

بررسی کارایی مدل تجربی EPM در برآورد رسوبدهی از طریق رسوبسنجی مخازن کوچک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دره مرید)

پیمان معدنچی^{۱*} شاهین آقامیرزاده^۲ نجمه سید علیخانی^۲

۱- مربی پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، peymanmadanchi@gmail.com

۲- کارشناسان پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان

چکیده

با توجه به اینکه مدل‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب در کشورهای دیگری با شرایط متفاوت نسبت به ایران ابداع گردیده‌اند لازم است کارایی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. کمبود آمار و نیاز کارشناسان به اطلاع از میزان فرسایش و رسوبدهی حوزه‌های آبخیز در مناطق مختلف کشور، استفاده از مدل‌های تجربی را اجتناب ناپذیر ساخته است. به منظور ارزیابی مدل برآورد رسوبدهی EPM در حوزه‌های آبخیز استان کرمان، ده بند خاکی کوتاه انتخاب شدند که حوزه‌های آبخیز بالادست آن‌ها دارای کاربری مرتع بود. این بندها دارای عمر ۱۲ ساله بوده و از زمان احداث تا زمان اندازه‌گیری، سرریز نکرده بودند و تمامی رسوبات منتقل شده از حوزه آبخیز در مخزن آن‌ها به تله افتاده و رسوب کرده است. رسوبات ترسیب شده در مخازن این بندها در طی یک دوره بهره برداری ۱۲ ساله اندازه‌گیری شدند. عمق، حجم و وزن رسوبات با کمک اندازه‌گیری صحرائی و انجام عملیات نقشه برداری مخازن تعیین شد و با توجه به عمر بندها، متوسط رسوبدهی حوزه‌های آبخیز برآورد گردید. به این ترتیب رسوبدهی ویژه هر یک از حوزه‌های آبخیز بدست آمد. حداقل و حداکثر رسوبدهی حوزه‌های آبخیز بترتیب برابر ۰/۶ و ۱۶/۸۶ و متوسط آن برابر ۶/۲۸ تن درهکتار در سال بدست آمد. مقادیر رسوب دهی حوزه‌های آبخیز با استفاده از مدل EPM نیز برآورد گردید، حداقل و حداکثر آن به ترتیب برای ۵/۶۵ و ۱۹/۷۸ تن در هکتار در سال محاسبه شد و با مقایسه اندازه‌گیری شده مورد مقایسه قرار گرفت. آزمون مقایسه میانگین مقادیر رسوب دهی برآوردی و مشاهده ای از طریق آزمون t استیودنت نشان داد که با اطمینان ۹۵ درصد بین مقادیر برآورد رسوبدهی حجمی و وزنی مدل EPM با مقادیر مشاهده ای اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: EPM، مخازن بندها، رسوبدهی، حوزه‌های آبخیز، استان کرمان.

مقدمه:

فرسایش خاک از جمله فرآیندهایی است که منابع آب و خاک کشور ما را به صورت مستقیم و غیر مستقیم شدیداً تهدید می‌کند. هر چند این پدیده طبیعی بوده و جلوگیری از آن امکان پذیر نمی‌باشد، لیکن شناخت تمام فرآیندهای فرسایش و عواملی که در تولید رسوب و میزان فرسایش حوزه‌های آبخیز دخیل هستند بسیار مهم می‌باشد مانند: نزولات جوی، سنگ مادر، خاک، عامل توپوگرافی، پوشش گیاهی و غیره طی دهه های اخیر تلفات منابع آب و خاک در حوزه های آبخیز در اثر بهره برداری غیر اصولی از آنها شدت فزاینده ای پیدا کرده است که این موضوع باعث کاهش تولید و کاهش عمر مفید مخازن و افزایش میزان تولید رسوب شده است و در جهت اصلاح این روند مدیریت آبخیزداری استانهای مختلف کشور اقدام به اجرای عملیات حفاظت خاک در حوزه‌های مختلف محل مأموریت خود کرده اند که شامل بندهای سنگ و سیمانی، خاکی، چپری و... می‌باشد.

عدم وجود یا کمبود بسیار زیاد آمار و اطلاعات در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور مانند اکثر آبخیزهای سایر کشورهای دنیا، کاربرد روش‌های تجربی مناسب را برای برآورد شدت فرسایش خاک و رسوب‌زایی الزامی می‌نماید لیکن باید در نظر داشت مدل‌هایی که در شرایط خارج از ایران ساخته می‌شود بدون آزمون نمی‌تواند با اطمینان مورد استفاده قرار گیرد (رفاهی، ۱۳۸۵). این پژوهش با هدف تعیین کارایی و ارزیابی مدل EPM در برآورد رسوب حوزه‌های کوچک انجام شد، در این زمینه تحقیقات زیادی در خارج و داخل کشور صورت گرفته است که در اینجا مختصری از بررسی این منابع آورده شده است.

روش EPM که با استفاده از اطلاعات حاصل از قطعه زمین‌های فرسایشی و اندازه‌گیری رسوب پس از ۴۰ سال تحقیق در کشور یوگسلاوی سابق به دست آمده موارد استفاده گوناگون دارد شامل: تعیین شدت فرسایش در یک حوزه آبخیز، اندازه‌گیری میزان حمل رسوب و محاسبه میزان رسوب‌گذاری در قسمت‌های مختلف یک رودخانه می‌باشد و برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ در کنفرانس بین-المللی رژیم رودخانه‌ها توسط Gavrilovic ارائه گردید.

(حشمتی، ۱۳۷۹) در بررسی سازندهای مارنی منطقه قصر شیرین تعیین نمود که خصوصیات سنگ شناسی سازندها، بهره برداری فعلی و توپوگرافی از عوامل موثر در فرسایش می‌باشند که هر ۳ عامل در معادله EPM آمده، بنابراین روش مناسبی برای ارزیابی فرسایش و رسوب می‌باشد.

