

بررسی نتایج مدل EPM در برآورد رسوب حوضه های کوچک

سعید نبی پی لشکریان^{۱*}، محمود عرب خدري^۲ و صمد شادفر^۳

۱ - کارشناس پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، snabipay@gmail.com

۲ - دانشیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، mahmood.arabkhedri@gmail.com

۳ - دانشیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، samad.shadfar@gmail.com

...

چکیده

یکی از معضلات مهم کشور ایران که باعث کاهش کیفی آب و خاک می گردد، فرسایش خاک و تولید رسوب می باشد. برای کاهش اثرات سوء این پدیده لازم است که اقدامات حفاظت خاک و آبخیزداری صورت گیرد. لذا ضرورت اطلاع از شناسایی مناطق بحرانی وجود دارد. با توجه به نبود ایستگاه های رسوب سنجی در اکثر خروجی های حوزه های آبخیز کشور و عدم کفایت داده ها، مدل های تجربی می توانند از ابزارهای مناسب برای تولید این لایه اطلاعاتی مهم باشند. یکی از مدل های تجربی رایج در ایران، EPM می باشد. هدف اصلی از اجرای این تحقیق، بررسی کارایی مدل EPM در حوضه های کوچک شمال شرقی کشور می باشد. در اجرای این طرح، ابتدا تعدادی از بندهای ذخیره آب استان های گلستان و خراسان رضوی مشروط بر حداقل عمر تقریبی ۱۰ سال و سرریز نمودن انتخاب گردید. آبخیز این سدها مورد مطالعه قرار گرفت و لایه های اطلاعاتی لازم برای مدل تجربی EPM تهیه گردید و مقادیر رسوب دهی حوضه ها برآورد شد. آنگاه مقادیر برآوردی از طریق این مدل ها با مقادیر بدست آمده از طریق اندازه گیری رسوبات مخازن بندها مقایسه گردید. بر اساس نتایج بدست آمده از مدل EPM در حوضه های شمال شرقی کشور، برآوردهای مدل با مقادیر مشاهده ای بندها مطابقت مناسبی دارد. شاخص NSE برابر ۰/۴۴ و شاخص RRMSE برابر ۰/۶۸ نیز این مسأله را کاملاً تأیید می نماید. همچنین، بررسی نتایج حاصل از مدل EPM در حوضه های شمال شرقی کشور با مساحت کم تر از ۵۰۰ هکتار نشان داد که تخمین های مدل EPM مطابقت مناسبی با رسوب اندازه گیری شده بندها داشته، به طوری که شاخص های NSE و RRMSE برابر ۰/۷۱ و ۰/۴۸ می باشند.

واژه های کلیدی: حفاظت خاک، آبخیزداری، فرسایش خاک، رسوب دهی و ایران.

مقدمه

یکی از راه های برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب، استفاده از مدل های تجربی می باشد. این مدل ها بر اساس در نظر گرفتن تعدادی از عوامل مهم می باشند که بر مبنای روش های مشاهده ای و اندازه گیری و آماری، آن ها را به تلفات خاک مرتبط می سازند. Morgan (۲۰۰۵) اعتقاد دارد به رغم پیشرفت های حاصل در توسعه مدل های فرایندی، مدل های ساده تجربی در برآورد فرسایش موفق تر عمل می کنند، ضمن آن که استفاده از آن ها راحت تر است. از میان شیوه های عمده ای که برای اندازه گیری و برآورد شدت فرسایش یا رسوب تولیدی مورد استفاده قرار می گیرند، روش های اندازه گیری رسوبات پشت مخازن آبی به منظور برآورد رسوب تولیدی توسط محققین مختلف توصیه شده (Walling و Hadley، ۱۹۸۴) و به عنوان روشی مناسب برای محاسبه تولید رسوب حوزه های آبخیز پیشنهاد گردیده است (Walling، ۱۹۹۴). هر کدام از این مدل ها با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه، سادگی و عملی بودن روش مورد نظر، وجود یا عدم وجود اطلاعات برای روش مذکور و قابل استفاده بودن روش مورد نظر استفاده می گردند.

