک

کد در نقشه	تعداد پلی گون	مساحت (ha)	واحد کاری	جهت	شیب (درصد)	کاربری	نام رخساره	کد رخساره	نام تپا	کد تپا	واحد زمین‌شناسی
۱۴	۵	۶۳۷۰	۱-۱-۵	شرق	۱۵-۰	مرتع	فورسایش آبراهه‌های	۱-۵	gy1CG	۵	
۵	۱	۲۴۸۱	۲-۱-۵	غرب	۳۵-۱۵						
۲	۲	۶۸۹۶	۳-۱-۵	شرق	۶۰-۳۵						
۲۲	۱	۷۷۷	۴-۱-۵	شمال	۸۵-۶۰						
۱۹	۱	۱۰۵۴	۱-۲-۵	غرب	۱۵-۰	مرتع	فورسایش سطحی	۲-۵			
۴۲	۱	۱۲۴۹	۱-۱-۶	غرب	۸۵-۶۰	مرتع	بروززدگی سنگی-فورسایش سطحی	۱-۶	Vp	۶	
۴۰	۱	۹۵۴	۱-۲-۶	غرب	۶۰-۳۵	مرتع	بروززدگی سنگی - دامنه منظم	۲-۶			
۳۹	۱	۸۳۵۰	۲-۲-۶	غرب	۸۵-۶۰	مرتع	بروززدگی سنگی - فورسایش آبراهه‌های	۱-۷			
۳۸	۱	۵۹۱۶	۱-۱-۷	شرق	۸۵-۶۰	مرتع	بروززدگی سنگی - فورسایش سطحی	۲-۷			
۳۴	۱	۵۵۵۵	۱-۲-۷	شرق	۸۵-۶۰	مرتع	بروززدگی سنگی - فورسایش شیبی	۳-۷			
۳۷	۱	۱۷۶۶	۱-۳-۷	شرق	۱۵-۰	مرتع	بروززدگی سنگی - فورسایش سطحی	۴-۷			
۳۵	۲	۵۷۴۲۷	۲-۳-۷	غرب	۶۰-۳۵	مرتع	بروززدگی سنگی - فورسایش سطحی				
۳۶	۲	۳۸۵۶۳	۳-۳-۷	جنوب		مرتع	بروززدگی سنگی - دامنه منظم				
۴۱	۱	۱۱۱۷	۱-۴-۷	شرق	۸۵-۶۰	مرتع	توده سنگی				
۳۰	۱	۷۹۸	۱-۵-۷	جنوب	۱۵-۰	ندارد					
۱۷	۱	۱۳۹۰	۲-۵-۷	جنوب							
۲۰	۱	۱۶۸۱	۳-۵-۷	غرب	۳۵-۱۵						
۳۱	۱	۵۸۹	۴-۵-۷	شرق							
۳۲	۱	۹۷۹	۵-۵-۷	جنوب							
۳۳	۱	۱۳۹۱۴	۶-۵-۷	غرب-جنوب-شرق	۸۵-۶۰						
۴۳	۲	۲۱۱۴۴	۱-۱-۸	غرب	۶۰-۳۵	مرتع	بروززدگی سنگی (گیلویی) - فورسایش سطحی	۱-۸	Ekv و Vp	۷	
۴۴	۲	۲۱۳۳۰	۲-۱-۸	جنوب	۸۵-۶۰				Ekta	۸	

