

## مقایسه دو مدل EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب حوضه پگاه سرخ گتوند خوزستان با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS

کاظم رنگرن\* - عضو هیئت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز  
علیرضا زراسوندی - عضو هیئت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز  
ارسلان حیدری - کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، استانداری کرمانشاه  
پذیرش مقاله: ۱۳۸۴/۱۲/۱۶ تایید نهایی: ۱۳۸۶/۲/۲۶

### چکیده

این تحقیق با هدف مقایسه دو مدل EPM و MPSIAC در جهت برآورد فرسایش و رسوب حوضه پگاه سرخ گتوند (یکی از زیر حوضه‌های، بزرگ حوضه کارون) با مساحتی بالغ بر ۴۶۰۰ هکتار و تنوع شرایط سنگ شناسی و پوشش گیاهی، با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS انجام گرفته است. بخشی از داده‌های مورد نیاز از طریق مطالعات جامع آبخیزداری حوضه که قبلاً انجام شده بود، تأمین، و بخشی دیگر نیز از طریق پردازش تصاویر رقومی و مطالعات صحرایی تهیه گردید. تمام فاکتورهای مورد نیاز در دو مدل EPM و MPSIAC با استفاده از توانایی‌های مشترک RS و GIS تهیه گردید. با استفاده از دو مدل ذکر شده میزان فرسایش در سطح حوضه برآورد گردید. مقایسه نتایج دو مدل EPM و MPSIAC با مشاهدات صحرایی حاکی از آن است که اگر چه نتایج بدست آمده از دو مدل ذکر شده در اکثر مناطق انطباق زیادی با هم دارند، اما نتایج مدل EPM برای شناسایی مناطق دارای فرسایش بالا به اندازه مدل MPSIAC قابل اطمینان نمی باشد.

کلید واژه‌ها: سنجش از دور، فرسایش، خوزستان، EPM، MPSIAC

### مقدمه

آزاد شدن ذرات خاک از محل اولیه و انتقال آن‌ها به محیط جدید تحت تاثیر عوامل مختلف مثل آب، باد و دیگر عوامل طبیعی و مصنوعی را فرسایش می گویند. خاک در زندگی انسان و موجودات دیگر بقدری اهمیت دارد که می توان آن را گوهر گرانبهای طبیعت نام گذاشت. تنازع بقاء و ادامه زندگی به گیاهان بر می گردد و زندگی گیاهان به خاک وابسته است. اگر خاک منطقه‌ای در معرض فرسایش قرار گیرد اولین تأثیر منفی را بر روی آب و گیاه می گذارد. به طور کلی دو عامل طبیعی و انسانی در فرسایش و تولید رسوب موثر هستند، این دو عامل بر یکدیگر اثر می گذارند به طوریکه عوامل انسانی باعث تشدید فرسایش در مناطقی شده که عوامل طبیعی شرایط مناسبی را برای بروز آن فراهم ساخته‌اند و یا برعکس عوامل انسانی وضعیت فرسایشی منطقه را مستعد نموده و عوامل طبیعی فرسایش آن را تشدید کرده است. به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت خاک، تعیین

\*E-mail: kazemrangza@yahoo.com

روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش رسوب زایی و نیز محاسبه دقیق حجم سد در احداث سدهای مخزنی، می‌بایست حجم کل رسوب تولیدی سالانه در حوضه آبخیز ارزیابی و برآورد گردد. چنانچه در یک حوضه آبخیز داده‌های مربوط به دبی آب و رسوب به اندازه کافی موجود باشد، محاسبه حجم کل رسوب دهی سالانه آن با به کارگیری روش‌های آماری متداول امکان‌پذیر می‌باشد. ولی عدم وجود یا کمبود داده‌ها در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب در بسیاری از حوضه‌های آبخیز کشور، کاربرد روش‌های تجربی مناسب برای برآورد فرسایش خاک و رسوب زایی را الزامی می‌نماید. از جمله این روش‌ها EPM، BLM، FAO و PSIAC می‌باشد. در این تحقیق از دو مدل تجربی EPM و MPSIAC برای برآورد فرسایش و رسوب حوضه پگاه سرخ گتوند استفاده شده است. و مقایسه موردی بین دو مدل و مزایا و معایب هر کدام مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

