

## میزان فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز شمال آراد (جنوب استان تهران)

جواد درویشی خاتونی<sup>۱</sup>، سارا نری میسا<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری و کارشناس سازمان زمین شناسی کشور

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

نام نویسنده مسئول:

جواد درویشی خاتونی

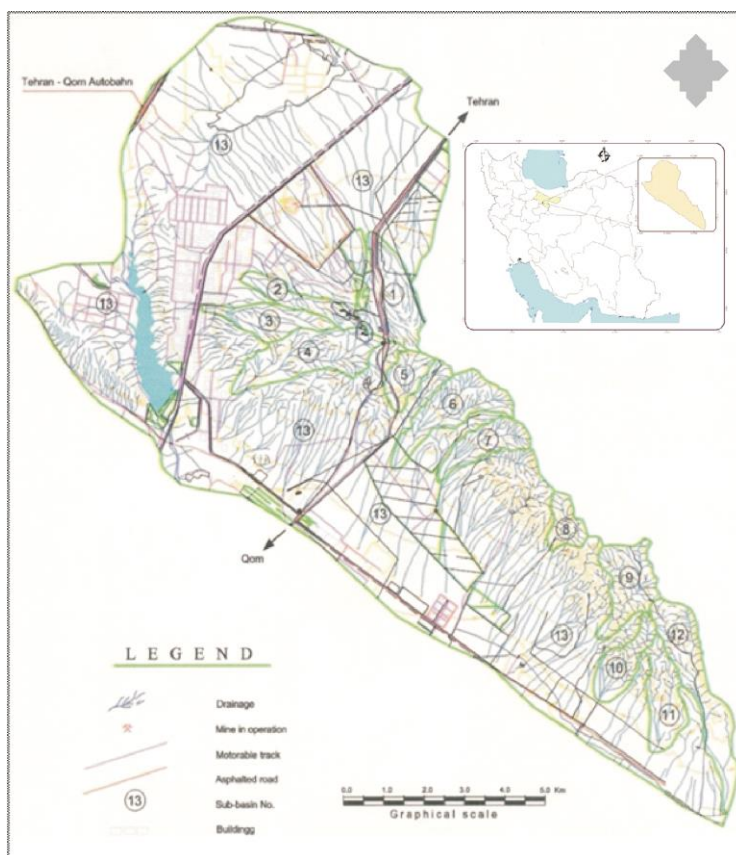
### چکیده

رخداد و گسترش فرسایش خاک موجب تغییرات بارز در منظر زمین و پسرفت اراضی و تخریب محیط زیست می شود. به منظور شناسایی مهم ترین عوامل موثر در فرسایش اراضی جهت معرفی راهبردهای کلان برای پیشگیری و مهار فرسایش حوضه آبخیز آراد انتخاب شد. هدف از این مطالعه شناسایی مناطق حساس به فرسایش و انواع آن، برآورد میزان فرسایش و شدت رسوبدهی حوضه آبخیز و شیوه های کنترل آن می باشد. روش مورد مطالعه در این پژوهش، برآورد میزان فرسایش و رسوب زایی با استفاده از روش تجربی ام پسیاک (MPSIAC) می باشد. نتایج حاصل از فرسایش تابعی از ارتفاع متوسط بارندگی و دمای متوسط سالانه هوا، شیب و جهت اراضی، سازندهای زمین شناسی، منابع اراضی، نوع خاک و ویژگی های مربوط به آن، نوع و تیپ گیاهی، نحوه استفاده از اراضی و متوسط سالانه ارتفاع رواناب های سطحی می باشد. اما در این میان شیب اراضی، نوع سازند، عمق خاک، میزان املاح محلول و میزان سدیم قابل تبادل موجود در خاک، بیشترین تاثیر را در شکل گیری و گسترش فرسایش دارند. بر این اساس مناسب ترین راهبردهای کلان جهت پیشگیری از رخداد فرسایش و گسترش آن در منطقه مورد مطالعه و حوضه های آبخیز مشابه، جلوگیری از تمرکز رواناب های سطحی همراه ، اصلاح کاربری اراضی و مدیریت پوشش گیاهی در اراضی است.

**کلمات کلیدی:** فرسایش و رسوب، کنترل و پیشگیری فرسایش، روش MPSIAC، حوضه آراد

## مقدمه

فرسایش عبارت از جابجایی مواد از نقطه ای به نقطه دیگر، پس از تخریب سنگ و یا خاک است (احمدی، ۱۳۷۴). امروزه عقیده بر آن است که فرسایش خاک توسط آب یکی از عوامل مهم و اصلی تغییر منظر زمین، تخریب منابع زیست محیطی و محدود کننده امکان دستیابی به امنیت غذایی و آب در جهان می باشد (مرتضایی، ۱۳۸۴). در دهه های اخیر، مطالعات فرسایش خاک به علت پیامدهای نامطلوب زیست محیطی و اقتصادی، هدر رفت منابع خاک و اثرات سوء بر مدیریت پایدار اراضی، اهمیت قابل توجهی پیدا کرده است (Saedi, 2005). فرسایش تشدید شونده خاک توسط آب پدیده ای است که دیرینه ای به قدمت تاریخ کشاورزی در جهان دارد (BSWMI, 1974). به طور کلی فرسایش یک پدیده اجتناب ناپذیر بوده که نمی توان آن را کاملاً از بین برد، ولی فعالیت های انسان می تواند آن را تشدید نموده یا کاهش دهد. باید در نظر داشت که فرسایش نه تنها خود خاک را از بین برده و یا حاصل خیزی آن را کاهش می دهد، بلکه با ایجاد رسوب مواد در آبراهه ها سبب انسداد و افزایش کم آبی ناشی از عدم تغذیه سفره های آب زیر زمینی می شود. همچنین با پر کردن مخازن سدها ظرفیت ذخیره آنها را کاهش می دهد، در نتیجه عمر مفید آنها کم می شود (رفاهی، ۱۳۷۸؛ احمدی، ۱۳۷۴). برای جلوگیری و کاهش این آثار، نیاز به اقدامات حفاظت خاک، آبخیزداری و کنترل رسوب می باشد (Morgan, 1995). با توجه به موارد فوق به منظور بررسی فرسایش و رسوب، شناسایی مناطق حساس به فرسایش و همچنین شناسایی پتانسیل ها و به کارگیری شیوه ها و راه های کنترل فرسایش و رسوب، این مطالعه در حوضه آبخیز آراد انجام شده است. حدود جغرافیائی منطقه مورد مطالعه در جنوب استان تهران از محدوده شهرستان رباط کریم، بین مختصات ۵۱ درجه و ۱۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. مساحت این محدوده با توجه به مطالعات فیزیوگرافی حدود ۱۲۰۶۹ هکتار یا ۱۲۰/۶۹ کیلومتر مربع می باشد منطقه مورد مطالعه در جنوب شهرستان تهران واقع شده است و از غرب و شمال غرب به اتوبان تهران- قم و رودخانه کرج، از جنوب به جاده آسفالتیته محمدآباد، از شرق و جنوب شرقی به خطالرأس کوه آراد و از شمال به جمال آباد، کارخانه شرکت سولفاتیک و روستای عبدالآباد محدود می شود. محدوده حوضه آبریز و واحدهای هیدرولوژیکی آن در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقشه محدوده حوضه آبریز شمال آراد و واحدهای هیدرولوژیکی