از میان شیوه‌های عمده‌ای که برای اندازه‌گیری و برآورد شدت فرسایش یا رسوب تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند روش های اندازه‌گیری رسوبات پشت مخازن آبی به منظور برآورد رسوب تولیدی توسط محققین مختلف توصیه شده است. (Hadley و Valing، ۱۹۸۴) اندازه‌گیری رسوبات مخازن، روش عالی برای محاسبه تولید رسوب حوزه های آبخیز عنوان شده (حکیم‌خانی به نقل از والینگ، ۱۳۸۱) است. لذا ارزیابی مدل های مختلف تجربی برآورد فرسایش و تولید رسوب می‌تواند بر مبنای این اندازه‌گیری ها انجام شود که دقت آن ها بسیار بالا است و در صورتیکه ضریب تله اندازی مخازن، حجم و وزن مخصوص رسوبات انباشته شده نیز بطور صحیح برآورد شوند مقادیر تولید رسوب بدست آمده نسبت به اندازه‌گیری های رودخانه ای دارای خطای کمتری خواهد بود (Walling، ۱۹۹۴).

بروشکه و همکاران، ۱۳۸۶ کارایی مدل EPM در تخمین رسوب آبخیزهای کوچک استان آذربایجان غربی را مورد بررسی قرار داده‌اند، براساس نتایج به دست آمده مقدار رسوب برآورد شده با کاربرد مدل تجربی EPM همبستگی قابل قبولی دارد.

(J.de Venet و همکاران، ۲۰۰۳). در تحقیقی تحت عنوان کاربرد روش‌های نیمه کیفی شدت رسوب‌زایی مخازن برای بررسی تنوع مکانی بار رسوب در مناطق مدیترانه‌ای دریافتند که مدل EPM کاربرد بیشتری در نواحی مختلف اقلیمی دارد و نیازی به کالیبره کردن مدل نمی‌باشد.

(هاشمی و عرب‌خدری، ۲۰۰۷) مدل EPM را با استفاده از رسوب‌سنجی مخازن کوچک ارزیابی و نتیجه گرفتند، علی‌رغم این که رسوب مشاهده‌ای اختلاف معنی‌داری ندارد، ولی از کارایی نسبتاً پایینی در برآورد رسوب برخوردار است.

(امینی و همکاران، ۲۰۱۰) در تحقیقی با عنوان تخمین فرسایش و رسوب حوضه سد اکباتان از روش EPM با استفاده از GIS به این نتیجه رسیدند که ضریب فرسایش و رسوب در این حوضه در محدوده متوسط و زیاد طبقه بندی شده و برای حفاظت از خاک باید در حوضه عملیات حفاظتی انجام شود.

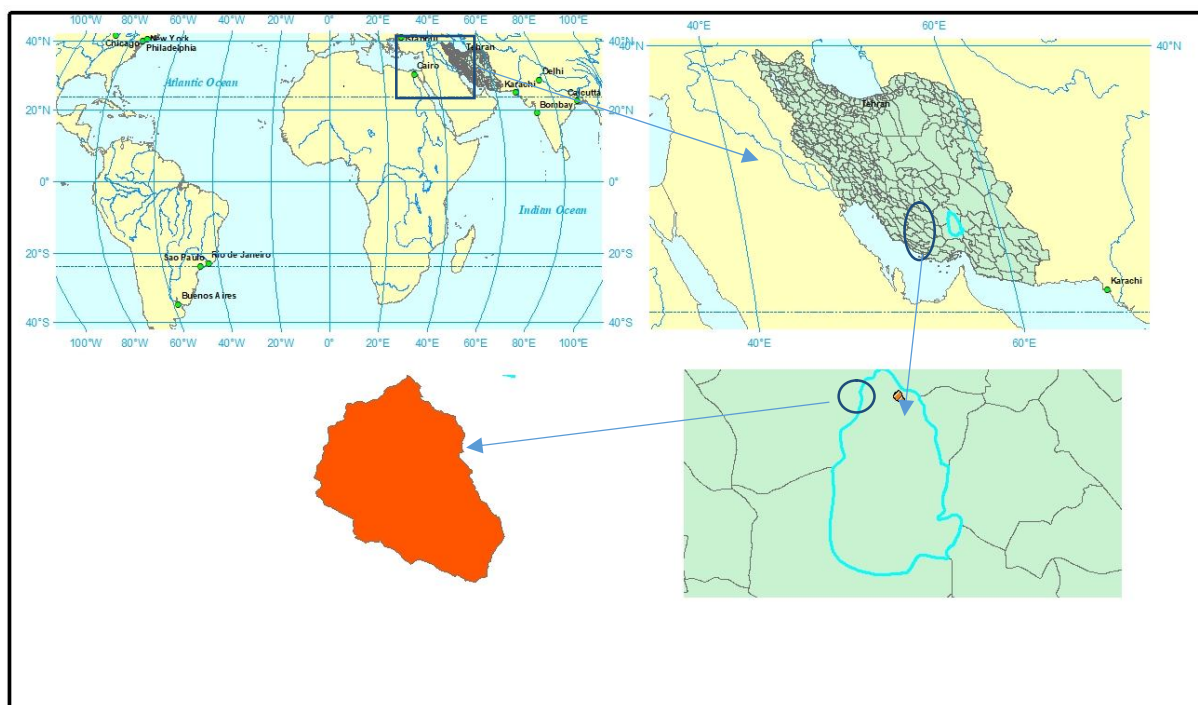
(بروشکه و عربخدری، ۱۳۹۳). در پژوهشی با عنوان ارزیابی مدل‌های تجربی MPSIAC و EPM از طریق رسوب‌سنجی سدهای کوچک در استان آذربایجان غربی علاوه بر اندازه‌گیری مستقیم رسوب نهشته شده در پشت بندها، رسوب‌دهی آبخیزهای انتخابی با استفاده از مدل‌ها نیز برآورد شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون نا پارامتری من-ویتنی اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان نداد، در مرحله آخر مدل با آماره‌های MAE و MBE مورد آزمون قرار گرفتند و نتایج نشان داد که مدل MPSIAC با $MAE=1/34$ و $MBE=0/12$ نسبت به مدل EPM برتری دارد.

برای ارزیابی مدل‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب‌دهی می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده نمود که یکی از این روش‌ها، رسوب‌سنجی مخازن سدها و بندهای کوچک (حکیم‌خانی، ۱۳۸۱). (محمود زاده، ۱۳۷۶) است. این تحقیق با هدف تعیین کارایی مدل EPM در برآورد رسوب انجام گرفت.