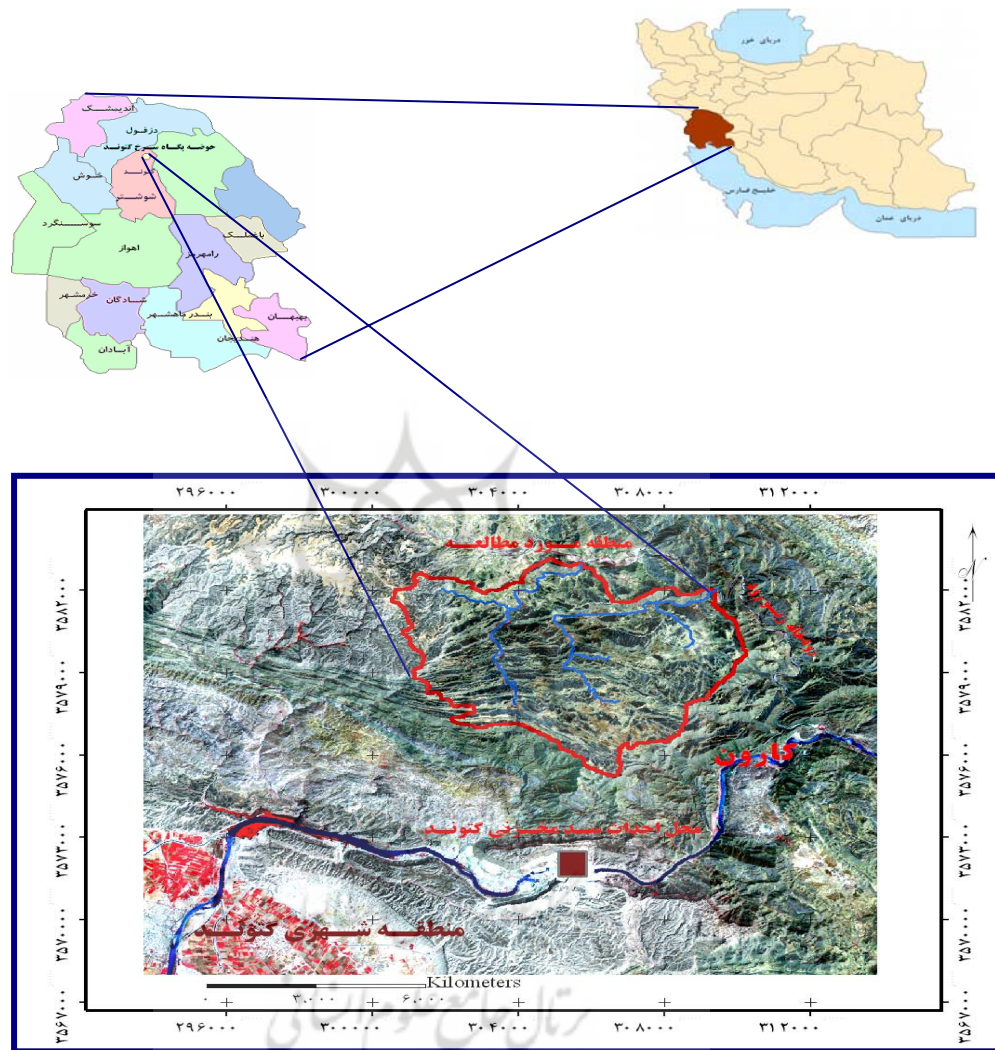
شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که شامل حوضه آبخیز پگاه سرخ گتوند واقع در شمال شرق شهرستان گتوند می‌باشد. حوزه مذکور دارای مختصات جغرافیایی  $48^{\circ} 52' 52''$  تا  $48^{\circ} 59' 54''$  طول شرقی و  $32^{\circ} 17' 54''$  تا  $32^{\circ} 22' 22''$  عرض شمالی می‌باشد. حداقل ارتفاع حوضه ۲۱۸ متر و حداکثر ارتفاع آن ۷۲۱ متر و شیب متوسط  $17/6$  در صد می‌باشد. بر اساس شاخه‌های فرعی مهم آبراهه‌ها و نیز خصوصیات فیزیوگرافی، تعداد دو واحد هیدرولوژیکی برای حوضه تشخیص داده شد. شرایط هواشناسی و اقلیمی حوضه به شدت متأثر از موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی آن می‌باشد. بر اساس مجموعه آمار این ایستگاه‌ها (وزارت کشاورزی، ۱۳۷۶) میانگین بارندگی سالانه حوضه مورد مطالعه ۵۸۹ میلی‌متر می‌باشد که از ۴۷۶ تا ۷۴۶ میلی‌متر تغییر می‌کند. این حوضه از نظر زمین‌شناسی تنوع زیادی نداشته بطوریکه قسمت اعظم حوضه (در حدود ۸۸ درصد از مساحت حوضه) را سازند آغاچاری و در بخشهایی نیز سازندهای بختیاری، لهری و کواترنری مشاهده می‌گردد. حوضه آبخیز پگاه سرخ از نظر پوشش گیاهی از دو تیپ گیاهی، گندمیان- علفیهای یکساله و گون - بریش (وزارت کشاورزی، ۱۳۷۶) برخوردار بوده که بشدت از توپوگرافی، سنگ مادر و اقلیم منطقه تبعیت می‌کند. بر اساس اطلاعات بدست آمده از منابع اراضی و خاکشناسی، سه تیپ اراضی کوه، اراضی تپه‌ای و اراضی مخلوط دشت دامنه‌ای و تپه در محدوده مورد مطالعه مشخص گردیده است. تیپ اراضی مذکور دارای ۱۴ واحد اراضی می‌باشد که جمعا" در آن‌ها تعداد ۲۲ اجزاء واحد اراضی تفکیک گردیده است. این واحدها از نظر همگنی دارای اختلافاتی از نظر ارتفاع، شیب، عمق خاک هستند (وزارت کشاورزی، ۱۳۷۶).

## مواد و روش کار

داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق شامل موارد زیر می‌باشد:

- ۱- نقشه توپوگرافی رومی، سازمان نقشه برداری در مقیاس ۲۵۰۰۰:۱ ورقه SE ۵۷۵۴۱.
- ۲- تصویر ماهواره ای محدوده مورد مطالعه از سنجنده Landsat ETM، گذر ۳۸-۱۶۵.
- ۳- نقشه‌های موضوعی از منطقه مورد مطالعه، شامل نقشه‌های زمین‌شناسی و خاکشناسی.
- ۴- آمار ایستگاههای هواشناسی مجاور منطقه، اخذ شده از سازمان آب و برق خوزستان.

در این مطالعه از توانایی‌های مشترک سنجش از دور و GIS در جهت مقایسه کارایی دو مدل EPM و MPSIAC برای برآورد فرسایش و رسوب حوضه پگاه سرخ گتوند استفاده شده است. در گذشته تحقیقاتی توسط محققین مختلف در این زمینه انجام گرفته است. از جمله آن‌ها می‌توان به کارهای هیل (Hill, 1993)، تنگستانی، (۲۰۰۱)، ضیائی اسفندرانی، (۲۰۰۴) و رنگزن و مرادزاده (۱۳۸۴) اشاره کرد.