جدول ۲. میانگین مقادیر هدررفت خاک اندازه‌گیری شده برای شاخص‌ها در واحدهای کاری

شماره واحد	شماره t/ha	خندق t/ha	پدستال t/ha	رخنمون سنگ t/ha	زهکش اراضی کشاورزی t/ha	مجموع هدررفت t/ha	تجمع رسوب پشت مانع t/ha	هدررفت نهایی t/ha
۱	۱۷,۲۷	۱۰,۹۹	۴۳,۶۹	۱۲۸,۰۰	۰,۰۰	۱۹۹,۹۵	۷۰,۸۲-	۱۲۹,۱۴
۲	۲۰,۰۴	۳,۶۷	۴۴,۰۰	۹۸,۵۰	۰,۰۰	۱۶۶,۲۱	۶۰,۵۰-	۱۰۵,۷۱
۳	۱۸,۵۰	۱,۲۰	۴۴,۳۰	۹۸,۵۰	۰,۰۰	۱۶۲,۵۰	۶۰,۵۰-	۱۰۲,۰۰
۴	۲۰,۷۰	۸,۵۵	۴۴,۰۰	۱۲۹,۰۰	۰,۰۰	۲۰۲,۲۵	۵۴,۹۰-	۱۴۷,۳۵
۵	۱۸,۵۰	۳,۶۷	۴۴,۳۰	۹۸,۵۰	۰,۰۰	۱۶۴,۹۷	۶۰,۵۰-	۱۰۴,۴۷
۶	۹,۵۰	۸,۵۵	۳۵,۶۰	۷۵,۷۲	۰,۰۰	۱۲۹,۳۷	۹۰,۸۹-	۳۸,۴۸
۷	۲۰,۰۰	۸,۵۵	۴۴,۰۰	۹۸,۵۰	۰,۰۰	۱۷۱,۰۵	۶۰,۵۰-	۱۱۰,۵۵
۸	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۷,۰۷	۷,۰۷	۰,۰۰	۷,۰۷
۹	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۷,۰۷	۷,۰۷	۰,۰۰	۷,۰۷
۱۰	۱۱,۵۹	۳,۷۰	۳۷,۸۰	۷۵,۷۲	۰,۰۰	۱۲۸,۸۱	۳۲,۸۴-	۹۵,۹۷
۱۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۳۵,۱۵	۰,۰۰	۱۱,۵۹	۴۶,۷۴	۰,۰۰	۴۶,۷۴
۱۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۷,۰۷	۷,۰۷	۰,۰۰	۷,۰۷
۱۴	۱۸,۵۲	۵,۰۷	۴۳,۶۹	۱۲۸,۰۰	۰,۰۰	۱۹۵,۲۸	۷۰,۸۲-	۱۲۴,۴۶
۱۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۳۵,۱۵	۰,۰۰	۱۹,۴۷	۵۴,۶۲	۰,۰۰	۵۴,۶۲
۱۶	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۷,۰۷	۷,۰۷	۰,۰۰	۷,۰۷
۱۸	۲۰,۰۴	۳,۶۷	۴۴,۰۰	۹۸,۵۰	۰,۰۰	۱۶۶,۲۱	۶۰,۵۰-	۱۰۵,۷۱
۱۹	۰,۰۰	۳,۶۷	۳۲,۰۱	۶۷,۳۸	۰,۰۰	۱۰۳,۰۶	۵۸,۹۶-	۴۴,۱۰
۲۱	۱۷,۲۷	۱۶,۹۱	۴۳,۶۹	۱۲۸,۰۰	۰,۰۰	۲۰۵,۸۷	۷۰,۸۲-	۱۳۵,۰۵
۲۲	۲۰,۷۰	۸,۵۵	۴۴,۰۰	۱۲۹,۰۰	۰,۰۰	۲۰۲,۲۵	۵۴,۹۰-	۱۴۷,۳۵
۲۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۳۵,۱۵	۰,۰۰	۱۶,۶۶	۵۱,۸۲	۰,۰۰	۵۱,۸۲
۲۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۷,۰۷	۷,۰۷	۰,۰۰	۷,۰۷
۲۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۳۲,۰۱	۶۷,۳۸	۰,۰۰	۹۹,۳۹	۵۸,۹۶-	۴۰,۴۳
۲۶	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۷,۰۷	۷,۰۷	۰,۰۰	۷,۰۷
۲۷	۰,۰۰	۰,۰۰	۳۲,۰۱	۶۷,۳۸	۰,۰۰	۹۹,۳۹	۵۸,۹۶-	۴۰,۴۳
۲۸	۸,۶۲	۸,۵۵	۳۷,۸۰	۷۵,۷۲	۰,۰۰	۱۳۰,۶۸	۳۲,۸۴-	۹۷,۸۵
۲۹	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۷,۰۷	۷,۰۷	۰,۰۰	۷,۰۷
۳۴	۹,۹۳	۰,۰۰	۲۴,۰۰	۵۸,۵۰	۰,۰۰	۹۲,۴۳	۳۰,۴۸-	۶۱,۹۵
۳۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۲۴,۵۰	۵۶,۰۰	۰,۰۰	۸۰,۵۰	۵۸,۹۶-	۲۱,۵۴
۳۶	۰,۰۰	۰,۰۰	۲۵,۷۰	۵۷,۰۰	۰,۰۰	۸۲,۷۰	۵۸,۹۶-	۲۳,۷۴
۳۷	۰,۰۰	۰,۰۰	۲۳,۱۰	۵۴,۰۰	۰,۰۰	۷۷,۱۰	۶۰,۵۰-	۱۶,۶۰
۳۸	۱۸,۵۰	۰,۰۰	۳۵,۰۰	۶۰,۰۰	۰,۰۰	۱۱۳,۵۰	۶۵,۷۰-	۴۷,۸۰
۳۹	۰,۰۰	۰,۰۰	۲۰,۵۰	۳۲,۶۰	۰,۰۰	۵۳,۱۰	۴۲,۲۰-	۱۰,۹۰
۴۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۲۰,۳۰	۳۲,۶۰	۰,۰۰	۵۲,۹۰	۴۴,۸۰-	۸,۱۰
۴۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۱۹,۳۰	۳۱,۱۰	۰,۰۰	۵۰,۴۰	۴۰,۶۰-	۹,۸۰
۴۲	۰,۰۰	۰,۰۰	۲۱,۷۰	۵۵,۱۰	۰,۰۰	۷۶,۸۰	۵۹,۹۶-	۱۶,۸۴
۴۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۱۴,۰۰	۴۶,۵۰	۰,۰۰	۶۰,۵۰	۵۴,۹۶-	۵,۵۴
۴۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۱۵	۴۸	۰,۰۰	۶۲,۰۰	۵۴,۹۶-	۷,۰۴
میانگین	۵,۶۷	۲,۱۷	۲۲,۶۱	۴۷,۶۱	۲,۲۱	۸۰,۲۷	۳۴,۷۸-	۴۵,۴۹

مقادیر هدررفت خاک برآوردشده به روش شاخص‌های میدانی مطابقت دارد [۲، ۲۴]. تحقیقات اکاٹ نیز نشان داد که تهیه نقشه فرسایش با استفاده از شاخص‌های میدانی همبستگی خوبی با پیش‌بینی‌های هدررفت خاک در مقیاس‌های مکانی مختلف دارد [۱۳]. یافته‌های روستانیو و دگرگ نیز نشان داد که اندازه‌گیری‌های فرسایش خاک ناشی از شاخص مورد بررسی آن‌ها از صحت مناسبی برخوردار است [۱۸].