مواد و روش‌ها:

موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه:

حوزه آبخیز دره مرید از زیر حوضه‌های هلیل‌رود در شهرستان بافت بخش مرکزی، دهستان کیسکان روستای دره مرید در استان کرمان واقع شده است. روستای دره مرید در فاصله ۱۲ کیلومتری شمال غرب بافت قرار دارد. مساحت حوزه ۵۴/۶ کیلومتر مربع و محیط آن ۳۰ کیلومتر می‌باشد. مختصات حوزه مذکور برابر با $56^{\circ}31'54''$ تا $56^{\circ}37'28''$ طول شرقی و $29^{\circ}20'22''$ تا $29^{\circ}25'41''$ عرض شمالی می‌باشد. ارتفاع بلندترین نقطه حوضه ۳۰۶۵ در ارتفاعات کوه شاه و پائین‌ترین نقطه آن در خروجی حوضه معادل ۲۵۰۰ متر است. منطقه دارای آب و هوای سرد و خشک بوده و تابستان‌های معتدل دارد و اغلب نزولات آسمانی منطقه به صورت باران و در ارتفاعات شمالی و شمال شرقی اغلب نزولات به صورت برف است متوسط بارندگی حوضه ۲۶۲ میلی‌متر و حداکثر مطلق درجه حرارت هوا ۳۸ و درجه حرارت حداقل آن ۲۰- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. شیب متوسط حوضه مورد مطالعه ۸/۵۶ درصد و جهت عمومی حوزه شمالی- جنوبی است. طول بلندترین آبراهه اصلی ۱۳ کیلومتر با ضریب گراویلیوس ۱/۱۴ و شیب آن ۲/۳ درصد است که این آبراهه از ارتفاع ۲۸۰۰ متری سرچشمه می‌گیرد. که در شکل ۱ محل قرار گرفتن حوزه در استان و کشور مشخص شده است.



شکل ۱- موقعیت حوزه مورد مطالعه در استان و کشور

موقعیت بندهای مورد مطالعه:

بندهای مورد مطالعه در این تحقیق شامل ده بند خاکی و حوزه‌های آبخیز بالادست آن‌ها است که در حوزه دره مرید پراکنش یافته‌اند. بندهای مورد مطالعه در طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۷۹ توسط مدیریت آبخیزداری سازمان جهاد سازندگی سابق احداث گردیده‌اند و همگی از نوع خاکی هستند. این بندها بصورت همگن و بدون هسته می‌باشند و هدف اصلی از احداث آن‌ها کنترل سیلاب بوده است. این بندها از زمان احداث تا کنون هیچگاه سرریز ننموده‌اند. به همین دلیل تمامی رسوبات تولید شده از حوزه‌های آبخیز بالادست این بندها به تله افتاده و عبارتی ضریب تله اندازی رسوب آن‌ها تقریباً صد درصد بوده است.

مطالعه وضعیت فیزیوگرافی و توپوگرافی:

پس از تعیین محل هر بندها با GPS، نهایتاً نقشه محدوده حوزه آبخیز هر یک از بندها در محیط ArcGIS10.1 آماده سازی شدند و اطلاعات مربوطه استخراج شد که در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- وضعیت توپوگرافی و فیزیوگرافی حوزه آبخیز بندها

طول آبراهه اصلی m	شیب %		ارتفاع m		محیط m	مساحت ha	نام	ردیف
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر				
۲۴۶۵	۰/۰۷	۶۵/۸۷	۲۷۳۶	۲۸۸۱/۶	۴۸۷۸	۱۲۶	بند شماره ۱	۱
۱۷۳۹/۵	۰/۰۸	۵۲/۳۱	۲۷۱۳/۲	۲۷۷۷/۷	۳۱۱۳	۳۳/۴	بند شماره ۲	۲
۴۳۷۱	۰/۲۴	۴۹/۴	۲۷۱۲/۲	۲۸۸۰/۹	۳۴۷۸	۶۲/۲	بند شماره ۳	۳
۲۹۵۲	۰/۰۴	۷۰/۹۷	۲۵۹۹/۷	۲۹۴۰/۸	۱۸۲۸۲/۵	۱۶۸۲/۵	بند شماره ۴	۴
۶۶۸	۰/۱۹	۱۸/۴	۲۶۳۲	۲۶۶۲/۵	۱۱۷۷	۵/۵	بند شماره ۵	۵
۲۵۴۰	۵/۵	۸۸/۱۴	۲۶۹۲	۲۹۸۲	۱۱۳۷۸	۴۷۲/۳	بند شماره ۶	۶
۴۷۷۷	۰/۰۱	۹۱/۸	۲۶۳۸	۳۰۲۱	۵۷۷۰/۶	۱۴۳/۲	بند شماره ۷	۷
۲۴۲۸	۰/۲	۸۵/۶۶	۲۵۸۱	۲۹۶۳/۷	۴۴۱۵/۵	۸۵/۲۳	بند شماره ۸	۸
۵۲۴۰	۰/۰۱	۱۱۸/۴	۲۶۱۲/۳	۳۰۹۹/۵	۹۵۹۸	۳۴۱/۵	بند شماره ۹	۹
۴۳۳	۰/۰۱	۶۵/۸	۲۶۵۳	۲۹۴۵	۱۲۸۳۸	۸۰۱/۵	بند شماره ۱۰	۱۰

روش تحقیق:

در این تحقیق مقدار و وزن رسوبات پشت بندهایی که در قسمت خروجی حوضه هر بند واقع شده به شرطی که آن بندها سر ریز نکرده باشد محاسبه شده و به عنوان مقدار رسوب واقعی حوضه بند در نظر گرفته شد و اندازه‌گیری فرسایش و مقدار رسوب همان حوضه از روش تجربی برآورد رسوب EPM اندازه‌گیری شد و به عنوان مقدار رسوب تخمین زده شده در نظر گرفته شد. جهت برآورد کمی میزان رسوب حوزه آبخیز بندهای مورد مطالعه، نیازهای اطلاعاتی روش تجربی مورد استفاده (EPM) اعم از فیزیوگرافی، هواشناسی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، خاکشناسی و فرسایش برای هر یک از حوضه‌ها محاسبه شد. در ذیل ارائه شده است.