این مدل اولین بار در سال ۱۹۵۲ برای بررسی شدت فرسایش خاک در کشور یوگسلاوی سابق، مورد استفاده قرار گرفته است. سپس روش محاسبه میزان فرسایش نیز، EPM نامیده شد (احمدی، ۱۳۸۶). Bazzoffi (۱۹۸۵) مدل Gavrilovic را در ایتالیا برای مرکزی برای پیش بینی رسوب چهار حوضه با مساحت های ۰/۶ تا ۲۱۵ کیلومتر مربع به کار برد. وی نتیجه گرفت که شکلی از مدل که به طور جزئی اصلاح شده است، در برآورد رسوب به ویژه برای حوضه های کوچک بهتر جواب می دهد، در حالی که مدل اصلی میزان رسوب را بیش تر برآورد می کند. Beyer Portner (۱۹۹۸) مدل EPM را در پنج حوضه آلپ سوئیس با مساحت های ۳۶ تا ۲۱۰ کیلومتر مربع به کار برد و مشاهده نمود که بین مقادیر برآورد شده رسوب با مدل EPM و مقادیر اندازه گیری شده ایستگاه همبستگی بالایی ($R^2=0/86$) وجود دارد.

در کشور ایران نیز در برآورد رسوبدهی چندین حوزه آبخیز از مدل EPM استفاده شده است. نجفی نژاد (۱۳۷۳) در تحقیقی در آبخیز سد لتیان مشخص نمود که مقادیر برآورد شده رسوبدهی بوسیله مدل EPM با میانگین رسوبگذاری در دریاچه سد (با ضریب رسوبگذاری ۸۵ درصد) اختلاف معنی داری ندارد. نعمتی (۱۳۷۳) این مدل را در حوزه آبخیز شاهرود از زیرحوضه های سفیدرود مورد بررسی قرار داده و بیان نمود که نتایج برآوردی حاصله از مدل با میزان رسوب برآورد شده از ایستگاه هیدرومتری انطباق خوبی دارد.

مصلحت جو و بهنیا (۱۳۸۳) کارایی مدل EPM را در سه حوزه آبخیز استان گلستان مورد ارزیابی قرار داده و مقادیر برآوردی مدل را با آمار میانگین رسوب اندازه گیری شده در یک دوره ۲۰ ساله مقایسه نموده اند، نتایج این بررسی نشان داد که مدل EPM در آبخیزهای مرطوب با بارندگی بالا از دقت زیادی برخوردار نیست. نتایج مطالعات مسیبه و ملکی (۱۳۹۰) در حوضه آهار و ملکی (۱۳۹۰) در حوضه لوارک نیز، عدم کارایی مدل EPM را در مقایسه با رسوب اندازه گیری شده ایستگاه ها نشان داده است.

نبی بی لشکریان و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه ای در بررسی سوابق تحقیقی این مدل، اعلام نموده اند که از ۴۰ تحقیق انجام شده توسط این مدل، ۱۲ مورد کارایی داشته است. همچنین آن ها بر اساس نتایج حاصل از بررسی گزارشات نهایی پژوهشگر، نتیجه گیری نمودند که دامنه تغییرات این مدل ۰/۴۲ تا ۲۴/۰۲ تن در هکتار در سال متغیر است. آن ها در این پژوهش، میانه و میانگین برآورد رسوب توسط این روش را به ترتیب برابر ۳/۳۳ و ۴/۹۲ تن در هکتار در سال گزارش نمودند و به این نتیجه رسیدند که از ۲۳ برآورد صورت گرفته با این مدل، نه مورد آن (۳۹/۱ درصد) کارایی دارد. نتایج محققین مزبور به کارایی بهتر این مدل در مساحت های کم تر از ۵۰۰ هکتار اشاره دارد.

بررسی سوابق تحقیقاتی این مطالعه حاکی از آن می باشد که بیش ترین تحقیقات مربوط به مقایسه رسوب برآوردی مدل

EPM با رسوب برآوردی ایستگاه‌های رسوب‌سنجی بوده و مطالعه کم‌تری در رابطه با مقایسه رسوب اندازه‌گیری شده در مخازن بندها با رسوب برآوردی این مدل صورت گرفته است. همچنین بیش‌تر ارزیابی‌های انجام شده، در حوضه‌های با مساحت نسبتاً بالا انجام شده که از دقت لازم برخوردار نیست و نمی‌توان نتایج حاصل از این حوزه‌های آبخیز را به حوضه‌های کوچک تعمیم داد. بررسی سوابق، این مسأله را نیز مشخص نمود که این مدل تنها در کشورهای اروپایی و کشور ایران اجرا شده و سوابقی از این مدل در سایر مناطق ندارد.