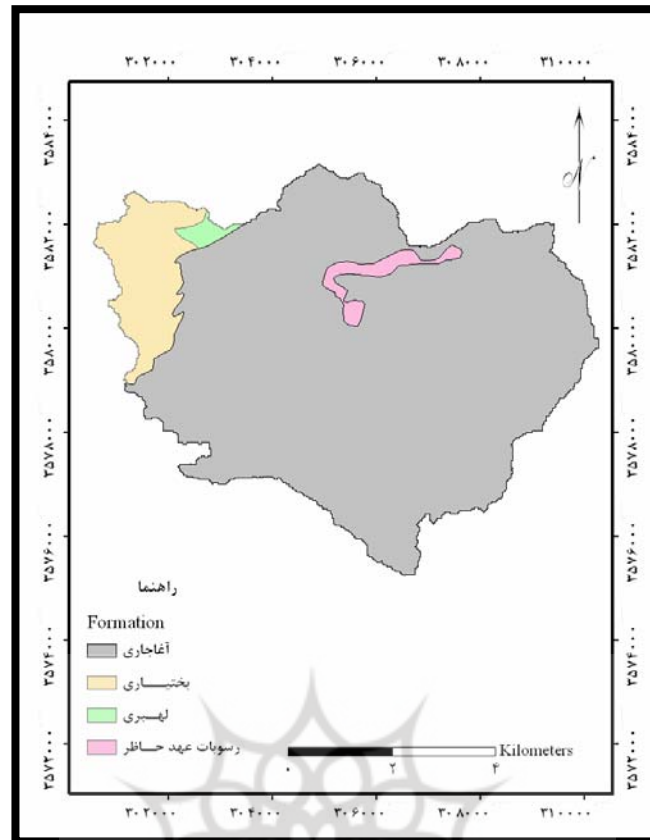


شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه، تصویر شده بر روی FCC از تصویر ماهواره استر

مدل EPM با استفاده از اطلاعات حاصل از قطعه زمینهای فرسایشی و اندازه گیری رسوب پس از ۴۰ سال تحقیقات در کشور یوگسلاوی سابق بدست آمده و برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ در کنفرانس بین المللی رژیم رودخانه توسط گاوریلوویچ (Gavrilovic, 1988) ارائه گردیده است. صادقی در سال، ۱۳۷۲ این مدل را در حوضه اوزون دره برای برآورد رسوب بکار برده و نتایج بدست آمده بیانگر این است که اگر این مدل با بازدیدهای صحرایی کنترل گردد نتایج قابل قبولی را می‌تواند دربرداشته باشد. EPM مدلی است که قادر می‌باشد به عنوان ابزاری در جهت بدست آوردن یک برآورد اولیه از میزان بار رسوب آبراهه‌ها در طرح‌های مربوط به سدهای در حال احداث و یا سایر سازه‌هایی که به نحوی به این گونه داده‌ها نیازمندند، بکار گرفته شود. در این

روش، چهار عامل در برآورد میزان رسوب موثر هستند که عبارت است از ضریب فرسایش حوضه آبخیز ( $\Psi$ )، ضریب استفاده از زمین ( $X_a$ )، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش ( $Y$ ) و شیب متوسط حوضه ( $I$ ) که در هر کدام از واحدهای کاری مورد بررسی قرار می‌گیرید (رفاهی، ۱۳۷۹).

لایه حساسیت سنگ و خاک به فرسایش ( $Y$ ) با استفاده از نقشه‌های خاکشناسی و زمین‌شناسی و با کمک گرفتن از تصویر ماهواره ای منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. جهت استخراج فاکتور زمین‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی، تصویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاع منطقه استفاده گردید. مدل رقومی ارتفاع منطقه با استفاده از روش درونیابی ( $IDW$ ) (Inverse Distance Weighted) و نرم افزار ARC GIS تهیه شد. مطالعات متعدد بیانگر این مطلب است که امکان استخراج زمین‌شناسی یک منطقه از تصاویر ماهواره‌ای، بوسیله آنالیز عناصر اصلی تن، بافت و الگو وجود دارد (Rangzan, 1998). بر اساس مطالعات گوپتا (Gupta, 1991) و رنگزن (۱۹۹۸) این عناصر، حالت‌های سطح زمین شامل مورفولوژی، الگوهای زهکشی و... را منعکس می‌کنند. از یک تصویر ماهواره‌ای، امکان تفسیر زمین‌شناسی بر پایه نوع سنگ، و ساختار آن منطقه وجود دارد. شبکه آبراهه‌ها در یک منطقه نشان دهنده الگوی زهکشی آن منطقه می‌باشند (ضیائی، ۱۳۸۳). بنابراین با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و توابع تحلیلی GIS، الگو و تراکم زهکشی شبکه آبراهه‌ها استخراج گردید. مطالعه الگو و تراکم شبکه آبراهه‌ها نشان می‌دهد که از این عوامل به عنوان عوامل مکمل تصاویر ماهواره‌ای، می‌توان در استخراج و تفکیک واحدهای زمین‌شناسی استفاده نمود (ضیائی، ۱۳۸۳). به منظور تفکیک سازندها، فرآیند پردازش تصویر شامل بارسازی تصویر با استفاده از کشش خطی و هیستوگرام متعادل شده، فیلترهای بالاگذر برای نشان دادن لبه‌ها و استفاده از ترکیبات رنگی انجام گرفت. تصویر رنگی مجازی (RGB 541) و (RGB 741) در مقایسه با سایر ترکیبات، نتایج بهتری را جهت تفکیک واحدهای زمین‌شناسی نشان می‌دهد. در نهایت با استفاده از نقشه زمین‌شناسی، مدل رقومی ارتفاع، تصاویر ماهواره‌ای، واحدهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه استخراج گردید (شکل ۲). برای تهیه لایه خاک، نقشه واحدهای اراضی منطقه اسکن و پس از زمین مرجع شدن، مرز واحدها تبدیل به ساختار وکتور شد. جهت آماده سازی داده‌های اولیه، برقراری توپولوژی بین عوارض و هماهنگ سازی مرز آن‌ها با لایه اصلی مرز حوضه، به نرم افزار ARC/INFO منتقل و پردازشهای فوق در آن لایه‌ها اعمال گردید. بنابراین نقشه اجزاء واحدهای اراضی منطقه مورد مطالعه در محیط GIS تهیه گردید. سپس امتیاز مربوط به هر پلیگون در جدول خصوصیات توصیفی آن‌ها اضافه گردید. با استفاده از توابع تحلیلی GIS عملیات Overlay برای دو لایه ذکر شده انجام گرفت و در پایان لایه حساسیت سنگ و خاک به فرسایش برای منطقه تهیه گردید.