مطالعه زمین‌شناسی سطحی:

منطقه مورد مطالعه جزئی از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بافت (سازمان زمین‌شناسی با شماره ۷۳۴۸) می‌باشد و از نظر موقعیت زمین‌شناسی در حاشیه غربی زون آتشفشانی ارومیه - دختر و تقریباً در کمربند کالرد ملانژ واقع شده است و در تقسیم بندی اشتوکلین این منطقه در زون ایران مرکزی و در قسمت شرقی فرورفتگی بلورد - بافت قرار گرفته است. سنگ‌های سست و نرم معمولاً

به سادگی فرسوده شده و نقش مهمی در تولید رسوب ایفا می کنند و بر عکس سنگ هایی که از لحاظ ساختار محکم هستند به سادگی فرسوده نمی شوند. این شاخص بر اساس نوع سنگ، سختی آن و میزان درز و ترک روی سنگ تعیین می شود. در زیر به شرح واحدهای زمین شناسی از قدیم به جدید پرداخته شده است.

واحدهای مختلف سنگی که از دوران سنوزوئیک در محدوده مورد مطالعه برون زد دارند عبارتند از:

ESf: سن این واحد متعلق به ائوسن میانی و تقریباً بیشتر مساحت حوضه را به خود اختصاص داده است، جنس سازند این واحد ماسه سنگ قرمز و گدازه های آندزیتی - بازالتی و مقدار کمی شیل همراه ماسه سنگ های قرمز است، ممبرهای مهم این واحد عبارتند از ESR و Eap به شرح زیر (مطالعات حوزه آبخیز دره مرید، ۱۳۸۹).

ممبر : ESR دارای گسترش کمی در جنوب غربی حوضه است و لیتولوژی آن متشکل از ماسه سنگ های قرمز متراکم با تناوب لایه های نازک شیل می باشد.

ممبر : Eap سن این ممبر ائوسن میانی و لیتولوژی آن متشکل از مجموعه ای از گدازه های آندزیتی و آندزیتی - بازالتی ائوسن می - باشد. به علت مقاومت بیشتر در مقابل فرسایش ستیغ های مرتفع را تشکیل می دهد و در حوضه گسترش کمی در جنوب غربی دارد. واحد دوران کواترنر که در محدوده مورد مطالعه برون زد دارد عبارت است از:

آبرفت های قدیمی (Q1) این حوضه های رسوبی در دشتگون های واقع در شمال حوضه گسترده شده، از نظر دانه بندی و شیب سطح با مخروط افکنه ها متفاوتند، نسبت به رس و ماسه در آن ها نسبت به مخروط افکنه ها بیشتر و درصد آن ها از ۱۰ تا ۲۰ درصد متغیر است، رسوبات تشکیل دهنده این مناطق نفوذ پذیری خوبی دارند.

مطالعه وضعیت پوشش گیاهی حوزه:

با توجه به بررسی های انجام شده در منطقه، مشخص شد که گیاهانی نظیر *Prangos sp.* (جاشیر) و *Ferula sp.* (کما) و گونه های درختی نظیر بنه *Pistacia mutica* و کهکم *Aere sp.* جزء گونه های کم شونده و گونه های نظیر *Artemisia cieberi* (درمنه دشتی) و *Artemisia auseri* (درمنه کوهی) و همچنین گونه ها *Astragalus* و *Echinophora* جزء گونه های زیاد شونده منطقه بحساب می آیند که در اثر بهره برداری بیش از حد در بعضی از مناطق در حال از بین رفتن هستند (مطالعات حوزه آبخیز دره مرید بافت، مدیریت آبخیزداری، سازمان جهاد سازندگی استان کرمان).

منظور از پوشش زمین هر نوع پوششی است که خاک را در مقابل عوامل فرساینده مانند قطرات باران، رواناب و باد محافظت می کند. خاکی که دارای پوشش خوبی باشد میزان نفوذ آب را از طریق قرار گیری ریشه ها در بین خاک افزایش می دهد و از تولید رواناب تا حد ممکن می کاهد و بر عکس خاکی که از پوشش خوبی برخوردار نباشد شرایط در آن برای عوامل فرساینده فراهم است.

مطالعه هواشناسی حوضه:

منطقه دارای آب و هوای سرد و خشک بوده که در زمستان نزولات آسمانی بیشتر بصورت برف و گاه گاهی هم به صورت رگبارش است و تابستان های معتدل دارد میزان بارندگی سالیانه ۲۶۲ میلی متر و میزان حداکثر مطلق درجه حرارت هوا ۳۸ و درجه حرارت حداقل آن ۲۰- سانتیگراد است. متوسط بارندگی بر اساس اطلاعات ایستگاه باران سنجی منطقه کیسکان تنظیم شده، مختصات جغرافیایی ایستگاه کیسکان ۳۸' ۵۶° طول شرقی تا ۲۹' ۲۲° عرض شمالی با ارتفاع ۲۵۵۰ متر از سطح دریا می باشد انتخاب این ایستگاه به این دلیل است که در حوزه دره مرید هیچ گونه آمار هواشناسی موجود نمی باشد و ایستگاه کیسکان به دلیل طول دوره آماری زیاد و نزدیکی به حوزه و ارتفاع نسبتاً خوب مورد استفاده قرار گرفته است، ارتفاع متوسط حوزه ۲۷۶۰/۵ متر از سطح دریا می باشد. (مطالعات حوزه آبخیز دره مرید بافت، ۱۳۸۹).