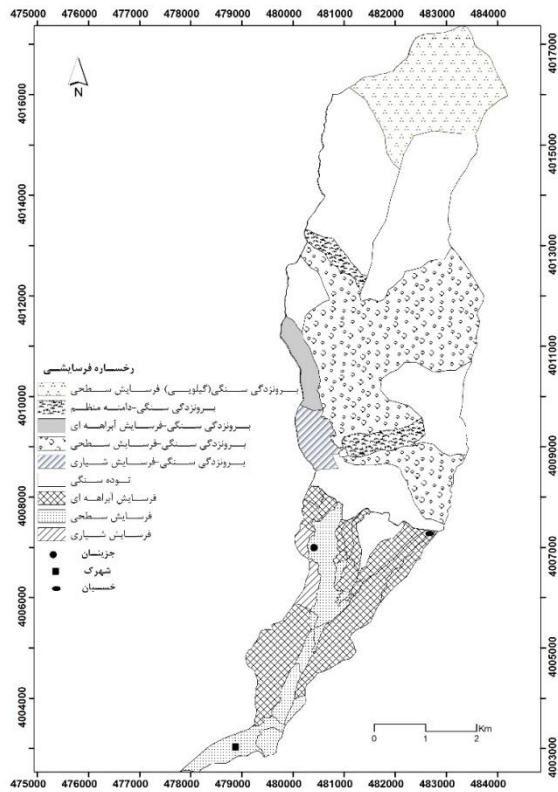
مدل تجربی EPM قابلیت خوبی در صحت‌سنجی روش شاخص‌های میدانی دارد، زیرا این مدل فرسایش خاک را برای هر واحد کاری و به صورت درون‌آبخیزی نشان می‌دهد [۲۵].

با در نظر گرفتن مجموع نتایج تشریح شده در بالا، می‌توان گفت که روش برآورد هدررفت خاک با استفاده از شاخص‌های میدانی روشی مبتنی بر پیمایش صحرائی و برداشت پارامترهای نسبتاً آسان و سریعی است که با برخی محاسبات نسبتاً ساده امکان برآورد و اندازه‌گیری مقدار هدررفت خاک را مقدور می‌سازد. مقادیر برآوردشده معتبر و از صحت خوبی برخوردارند. روش شاخص‌های میدانی قادر به برآورد مقدار فرسایش خاک به صورت محلی یا درون‌آبخیزی است. از این رو، در بررسی فرسایش خاک بر روی دامنه نیز بسیار حائز اهمیت است. این تحقیق به مطالعات در زمینه استانداردسازی ارزیابی هدررفت خاک به طور گسترده و آسان کمک می‌کند.

میزان رسوب‌زایی برآوردشده برای کل حوضه شهرک به روش EPM برابر ۱۰۱۲۱/۸۰ تن در سال و به روش رسوب مشاهداتی آبراهه برابر ۱۰۶۴۹/۱ تن در سال است. بنابراین، به نظر می‌رسد مدل تجربی EPM برآورد کمتر از واقعی (Underestimate) را برای رسوب منطقه مورد مطالعه ارائه داده است. دلایل این اختلاف مقدار را می‌توان در موارد زیر دسته‌بندی کرد:

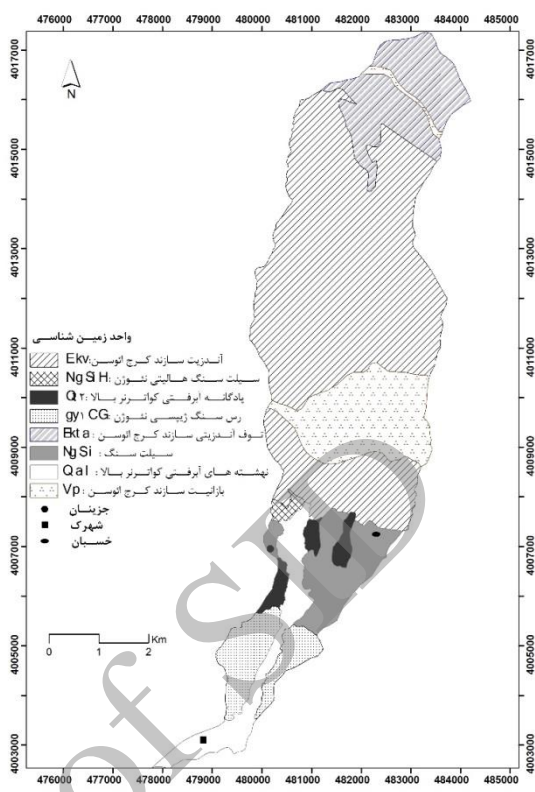
۱. خطای انتخاب صحیح ضرایب؛ ۲. خطا در جمع‌آوری، ثبت و تجزیه و تحلیل داده‌ها؛ ۳. احتمال خطا در اندازه‌گیری و ثبت داده‌های رسوب؛ ۴. عدم لحاظ فرسایش کناری و کف‌کنی در آبراهه‌ها و رودخانه در مدل EPM و تفاوت قائل نشدن بین مکانیزم فرسایش کناری در رودخانه‌های مئاندری و غیر مئاندری.

طبق بررسی آماری صورت گرفته در مورد مقادیر هدررفت خاک به دو روش شاخص‌های میدانی و مدل تجربی EPM، ضریب همبستگی پیرسون به مقدار ۰/۹ و در سطح آماری ۰/۰۱ معنی‌دار به دست آمد؛ این پارامتر نشان‌دهنده همبستگی بالای مقادیر هدررفت برآوردشده به روش شاخص‌های میدانی و مدل EPM است. در مجموع مقدار میانگین خطای نسبی کم (برابر ۷/۶) و ضریب همبستگی بالا (برابر ۰/۹) بین مقادیر هدررفت خاک برآوردشده به روش شاخص‌های میدانی و مدل EPM نشان‌دهنده صحت روش شاخص‌های میدانی در برآورد هدررفت خاک منطقه مورد مطالعه است. نتایج به دست آمده در این تحقیق با کار ویگیاک و برگزما مبنی بر تأیید صحت