## مواد و روش‌ها

روش مورد مطالعه در این پژوهش، برآورد میزان فرسایش و رسوب زایی با استفاده از روش تجربی ام پسیاک (MPSIAC) می‌باشد. داده‌های مورد نیاز در این مطالعه شامل نقشه‌های توپوگرافی، پوشش گیاهی، شیب اراضی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، تصاویر ماهواره ای Land Sat ETM 2002، عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، بازدیدهای صحرایی (سنجش شدت فرسایش، کنترل زمین شناسی سطحی، وضعیت فعلی فرسایش و فرسایش رودخانه ای و حمل رسوب) می‌باشد. تمام محاسبات، تخمین‌ها و تهیه نقشه‌های مرتبط با فرسایش و رسوب زایی با استفاده از دانش سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (نرم افزار Arc GIS) امکان پذیر شده است. به منظور جلوگیری از پیامدهای منفی فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز ضرورت دارد تا مقدار رسوب و منبع آن مشخص شود (Fryrear, et al 1985). جهت برآورد فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز بجز مطالعات فاز شناسایی حوضه آبخیز تهران، منطقه مورد مطالعه فاقد آمار و اطلاعات توجیهی است. لذا در چنین حوضه‌های آبخیزی چاره‌ای جز توسل به روش‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب وجود ندارد. اساس مدل‌های تجربی، در نظر گرفتن تعدادی از عوامل مهم است که در فرسایش خاک موثرند. روش پسیاک (P.S.I.A.C) که در سال ۱۹۶۸ میلادی توسط کمیته مدیریت آب در آمریکا برای محاسبه شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مناطق خشک و نیمه خشک غرب ایالات متحده آمریکا ارائه شد (Clark, 1999; Hadley, 1984). در سال ۱۳۵۲ برای اولین بار در ایران در حوزه آبخیز سد دز به اجرا درآمد که نسبت به دیگر روش‌ها از دقت بالایی برخوردار بود. در روش اولیه پسیاک با استفاده از جدول، میزان امتیاز عوامل مشخص می‌شود، ولی در روش اصلاح شده آن (MPSIAC) از روابط ریاضی استفاده می‌شود. جانسون و گبهارت در سال ۱۹۸۲ براساس پیشنهاد اصلاحی در یکی از کنگره‌های علوم فرسایش، روش پسیاک اصلاح شده (MPSIAC) را ارائه کردند. این روش در مقایسه با سایر روش‌های تجربی موجود بیشترین عوامل مؤثر در فرسایش خاک برای محاسبه میزان فرسایش و تولید رسوب را در نظر گرفته است.

نتایج حاصل از بکارگیری مدل پسیاک در بررسی تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز کشور نشان داده است که اختلاف بین رسوب برآوردی از این روش با میزان مشاهده‌ای کم است. از مزایای این روش این است که ارزیابی عوامل هفت‌گانه مؤثر در فرسایش خاک و میزان تولید رسوب باید با ارزیابی دو عامل ۸، ۹ (وضعیت فعلی فرسایش خاک) تطابق داشته باشد (رفاهی، ۱۳۷۵). باید توجه داشت که کاربرد این روش در سطوحی بین ۳۳ تا ۱۷۰۰۰ هکتار مورد تایید قرار گرفته است (قدوسی، ۱۳۸۶). از معایب این روش می‌توان به لزوم ارزیابی صحیح هر یک از عوامل و اولویت‌بندی کردن آنها از نظر موثر بودن در تولید رسوب اشاره کرد که این مهم نیز با بکارگیری تجربه علمی و عملی فراوان در زمینه شناخت عوامل مؤثر در فرسایش خاک و رسوب زایی قابل رفع است. یعنی اینکه در صورت بکار بردن امتیاز صحیح هر عامل این مشکل نیز برطرف خواهد شد. در این روش ۹ عامل برای محاسبه و برآورد فرسایش در نظر گرفته می‌شود (جدول ۱).

در روش پسیاک برآورد رسوب از رابطه زیر انجام می‌شود (احمدی، ۱۳۷۴؛ Clark, 1999).

$$Q_s = 38.77 e^{0.0353 R} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$Q_s$  = تولید رسوب سالیانه در واحد سطح (متر مکعب در کیلومتر مربع در سال)،  $e$  = لگاریتم پایه نپرین (۲/۷۱۸۲۸)  
 $R$  = ضریب نهایی (مجموع اعداد فاکتورهای نه‌گانه)، رابطه فوق با درجه همبستگی  $r=0.9964$  از نظر آماری در سطح یک درصد معنی دار است.