مسأله اساسی تحقیق حاضر، این است که همخوانی مقدار رسوب برآورد شده توسط مدل EPM، با مقدار واقعی رسوب مشاهده شده به چه میزان می‌باشد. هدف اصلی این پژوهش نیز، تعیین کارایی مدل EPM در برآورد فرسایش خاک و رسوب‌دهی در حوضه‌های شمال شرقی کشور است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ۱۷ بند خاکی منتخب از دو استان گلستان و خراسان رضوی در شمال شرقی کشور انجام شده که معیار انتخاب آن‌ها بر این اساس بوده که عمر بندها حتی‌المقدور ۱۰ سال بوده و مساحت حوضه بالادست آن‌ها از ۵۰۰۰ هکتار تجاوز ننموده و هیچ‌گونه عملیات آبخیزداری در حوضه بالادست بند اجرا نشده و در طی سال‌های بهره‌برداری، رسوب قابل توجهی از آن‌ها سرریز نشده باشد و به عبارتی ضریب تله‌اندازی رسوبات در این بندها، ۱۰۰ درصد باشد. آنگاه رسوب دهی ویژه بندها به صورت حجمی با توجه به عمر بندها محاسبه گردید و با داشتن وزن مخصوص، رسوب وزنی بندها نیز برآورد شد. در جدول ۱، خلاصه‌ای از مشخصات حوضه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات حوضه‌های مورد مطالعه

نام حوضه	مساحت حوضه (ha)	محیط (km)	لیتولوژی غالب	کاربری اراضی	وضعیت اشکال فرسایشی	شیب متوسط وزنی (%)
شوردره ۱	۵۰۰	۱۳/۷۲	لس	مرتع و زراعت	سطحی و شیاری	۱۶/۵
شوردره ۲	۱۲۵/۷۹	۶/۲	لس	مرتع و زراعت	سطحی و شیاری	۱۲/۷
شوردره ۶	۲۳۰/۳۵	۷/۰۵	رسوبات آبرفتی، لس و شیل	مرتع و زراعت	سطحی و شیاری	۱۳/۴
شوردره ۷	۳۱۴/۴۴	۷/۸۴	رسوبات آبرفتی و لس	مرتع و زراعت	سطحی و شیاری	۱۵
شوردره ۹	۲۲۶/۳۱	۶/۳۳	رسوبات آبرفتی، لس و شیل	مرتع و زراعت	سطحی و شیاری	۱۶/۸
شوردره ۱۲	۲۴۲/۸۹	۷/۲۴	لس	مرتع و زراعت	سطحی و شیاری	۱۳/۷
شوردره ۱۳	۱۰۱/۷۳	۴/۷۴	لس	مرتع و زراعت	سطحی و شیاری	۱۱/۸
شوردره ۱۶	۱۱۸/۲۸	۵/۰۹	لس	مرتع و زراعت	سطحی و شیاری	۱۵/۱
سنگانه ۱	۰/۴۳	۰/۲۸۷	لس، شیل و سنگ آهک	مرتع و بدلد	سطحی	۷/۴۵
سنگانه ۲	۰/۱۲	۰/۱۶۲	لس	بدلد	بدلد	۱۱/۰۴
سنگانه ۳	۰/۱۵	۰/۱۹	لس	بدلد	بدلد	۷/۷۳
سنگانه ۴	۱/۲	۰/۴۸	لس و شیل	مرتع و بدلد	سطحی	۶/۷۷
سنگانه ۶	۱/۰۴	۰/۴۱۳	لس و شیل	مرتع و بدلد	سطحی و شیاری	۶/۸۶
کارده ۱	۷۲/۹۶	۳/۴۱	رسوبات دولومیتی، شیل و مارن	مرتع و زراعت	سطحی، شیاری و خندقی	۵۳/۳۱
کارده ۲	۸۳/۰۱	۴/۰۴	رسوبات آبرفتی، شیل و مارن	مرتع	سطحی، شیاری و خندقی	۴۱/۸۳
کارده ۳	۶/۰۲	۱/۰۸	شیل و مارن	مرتع	سطحی	۳۵
کارده ۴	۳/۰۱	۰/۶۵	شیل و مارن	مرتع	سطحی، شیاری و خندقی	۳۴/۴۶