مدل EPM:

این مدل برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ در کنفرانس بین المللی رژیم رودخانه توسط Gavrilovich ارائه گردید. در این روش، چهار مشخصه شامل ضریب فرسایش، ضریب کاربری اراضی، ضریب حساسیت خاک به فرسایش، شیب متوسط حوضه، ارزیابی و امتیازدهی می شوند و با استفاده از رابطه (۱) میزان تولید رسوب حوزه های آبخیز برآورد می گردد (رفاهی، ۱۳۸۵):

$$Gsp = Wsp \times Ru \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه: Gsp = تولید رسوب برحسب مترمکعب برکیلومتر مربع در سال

Wsp = فرسایش ویژه برحسب مترمکعب در کیلومتر مربع در سال که از رابطه (۲) برآورد می گردد:

رابطه (۲)

$$Wsp = T.H.Z^{\frac{3}{2}}.\pi$$

که در آن: H = بارندگی متوسط سالیانه برحسب میلیمتر π = عدد پی برابر ۳/۱۴۱۵۹

Z = ضریب فرسایش که از رابطه (۳) بدست می آید.

$$Z = Y.Xa(\psi + I^{\frac{1}{2}}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

I = شیب متوسط حوضه

که در آن: Xa, Y, ψ بترتیب امتیاز عامل حساسیت خاک و سنگ، عامل استفاده از زمین و عامل فرسایش هستند که امتیاز آنها طبق جداول مرجع با نظر کارشناسی برآورد می شود.

T = ضریب درجه حرارت که از رابطه (۴) بدست می آید.

$$T = \left(\frac{t}{10} + 0.1\right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

و در آن: t = میانگین درجه حرارت سالیانه برحسب درجه سانتیگراد است. Ru = ضریب رسوبدهی حوزه آبخیز که از رابطه (۵) بدست می آید.

$$Ru = 4 \times (O \times D)^{1/2} / (L + 10) \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه:

RU = ضریب رسوبدهی

O = محیط حوزه آبخیز برحسب کیلومتر مربع و L = طول حوزه آبخیز به کیلومتر

D = اختلاف ارتفاع بین ارتفاع متوسط حوزه آبخیز و ارتفاع نقطه خروجی حوزه آبخیز به کیلومتر.

تعیین میزان رسوبگذاری مخازن بندها در طی دوره دوازده ساله:

همانطور که در قبل توضیح داده شد برای مقایسه میزان رسوبات واقعی و تخمین زده شده توسط روش EPM در حوزه، از بندهایی استفاده شد که حداقل ۱۰ سال از زمان احداث آنها می گذشت و سر ریز نکرده بودند که در حوزه ۱۰ بند انتخاب شد که توسط GPS جانمایی شد و مشخصات فیزیوگرافی آنها در ابتدا آمده است. برای تعیین میزان رسوبات به تله افتاده در پشت بندهای خاکی، نقشه برداری از رسوبات پشت سازه ها انجام شد و حجم رسوبات پشت آنها با خطوط تراز یک متری مشخص گردید، سطح رسوبات داخل مخازن بندها برای تعیین محل حفر گمانه ها شبکه بندی شد (با فاصله ۳ متری)، پس از حفر گمانه ها عمق متوسط رسوبات تعیین و حجم متوسط آنها محاسبه گردید. به منظور تبدیل حجم رسوبات مخازن بندها به وزن و عبارتی ساده تر برای تعیین وزن رسوبات نهشته شده در مخازن بندها، نیاز به وزن مخصوص رسوبات می باشد. برای تعیین این عامل در رسوبات مخزن هر بند، چند

پروفیل حفر شد و از افق‌های مختلف آن نمونه‌گیری شد سپس وزن مخصوص این نمونه‌ها تعیین گردید. به این صورت که از هر افق در پروفیل رسوبات نمونه برداری شد و در آزمایشگاه در دمای ۱۰۵ درجه برای ۲۴ ساعت در آون نگهداری و سپس وزن شدند و از طریق تقسیم وزن نمونه خشک به حجمش وزن مخصوص ظاهری رسوبات هر افق به دست آمد و برای متوسط‌گیری وزن مخصوص ظاهری رسوبات در هر یک از مخازن بندها، بر اساس حاصلضرب وزن مخصوص هر یک از افق‌های رسوب در عمق افق مربوطه و تقسیم آن بر کل اعماق پروفیل‌های حفر شده در مخزن هر بند بدست آمد. پس از اندازه‌گیری حجم رسوبات مخازن هر یک از بندها و تعیین میانگین وزن مخصوص ظاهری رسوبات آن‌ها، وزن رسوبات ترسیب شده از حاصل ضرب وزن مخصوص ظاهری در حجم رسوبات بدست آمد.



شکل ۲- استفاده از تراکتور مجهز به مته چاله کنی جهت حفر گمانه در مخزن بند

تجزیه و تحلیل داده‌ها:

بعد از تعیین مقادیر برآورد شده رسوبدهی حوضه‌های بندهای مورد بررسی از طریق مدل های EPM و اندازه‌گیری میزان رسوبگذاری در مخازن بندها، برای آزمون مقایسه میانگین دو گروه در محیط نرم افزار spss17 توسط آزمون t مستقل مورد مقایسه و ارزیابی قرار می‌گیرند و به این ترتیب دقت برآوردهای ناشی از مدل در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده تعیین می‌شود (بی‌همتا و زارع چاهوکی ۱۳۸۷).

نتایج:

تعیین ضرایب و پارامترهای مدل EPM در حوزه های آبخیز:

به منظور برآورد رسوبدهی حوزه‌های آبخیز مورد بررسی از طریق مدل EPM، ضرایب و عوامل این مدل در هر حوزه آبخیز مورد ارزیابی قرار گرفتند که نتایج آن در زیر ارائه شده است.

ضریب فرسایش (Z):

به منظور برآورد ضریب فرسایش در حوزه‌های آبخیز مورد بررسی، ابتدا ضرایب ذیل تعیین شدند و سپس با قرار دادن این ضرایب در معادله، مقدار Z بدست آمد.