به دلایل زیر این روش برای برآورد میزان فرسایش و رسوب در منطقه مورد مطالعه انتخاب شد:

- در این روش ارزیابی فرسایش خاک و تولید رسوب بصورت کیفی و کمی قابل بیان است
- بیشترین عوامل مؤثر در فرسایش و رسوب زایی در محاسبات منظور می‌شود
- نیاز به محاسبات خاص هیدرولوژیکی ندارد
- عمومیت کاربردی آن و تجربیات قابل توجهی در کاربرد این روش در کشور وجود دارد.
- امکان بررسی انواع مختلف فرسایش در حوضه آبخیز وجود دارد
- امکان تهیه نقشه فرسایش خاک نسبتاً دقیق میسر است
- برای مناطق خشک و نیمه خشک طراحی شده است
- میزان کاهش فرسایش خاک و رسوب تولیدی با کاربرد روش‌های مناسب کنترل فرسایش و حفاظت خاک قابل پیش بینی است.
- وضعیت فعلی فرسایش خاک یا واقعیت عینی موجود در مورد فرسایش و رسوب را در حوضه آبخیز مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

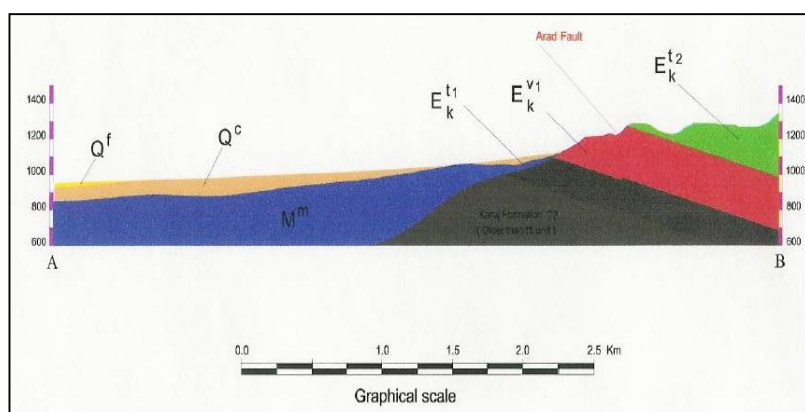
جدول (۱) - فاکتور های پسیاک، نمرات، معادله ها (Safamanesh et al., 2006)

فاکتور پسیاک	توضیحات مربوط به فاکتور پسیاک	نمرات	معادله
زمین شناسی سطحی	$Y_1$ . شاخص فرسایش زمین شناسی سطحی	۰ - ۱۰	$Y_1 = X_1$
خاک	$Y_2$ . حساسیت خاک به فرسایش	۰ - ۱۰	$Y_2 = 16.67 X_2$
آب و هوا	$Y_3$ . میزان بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت دوساله	۰ - ۱۰	$Y_3 = 0.2 X_3$
رواناب	$Y_4$ . (حجم هرز آب سالانه $\times 0.3 +$ دبی پیک سالانه به مترمکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع $\times 50$ )	۰ - ۱۰	$Y_4 = 0.2(0.03 R + 50 Q_p)$
پستی و بلندی	$Y_5$ . شیب متوسط بر حسب درصد	۰ - ۲۰	$Y_5 = 0.33 X_5$
پوشش زمین	$Y_6$ . درصد زمین لخت	-۱۰ تا +۱۰	$Y_6 = 0.2 X_6$
استفاده از زمین	$Y_7$ . درصد تاج پوشش	-۱۰ تا +۱۰	$Y_7 = 20 - 0.2 P_c$
فرسایش سطحی	$Y_8$ . وضعیت سطح خاک و فرسایش با استفاده از روش B.L.M	۰ - ۲۵	$Y_8 = 0.25 X_8$
فرسایش رودخانه‌ای	$Y_9$ . عامل فرسایش خندقی	۰ - ۲۵	$Y_9 = 1.67 X_9$

### بحث

بر اساس بررسی های صحرایی و برآورد میزان فرسایش منطقه با اعتقاد به این اصل که پایه رسوب تولیدی حوضه بر فرسایش استوار است، عوامل موثر بر میزان رسوب دهی منطقه آراد را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

- ۱- فرسایش طبیعی حاصل از عوامل فیزیکی حوضه: شامل وسعت حوضه، نحوه انتقال مواد رسوبی، حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، توپوگرافی منطقه، شیب و خصوصیات فیزیکی دیگر. سه عامل شیب، جهت و ارتفاع اراضی از سطح دریا مهمترین عوامل تاثیر گذار بر شکل گیری و گسترش فرسایش در اراضی هستند (احمدی، ۱۳۷۴؛ خلیلی، ۱۳۷۶؛ شهریور، ۱۳۷۶؛ عیسانی، ۱۳۸۴؛ قدوسی، ۱۳۷۳؛ کریمی، ۱۳۷۷).
- ۲- فرسایش حاصل از خصوصیات هوا و اقلیم مثل تغییرات شدید درجه حرارت، نوع و مقدار بارش در زمان کوتاه (رگبارها)، شدت سیلاب و تراکم آبراهه و خصوصیات از این قبیل.
- ۳- فرسایش ناشی از عملیات غلط زراعی (فرسایش تشدید شونده) مانند شخم در جهت شیب، تخریب مراتع، تراس های بدون پوشش گیاهی، چرای بی رویه دام از مراتع و غیره
- ۴- فرسایش ژئولوژیکی یا زمین شناسی مانند نوع تشکیلات زمین شناسی منطقه (شکل ۲).



شکل ۲- مقطع زمین شناسی که در امتداد شمال شرق-جنوب غرب از محدوده حوضه آراد

در نهایت هر چه رسوبگذاری در حوضه بیشتر باشد، فرسایش کمتر خواهد بود. عوامل فوق با یکدیگر و بعضاً بطور جداگانه موجب کاهش فرسایش در حوضه می‌گردد. با توجه به عوامل فوق و عدم دسترسی به اطلاعات از مقدار و میزان فرسایش سطحی به ویژه بار معلق دستیابی به مقدار فرسایش واقعی برای کارشناس مشکل است. البته می‌توان بر حسب مساحت حوضه و بافت خاک با استفاده از گراف هایی نسبت تحویل رسوب و فرسایش را محاسبه کرد. اشکال فرسایش منطقه با استفاده از عکس های هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ و بازدیدهای صحرایی تعیین شد که عبارتند از: فرسایش قطره بارانی یا پاشمانی (Splash erosion)- فرسایش ورقه ای یا سطحی (Sheet or Surface)

(Erosion) - فرسایش شیاری (Rill erosion) - فرسایش خندقی (Gully erosion) - فرسایش کناری یا رودخانه‌ای (Stream bank erosion) - تخریب مکانیکی توسط اراضی زراعی و تاسیسات.