به منظور برآورد رسوب با استفاده از مدل EPM، ابتدا عوامل مؤثر در رسوبدهی حوزه‌های آبخیز در قالب ضریب فرسایش فعلی، ضریب بهره‌برداری از اراضی، ضریب حساسیت زمین و خاک به فرسایش و شیب زمین از جداول مدل (Gavriloic، 1988) ارزیابی و امتیازدهی شدند. سپس، ضریب فرسایش از رابطه $Z = Y \cdot Xa \cdot (\varphi + I^2)^{\frac{1}{2}}$ ، فرسایش ویژه از رابطه $Gsp = Wsp \times Ru$ ، ضریب رسوبدهی از رابطه $Ru = \frac{4 \times (P \times D)^{0.5}}{L + 10}$ و رسوبدهی ویژه از رابطه $Wsp = T \cdot H \cdot \pi \cdot Z^{\frac{3}{2}}$ بدست آمد. در این روابط، Z ضریب فرسایش، Y ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، Xa ضریب استفاده از زمین، φ ضریب شرایط فرسایشی، I عامل شیب زمین، Wsp فرسایش ویژه، H متوسط بارندگی سالانه بر حسب میلی‌متر، T ضریب دما، Ru ضریب رسوبدهی، P محیط حوضه بر حسب کیلومتر، D اختلاف ارتفاع متوسط و خروجی حوضه به کیلومتر، L طول حوزه آبخیز به کیلومتر و Gsp رسوبدهی ویژه بر حسب متر مکعب بر کیلومتر مربع در سال می‌باشد.

برای بررسی خطا و ارزیابی دقت و صحت مدل، از معیار اختلاف نسبی با رابطه $RF = \frac{Pi - Oi}{Oi} \times 100$ استفاده شد که در آن، RF اختلاف نسبی، Pi مقدار برآورد مدل و Oi مقدار رسوب اندازه‌گیری شده بند می‌باشد. اختلاف نسبی نیز معمولاً به صورت درصد بیان می‌گردد و هر چه بیش‌تر باشد، ضعف مدل را در برآورد صحیح نشان می‌دهد. همچنین، مقادیر مثبت نشانه بیش‌برآورد و مقادیر منفی نیز نشانه کم‌برآورد می‌باشند. برای بررسی مطابقت یا عدم مطابقت برآورد مدل‌ها با مقادیر مشاهده‌ای بندها نیز از راهنمای خطای مجاز برای نرخ‌های متوسط فرسایش و رسوب (Toy و همکاران، ۲۰۰۲) استفاده شد که در جدول ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۲- راهنمای خطای مجاز برای نرخ‌های متوسط فرسایش و رسوب (Toy و همکاران، ۲۰۰۲)

ردیف	نرخ متوسط فرسایش و رسوب (t.ha ⁻¹ .y ⁻¹)	خطای قابل قبول (%)
۱	>۶۰	±۲۵
۲	۱-۶۰	±۵۰
۳	<۱	±۱۰۰

به منظور ارزیابی کارایی مدل، از رابطه های $RRMSE = \sqrt{\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Oi - Pi)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Oi}}$ و $NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Oi - Pi)^2}{\sum_{i=1}^n (Oi - Om)^2}$ میانگین نسبی $RRMSE$ ، میانگین نسبی NSE ضریب کارایی نش- ساتکلیف، $MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \left| \frac{Oi - Pi}{Oi} \right|$ ریشه مربعات خطا، $MAPE$ میانگین درصد خطای نسبی، n تعداد برآوردها، Oi مقادیر مشاهده‌ای بندها، Om میانگین مقادیر مشاهده‌ای بندها و Pi مقادیر برآوردی مدل می‌باشد.

نتایج

نتایج رسوبات حجمی و وزنی مخازن بندهای مورد مطالعه این تحقیق واقع در استان‌های گلستان و خراسان رضوی (شمال شرقی کشور) در جدول ۳ ارائه گردیده است. همچنین جدول ۴، رسوب برآورد شده با استفاده از مدل تجربی EPM را نشان می‌دهد.