الف- ضریب فرآیند فرسایش مشاهده شده (ψ) ب- ضریب استفاده از زمین (Xa)

ج- ضریب مقاومت سنگ و خاک به فرسایش (Y) د- شیب متوسط (I)

ضرایب الف، ب و ج براساس جداول و بازدهی‌های صحرائی تعیین گردیدند که نتایج تعیین نمره (ψ) در جدول ۲، نتایج تعیین نمره (Xa) در جدول ۳ و نتایج تعیین نمره (Y) در جدول ۴ منعکس شده است. مقادیر شیب متوسط حوزه های آبخیز نیز براساس نقشه شیب تهیه شده برای هر حوزه آبخیز بدست آمدند. مقدار ضریب فرسایش از معادله شماره (۷) به دست آمده و به همراه خلاصه نتایج تعیین نمره چهار عامل مذکور جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۲- مقادیر ضریب فرسایش حوضه بندها (□)

شماره بند	تیب اشکال فرسایش	ضریب فرسایش □	مساحت (ha)	میانگین وزنی □
۱	فرسایش شیاری همراه با خندق	۰/۸	۴۷	۰/۶۷
	کل منطقه فرسایش سطحی	۰/۶	۷۹	
۲	کل منطقه فرسایش سطحی	۰/۶	۳۳/۴	۰/۶
۳	فرسایش شیاری شدید	۰/۸	۱۷/۵۵	۰/۶۷
	فرسایش سطحی	۰/۶	۳۳/۱	
	مقدار کم فرسایش خندقی	۰/۷	۱۱/۵۵	
۴	فرسایش شیاری شدید	۰/۸	۴۳۳/۶۲	۰/۶۷
	فرسایش سطحی	۰/۶	۸۴۱/۲۴	
	مقدار کم فرسایش خندقی	۰/۷	۴۰۷/۶۲	
۵	فرسایش سطحی	۰/۶	۵/۵	۰/۶
۶	فرسایش شیاری شدید	۰/۸	۱۶۴/۴۳	۰/۶۶
	فرسایش سطحی	۰/۶	۳۰۷/۸۶	
۷	فرسایش سطحی	۰/۶	۱۴۳/۲	۰/۶
۸	فرسایش سطحی	۰/۶	۸۵/۲۳	۰/۶
۹	فرسایش شیاری شدید	۰/۸	۱۲۵/۸۳	۰/۶۷
	فرسایش سطحی	۰/۶	۲۱۵/۶۶	
۱۰	فرسایش شیاری شدید	۰/۸	۱۹۵/۳۷	۰/۶۶
	فرسایش سطحی	۰/۶	۴۱۹/۷۵	
	مقدار کم فرسایش خندقی	۰/۷	۱۸۶/۳۷	

جدول ۳- مقادیر ضریب کاربری اراضی حوضه بندها (X_n)

شماره بند	مساحت حوضه بند (ha)	شرایط کاربری اراضی	مقادیر ضریب کاربری	مقادیر وزنی ضریب کاربری
۱	۱۲۶	مرتع	۰/۶	۰/۶
۲	۳۳/۴	مرتع	۰/۶	۰/۶
۳	۶۲/۲	مرتع	۰/۶	۰/۶
۴	۱۶۸۲/۵	مرتع	۰/۶	۰/۶
۵	۵/۵	مرتع	۰/۶	۰/۶
۶	۴۷۲/۳	مرتع	۰/۶	۰/۶
۷	۱۴۳/۲	مرتع	۰/۶	۰/۶
۸	۸۵/۲۳	مرتع	۰/۶	۰/۶
۹	۳۴۱/۵	مرتع	۰/۶	۰/۶
۱۰	۸۰۱/۵	مرتع	۰/۶	۰/۶

جدول ۴- مقادیر ضریب حساسیت خاک به فرسایش حوضه بندها (Y)

مقادیر وزنی ضریب حساسیت	مقادیر ضریب حساسیت خاک	مساحت واحد سنگی (ha)	علامت اختصاری واحد سنگی	مساحت حوضه بند (ha)	شماره بند
۰/۹	۰/۹	۱۲۶	Esf	۱۲۶	۱
۰/۹	۰/۹	۳۳/۴	Esf	۳۳/۴	۲
۰/۹	۰/۹	۶۲/۲	Esf	۶۲/۲	۳
۰/۹	۰/۹	۱۶۸۲/۵	Esf	۱۶۸۲/۵	۴
۰/۹	۰/۹	۵/۵	Esf	۵/۵	۵
۱	۰/۹	۳۱۴/۷	Esf	۴۷۲/۳	۶
	۱/۲	۱۵۷/۸	Q ₁		
۰/۹۹	۰/۹	۱۰۰/۲۴	Esf	۱۴۳/۲	۷
	۱/۲	۴۲/۹۶	Q ₁		
۰/۹	۰/۹	۸۵/۲۳	Esf	۸۵/۲۳	۸
۰/۶۸	۰/۸	۵۶/۹۱	Eap	۳۴۱/۵	۹
	۰/۹	۱۷۰/۷۵	Esf		
	۰/۸	۴۲/۹۶	Esr		
۰/۹	۰/۹	۸۰/۱/۵	Esf	۸۰/۱/۵	۱۰

جدول ۵- نتایج برآورد ضریب فرسایش در حوزه های آبخیز بندها

Z	I	Y	Xa	ψ	شماره بند
۲/۷۸	۲۰/۰۹	۰/۹	۰/۶	۰/۶۷	۱
۲/۲۷	۱۲/۹۸	۰/۹	۰/۶	۰/۶	۲
۲/۶۲	۱۷/۵۹	۰/۹	۰/۶	۰/۶۷	۳
۲/۲۹	۱۲/۸۳	۰/۹	۰/۶	۰/۶۷	۴
۱/۷۹	۷/۴۲	۰/۹	۰/۶	۰/۶	۵
۱/۶۲	۵/۵	۱	۰/۶	۰/۶۶	۶
۲/۹۵	۱۹/۱۹	۰/۹۹	۰/۶	۰/۶	۷
۳/۲۹	۳۰/۳۴	۰/۹	۰/۶	۰/۶	۸
۲/۴۶	۲۸/۷۴	۰/۶۸	۰/۶	۰/۶۷	۹
۲/۳۸	۱۴/۰۸	۰/۹	۰/۶	۰/۶۶	۱۰

ضریب درجه حرارت (T) و متوسط بارندگی حوضه های آبخیز (H):

با استفاده از متوسط درجه حرارت (مطالعات حوزه آبخیز دره مرید) حوضه هر بند، ضریب درجه حرارت از رابطه (۴) بدست آمد و سپس با استفاده از بارندگی متوسط سالیانه (مطالعات حوزه آبخیز دره مرید)، میانگین سالانه فرسایش از رابطه (۲) به دست آمد که در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶- نتایج تعیین ضریب درجه حرارت و بارندگی حوزه های آبخیز بندها