شکل ۲ نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

لایه ضریب فرسایش سطحی حوضه ( $\Psi$ ) در اصل وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوضه را نشان می دهد. نحوه امتیازدهی به عوامل مختلف در جدول استاندارد آن (رفاهی، ۱۳۷۹) مشخص شده است. با توجه به جدول استاندارد، تفسیر تصاویر ماهواره ای منطقه، اطلاعات موجود در گزارش های پوشش گیاهی، زمین شناسی، خاکشناسی و بازدیدهای زمینی، کل حوضه به ۳ بخش عمده با فرسایش کم، متوسط و زیاد تقسیم شد. لذا با توجه به عوامل موجود در جدول و اطلاعات موجود در گزارشات فوق و بعد از ترکیب با نقشه های زمین شناسی و خاکشناسی، نقشه ضریب فرسایش برای هر کدام از زیر حوضه ها و کل حوضه پگاه سرخ به تفکیک محاسبه شد.

لایه کاربری اراضی ( $Xa$ ) بعد از تولید نقشه پوشش گیاهی منطقه از طریق پردازش تصاویر ماهواره ای، بدست آمد. روش انجام کار به این صورت است که نقشه پوشش گیاهی ابتدا با جداول استاندارد مدل EPM (رفاهی، ۱۳۷۹)، مقایسه و ضرایب کاربری اراضی در آن ها اعمال شد. در ادامه لایه اطلاعاتی بر اساس ضرایب کاربری اراضی به صورت یک نقشه رستری تولید گردید.

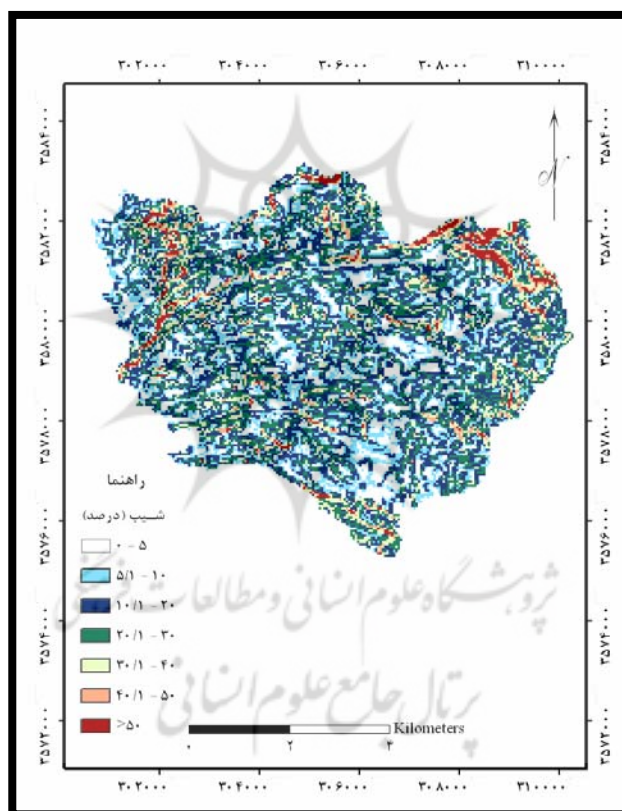
لایه توپوگرافی (I) به منظور استخراج شیب منطقه از مدل رقومی ارتفاع استفاده شد. با استفاده از توابع تحلیلی آنالیز زمین در محیط GIS، نقشه شیب استخراج و به ۷ واحد طبقه بندی شد (شکل ۳). فاکتور توپوگرافی مورد



استفاده در مدل EPM عبارت است از میانگین شیب زمین بر حسب درصد (Gavrilovic, 1988). در جدول (۱) نحوه امتیازدهی به طبقات مختلف شیب ارائه گردیده است.

جدول ۱ کلاس شیب و برآورد امتیاز آن در مدل EPM و MPSIAC

کلاس شیب	شیب (%)	امتیاز در مدل EPM	امتیاز در مدل MPSIAC
۱	۰-۵	۰,۰۲۵	۰
۲	۵-۱۰	۰,۰۷۵	۱۰
۳	۱۰-۲۰	۰,۱۵	۱۵
۴	۲۰-۳۰	۰,۲۵	۲۰
۵	۳۰-۴۰	۰,۳۵	۲۰
۶	۴۰-۵۰	۰,۴۵	۲۰
۷	>۵۰	۰,۶	۲۰



شکل ۳ نقشه شیب منطقه مورد مطالعه

برای تهیه نقشه فرسایش، در ابتدا ضرایب فرسایش پذیری منطقه که با توجه به عوامل، کاربری اراضی، حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، ضریب فرسایش منطقه و شیب متوسط حوضه، بدست می آید، محاسبه شد. به منظور تعیین ضریب شدت فرسایش هر کدام از واحدهای کاری از رابطه مقابل استفاده گردید.

$$Z = Y \times X_a (\psi + I^{0.5})$$

Z: فاکتور فرسایش پذیری حوضه

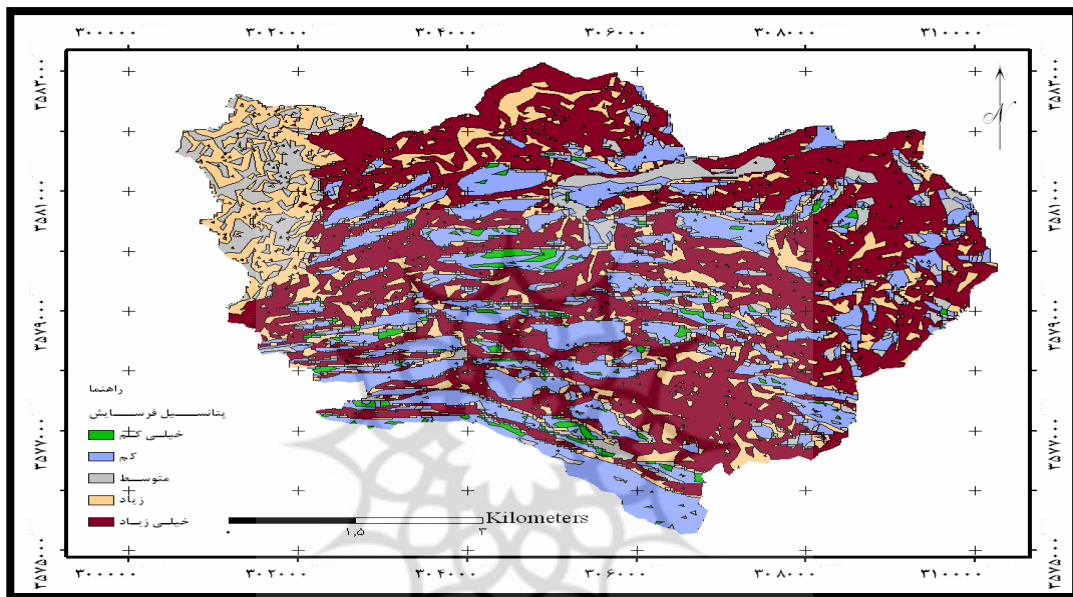
Y: ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش

Xa: ضریب استفاده از زمین

I: شیب متوسط حوضه (درصد)

l: ضریب فرسایش سطحی حوضه

بنابراین بر اساس رابطه بالا و لایه های تهیه شده در قسمتهای قبل نقشه فرسایش پذیری حوضه تهیه گردید شکل (۴). بر اساس جدول استاندارد طبقه بندی شدت فرسایش (رفاهی، ۱۳۷۹)، منطقه به ۵ کلاس فرسایش پذیری تقسیم بندی گردید (شکل ۴).



شکل ۴ نقشه شدت فرسایش منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل EPM

به منظور برآورد متوسط سالانه فرسایش ویژه در این مدل از رابطه زیر استفاده گردید

$$Wsp = T \times H \times \pi \times Z^{1.5}$$

$Wsp$  = متوسط فرسایش ویژه بر حسب متر مکعب بر کیلومتر مربع در سال

$T$  = ضریب درجه حرارت

$\pi$  = عدد پی برابر ۳,۱۴

$Z$  = ضریب شدت فرسایش حوضه

$H$  = ارتفاع متوسط بارندگی حوضه بر حسب میلیمتر

مقدار  $Wsp$  محاسبه شده در رابطه بالا بیان کننده مقدار خاکی است که از بستر خود جدا شده و انتقال یافته است. اما همه این مواد فرسایش یافته به خروجی حوضه نمی‌رسد و آن مقدار خاک فرسایش یافته که به رسوب خروجی تبدیل خواهد شد بستگی به متغیرهای مختلفی دارد که در واقع بر نسبت رسوبدهی حوضه تاثیر

می‌گذارند. در این مدل از ضریبی برای تبدیل میزان فرسایش به رسوب استفاده می‌شود که ضریب رسوبدهی

$$Ru = \frac{4 \times (P \times D)^{.5}}{(L + 10)}$$

حوضه نامیده می‌شود و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$Ru$  = ضریب رسوبدهی

$P$  = محیط حوضه بر حسب کیلومتر

$D$  = متوسط اختلاف ارتفاع در سطح حوضه که از رابطه مقابل بدست می‌آید:  $D = (Dav - Do)$

$Dav$  = ارتفاع متوسط حوضه بر حسب کیلومتر

$Do$  = ارتفاع نقطه خروجی حوضه بر حسب کیلومتر

$L$  = طول حوضه بر حسب کیلومتر

به همین ترتیب برای محاسبه میزان رسوب ویژه از معادله مقابل استفاده گردید:  $GSP = Wsp \times Ru$

$GSP$  = رسوب ویژه بر حسب متر مکعب بر کیلومتر در سال

برای محاسبه رسوب کل حوضه و هر کدام از واحدهای کاری از رابطه مقابل استفاده گردید:  $GS = F \times Wsp$

$F$  = مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع

$Wsp$  = متوسط فرسایش ویژه بر حسب متر مکعب بر کیلومتر مربع در سال

$GS$  = رسوب کل بر حسب متر مکعب در سال

نتایج محاسبات انجام شده در جدول (۳ و ۲) ارائه گردیده است.

جدول ۲ میانگین ضرایب مربوط به مدل EPM

عامل	لایه توپوگرافی (شیب) درصد	ضریب فرسایش حوضه	ضریب کاربری اراضی	ضریب حساسیت سنگ و خاک
امتیاز	۱۷/۷۱	۰,۶۲	۰,۶۸۴	۱/۱

جدول ۳ مقادیر پارامترهای اندازه گیری شده در مدل EPM

زیر حوضه	فرسایش ویژه ( $m^3/km^2/yr$ )	فرسایش کل ( $m^3/yr$ )	ضریب رسوب دهی	رسوب ویژه ( $m^3/km^2/yr$ )	رسوب کل ( $m^3/yr$ )
۱	۱۸۵۷	۴۳۹۳۶	۰,۵۸	۱۴۳۰	۳۳۸۳۳
۲	۲۰۱۲	۴۵۴۵۱	۰,۶۳	۱۵۴۹	۳۴۹۹۱
کل حوضه		۸۹۳۸۷			۶۸۸۲۴

مدل PSIAC (Pacific Southwest Inter Agency Committee) در سال ۱۹۶۸ میلادی توسط کمیته مدیریت آب آمریکا، برای محاسبه شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مناطق خشک و نیمه خشک آمریکا ارائه شد (PSIAC, 1968). در روش PSIAC تاثیر و نقش ۹ عامل مهم و موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبخیز برآورد می‌شود. روش مذکور در سال ۱۹۸۲ توسط دو محقق آمریکایی با نامهای جانسون و



گبهارت مورد بازنگری قرار گرفته و اصلاحاتی در آن شکل گرفت. روش اخیر را فرمول اصلاح شده پسیاک یا MPSIAC نامیدند (رفاهی، ۱۳۷۹). رفاهی و همکاران در سال ۱۳۷۹ با تلفیق سنجش از دور GIS و مدل MPSIAC میزان رسوب سالانه حوضه آبخیز طالقان تهران را با دقت ۹۸/۳ درصد رسوب مشاهده‌ای برآورد نموده‌اند.