### طبقه‌بندی فرسایش خاک در منطقه بر اساس انواع فرسایش قابل مشاهده

عوامل فرسایشی از نظر طبیعی عبارتند از فرسایش آبی، بادی و یخچال که هر عامل در منطقه خاصی عمل می‌کند. در منطقه مورد مطالعه فرسایش آبی و تا حدی فرسایش بادی مشاهده می‌شود. فرسایش آبی از دو دیدگاه قابل بررسی است؛ یکی اینکه ابتدا قطرات باران با انرژی پتانسیل خود خاکدانه‌ها و ذرات خاک را متلاشی نموده و در مرحله دوم آب این ذرات را در سطح زمین با خود حمل نموده و به مناطق پایین دست منتقل می‌کند. ابتدا آب‌ها به صورت جویچه‌های کوچکی است که از به هم پیوستن آنها جوی‌ها و خندق‌ها ایجاد می‌شود. اگر ارتفاع آب جاری شده زیادتر باشد، فرسایش شدیدتر به ویژه در شیب‌ها افزایش یافته و جلوه می‌نماید.

### تعیین فرسایش و تولید رسوب حاصل از انواع فرسایش‌های آبی

طراحی مدل بر اساس تعیین عوامل عمده و ضروری در ارتباط با فرسایش و هدررفت خاک است که بر اساس مشاهدات صحرائی، اندازه‌گیری، آزمایش و تحلیل آماری به دست می‌آید. با افزایش قدرت محاسبات توسط رایانه‌ها، مدل‌ها گسترش زیادی یافتند، بنابراین تنها یک مدل برای حل مسائل متفاوت کافی نیست. بسیاری از مدل‌ها در شرایط خاصی تولید شدند و به‌طور مستقیم و بدون اصلاح نمی‌توانند برای مناطق دیگر مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس نتایج حاصل از سایر بخش‌های مطالعاتی و مشاهدات صحرائی و با استفاده از سیستم GIS و بررسی فاکتورهای ۹ گانه روش تجربی MPSIAC، تولید رسوب به تفکیک تیپ‌های فرسایشی به شرح ذیل است:

- ۱- سنگ‌شناسی (صفر تا ده): نوع سنگ، خرد شدگی، هوازدگی و سستی آن در نظر گرفته می‌شود.
  - ۲- خاک (صفر تا ده): بافت، کلوخه‌شدن، شوری و قلیائیت، مواد آلی، درصد ذرات درشت و ساختمان خاک در نظر گرفته می‌شود.
  - ۳- آب و هوا (صفر تا ده): تواتر رگبارها، شدت، مدت بارندگی، ذوب و انجماد برف در نظر گرفته می‌شود.
  - ۴- رواناب (صفر تا ده): حجم آبدهی در واحد سطح، شدت طغیان در واحد سطح و گروه هیدرولوژیکی خاک در نظر گرفته می‌شود.
  - ۵- پستی و بلندی (صفر تا بیست): شیب مناطق بالادست، پستی و بلندی، توسعه آبرفت‌ها و دشت‌های سیلابی در نظر گرفته می‌شود.
  - ۶- پوشش زمین (منفی ده تا مثبت ده): پوشش گیاهی، پوشش سنگی، وضعیت درخت‌ها و درختچه‌ها در نظر گرفته می‌شود.
  - ۷- استفاده از زمین (منفی ده تا مثبت ده): درصد اراضی زراعی، نحوه چرای دام، وضعیت جاده‌ها و شدت بهره‌برداری از محصولات جنگلی در نظر گرفته می‌شود.
  - ۸- وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوضه آبخیز (صفر تا بیست و پنج): شدت فرسایش شیاری و خندقی، چگونگی توزیع انواع فرسایش سطحی، فرسایش لغزشی و حرکت‌های توده‌ای در نظر گرفته می‌شود.
  - ۹- فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب (صفر تا بیست و پنج): فرسایش در کناره‌ها و بستر، فرسایش بالارونده، عمق جریان، شیب هیدرولیکی و پوشش گیاهی در نظر گرفته می‌شود.
- عمدتاً باید تشخیص داد چه عاملی از بین ۹ عامل ذکر شده بیشترین تاثیر را در تولید رسوب دارد و ترتیب اهمیت آنها چگونه است، زیرا تشخیص موثرترین عوامل در صحت و دقت مطالعات و ارزیابی آن تاثیر زیادی دارد. همچنین با توجه به مهمترین عامل می‌توان نوع روش کنترل فرسایش را مشخص کرد. در منطقه مورد مطالعه عامل وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوضه آبخیز (فرسایش سطحی) بیشترین تاثیر را در شدت رسوبدهی و عامل استفاده از زمین کم‌ترین تاثیر را دارد.

### میزان فرسایش و رسوب

پس از بررسی عوامل نه‌گانه روش MPSIAC میزان رسوبدهی برای هر زیرحوضه مشخص شد. از مجموع این عوامل در هر واحد هیدرولوژیک، عدد رسوبدهی R بدست می‌آید که با توجه به آن عدد، میزان فرسایش کیفی در هر واحد هیدرولوژیک مشخص شده است. پس از تعیین درجه رسوبدهی (R) با استفاده از رابطه زیر میزان رسوب ویژه بر حسب متر مکعب بر کیلومتر مربع در سال محاسبه شد (جدول ۳ و شکل ۴):

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

$Q_s$ : میزان رسوب ویژه بر حسب متر مکعب بر کیلومتر مربع در سال

R: درجه رسوبدهی هر واحد هیدرولوژیک، e: لگاریتم پایه نپرین (۲/۷۱۸۲۸)

میزان رسوب تولیدی سالانه و کلاس فرسایش خاک در روش PSIAC در جدول ۲ آمده است.