شماره بند	متوسط درجه حرارت حوضه (°C)	متوسط بارندگی حوضه (mm)	ضریب درجه حرارت T	ضریب فرسایش Z	میانگین سالانه فرسایش WSP (m ³ /km ² /y)
۱	۹/۶	۲۶۵	۱/۰۲۹	۲/۷۸	۳۹۶۸/۷۸
۲	۹/۷	۲۶۴	۱/۰۳۴	۲/۲۷	۲۸۹۴/۱۷
۳	۹/۶	۲۶۳	۱/۰۲۹	۲/۶۲	۳۶۰۳/۷۳
۴	۹/۸	۲۶۲	۱/۰۳۹	۲/۲۹	۲۹۶۲/۰۹
۵	۹/۹	۲۶۱	۱/۰۴۴	۱/۷۹	۲۰۴۹/۰۳
۶	۱۰	۲۶۲	۱/۰۴۸	۱/۶۲	۱۷۷۷/۷۲
۷	۹/۵	۲۶۰	۱/۰۲۴	۲/۹۵	۴۲۳۵/۸
۸	۹/۹	۲۶۳	۱/۰۴۴	۳/۲۹	۵۱۴۴/۹۳
۹	۹/۶	۲۶۲	۱/۰۲۹	۲/۴۶	۳۲۶۶/۲۴
۱۰	۱۰/۱	۲۶۰	۱/۰۵۳	۲/۳۸	۳۱۵۶/۴۳

ضریب رسوبدهی (Ru) و رسوبدهی ویژه (Gsp):

ضریب رسوبدهی نشان دهنده نسبت رسوبات منتقل شده به فرسایش حوزه آبخیز در محل خروجی حوزه آبخیز می باشد و بر اساس رابطه (۵) برآورد می گردد. با استفاده از ضریب مذکور و دخالت آن در مقدار فرسایش ویژه حوزه های آبخیز طبق رابطه (۱) مقادیر رسوبدهی ویژه آن ها بدست آمد که در مدل EPM بر حسب واحد حجم می باشد. به منظور تبدیل مقادیر رسوبدهی ویژه حوزه های آبخیز به واحد وزن، از مقدار وزن مخصوص ظاهری ۱۳۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب استفاده شد. به این ترتیب مقدار رسوبدهی ویژه حوزه های آبخیز بر حسب واحد وزنی نیز برآورد گردید. نتایج در جدول ۸ منعکس شده است.

جدول ۷- نتایج برآورد ضریب رسوبدهی در حوزه های آبخیز بندها

شماره بند	محیط حوضه (km)	طول حوضه (km)	اختلاف ارتفاع متوسط با خروجی (km)	ضریب رسوبدهی RU	فرسایش ویژه WSP (m ³ /km ² /y)	رسوبدهی ویژه GSP (m ³ /km ² /y)	رسوبدهی ویژه وزنی (ton/km ² /y)	رسوبدهی ویژه وزنی (ton/ha/y)
۱	۴/۸۷۸	۲/۴۶۵	۰/۰۵۹	۰/۱۷۲	۳۹۶۸/۷۸	۶۸۲/۶۳	۹۲۸/۳۷	۹/۲۸
۲	۳/۱۱۳	۱/۷۳۹	۰/۰۲۸	۰/۱	۲۸۹۴/۱۷	۲۸۹/۴۱	۳۹۳/۵۹	۳/۹۳
۳	۳/۴۷۸	۴/۳۷۱	۰/۰۵۷	۰/۱۲۴	۳۶۰۳/۷۳	۴۴۶/۸۶	۶۰۷/۷۳	۶/۰۷
۴	۱۸/۲۸۲	۲/۹۵۲	۰/۱۲۸	۰/۴۷۲	۲۹۶۲/۰۹	۱۳۹۸/۱	۱۹۰۱/۴۱	۱۹/۰۱
۵	۱/۱۷۷	۲/۶۶۲	۰/۰۱۳	۰/۰۳۹	۲۰۴۹/۰۳	۷۹/۹۱	۱۰۸/۶۷	۱/۰۸
۶	۱۱/۳۷۸	۲/۵۴۰	۰/۰۷۴	۰/۲۹۲	۱۷۷۷/۷۲	۵۱۹/۰۹	۷۰۵/۹۶	۷/۰۵
۷	۵/۷۷۰	۴/۷۷۷	۰/۱۰۴	۰/۲۰۹	۴۲۳۵/۸	۸۸۵/۲۸	۱۲۰۳/۹۸	۱۲/۰۳
۸	۴/۴۱۵	۲/۴۲۸	۰/۱۲۳	۰/۲۳۴	۵۱۴۴/۹۳	۱۲۰۳/۹۱	۱۶۳۷/۳۱	۱۶/۳۷
۹	۹/۵۹۸	۵/۲۴۰	۰/۱۶۶	۰/۳۳۱	۳۲۶۶/۲۴	۱۰۸۱/۱۱	۱۴۷۰/۳	۱۴/۷
۱۰	۱۳/۸۳۸	۰/۰۴۳۳	۰/۰۹۷	۰/۴۶۱	۳۱۵۶/۴۳	۱۴۵۵/۱۱	۱۹۷۸/۹۴	۱۹/۷۸

تعیین رسوبدهی حوزه های آبخیز از طریق اندازه گیری رسوبات مخازن بندها:

جهت حجم سنجی مخازن، شبکه بندی گمانه ها در مخازن صورت گرفت. به این صورت که برای سازه ها با طول کمتر از ۱۰ متر فواصل گمانه ها یک متری و برای سازه های با طول ۱۰ تا ۲۵ متر فواصل گمانه ها ۲ تا ۳ متری و برای سازه های با طول بیشتر از ۲۵