فرسایش و رسوبزایی تا حد زیادی از اقلیم منطقه تبعیت می‌کند. که در این بین به نزولات آسمانی باید توجه ویژه داشت. باران‌های با شدت زیاد در این زمینه نقش بسیار بارزی دارند و میزان رسوب را به صورت نمایی افزایش می‌دهند (راستگو، ۱۳۸۳). به همین دلیل در روش پسیاک اصلاح شده این عامل دارای جایگاه ویژه‌ای

می‌باشد. در این روش فاکتور آب و هوا از رابطه مقابل به دست می‌آید  $Y3 = 0.2X_3$

$X_3 =$  بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال

$Y3 =$  امتیاز فاکتور آب و هوا

بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال در سطح حوضه، ۳۹/۵ برآورد گردیده است. بنابراین امتیاز این فاکتور ۷/۹ خواهد بود. که برای تمام واحدهای کاری منظور گردیده است.

دبی ویژه در واحد زمان و در واحد سطح معیار مناسبی برای ارزیابی عامل رواناب می‌باشد (راستگو، ۱۳۸۳). امتیاز این عامل بین ۰ تا ۱۰ متغیر است. آخرین رتبه آبراهه در کل حوضه برابر ۵ می‌باشد. که این امر نمایانگر تراکم زهکشی بالای حوضه و در نتیجه بالا بودن دبی اوج حوضه می‌باشد. در مدل اصلاح شده پسیاک فاکتور رواناب از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$Y4 = 0.006R + 10QP$$

$Y4 =$  امتیاز فاکتور رواناب در مدل MPSIAC

$R =$  ارتفاع رواناب سالانه بر حسب میلی‌متر

$QP =$  دبی ویژه حداکثر بر حسب متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع

امتیاز عامل رواناب بر اساس دبی اوج ویژه با دوره بازگشت ۲ سال، از روش SCS (Soil Conservation Service) (SCS, 1972) و ارتفاع رواناب سالانه بر اساس روش جاستین (Justin) (علیزاده، ۱۳۷۹) برآورد گردید.

در مدل MPSIAC برای تعیین امتیاز پستی و بلندی از رابطه مقابل استفاده می‌گردد  $Y_5 = 0.33X_5$

$X_5 =$  شیب متوسط حوضه بر حسب درصد

$Y_5 =$  امتیاز فاکتور پستی و بلندی

در جدول (۱) نحوه امتیازدهی به طبقات مختلف شیب در دو مدل EPM و MPSIAC ارائه گردیده است.

مدیریت خوب فرسایش را محدود می‌سازد و بهترین مدیریت، حداکثر استفاده از قابلیت‌های زمین برای تولید محصول بدون ایجاد فرسایش و یا حداقل فرسایش می‌باشد. فاکتور کاربری اراضی در مدل اصلاح شده پسیاک به عنوان درصد تاج پوشش گیاهی بیان شده است (رفاهی، ۱۳۷۹) و از رابطه زیر جهت تعیین امتیاز آن

استفاده می‌شود:

$$Pc X_6 = 20 - 0.2Pc = \text{درصد تاج پوشش گیاهی}$$

$$X_6 = \text{امتیاز عامل نحوه استفاده از اراضی}$$

در مطالعات سنجش از دور، جهت استخراج درصد تاج پوشش گیاهی، از اعمال شاخص‌های پوشش گیاهی بر روی تصویر ماهواره ای استفاده می‌شود (علوی پناه، ۱۳۸۲). جهت استخراج درصد تاج پوشش گیاهی، شاخص NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) به دلیل اینکه همبستگی بالایی را با درصد تاج پوشش گیاهی نشان می‌دهد انتخاب گردید. در این رابطه رنگزن و مرادزاده در سال ۱۳۸۴ بین NDVI استخراج شده از سنجنده ETM و درصد پوشش گیاهی، رابطه با همبستگی ۸۶ درصد بدست آوردند.

شاخص NDVI برای تصاویر ماهواره لندست به صورت مقابل بیان می‌شود: (Rouse, 1973).

$$NDVI = \frac{Band_4 - Band_3}{Band_4 + Band_3}$$

عدد پیکسلی تصویری که شاخص NDVI بر آن اعمال می‌گردد، بین -۱ تا +۱ خواهد بود. هر چه پوشش گیاهی منطقه متراکم تر باشد. این میزان به +۱ نزدیکتر و در مناطق با پوشش گیاهی ضعیف، این اندیس به سمت -۱ تمایل پیدا می‌کند. برای افزایش دامنه عدد پیکسل‌های NDVI و بررسی بهتر آن‌ها، عدد پیکسلی NDVI با عدد یک جمع و در عدد ۱۰۰ ضرب می‌شود (رنگزن و مرادزاده، ۱۳۸۴). برای بررسی ارتباط NDVI با درصد پوشش گیاهی ابتدا در نقاط مختلفی از سطح حوضه با استفاده از GPS داده برداری صورت گرفت. در ادامه رابطه بین درصد تاج پوشش گیاهی در نقاط نمونه برداری شده و میزان عددی پیکسل‌های NDVI استخراج گردید، که به صورت زیر می‌باشد.

$$Y = 0.429X - 23.49 \quad R^2 = 0.847$$

Y = درصد تاج پوشش پیش بینی شده

X = DN (Digital Number) تصویر پردازش شده

R = درجه همبستگی بین داده‌های زمینی و داده‌های برآورد شده

در ادامه فرمول فوق بر روی تصویر NDVI اعمال گردید. به منظور افزایش دقت، نقاط نمونه بیشتر و در نتیجه کلاس‌های بیشتری در نظر گرفته شد. بدین منظور مناطق آموزشی در ۸ کلاس انتخاب و سپس با استفاده از روش طبقه بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال (Likelihood Maximum) تصویر طبقه بندی و به عنوان یک لایه اطلاعاتی وارد محیط GIS گردید.

منظور از پوشش زمین عبارت است از هرگونه پوششی که خاک را در مقابل عوامل فرساینده مانند ضربات قطرات باران، رواناب و باد محافظت نماید (رفاهی، ۱۳۷۹) برای تعیین پوشش زمین در مدل اصلاح شده پسیاک

$$Y7 = 0.2 X7 \quad \text{از رابطه مقابل استفاده می‌گردد.}$$

Y7 = امتیاز فاکتور پوشش گیاهی در مدل MPSIAC

X7 = درصد اراضی لخت و فاقد پوشش

جهت تعیین اراضی فاقد پوشش روش طبقه بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال به کار گرفته شد. بدین منظور با توجه به برداشت های صحرائی، و با استفاده از شاخص پوشش گیاهی، جهت انتخاب مناطق آموزشی، اقدام به نمونه برداری گردید. در نهایت تصویر طبقه بندی شده به عنوان یک لایه اطلاعاتی وارد محیط GIS گردید.