شکل ۳. نقشه رخساره‌های فرسایشی حوضه آبخیز شهرک

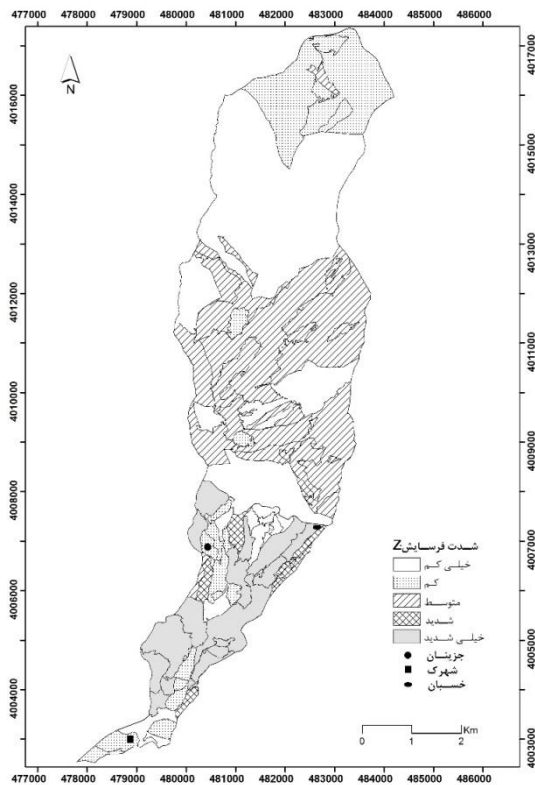
برخی مقاصد پروژه‌های حفاظت خاک را به همراه خواهد داشت. پیشنهاد می‌شود آمار و اطلاعات دبی و رسوب مشاهداتی آبراهه در محل خروجی واحدهای کاری برداشت شود و مقادیر هدررفت خاک برآورد شده به روش شاخص‌های میدانی با آن‌ها اعتبارسنجی و نیز با نتایج مدل تجربی EPM مقایسه شود. همچنین، استفاده از شبیه‌ساز باران با سطح پلات بزرگ به منظور اندازه‌گیری فرسایش‌هایی از قبیل شیاری و خندقی و سپس مقایسه داده‌های رسوب‌زایی حاصل از روش شبیه‌ساز باران با مقادیر هدررفت خاک برآورد شده به روش شاخص‌های میدانی از توصیه‌های این تحقیق است.



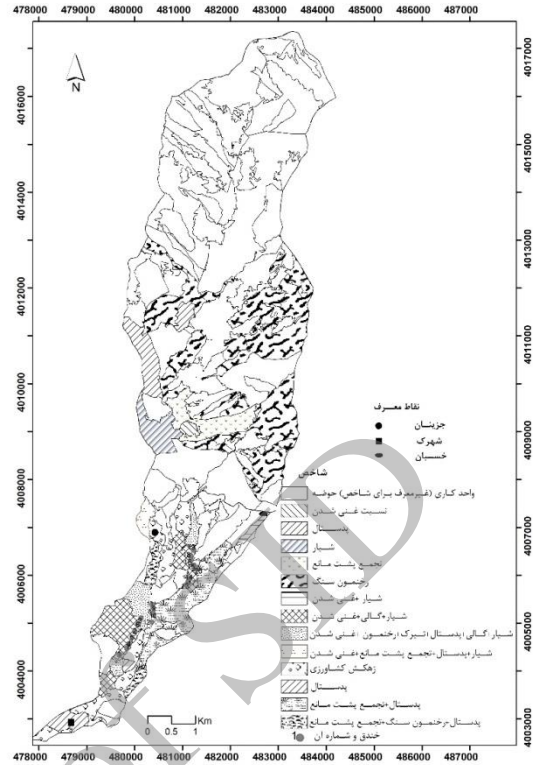
شکل ۲. نقشه واحدهای زمین‌شناسی حوضه آبخیز شهرک

با اندازه‌گیری شاخص‌های میدانی، سهم فرایندهای فرسایشی همچون شیاری و خندقی شدن در تولید رسوب منطقه مشخص می‌شود. از آنجا که این مقادیر بر اساس اندازه‌گیری‌های مستقیم صحرایی به دست آمده‌اند، برخلاف اکثر مدل‌ها و روش‌های برآورد فرسایش خاک، از عدم قطعیت بسیار کمی برخوردارند [۱۵].

شاخص‌های مورد بررسی در این تحقیق علائم مشهودی‌اند که برای یادگیری آسان‌اند و با هزینه کم و سرعت زیاد، قابلیت کاربرد دارند [۲]. بنابراین، به نظر می‌رسد که بهره‌برداران مختلف آن را بپذیرند و از آن استفاده کنند. از این رو، شناسایی و به‌کارگیری این شاخص‌ها توسط کاربران، قابلیت افزایش پتانسیل