جدول ۳- رسوب اندازه گیری شده بندها

نام حوضه	عمر بند (سال)	حجم رسوب (m ³)	وزن مخصوص رسوب (g.cm ⁻³)	وزن رسوب (t)	حجم رسوب دهی ویژه (m ³ .km ⁻² .y ⁻¹)	وزن رسوب دهی ویژه (t.ha ⁻¹ .y ⁻¹)
شوردره ۱	۹	۶۲۵۰/۹۲	۱/۲۹	۸۰۶۳/۶۹	۱۳۹/۴۱	۱/۸
شوردره ۲	۹	۸۹۶۴/۸۶	۱/۲۳	۱۱۰۲۶/۷۷	۷۹۱/۸۷	۹/۷۴
شوردره ۶	۹	۱۷۱۹۵/۶۱	۱/۲۸	۲۲۰۱۰/۳۸	۸۲۹/۴۴	۱۰/۶۲
شوردره ۷	۹	۱۳۲۸۹/۳۱	۱/۲	۱۵۹۴۷/۱۷	۴۶۹/۵۹	۵/۶۳
شوردره ۹	۹	۱۷۲۴۴/۰۴	۱/۲۸	۲۲۰۷۲/۳۷	۸۴۶/۶۳	۱۰/۸۴
شوردره ۱۲	۹	۹۶۰۶/۷۷	۱/۲۷	۱۲۲۰۰/۶	۴۳۹/۴۷	۵/۵۸
شوردره ۱۳	۹	۱۸۲۸/۳۵	۱/۲۲	۲۲۳۰/۵۹	۱۹۹/۶۹	۲/۴۴
شوردره ۱۶	۹	۳۱۳۶/۸	۱/۲۶	۳۹۵۲/۳۷	۲۹۴/۶۷	۳/۷۱
سنگانه ۱	۱۰	۰/۵۲	۱/۳۷	۰/۷۱	۱۲/۰۸	۰/۱۶
سنگانه ۲	۱۰	۱/۱۹	۱/۳۷	۱/۶۲	۹۹/۷	۱/۳۷
سنگانه ۳	۱۰	۰/۵۸	۱/۳۷	۰/۸	۳۹/۸۳	۰/۵۵
سنگانه ۴	۱۰	۱/۱۴	۱/۳۷	۱/۵۶	۹/۵۲	۰/۱۳
سنگانه ۶	۱۰	۵/۸۷	۱/۳۷	۸/۰۴	۵۶/۴۷	۰/۷۷
کارده ۱	۱۲	۳۱۱۵/۳۳	۱/۳۱	۲۷۶۷/۷۸	۲۴۱/۶۱	۳/۱۶
کارده ۲	۱۲	۱۴۵۳/۶۷	۱/۳۲	۱۹۱۴/۵۳	۱۴۵/۹۳	۱/۹۲
کارده ۳	۱۲	۵۳/۵۲	۱/۳۱	۷۰/۱۳	۷۴/۰۹	۰/۹۷
کارده ۴	۱۲	۱۰۳/۴۵	۱/۳	۱۳۴/۳۹	۲۸۶/۴۱	۳/۷۲