متر فواصل گمانه ها ۵ متری در نظر گرفته شد. در حوزه دره مرید اغلب سازه ها با طول حدوداً ۲۵ متر بودند و فواصل نقطه های شبکه گمانه ۳ متر در نظر گرفته شده و پس از احداث گمانه ها در پشت هر بند و تعیین عمق رسوب میانگین عمق رسوبات مشخص شده است. نقشه برداری از مخازن بندهای خاکی با فواصل خطوط تراز یک متر صورت گرفته که سطح آبخیزی که همان حجم کلی مخزن سد می باشد و سطح مخزن که همان سطح رسوب به تله افتاده است، مشخص گردیده است که با حاصل ضرب سطح رسوب به تله افتاده در عمق متوسط آن حجم متوسط رسوبات به تله افتاده پشت هر بند محاسبه گردید. گفتنی است که از عمر بندهای مورد مطالعه ۱۲ سال می گذرد. نتایج تعیین حجم و وزن رسوبات مخازن بندهای خاکی در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۸- تعیین حجم و وزن رسوبات تله افتاده در مخازن بندهای مورد مطالعه

شماره بند	مساحت حوضه	حجم رسوبات مخزن (m ³)	وزن رسوبات مخزن (ton)	رسوبدهی ویژه (m ³ /ha/y)	رسوبدهی ویژه (ton/ha/y)
۱	۱۲۶	۶۳۴۸/۱۱	۸۶۳۳/۴۴	۴/۲	۵/۷۱
۲	۳۳/۴	۴۸۹۹/۳۹	۶۷۶۱/۱۷	۱۲/۱۵	۱۶/۸۶
۳	۶۲/۲	۴۷۰۹/۰۵	۶۴۵۱/۱۴	۶/۳	۸/۶۴
۴	۱۶۸۲/۵	۸۸۲۳/۰۷	۱۲۱۷۵/۸۴	۰/۴۴	۰/۶
۵	۵/۵	۷۱۳/۷۳	۹۲۷/۸۵۵	۱۰/۸۱	۱۴/۰۵
۶	۴۷۲/۳	۶۸۱۳/۶۶	۹۴۷۰/۹۹	۱/۲	۱/۶۷
۷	۱۴۳/۲	۵۷۲۰/۷۱	۸۰۰۹	۳/۳۲	۴/۶
۸	۸۵/۲۳	۶۱۰۴/۶۳	۸۳۶۳/۳۵	۵/۹۶	۸/۱۷
۹	۳۴۱/۵	۴۹۶۷/۵۲	۶۸۵۵/۱۹	۱/۲	۱/۶۷
۱۰	۸۰/۱/۵	۶۳۷۱/۵۷	۸۷۹۲/۷۸	۰/۶۶	۰/۹۱

بحث و نتیجه گیری:

مقایسه میانگین مقادیر اندازه گیری شده رسوب حوضه های بندها از روش EPM به روش t-student مستقل نشان داد که با اطمینان ۹۵ درصد میانگین های برآورد شده حجمی و وزنی بر اساس روش ذکر شده با مقادیر واقعی اندازه گیری شده حجمی و وزنی اختلاف معنی داری ندارند و در نتیجه می توان نتایج برآورد این مدل را پذیرفت ولی روش EPM از کارایی نسبتاً پایینی در برآورد رسوب برخوردار است که با نتایج تحقیق هاشمی و عرب خدردی (۲۰۰۷) که با استفاده از رسوب سنجی مخازن کوچک با استفاده از مدل EPM انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که، علی رغم این که مقدار رسوب برآورد شده با مقدار رسوب مشاهده ای اختلاف معنی داری ندارند ولی روش EPM از کارایی نسبتاً پایینی در برآورد رسوب برخوردار است همخوانی دارد. به این صورت می توان نتیجه گرفت که روش EPM را نمی توان رد کرد زیرا در مقایسه میانگین ها ثابت شد که در سطح ۹۵ درصد مقادیر تخمین زده شده از این روش اختلاف معنی داری با میانگین مقادیر اندازه گیری شده رسوب مخازن بندها ندارد.

منابع

بروشکه، ابراهیم و عرب خدردی محمود، ۱۳۹۳، ارزیابی مدل های تجربی MPSIAC و EPM از طریق رسوب سنجی سدهای کوچک در استان آذربایجان غربی. مجله مهندسی و مدیریت آبخیز. جلد ۷، شماره ۳، صفحات ۲۷۳-۲۶۵.

بروشکه، ابراهیم، ۱۳۸۲، برآورد رسوب دهی سرشاخه ها با استفاده از اندازه گیری رسوب پشت سدهای رسوبگیر - مطالعه موردی سرشاخه های استان آذربایجان غربی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. دومین گردهمایی مجریان طرح های تحقیقاتی در زمینه رسوب سنجی مخازن بندها، سدها و مدل های رسوبی، ۱۱ و ۱۲ آبان ۱۳۸۲، ارومیه، ص ۷-۱۲.

بیات، رضا، ۱۳۷۸، بررسی کارایی مدل های MPSIAC و EPM در برآورد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز طالقان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

حکیم‌خانی، شاهرخ، ۱۳۸۱، مروری بر مطالعات و پایان نامه های انجام شده بر روی مدل PSIAC در ایران و بررسی ایرادهای وارده بر آنها و تهیه دستورالعمل استفاده از آن. سمینار دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

محمودزاده، احمد، ۱۳۷۶، بررسی رابطه رسوب تولیدی و کاربری زمین. جنگل و مرتع، ۳۶، ص ۲۵-۳۰.

Amini, s. et al. 2010. Estimation of erosion and sediment yield of Ekbatan dam drainage basin with EPM, using GIS. Iranian journal of earth sciences. 2: 173-180pp.

Hadley, R.F., and D.E. Walling, 1984. Erosion and sediment yield: some methods of measurement and modeling, Cambridge University press, Cambridge.

Gavrilovic, Z., 1988. The use of an empirical method (erosion potential method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams. Proceeding of international conference on River Regime. May 1988. Published by John Wiley and sons. Paper. 12, p. 411-422

Hashemi, A.A., Arabkheldir. M. 2007. Evaluation of EPM model by sediment measurement in reservoirs of small dams. science and technology of agriculture and natural resources. 42: 345-355 (in persian)

Van Rompaey, A. J. J., Verstaeten, G., Van Oost, K., Govers, G., & Poesen, J. 2001. Modeling mean annual sediment yield using a distributed approach. Earth Surface Processes and landforms, 26, 1221-1236.

Walling, D.E., 1994. Measuring sediment yield from river basins, in: R.Lal (Edd), Soil erosion research Methods. Soil and Water conservation Society publ. 2nd edition, pp. 39-83