شکل ۵. نقشه طبقه‌بندی شدت فرسایش خاک به روش EPM در حوضه آبخیز شهرک



شکل ۴. نقشه پراکنش شاخص‌های میدانی در واحدهای کاری معرف حوضه آبخیز شهرک

جدول ۳. مقادیر ضریب شدت فرسایش و فرسایش ویژه در مدل EPM

واحد کاری	مساحت (km ²)	شیب (I) (%)	ضریب فرسایش (φ)	ضریب استفاده از زمین (Xa)	حساسیت خاک و سنگ به فرسایش (Y)	ضریب شدت فرسایش (Z)	طبقه‌بندی شدت فرسایش	دما C ^o -t	ارتفاع بارش H (mm)	فرسایش ویژه Wsp-t/ha/year
۱	۰٫۹۲	۰٫۱۸	۰٫۸۸	۰٫۴۸	۱٫۸۵	۱٫۱۵	خیلی شدید	۸٫۸	۵۷۵٫۶	۳۷٫۲۶
۲	۰٫۶۹	۰٫۵۸	۰٫۸۵	۰٫۴۸	۱٫۸۷	۱٫۴۴	خیلی شدید	۸٫۷	۵۷۸٫۱	۵۶٫۰۰
۳	۰٫۴۵	۰٫۳۶	۰٫۸۴	۰٫۴۸	۱٫۹۰	۱٫۳۲	خیلی شدید	۸٫۲	۶۰۸٫۶	۴۹٫۶۳
۴	۰٫۴۲	۰٫۸۴	۰٫۸۷	۰٫۴۸	۱٫۷۵	۱٫۵۰	خیلی شدید	۸٫۳	۵۹۹٫۷	۴۹٫۷۰
۵	۰٫۲۵	۰٫۵۸	۰٫۸۵	۰٫۴۸	۱٫۸۰	۱٫۳۹	خیلی شدید	۸٫۸	۵۷۲٫۴	۵۲٫۴۷
۶	۰٫۱۷	۰٫۳۶	۰٫۷۵	۰٫۳۴	۱٫۶۰	۰٫۷۴	شدید	۸٫۷	۵۷۷٫۳	۲۰٫۲۸
۷	۰٫۱۹	۰٫۸۴	۰٫۸۸	۰٫۴۸	۱٫۸۵	۱٫۵۹	خیلی شدید	۷٫۶	۶۳۹٫۵	۵۵٫۸۵
۸	۰٫۳۶	۰٫۱۸	۰٫۲۵	۰٫۲	۱٫۵۰	۰٫۲۰	کم	۸٫۴	۵۹۴٫۱	۲٫۹۴
۹	۰٫۲۸	۰٫۱۸	۰٫۲۵	۰٫۲۵	۱٫۳۰	۰٫۲۲	کم	۸٫۹	۵۶۸٫۱	۲٫۵۹
۱۰	۰٫۱۹	۰٫۱۸	۰٫۷۸	۰٫۴۸	۱٫۸۵	۱٫۰۷	خیلی شدید	۸٫۱	۶۱۴٫۰	۳۵٫۸۱
۱۱	۰٫۳۱	۰٫۱۸	۰٫۳	۰٫۴	۱٫۳۰	۰٫۳۷	متوسط	۹٫۷	۵۲۰٫۵	۶٫۲۰
۱۲	۰٫۲۹	۰٫۱۸	۰٫۳	۰٫۳	۰٫۳۰	۰٫۰۶	خیلی کم	۹٫۸	۵۱۶٫۲	۰٫۵۰