جدول ۴- رسوب برآوردی مدل EPM

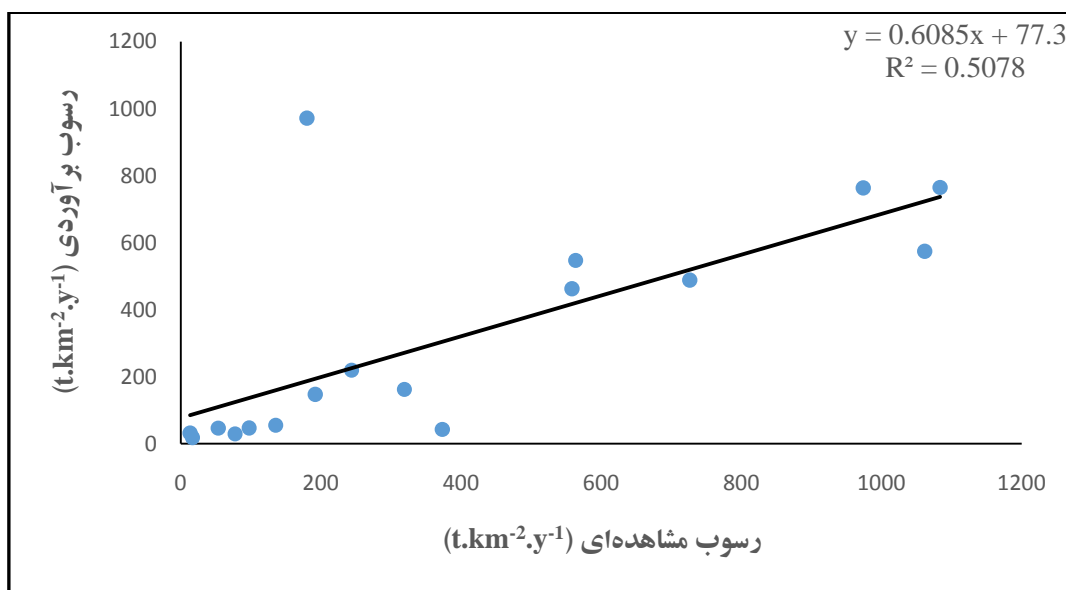
نام حوضه	ϕ	Xa	Y	I	Z	Wsp (m ³ .km ⁻² .y ⁻¹)	Ru	Gsp (m ³ .km ⁻² .y ⁻¹)	Gsp (t.ha ⁻¹ .y ⁻¹)
شوردره ۱	۰/۶۳	۰/۴۸	۱/۶	۰/۱۶۵	۰/۸	۱۷۷۸/۵۷	۰/۴	۷۱۴/۳۳	۹/۷۱
شوردره ۲	۰/۶۵	۰/۵۹	۱/۶	۰/۱۲۷	۰/۹۵	۲۳۱۹/۸۳	۰/۲۴	۵۶۱/۲۶	۷/۶۳
شوردره ۶	۰/۶۲	۰/۴۶	۱/۵۶	۰/۱۳۴	۰/۷۱	۱۴۹۱/۲۲	۰/۲۸	۴۲۲/۱۵	۵/۷۴
شوردره ۷	۰/۶۲	۰/۴۵	۱/۴۳	۰/۱۵	۰/۶۵	۱۳۰۷/۴۴	۰/۳۱	۴۰۲/۱	۵/۴۷
شوردره ۹	۰/۶۳	۰/۴۹	۱/۵۷	۰/۱۶۸	۰/۸	۱۷۹۲/۵۸	۰/۳۱	۵۶۲/۴	۷/۶۵
شوردره ۱۲	۰/۶۲	۰/۳۹	۱/۶	۰/۱۳۷	۰/۶۲	۱۲۱۶/۶۹	۰/۲۸	۳۴۰/۱	۴/۶۲
شوردره ۱۳	۰/۶	۰/۳۳	۱/۶	۰/۱۱۸	۰/۵	۸۸۰/۹۱	۰/۱۸	۱۶۱/۴	۲/۱۹
شوردره ۱۶	۰/۶۲	۰/۴۴	۱/۶	۰/۱۵۱	۰/۷۱	۱۴۹۸/۹۶	۰/۲۴	۳۵۹/۱۴	۴/۸۸
سنگانه ۱	۰/۵۴	۰/۶	۱/۳۳	۰/۰۷۴	۰/۶۵	۵۲۶/۹۲	۰/۰۳	۱۳/۷۲	۰/۱۹
سنگانه ۲	۱	۱	۱/۶	۰/۱۱	۱/۶۵	۲۱۴۰/۴۸	۰/۰۲	۴۰/۶	۰/۵۵
سنگانه ۳	۱	۱	۱/۶	۰/۰۷۷	۱/۵۶	۱۹۷۴/۰۲	۰/۰۲	۳۴/۱۷	۰/۴۶
سنگانه ۴	۰/۵۴	۰/۶۸	۱/۳۸	۰/۰۶۷	۰/۷۵	۶۵۶/۱۷	۰/۰۴	۲۳/۳۵	۰/۳۲
سنگانه ۶	۰/۶۲	۰/۷۷	۱/۴۱	۰/۰۶۹	۰/۹۶	۹۴۴/۸۲	۰/۰۲	۲۱/۵۵	۰/۲۹
کارده ۱	۰/۸	۰/۵۴	۱/۰۷	۰/۵۲۳	۰/۸۸	۷۹۷/۳۷	۰/۱۵	۱۱۹/۱۶	۱/۶۲
کارده ۲	۰/۷	۰/۵	۱/۰۶	۰/۴۱۸	۰/۷۱	۵۵۳/۹۸	۰/۲	۱۰۸/۴۴	۱/۴۷
کارده ۳	۰/۶	۰/۵	۱/۱۹	۰/۳۵	۰/۷۱	۴۶۲/۵۴	۰/۰۷	۳۴/۵۵	۰/۴۷
کارده ۴	۰/۸۵	۰/۵	۱/۲	۰/۳۴۵	۰/۸۶	۶۰۷/۵۷	۰/۰۵	۳۱/۴۷	۰/۴۳