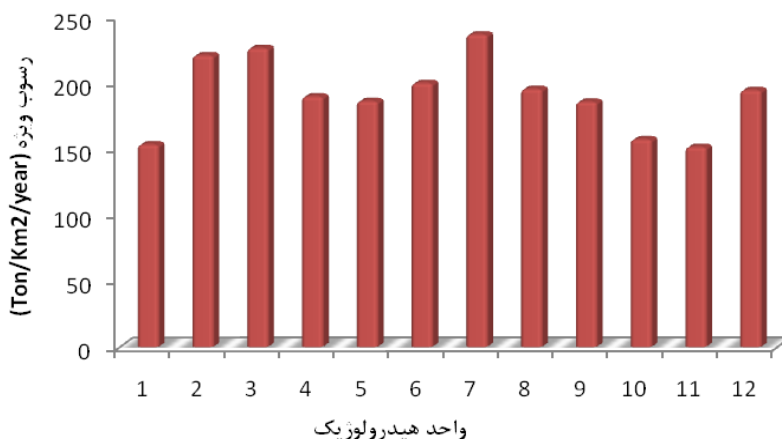
جدول ۲- تعیین میزان رسوب تولیدی سالانه و کلاس فرسایش خاک در روش PSIAC (رفاهی، ۱۳۷۵)

نمرات نشاندهنده شدت رسوبدهی R	تولید رسوب سالانه (Qs)		شدت رسوبدهی	کلاس رسوبدهی و فرسایش
	ایکرفوت در مایل مربع	مترمکعب در کیلومتر مربع		
$\geq 100$	$> 3$	$> 1429$	خیلی زیاد	V
75 - 100	3 - 1	476 - 1429	زیاد	IV
50 - 75	0.5 - 1	238 - 476	متوسط	III
25 - 50	0.0 - 2/5	95 - 238	کم	II
0 - 25	$< 0.2$	$< 95$	خیلی کم	I

به منظور محاسبه رسوب ویژه با توجه به اینکه وزن مخصوص رسوبات بین ۱/۱ تا ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بسته به بافت، درصد مواد آلی و سایر خصوصیات در هر واحد کاری متفاوت می‌باشد، بنابراین وزن مخصوص رسوبات به طور متوسط ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب انتخاب شد و با استفاده از آن میزان تولید رسوب ویژه بر حسب تن در هکتار محاسبه گردید.

جدول ۳- محاسبه میزان رسوب واحدهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز شمال آراد

واحد هیدرولوژیک	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درجه رسوبدهی (R)	کلاس رسوبدهی و فرسایش	رسوب ویژه (M <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /year)	رسوب ویژه (Ton/km <sup>2</sup> /year)	رسوب کل (Ton/year)
۱	۲/۶۸	۳۱/۴۸	II	۱۱۷/۷۹	۱۵۳/۱۳	۴۱۰/۳۸
۲	۱/۱۴	۴۱/۸۱	II	۱۶۹/۶۴	۲۲۰/۵۳	۲۵۱/۴۱
۳	۱/۴۹	۴۲/۵۱	II	۱۷۳/۸۶	۲۲۶/۰۲	۳۳۶/۷۷
۴	۳/۰۰	۳۷/۵۱	II	۱۴۵/۷۰	۱۸۹/۴۲	۵۶۸/۲۵
۵	۰/۹۷	۳۶/۹۸	II	۱۴۳/۰۳	۱۸۵/۹۳	۱۸۰/۳۶
۶	۲/۲۹	۳۸/۹۹	II	۱۵۳/۵۴	۱۹۹/۶۰	۴۵۷/۰۹
۷	۱/۳۴	۴۳/۷۸	II	۱۸۱/۸۳	۲۳۶/۳۸	۳۱۶/۷۵
۸	۰/۷۹	۳۸/۳۵	II	۱۵۰/۰۹	۱۹۵/۱۲	۱۵۴/۱۵
۹	۱/۹۳	۳۶/۹۱	II	۱۴۲/۶۶	۱۸۵/۴۶	۳۵۷/۹۳
۱۰	۱/۳۲	۳۲/۱۹	II	۱۲۰/۷۹	۱۵۷/۰۳	۲۰۷/۲۸
۱۱	۱/۷۱	۳۱/۱۴	II	۱۱۶/۳۶	۱۵۱/۲۷	۲۵۸/۶۸
۱۲	۳/۰۵	۳۸/۲۲	II	۱۴۹/۴۳	۱۹۴/۲۶	۵۹۲/۵۰



شکل ۴- مقایسه رسوب ویژه در واحدهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز شمال آراد

### فرسایش ویژه

برای برآورد فرسایش ویژه از رابطه همبستگی ارائه شده بین درجه رسوبدهی و میزان رسوب تولیدی استفاده شد. برای ارزیابی تقریبی رسوب خروجی از حوضه‌های آبخیز می‌توان از نموداری که نسبت تحویل رسوب (SDR) را بر حسب مساحت حوضه و بافت خاک نشان می‌دهد، استفاده کرد. میزان تقریبی رسوب در هر خروجی از رابطه زیر نیز محاسبه شد.