لایه وضعیت فعلی فرسایش عامل بسیار مهم می باشد بطوریکه در مدل MPSIAC امتیاز بین ۰ تا ۲۵ به آن تعلق می گیرد. فاکتور فرسایش در مدل پسیاک اصلاح شده از رابطه مقابل بدست می آید:

$$Y8 = 0.25 X8$$

$Y8$  = امتیاز فاکتور وضعیت فعلی فرسایش در مدل MPSIAC

$X8$  = امتیاز فاکتور فرسایش سطحی خاک که با استفاده از روشی که توسط اداره مدیریت اراضی آمریکا، BLM، (Bureau of Land Management) پیشنهاد شده است حاصل می آید.

در روش فوق برای تعیین امتیاز عامل فرسایش سطحی خاک از هفت فاکتور شامل حرکت توده خاک، پوشش لاشبرگ، پوشش سنگی سطح زمین، قطعات سنگی تحکیم یافته، فرم آبراهه ها و توسعه فرسایش خندقی، استفاده به عمل می آید.

برای امتیاز دهی این فاکتور، از نمرات محاسبه شده در مطالعات معمول مدیریت آبخیزداری استفاده گردید. لایه فرسایش رودخانه های و حمل رسوب نتیجه تخریب و شسته شده دیواره آبراهه هاست که بیشتر در مواقع سیلابی و فصول پر آب صورت می گیرد (رفاهی، ۱۳۷۹). امتیاز این عامل با توجه به اهمیت آن در رسوئزایی بین ۰ تا ۲۵ در نظر گرفته شده است. در روش MPSIAC امتیاز این عامل با توجه به نمره نهایی فرسایش خندقی در روش BLM محاسبه می شود.

$$Y9 = 1.67 X9$$

$X9$  = نمره نهایی فرسایش خندقی در روش BLM

$Y9$  = امتیاز فاکتور فرسایش رودخانه ای

جهت تعیین این فاکتور نیز از مطالعات کارشناسان اداره آبخیزداری استفاده گردید.

در مدل MPSIAC، حاصل جمع عوامل ۹ گانه، درجه رسوبدهی نامیده می شود. برای میزان رسوب سالیانه

حوضه، از رابطه مقابل استفاده می گردد:

$$\phi s = 38 / 77 e^{0.0353 R}$$

$\phi s$  = میزان رسوب سالیانه بر حسب متر مکعب بر کیلومتر مربع در سال

$R$  = درجه رسوبدهی

جدول (۴) پارامترهای موثر در مدل MPSIAC را نشان می دهد (رفاهی، ۱۳۷۹). همچنین نتایج پارامترهای برآورد شده در مدل MPSIAC در جداول (۵ و ۶) آورده شده است.

جدول ۴ عوامل موثر در مدل MPSIAC

ردیف	عامل موثر در فرسایش	امتیاز دهی در مدل MPSIAC	شرح پارامتر
۱	زمین شناسی سطحی	$Y1=X1$	امتیاز حساسیت سنگ به فرسایش $X1$
۲	خاک	$Y1=26.67K$	عامل فرسایش پذیری خاک $K$
۳	آب و هوا	$Y3=0.2X3$	بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال $X3$
۴	رواناب	$Y4=0.006R+10QP$	ارتفاع رواناب سالانه $R$ ، دبی اوج سالانه $QP$
۵	توپوگرافی	$Y5=0.33S$	شیب متوسط حوضه $S$
۶	پوشش گیاهی	$Y6=0.2X6$	سطح اراضی لخت $X6$
۷	کاربری اراضی	$Y7=20-0.2X7$	درصد تاج پوشش $X7$
۸	وضعیت فعلی فرسایش	$Y8=0.25X8$	مجموع امتیازات $X8=BLM$
۹	فرسایش رودخانه ای و حمل رسوب	$Y9=1.67X9$	امتیاز فرسایش خندقی در مدل $X9=BLM$

جدول ۵ میانگین ضرایب (R) در حوضه پگاه سرخ گتوند در مدل MPSIAC

عامل	زمین شناسی	خاک	آب و هوا	رواناب	توپوگرافی	پوشش گیاهی	کاربری اراضی	فرسایش فعلی	فرسایش خندقی
امتیاز	۶/۵۱	۳/۳۳	۸/۹۷	۴/۲۶	۱۳/۲۷	۵/۳۳	۸/۷۶	۸/۸۹	۷/۱

جدول ۶ مقادیر پارامترهای اندازه گیری شده در مدل MPSIAC

زیر حوضه	درجه رسوب دهی	رسوب ویژه ( $m^3/km^2/yr$ )	رسوب کل ( $m^3/yr$ )	فرسایش ویژه ( $m^3/km^2/yr$ )	فرسایش کل ( $m^3/yr$ )
۱	۶۶/۹۱	۴۳۷	۱۰۳۱۵	۱۱۷۷	۲۷۸۴۷
۲	۶۵/۶۹	۴۱۹	۹۴۲۰	۱۰۵۹	۲۶۱۸۱
کل حوضه		۴۲۷	۱۹۷۳۵	۱۰۹۷	۵۴۰۲۸