جدول ۳. مقادیر ضریب شدت فرسایش و فرسایش ویژه در مدل EPM

واحد کاری	مساحت (km ²)	شیب (I) (%)	ضریب فرسایش (φ)	ضریب استفاده از زمین (Xa)	حساسیت خاک و سنگ به فرسایش (Y)	ضریب شدت فرسایش (Z)	طبقه بندی شدت فرسایش	دما C°-t	ارتفاع بارش H (mm)	فرسایش ویژه Wsp-t/ha/year
۱۳	۰٫۱۴	۰٫۳۶	۰٫۲۵	۰٫۲	۱٫۳۰	۰٫۲۲	کم	۸٫۴	۵۹۸٫۰	۳٫۳۹
۱۴	۰٫۶۴	۰٫۱۸	۰٫۸۴	۰٫۴۸	۱٫۷۰	۱٫۰۳	خیلی شدید	۸٫۷	۵۷۶٫۳	۳۱٫۱۸
۱۵	۰٫۳۹	۰٫۱۸	۰٫۳	۰٫۴	۱٫۳۰	۰٫۳۷	متوسط	۹٫۴	۵۴۱٫۱	۶٫۰۰
۱۶	۰٫۳۰	۰٫۱۸	۰٫۲۵	۰٫۲	۱٫۳۰	۰٫۱۷	کم	۸٫۹	۵۶۷٫۴	۲٫۰۳
۱۷	۰٫۱۴	۰٫۳۶	۰٫۳	۰٫۳	۰٫۲۵	۰٫۰۷	خیلی کم	۷٫۴	۶۵۰٫۶	۰٫۵۹
۱۸	۰٫۳۲	۰٫۵۸	۰٫۸۳	۰٫۴۸	۱٫۹۰	۱٫۴۵	خیلی شدید	۷٫۴	۶۴۹٫۸	۵۵٫۱۰
۱۹	۰٫۱۱	۰٫۱۸	۰٫۶	۰٫۴۸	۱٫۸۰	۰٫۸۱	خیلی شدید	۹٫۳	۵۴۴٫۳	۲۵٫۷۸
۲۰	۰٫۱۷	۰٫۳۶	۰٫۳	۰٫۳	۰٫۲۵	۰٫۰۷	خیلی کم	۸٫۰	۶۱۶٫۱	۰٫۵۸
۲۱	۰٫۴۸	۰٫۱۸	۰٫۸۵	۰٫۴۸	۱٫۸۳	۱٫۱۲	خیلی شدید	۸٫۷	۵۸۰٫۲	۳۱٫۴۸
۲۲	۰٫۰۸	۰٫۸۴	۰٫۸۷	۰٫۴۸	۱٫۸۵	۱٫۵۹	خیلی شدید	۸٫۳	۵۹۹٫۷	۶۲٫۸۵
۲۳	۰٫۰۸	۰٫۱۸	۰٫۳	۰٫۴	۱٫۶۰	۰٫۴۶	متوسط	۸٫۲	۶۰۵٫۱	۸٫۶۴
۲۴	۰٫۰۷	۰٫۳۶	۰٫۲۵	۰٫۲	۱٫۳۰	۰٫۲۲	کم	۸٫۴	۵۹۸٫۰	۳٫۳۹
۲۵	۰٫۱۱	۰٫۱۸	۰٫۶۰	۰٫۴۸	۱٫۸۵	۰٫۹۱	خیلی شدید	۷٫۴	۶۵۰٫۹	۲۹٫۰۴
۲۶	۰٫۰۹	۰٫۳۶	۰٫۲۵	۰٫۲	۱٫۳۰	۰٫۲۲	کم	۸٫۲	۶۰۵٫۱	۳٫۳۹
۲۷	۰٫۱۱	۰٫۱۸	۰٫۶۰	۰٫۴۸	۱٫۸۷	۰٫۹۲	خیلی شدید	۷٫۴	۶۵۰٫۲	۲۹٫۵۰
۲۸	۰٫۲۷	۰٫۱۸	۰٫۷۶	۰٫۴۸	۱٫۶۵	۰٫۹۳	خیلی شدید	۷٫۴	۶۵۰٫۶	۳۰٫۰۹
۲۹	۰٫۰۷	۰٫۱۸	۰٫۲۵	۰٫۲	۱٫۳۰	۰٫۱۷	کم	۸٫۹	۵۶۸٫۵	۲٫۰۴
۳۰	۰٫۰۸	۰٫۱۸	۰٫۳	۰٫۳	۰٫۲۵	۰٫۰۵	خیلی کم	۷٫۴۳	۶۵۰٫۹۱	۰٫۴۲
۳۱	۰٫۰۶	۰٫۳۶	۰٫۳	۰٫۳	۰٫۲۵	۰٫۰۷	خیلی کم	۷٫۴۴	۶۵۰٫۲۰	۰٫۵۹
۳۲	۰٫۱۰	۰٫۸۴	۰٫۳	۰٫۳	۰٫۲۵	۰٫۰۹	خیلی کم	۷٫۴۳	۶۵۰٫۵۶	۰٫۹۳
۳۳	۱۲٫۴۹	۰٫۹۸	۰٫۳	۰٫۳	۰٫۲۵	۰٫۱۰	خیلی کم	۵٫۹۷	۷۳۳٫۰۱	۰٫۸۱
۳۴	۰٫۵۶	۰٫۸۴	۰٫۷۵	۰٫۴۸	۰٫۸	۰٫۶۴	متوسط	۶٫۲۹	۷۱۵٫۲۴	۱۳٫۷۳
۳۵	۵٫۷۴	۰٫۷۸	۰٫۶۰	۰٫۴۸	۰٫۸	۰٫۵۷	متوسط	۳٫۹۹	۸۴۴٫۹۶	۱۱٫۲۸
۳۶	۳٫۸۶	۰٫۷۴	۰٫۶۰	۰٫۴۸	۰٫۸	۰٫۵۶	متوسط	۴٫۷۱	۸۰۴٫۰۹	۱۱٫۲۱
۳۷	۰٫۱۸	۰٫۱۸	۰٫۶۰	۰٫۴۸	۰٫۸	۰٫۳۹	کم	۴٫۵۵	۸۱۲٫۹۸	۶٫۵۲
۳۸	۰٫۵۹	۰٫۸۴	۰٫۸۷	۰٫۴۸	۰٫۸	۰٫۶۹	متوسط	۵٫۸۵	۷۴۰٫۱۲	۱۵٫۲۹
۳۹	۰٫۸۳	۰٫۸۴	۰٫۳۵	۰٫۴۸	۰٫۷	۰٫۴۳	متوسط	۵٫۷۲	۷۴۷٫۲۳	۷٫۴۷
۴۰	۰٫۱۰	۰٫۵۸	۰٫۳۵	۰٫۴۸	۰٫۷	۰٫۳۷	کم	۶٫۹۸	۶۷۶٫۱۵	۶٫۰۴
۴۱	۰٫۱۱	۰٫۸۴	۰٫۳۵	۰٫۴۸	۰٫۸	۰٫۴۹	متوسط	۳٫۳۳	۸۸۲٫۲۸	۸٫۶۵
۴۲	۰٫۱۲	۰٫۸۴	۰٫۶۰	۰٫۴۸	۰٫۷	۰٫۵۱	متوسط	۰٫۰۰	۱۱۶۶٫۶۰	۵٫۹۰
۴۳	۲٫۱۱	۰٫۷۵	۰٫۶۰	۰٫۴۸	۰٫۵	۰٫۳۵	کم	۰٫۰۰	۱۲۰۹٫۲۵	۳٫۵۱
۴۴	۲٫۱۳	۰٫۷۸	۰٫۶۰	۰٫۴۸	۰٫۵	۰٫۳۶	کم	۰٫۰۰	۱۱۵۹٫۴۹	۳٫۴۳