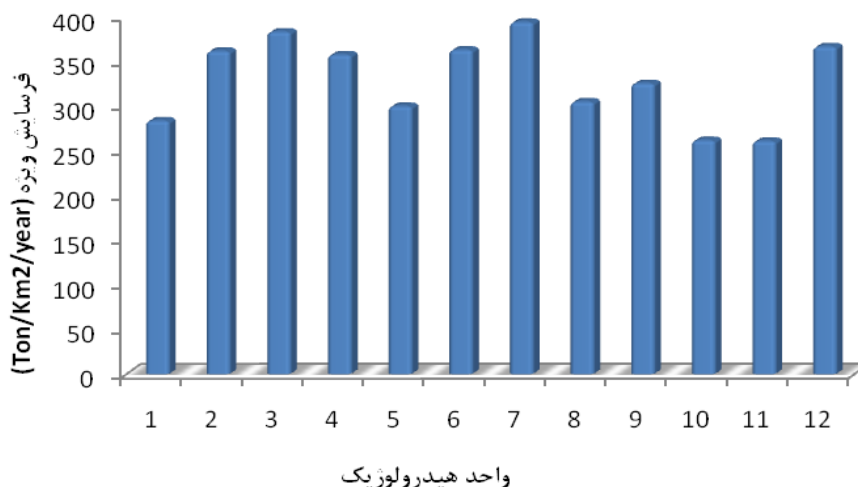
$$SDR: \frac{Q_s}{T_e} \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در آن:  $Q_s$ : رسوب ویژه و  $T_e$ : فرسایش ویژه است. با استفاده از رابطه ضریب رسوبدهی زیر نیز می‌توان به این نسبت دست یافت.  
 رابطه ۳:  $\log SDR = 1.8768 - 0.14191 \log 10A$

در این رابطه A: مساحت حوضه بر حسب مایل مربع می‌باشد. هر مایل مربع تقریباً ۲/۵۹ کیلومتر مربع است. بر این اساس ضریب رسوبدهی واحدهای هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه محاسبه شد (جدول ۴).

جدول ۴- محاسبه میزان فرسایش ویژه و ضریب رسوبدهی واحدهای هیدرولوژیکی حوضه آبخیز شمال آراد

فرسایش کل (Ton/year)	فرسایش ویژه (Ton/km <sup>2</sup> /year)	فرسایش ویژه (M <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /year)	کلاس فرسایش	SDR	مساحت (Mi <sup>2</sup> )	واحد هیدرولوژیکی
۷۵۹/۹۶	۲۸۳/۵۷	۲۱۸/۱۳		۰/۵۴	۱/۰۳	۱
۴۱۱/۶۳	۳۶۱/۵۲	۲۷۸/۱		۰/۶۱	۰/۴۴	۲
۵۸۰/۷۸	۳۸۳/۰۸	۲۹۴/۶۸		۰/۵۹	۰/۵۸	۳
۱۰۷۲/۲	۳۵۷/۴	۲۷۴/۹۰		۰/۵۳	۱/۱۶	۴
۲۹۰/۸۸	۲۹۹/۸۸	۲۳۰/۷۰		۰/۶۲	۰/۳۸	۵
۸۳۱/۰۴	۳۶۲/۹	۲۷۹/۱۶		۰/۵۵	۰/۸۸	۶
۵۲۷/۹۱	۳۹۳/۹۷	۳۰۳/۰۵		۰/۶	۰/۵۲	۷
۲۴۰/۸۵	۳۰۴/۸۸	۲۳۴/۵۱		۰/۶۴	۰/۳۰	۸
۶۲۷/۹۶	۳۲۵/۳۷	۲۵۰/۲۸		۰/۵۷	۰/۷۴	۹
۳۴۵/۴۷	۲۶۱/۷۲	۲۰۱/۳۲		۰/۶۰	۰/۵۱	۱۰
۴۴۸/۵۹	۲۶۰/۸۱	۲۰۰/۶۲		۰/۵۸	۰/۶۶	۱۱
۱۱۱۷/۹۱	۳۶۶/۵۳	۲۸۱/۹۴		۰/۵۳	۱/۱۸	۱۲



شکل ۵- مقایسه فرسایش ویژه در واحدهای هیدرولوژیکی حوضه آبخیز شمال آراد



نوع دیگر فرسایش موجود در این حوضه آبخیز فرسایش بادی می باشد. در منطقه مورد مطالعه تا حدی فرسایش بادی مشاهده می شود. فرسایش بادی از یکی از مهم ترین عوامل تخریب و هدر رفتن خاک در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می رود (Troeh et al., 1980)، (رفاهی، ۱۳۷۵). مهم ترین عواملی که در میزان انتقال مواد فرسایش یافته بادی نقش عمده ای دارند، شامل سرعت باد، خصوصیات ذرات، رطوبت سطحی خاک، پوشش گیاهی، ناهمواری های سطح زمین و وجود املاح در خاک است (کریم زاده، ۱۳۸۱)، (میرقانعی اردکانی، ۱۳۸۱)، (رفاهی، ۱۳۷۵). نتایج بدست آمده از مطالعات تونل بادی انجام شده توسط فریزر نشان داد که ۲۰ تا ۵۰ درصد پوشش بقایای گیاهی، شدت فرسایش را نسبت به خاک صاف و لخت به ترتیب ۵۷ و ۹۵ درصد کاهش می دهد (Fryrear et al., 1985). مقدار بقایای گیاهی مورد نیاز برای حفاظت خاک بستگی به نوع و مقدار بقایای گیاهی، فرسایش و خطر تخریب آن دارد (رفاهی، ۱۳۷۵)، (Fryrear et al., 1985). نقش رطوبت خاک در اثر نیروی چسبندگی ناشی از پوسته نازک آب بین ذرات می باشد (Chepil, W, 1956). خاک های دارای شوری بیشتر، فرسایش پذیری کمتری نسبت به خاک های غیر شور از خود نشان می دهد (Lyles et al., 1971).

### کنترل فرسایش و حفاظت خاک در منطقه آراد

هدف از عملیات حفاظتی آن است که میزان تلفات خاک از حد معینی پایین تر نگه داشته شود. به لحاظ نظری این حد برابر سرعت طبیعی تولید خاک است. به عبارت دیگر عملیات حفاظت خاک باید شرایطی را ایجاد کند که در آن سرعت تشکیل خاک و سرعت فرسایش برابر باشد. استراتژی های حفاظت خاک در منطقه آراد باید در جهت اهداف زیر بکار گرفته شود:

۱. محافظت خاک در مقابل اثر تخریبی قطرات باران
۲. افزایش ظرفیت نفوذ آب در خاک به منظور کاهش رواناب
۳. بهبود بخشیدن به پایداری خاک دانه ها
۴. افزایش زبری سطح خاک به منظور کاهش سرعت آب یا باد