بحث و نتیجه گیری

جدول ۵، مطابقت رسوب برآوردی مدل با رسوب اندازه گیری شده بندهای خاکی را نشان می دهد. همان گونه که از ارقام این جدول مشخص است، بیشترین خطای نسبی به مقدار ۴۴۰/۲۱ درصد مربوط به حوضه شوردره ۱ با مساحت ۵۰۰ هکتار (۵ کیلومتر مربع) بوده و کمترین خطا به میزان ۲/۹۵- نیز مربوط به شوردره ۷ می باشد. در شکل ۱، نمودار رابطه رسوب دهی مشاهده ای و رسوب دهی برآوردی مدل EPM ارائه گردیده است. همان گونه که در این نمودار مشاهده می شود، همبستگی نسبتاً مناسبی بین رسوب مشاهده ای و رسوب برآوردی وجود دارد. در این خصوص، لازم به ذکر است که بر اساس نتایج حاصله از تحقیقات Zhang و همکاران (۱۹۹۶) چنانچه از رگرسیون برای اعتبارسنجی مدل استفاده شود، ضریب تعیین بالاتر از ۰/۵ قابل قبول به نظر می رسد. همچنین شاخص های $MAPE$ و $RRMSE$ ، NSE به ترتیب برابر ۰/۴۴، ۰/۶۸ و ۶۴/۸۹ بدست آمدند.

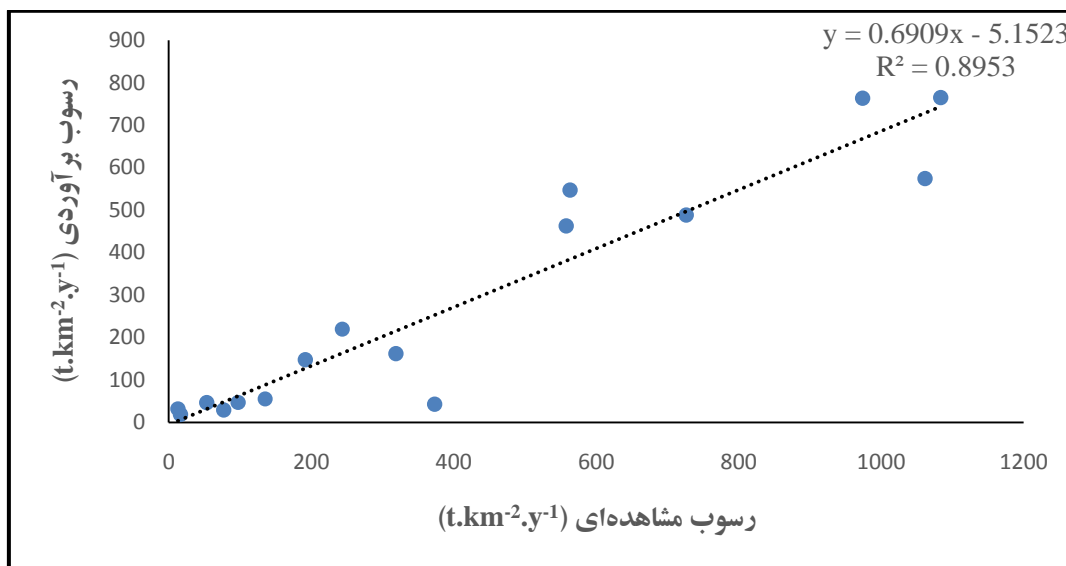
جدول ۵- مطابقت رسوب برآوردی مدل EPM با رسوب مشاهده ای