جدول ۴. مقادیر هدررفت خاک به روش شاخص‌های میدانی و مدل EPM

شماره واحد	مساحت (km ²)	مدل EPM ton/ha/yr	مدل EPM ton	شاخص‌های میدانی ton/ha	شاخص‌های میدانی Ton
۱	۰٫۹۲	۳۷٫۲۶	۳۴۲۰٫۲۴	۱۲۹٫۱۴	۱۱۸۵۲٫۵۷
۲	۰٫۶۹	۵۶٫۰۰	۳۸۶۲٫۱۴	۱۰۵٫۷۱	۷۲۹۰٫۳۶
۳	۰٫۴۵	۴۹٫۶۳	۲۲۳۹٫۲۰	۱۰۲٫۰۰	۴۶۰۲٫۱۲
۴	۰٫۴۲	۴۹٫۷۰	۲۰۷۰٫۹۰	۱۴۷٫۳۵	۶۱۳۹٫۴۱
۵	۰٫۲۵	۵۲٫۴۷	۱۳۰۱٫۸۵	۱۰۴٫۴۷	۲۵۹۱٫۸۱
۶	۰٫۱۷	۲۰٫۲۸	۳۳۹٫۱۲	۳۸٫۴۸	۶۴۳٫۵۱
۷	۰٫۱۹	۵۵٫۸۵	۱۰۴۱٫۹۶	۱۱۰٫۵۵	۲۰۶۲٫۳۰
۸	۰٫۳۶	۲٫۹۴	۱۰۶٫۰۹	۷٫۰۷	۲۵۵٫۵۳
۹	۰٫۲۸	۲٫۵۹	۷۲٫۹۶	۰٫۰۷	۱۹۹٫۴۷
۱۰	۰٫۱۹	۳۵٫۸۸	۶۷۰٫۶۷	۹۵٫۹۷	۱۷۹۳٫۸۰
۱۱	۰٫۳۱	۶٫۲۰	۱۹۰٫۱۵	۴۶٫۷۴	۱۴۳۴٫۳۷
۱۲	۰٫۲۹	۰٫۵۰	۱۴۳۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
۱۳	۰٫۱۴	۳٫۳۹	۴۷٫۱۶	۷٫۰۷	۹۸٫۵۱
۱۴	۰٫۶۴	۳۱٫۱۸	۱۹۸۶٫۲۴	۱۲۴٫۴۶	۷۹۲۸٫۶۲
۱۵	۰٫۳۹	۶٫۰۰	۲۳۶٫۱۷	۵۴٫۶۲	۲۱۵۰٫۴۷
۱۶	۰٫۳۰	۲٫۰۳	۶۱٫۷۷	۷٫۰۷	۲۱۴٫۷۵
۱۷	۰٫۱۴	۰٫۵۹	۸٫۲۷	۰٫۰۰	۰٫۰۰
۱۸	۰٫۳۲	۵۵٫۱۰	۱۷۴۵٫۴۴	۱۰۵٫۷۱	۳۳۴۸٫۵۷
۱۹	۰٫۱۱	۲۵٫۷۸	۲۷۱٫۷۵	۴۴٫۱۰	۴۶۴٫۸۱
۲۰	۰٫۱۷	۰٫۵۸	۹٫۸۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰
۲۱	۰٫۴۸	۳۱٫۴۸	۱۵۱۴٫۱۱	۱۳۵٫۰۵	۶۴۹۵٫۳۲
۲۲	۰٫۰۸	۶۲٫۸۵	۴۸۸٫۴۹	۱۴۷٫۳۵	۱۱۴۵٫۱۹
۲۳	۰٫۰۸	۸٫۶۴	۷۲٫۵۹	۵۱٫۸۲	۴۳۵٫۱۵
۲۴	۰٫۰۷	۳٫۳۹	۲۳٫۹۸	۰٫۰۷	۵۰٫۰۸
۲۵	۰٫۱۱	۲۹٫۰۴	۳۱۶٫۶۵	۴۰٫۴۳	۴۴۰٫۹۲
۲۶	۰٫۰۹	۳٫۳۹	۲۹٫۷۱	۷٫۰۷	۶۱٫۹۳
۲۷	۰٫۱۱	۲۹٫۵۰	۳۱۵٫۱۴	۴۰٫۴۳	۴۳۱٫۹۵
۲۸	۰٫۲۷	۳۰٫۰۹	۸۱۳٫۶۸	۹۷٫۸۵	۲۶۴۵٫۸۳
۲۹	۰٫۰۷	۲٫۰۴	۱۳٫۳۴	۷٫۰۷	۴۶٫۳۴
۳۰	۰٫۰۸	۰٫۴۲	۳٫۳۸	۰٫۰۰	۰٫۰۰
۳۱	۰٫۰۶	۰٫۵۹	۳٫۵۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
۳۲	۰٫۱۰	۰٫۹۳	۹٫۱۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰

جدول ۴. مقادیر هدررفت خاک به روش شاخص‌های میدانی و مدل EPM

شماره واحد	مساحت (km ²)	مدل EPM ton/ha/yr	مدل EPM ton	شاخص‌های میدانی ton/ha	شاخص‌های میدانی Ton
۳۳	۱۲,۴۹	۰,۸۱	۱۰۱۳,۰۸	۰,۰۰	۰,۰۰
۳۴	۰,۵۶	۱۳,۷۳	۷۶۲,۷۹	۶۱,۹۵	۳۴۴۱,۰۷
۳۵	۵,۷۴	۱۱,۲۸	۶۴۷۸,۰۸	۲۱,۵۴	۱۲۳۷۱,۴۰
۳۶	۳,۸۶	۱۱,۲۱	۴۳۲۲,۷۲	۲۳,۷۴	۹۱۵۵,۸۳
۳۷	۰,۱۸	۶,۵۲	۱۱۵,۱۹	۱۶,۶۰	۲۹۳,۰۸
۳۸	۰,۵۹	۱۵,۲۹	۹۰۴,۵۱	۴۷,۸۰	۲۸۲۸,۰۵
39	۰,۸۳	۷,۴۷	۶۲۳,۷۰	۱۰,۹۰	۹۱۰,۱۱
۴۰	۰,۱۰	۶,۰۴	۵۷,۶۴	۸,۱۰	۷۷,۲۵
۴۱	۰,۱۱	۸,۶۵	۹۶,۵۳	۹,۸۰	۱۰۹,۴۳
۴۲	۰,۱۲	۵,۹۰	۷۳,۶۵	۱۶,۸۴	۲۱۰,۴۰
۴۳	۲,۱۱	۳,۵۱	۷۴۳,۱۲	۵,۵۴	۱۱۷۱,۹۶
۴۴	۲,۱۳	۳,۴۳	۷۳۰,۵۹	۷,۰۴	۱۵۰۲,۲۲