### بحث و نتیجه گیری

پس از انجام محاسبات مربوط به دو مدل EPM و MPSIAC، میانگین ضرایب مربوطه محاسبه و در جداول ۲ و ۵ آورده شده است. بر اساس این جداول و مقایسه آن‌ها با جدول استاندارد (رفاهی، ۱۳۷۹)، میزان فرسایش و کلاس فرسایش پذیری برای هر کدام از واحدهای کاری و کل حوضه برآورد گردید. چنانچه در جدول (۲) مشاهده می شود شدت رسوبدهی (Z) در مدل EPM برای کل حوضه ۰٫۸۷ محاسبه گردید که با توجه به جدول استاندارد (رفاهی، ۱۳۷۹)، کلاس فرسایش پذیری خاک در گروه ۲ یعنی شدید قرار می گیرد. همچنین میزان فرسایش ویژه و رسوب ویژه کل حوضه بترتیب  $(m^3/km^2Yr)$  ۱۹۳۳ و  $(m^3/km^2Yr)$  ۱۳۱۲ برآورد شد. این در حالی است که نتایج بدست آمده در مدل MPSIAC اختلاف معنی داری را نسبت به محاسبات در مدل EPM نشان می دهد. میزان فرسایش ویژه و رسوب ویژه در مدل MPSIAC بترتیب  $(m^3/km^2Yr)$  ۱۰۹۷ و  $(m^3/km^2Yr)$  ۴۲۷ برآورد گردید (جدول ۶). مقایسه نتایج بدست آمده در این مدل با جدول استاندارد آن (رفاهی، ۱۳۷۹)، کلاس فرسایش حوضه در گروه متوسط قرار می گیرد. با توجه به بازدیدهای صحرائی به عمل آمده از

منطقه مورد مطالعه به نظر می‌رسد که میزان فرسایش و رسوب خیزی حوضه در حد متوسط باشد که با نتایج بدست آمده در مدل MPSIAC مطابقت بیشتری دارد. یکی از دلایل چنین اختلافی شاید این باشد که مدل EPM پتانسیل فرسایش را نشان می‌دهد در حالی که مدل MPSIAC فرسایش را براساس شرایط موجود برآورد می‌کند. از طرف دیگر اگر به ساختار دو مدل توجه شود مشخص می‌شود که مدل MPSIAC عوامل بیشتری را جهت برآورد فرسایش و رسوب درگیر می‌کند. همین موضوع می‌تواند یکی از نقاط قوت این مدل باشد. مطالعاتی که در سالهای قبل توسط محققان در این زمینه انجام پذیرفته است نیز نشان دهنده این امر می‌باشد. بطوریکه اسکندری و محمدی در سال ۱۳۸۱ نتایج حاصل از مدل EPM را تنها به عنوان راهنما در جهت مدیریت اجرایی در جهت حفاظت از منابع موجود در آبخیزها می‌دانند. در صورتیکه مدل MPSIAC در جهت مشخص کردن نقاط بحرانی از نظر تولید رسوب در آبخیزها نتایج قابل قبول تری را ارائه می‌دهد.

### منابع

- اسکندری، ذ و محمدی، ج، (۱۳۸۱)، برآورد پتانسیل فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز چغاخور با استفاده از مدل EPM و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجموعه مقالات هفتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۱۲۳-۱۲۶
- راستگو، سعید، (۱۳۸۳)، مقایسه دو روش EPM و MPSIAC در برآورد رسوب حوضه آبخیز تنگ کشت، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- رفاهی، ح. (۱۳۷۹) فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، ۵۵۱ صفحه
- رنگزن، ک و مرادزاده، م، (۱۳۸۴)، a، برآورد میزان رسوبدهی حوضه امامزاده عبدا... شهرستان باغملک با استفاده از سنسجش از دور و GIS در مدل MPSIAC و مقایسه با روش های سنتی، همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری.
- رنگزن، ک- مراد زاده، م. (۱۳۸۴). b، کاربرد سنسجش از دور در تهیه لایه های اطلاعاتی " پوشش زمین و کاربری اراضی " مورد استفاده در مدل MPSIAC. همایش سازمان آب خوزستان.
- صادقی، ح، (۱۳۷۲) مقایسه چند روش برآورد فرسایش و رسوب در حوضه اوزون دره، مجموعه مقالات سمینار ملی بررسی سیاستها و روش های بهره برداری از اراضی، تهران، صص ۷۴-۱۳۰.
- ضیائی، ح، (۱۳۸۳) کاربرد تکنیکهای سنسجش از دور و GIS در مطالعه پهنه بندی فرسایش و برآورد رسوب قسمتی از حوضه آبریز سد شهید عباسپور، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- علوی پناه، س. ک، (۱۳۸۲)، کاربرد سنسجش از دور و GIS در علون زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ اول، ۴۷۸ صفحه.
- علیزاده؛ ا، (۱۳۷۹)، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سیزدهم، ۷۳۵ صفحه.
- وزارت کشاورزی، معاونت آبخیزداری، دفتر مطالعات و حفاظت از آبخیزها (۱۳۷۶)، طرح کنترل ففسایش و رسوب حوضه آبخیز پگاه سرخ گتوند.



1. Gavrilovic, Z., (1988). The Use of an Empirical Method (Erosion Potential Method) for Calculating Sediment Production and Transportation in Unstudied or Torrential streams International Conference of River Regime, 18-20 May, Wallingford, England 1988 pp. 411-422
2. Gupta.R.D, (1991) Remote Sensing Geology. Springer - Verlag, Berlin, 223-309
3. Hill, J, (1993) Land Degradation and Soil Erosion Hazard Mapping in Mediterranean Environment With Operational Earth Observation Satellites. Proceedings of the international symposium of Operationalization of remote sensing, 9, 19-23 April, Enschede, The Netherlands 1993 pp, 41-52.
4. PSIAC, (1968) Report of the Water Management Subcommittee on Factors Affecting Sediment Yield in the Pacific Southwest Area and Selection and Evaluation of Erosion and sediment Yield ASCE, 98, Report No. HY12.
5. Rangzan, K., and Iqbaluddin, (1998). Sedimentation as Guide to Tectonic Setting of Aghajari Formation, Zagros Structural Belt SW Iran, j. of Indian Association of sedimentologist, Vol.17, No.4.
6. Rouse, J. W., R. H. Hass. J. A. Schell and D. W. Deering, (1973). Monitoring Vegetation System in the Great plain with the ERTS, Proceeding, third ERTS Symposium. Vol. 1. Pp. 48-62.
7. SCS (Soil Conservation Service). (1972). National Engineering Handbook. Section of Hydrology, Washington DC, USA.
8. Tangestani, M.H., (2001) Integration Geographic Information System in Erosion and Sediment Yield Application Using the Erosion Potential Method of (EPM) Proceeding of the GIS Research UK, 2001 pp 621-623