برای رسیدن به اهداف فوق معمولاً از روش های مکانیکی و غیرمکانیکی استفاده می شود. اقدامات مکانیکی شامل عملیاتی مانند تراس بندی، ایجاد آبراهه های انحرافی، احداث بندها و روش های غیرمکانیکی شامل عملیاتی مانند استفاده صحیح از اراضی، دادن کود مناسب، شخم مناسب و تناوب زراعی است. به عبارت دیگر حفاظت مکانیکی نوعی مبارزه مستقیم با فرسایش است و آن در حالتی است که خاک یارای مقاومت در برابر فرسایش را ندارد و باید با انجام عملیاتی فرسایش را محدود ساخت. اقدامات غیرمکانیکی نوعی مبارزه غیرمستقیم با فرسایش است و عبارت از پیشگیری از فرسایش با انجام یکسری عملیات مدیریت صحیح. حفاظت غیرمکانیکی (مبارزه بیولوژیک) و مکانیکی نمی توانند جایگزین یکدیگر باشند، بلکه مکمل یکدیگرند.

### ۱- روش های غیرمکانیکی

۱-۱- استفاده صحیح از زمین: برنامه ریزی جهت استفاده صحیح از زمین باید متناسب با استعداد زمین باشد. نوع بهره برداری از زمین و فرسایش خاک رابطه نزدیکی با یکدیگر دارند. در صورتی که از زمین استفاده نامعقول به عمل آید، میزان فرسایش به شدت افزایش می یابد. با توجه به اینکه اراضی موجود در منطقه آراد از لحاظ حاصلخیزی فقیر بوده و در بعضی قسمت ها تپه ماهوری هستند، بنابراین کاربری کشاورزی مناسب این منطقه نیست و اگر این اراضی بدون توجه به استعداد آنها مورد بهره برداری قرار گیرند، بتدریج فرسوده شده و اگر این امر ادامه یابد، زمین بلااستفاده می ماند. می توان با مدیریت صحیح در اراضی کشاورزی و مرتعی منطقه و در نظر گرفتن تناسب اراضی به منظور واگذاری زمین برای احداث تاسیسات و کارخانجات در کاهش فرسایش خاک گام موثری برداشت.

۱-۲- مدیریت پوشش گیاهی: پوشش گیاهی سطح خاک نقش موثری در کنترل فرسایش دارد. یک زمین حتی در شیب تند و با باران های شدید اگر پوشش خوبی داشته باشد، در برابر فرسایش مقاومت می کند. در منطقه مورد مطالعه در قسمت هایی از اراضی به جنگل کاری با گونه های کاج و آترپلکس اقدام شده است که می توان با مدیریت مناسب نسبت به بهبود و نگهداری آنها اقدام کرد. به منظور کنترل فرسایش بایستی شایستگی مراتع برای چرای دام منطقه مد نظر قرار گرفته و از چرای دام در اراضی تپه ماهوری و توده سنگی منطقه که از لحاظ چرای دام تناسب ندارند، خودداری شود. سطح خاک منطقه دارای درصد قابل توجهی سنگ و سنگریزه می باشد که به عنوان پوششی خاک را در مقابل عوامل فرساینده باران حفظ می کنند و در این گونه اراضی با توجه محدودیت اقلیم و عمق خاک امکان استقرار پوشش گیاهی وجود ندارد، بنابراین با توجه به موارد مذکور عملیات اصلاحی بیولوژیک در این مناطق پیشنهاد نمی شود (شکل ۵).





شکل ۵) - سطح خاک منطقه دارای درصد قابل توجهی سنگ و سنگریزه

## ۲- روش‌های مکانیکی

به منظور کنترل رواناب و کاهش شدت فرسایش با توجه به شرایط منطقه، برنامه‌های مختلفی برای آبراهه‌ها و اراضی مرتعی پیشنهاد می‌شود. سازه‌های پیشنهادی که در آبراهه‌ها ایجاد می‌شوند شامل بندهای خشکه‌چین در آبراهه‌های درجه یک، بندهای سنگ و ملات و گابیونی است که بعد از بررسی‌های لازم در مناطق مناسب حوضه آبخیز به اجرا در خواهند آمد. همچنین در اراضی مرتعی منطقه نیز برنامه کنترل فارو توام با بوته‌کاری و همچنین ایجاد چاله‌های فلسی و بوته‌کاری پیشنهاد می‌شود. به منظور جلوگیری از ایجاد مشکلات احتمالی برای تاسیسات دammersی و کارخانجات موجود در منطقه پیشنهاد می‌شود، در اراضی بالادست که دارای شیب زیاد هستند و پتانسیل تولید هرزآب را دارند، در مکان مناسبی در اطراف این تاسیسات بند خاکی احداث شود. پس بطور کلی بدلیل بارندگی کم، پراکندگی بارش، وضعیت فیزیوگرافی منطقه و وجود پوشش سنگ و سنگریزه در اکثر مناطق محدوده طرح مشکل حادی از لحاظ فرسایش خاک و تولید رسوب وجود ندارد که نیاز به صرف هزینه‌های زیاد به منظور احداث سازه‌های کنترلی باشد.