Archive of SID

References

- [1] Ahmadi, H. (2009). *Applied Geomorphology, Water erosion*, Vol1, University of Tehran press, 688p.
- [2] Bergsma, E. (2001). Erosion intensity evaluated from microtopographic soil erosion features, its correlation with conservation practice, presence of fertilizer, and erosion development between alley cropping hedges. In: Stott, D.E., Mohtar, R.H., Steinhardt (eds). *Sustaining the Global Farm, 10th International Soil Conservation Organization Meeting*, 24-29 May1999, Purdue University, pp.666-675.
- [3] Bie, D. (2005). Assessment of soil erosion indicators for maize-based agro-ecosystems in Kenya, *Catena*, 59, 231-251.
- [4] Chaplot, V. and Bissonnais, Y.LE. (2000). Field measurements of interrill erosion under different slopes and plot sizes, *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, 145-153.
- [5] Febles, J.M., Tolon, A. and Vega, B. (2009). Edaphic indicators for assessment of soil erosion in karst regions, province of Havana, Cuba, *Land Degradation & Development*, 20, 522-534.
- [6] Hoseini, S.H. (2008). Investigation of soil erosion in Marl formations using rainfall simulator in Taleghan Watershed, Ph.D. thesis (Abstract in English), Islamic Azad University, Iran, 215pp.
- [7] Kazemi, Y. (2008). Estimation of bed to suspended load ratio in Central-Alborz rivers. MSc thesis (Abstract in English), University of Tehran, Iran, 125 pp.
- [8] Maleki, M. (2003). Investigation of soil erosion using Geomorphology method and EPM model in Taleghan Basin, MSc thesis (Abstract in English), University of Tehran, Iran.
- [9] Morgan, R.P.C. (1986). *Soil erosion and conservation*, Longman Group, UK Ltd, Essex, 295 pp.
- [10] Nasri, M. (2009). Using field indices and multivariate analysis method in order to develop the regional soil erosion model (Case study: Menderjan Watershed), Ph.D. thesis (Abstract in English), Islamic Azad University, Iran, 300 pp.
- [11] Okoba, B.O. and Sterk, G. (2006). Quantification of visual soil erosion indicators in Gikuuri catchment in the Central Highlands of Kenya, *Geoderma*, 134, 3447.
- [12] Okoba, B.O. and Sterk, G. (2010). Catchment-level evaluation of farmers' estimates of soil erosion and crop yield in the Central Highlands of Kenya, *Land Degrad, Develop*, 21, 388-400.
- [13] Okoth, P.F. (2003). A hierarchical method for soil erosion assessment and spatial risk modeling: A case study of Kiambu district in Kenya, Ph.D thesis, Wageningen University, Wageningen, 270pp.
- [14] Oygarden, L. (2003). Rill and gully development during an extreme winter runoff event in Norway, *Catena*, 50(2-4), 217-242.
- [15] Poesen, J.W., Vandaele, K. and Van Wesemael, B. (1996). Contribution of gully erosion to sediment production, *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives* (Proceeding of the Exeter Symposium, July 1996), IAHS Publ, No. 236.
- [16] Reisian, R. and Charkhabi, A.H. (2009). Investigation of slope and land use effects on soil erosion in Gargak Watershed, *1st Watershed Management and Water and Soil Resources Management Conference*, In Persian, Kerman, Iran.114-116pp.
- [17] Rose, E. (1996). Land husbandry—component and strategy, *Soil Bull*, No.70, FAO. Rome.
- [18] Rostagno, C.M. and Degorgue, G. (2011). Desert pavements as indicators of soil erosion on arid soils in north-east Patagonia (Argentina), *Geomorphology*, 134, 224-231.

- [19] Shabani, M. (2003). Investigation the effect of land use changes on sediment yield in chatchments (Case study: Taleghan Basin), MSc thesis (Abstract in English), University of Tehran, Iran.
- [20] Stocking, M.A. and Murnaghan, N. (2001). *Handbook for the field assessment of land degradation*, Earth Scan Publications Ltd, London, UK. 169 pp.
- [21] Taali-Khoshk, S. (2012). Comparison of Neuro-fuzzy method and SCS method in HEC-HMS model, in prioritizing sub-basins for watershed management activities (Case study: Taleghan Watershed), MSc thesis (Abstract in English), University of Tehran, Iran, 135 pp.
- [22] Thorne, C.R., Zevenbergen, L.W., Grissinger, E.H. and Murphey, J.B. (1986). Ephemeral gullies as sources of sediment, *Proceedings 4th Interagency Sedimentation Conference (Las Vegas, Nevada, March 1986)*, 1(3), 152-161.
- [23] Vandaele, K. and Poesen, J. (1995). Spatial and temporal patterns of soil erosion rates in an agricultural catchment, central Belgium, *Catena*, 25, 213-226.
- [24] Vigiak, O., Okoba, B.O., Sterk, G. and Stroosnijder, L. (2005). Water erosion assessment using farmers' indicators in the West Usambara Mountains, Tanzania, *Catena*, 64, 307-320.
- [25] ZiaAbadi, L. and Ahmadi, H. (2011). Comparison of EPM and geomorphology methods for erosion and sediment yield assessment in Kasilian Watershed, Mazandaran Province, Iran, *Desert*, 16, 103-109.

Archive of SID