### نتیجه گیری

بیشترین درجه رسوب دهی مربوط به واحد ۷ می باشد که به میزان  $43/78$  می باشد و کمترین میزان مربوط به واحد ۱۱ با میزان  $31/14$  می باشد. بیشترین میزان فرسایش در واحد هیدرولوژیکی ۱۲ با توجه به وسعت زیاد واحد با میزان فرسایش کل  $1117/91$  تن در سال و کمترین میزان مربوط به واحد هیدرولوژیکی ۸ با  $240/85$  تن در سال می باشد. همچنین بیشترین میزان فرسایش ویژه در منطقه مربوط به واحد ۷ با میزان  $393/97$  تن در کیلومتر مربع در سال و کمترین میزان واحد ۱۱ با  $260/81$  تن در کیلومتر مربع در سال می باشد. اشکال فرسایش های در منطقه آراد شامل فرسایش قطره بارانی یا پاشمانی، ورقه ای یا سطحی، شیاری، خندقی، کناری یا رودخانه‌ای، تخریب مکانیکی، اراضی زراعی و تاسیسات می باشند. فرسایش دو علت اساسی بنام طبیعی و تشدید کننده دارد. در حوضه شمال آراد هر دو عامل طبیعی و تشدید کننده تماماً باعث بروز انواع فرسایش در حوضه شده‌اند که عوامل طبیعی خود به چهار گروه: عامل پستی و بلندی (توپوگرافی)، عامل آب و هوایی (اقلیم)، عامل زمین، خاک و عامل پوشش گیاهی زمین دسته بندی شده‌اند. عوامل تشدید کننده انسانی نیز شامل موارد زیر است: عامل فعالیت های زراعی، عامل چرای دام در مرتع، عامل بهره برداری از معادن و واگذاری اراضی به منظور احداث کارخانجات، مجتمع دامداری، پروژه های جنگل کاری. جهت کنترل فرسایش و حفاظت خاک در منطقه آراد، محافظت خاک در مقابل اثر تخریبی قطرات باران، افزایش ظرفیت نفوذ آب در خاک به منظور کاهش رواناب، بهبود بخشیدن به پایداری خاک دانه ها، افزایش زبری سطح خاک به منظور کاهش سرعت آب یا باد پیشنهاد می شود.

## منابع و مراجع

- [۱] احمدی، حسن، ۱۳۷۴- ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱، (فرسایش آبی) چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۱۴ صفحه
- [۲] خلیلی، ناصر، ۱۳۷۶- بررسی خصوصیات مورفومتری خندقها در سازند های مختلف زمین شناسی-پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۳ صفحه.
- [۳] رفاهی، حسینقلی، ۱۳۷۴- فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۴] شهریور، عبدال، ۱۳۷۶- بررسی عوامل موثر بر ایجاد فرسایش خندقی و ارائه مدل در منطقه سوق از شهرستان دهدشت- پایان نامه کارشناسی ارشد- دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۲۴ صفحه.
- [۵] عیسایی، حسین. امیر حسین چرخابی و حسین اعتراف، ۱۳۸۴- بررسی ارتباط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک های لسی با اشکال فرسایشی در حوضه های آبخیز اترکو گرگانرود در استان گلستان. . مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب. ۶۳۹-۶۳۷ صفحه.
- [۶] قدوسی، جمال، ۱۳۷۳- رشد و گسترش خندقها. انتشارات موسسه تحقیقات، جنگلها و مراتع کشور، گزارش پژوهشی. ۲۸ صفحه.
- [۷] کریم زاده، ح. م. ۱۳۸۱. چگونگی تکوین و تکامل خاک ها در لند فرم های مختلف و منشایابی رسوبات فرسایش یافته در منطقه شرق اصفهان. پایان نامه دکتری خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- [۸] کریمی، محمد، ۱۳۷۷- بررسی عوامل موثر بر فرسایش خندقی و معرفی مناسب ترین راههای مهار آن در منطقه زهان قائن- پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۹۲ صفحه.
- [۹] میر قانع اردکانی، س. م. ۱۳۸۱. تاثیر برخی خصوصیات خاک سطحی بر قابلیت تشکیل سله و مقاومت آن در برابر فرسایش بادی. پایان نامه کارشناسی ارشد مرتع و آبخیز داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- [۱۰] مرتضایی، مرتضی. ۱۳۸۴- ارزیابی اثر کمی متغیر های محیطی در رخداد فرسایش خندقی. پایان نامه دکتری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی تهران، واحد علوم و تحقیقات. ۱۵۴ صفحه.
- [11] BSWMI.1974; Watershed mangement and sand dune stabilization record. Ministry of Agriculture and Natural Resource. FRO.No.3.128P.
- [12] Burkard, M.B. and Kostaschuk. 1997; Patterns and control of gully growth along the shoreline of Kake Huron. Earth Surface Processes and Landforms 22: 901-911.
- [13] Chepil, W. S. 1956. Influence of moisture on erodibility of soil by wind, Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20: 288-292.
- [14] Fryrear, D. W. and E. L. Skidmore. 1985. Methods for controlling wind erosion. PP. 442-457. In: R. F. Follet and B. formation system. M. Sc. Ththesis. Geography. University of New mecico.
- [15] Clark, K. B. 1999. An estimate of sediment yield for two small watershed in a geographic in
- [16] Hadley, R. F. 1984. Measuring and predicing soil erosion. In. R. F. Hadley and D. E. Walling. (Eds). Erosion and aediment yeilds some methods of measurement and modeling. GeoBook. Norwich. UK.P. 1-14
- [17] Johnson, C.W. and Gebhardt, K. A. 1982. Predicting sediment yyields from rangelands. In proceeding of workshop on estimateing erosion and sediment yeild on rangelands. Tucson. Arizona. March 1981 US Department of Agriculture Reviews and Manuals. Western Series. No. 26. P. 145-146.
- [18] Lyles, L. and R. L. Schrandet. 1971. Wind erodibility as influence by rainfall and salinity. Soil Sci. 114: 367-372.
- [19] Morgan, R.P. C. 1995. Soil erosion and conservation; Crainfield University. British.
- [20] Prosser, I.P. and B. Aberneathy. 1996; Predicting the topographic limits to gully network using a digital terrain model and process threshold. Water Resources Research 37(7): 2289-2298.
- [21] Saedi, S., E. Pazira, H. Roohipoor, M.R. Neishaboori, B. Saghafian, and M.E. Sadeghzadeh. 2005. Evaluation of process-based soil erosion model, GUEST, for one sample of soils of Khajeh (Tabriz) region, Jour. of Agricultural Scirnces 3: 201-214.

- [22] Safamanesh, R., Azmin Sulaiman, W. N., Ramli, M. F., 2006. Erosion Risk Assessment uasing an Emprirical Model of Pacific South West Inter Agency Committee Method for Zargeh Watershed. Journal of Spatial Hydrology 6(2).
- [23] Troeh, F. R., J. A. Hobbs and R. L. Donahue. 1980. Soil and Water Conservation for Productivity and\Environmental Protection. Prentice-Hall Inc. Pub., New Jersey.