نام حوضه	اختلاف مطلق ($t.km^{-2}.y^{-1}$)	اختلاف نسبی (%)	نتیجه مطابقت
شوردره ۱	۷۹۱/۶۵	۴۴۰/۲۱	بیش برآورد
شوردره ۲	۲۱۰/۶۸	-۲۱/۶۳	مطلوب
شوردره ۶	۴۸۷/۵۶	-۴۵/۹۲	مطلوب
شوردره ۷	۱۶/۶۶	-۲/۹۵	مطلوب
شوردره ۹	۳۱۸/۸۲	-۲۹/۴۲	مطلوب
شوردره ۱۲	۹۵/۵۹	-۱۷/۱۲	مطلوب
شوردره ۱۳	۲۴/۱۲	-۹/۹	مطلوب
شوردره ۱۶	۲۳۷/۹۴	-۳۲/۷۵	مطلوب
سنگانه ۱	۲/۰۸	۱۲/۵۸	مطلوب
سنگانه ۲	۸۰/۱۷	-۵۹/۲۱	کم برآورد
سنگانه ۳	۶/۹۲	-۱۲/۹۵	مطلوب
سنگانه ۴	۱۸/۷۳	۱۴۳/۶۹	بیش برآورد
سنگانه ۶	۴۸/۰۳	-۶۲/۱	مطلوب
کارده ۱	۱۵۷	-۴۹/۲	مطلوب
کارده ۲	۴۴/۴۴	-۲۳/۱۵	مطلوب
کارده ۳	۵۰/۴۱	-۵۱/۷۵	مطلوب
کارده ۴	۳۳۰/۴۹	-۸۸/۵۳	کم برآورد



شکل ۱- نمودار رابطه رسوب‌دهی مشاهده‌ای و برآوردی مدل EPM

در مرحله بعد، زیرحوضه‌های با مساحت‌های پایین‌تر از ۵ کیلومتر مربع در نظر گرفته شدند و به همین دلیل، زیرحوضه شوردره ۱ با مساحت ۵۰۰ هکتار حذف گردید. ملاحظه گردید که همبستگی بین رسوب مشاهده‌ای و رسوب برآوردی به نحو قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. شکل ۲، رابطه بین رسوب مشاهده‌ای و رسوب برآوردی مدل EPM در حوضه‌های کوچک‌تر از ۵۰۰ هکتار را ارائه داده است. همچنین شاخص‌های $RMSE$ ، NSE و $MAPE$ به ترتیب برابر ۰/۷۲، ۰/۲۵ و ۴۳/۹۹ بدست آمدند که حاکی از این مسأله می‌باشد که برآورد بهتر مدل را تأیید می‌نماید.



شکل ۱- نمودار رابطه رسوب‌دهی مشاهده‌ای و برآوردی مدل EPM در حوضه‌های کوچک‌تر از ۵ کیلومتر مربع

همان گونه که از نتایج مشخص شد، مدل EPM توانایی محاسبه رسوبدهی حوضه‌های شمال شرقی کشور را دارد و رسوب برآوردی قادر است ۵۱ درصد رسوب را تعیین نماید. این نتیجه گیری با نتایج حاصل از Amiri, Beyer Portner (۱۹۹۸)، مسلمی (۲۰۱۰)، نجفی‌نژاد (۱۳۷۳)، نعم‌تی (۱۳۷۳) و رفاهی و نعمتی (۱۳۷۴) مطابقت داشته و با نتایج خالدیان (۱۳۷۴)، مسلمی کوپایی (۱۳۷۴)، مصلحت‌جو و بهنیا (۱۳۸۳)، مسیسی و ملکی (۱۳۹۰) و ملکی (۱۳۹۰) مغایرت دارد. همچنین این نتیجه‌گیری حاصل شد که مدل EPM قادر به محاسبه رسوب در حوضه‌های با مساحت کم‌تر از ۵۰۰ هکتار (۵ کیلومتر مربع) می‌باشد و رسوب برآوردی قادر است ۸۹ درصد رسوب مشاهده‌ای را توضیح دهد. این نتیجه‌گیری با نتایج حاصل از تحقیق Bazzoffi (۱۹۸۵) که مدل EPM را قادر به پیش‌بینی رسوب حوضه‌های کوچک‌تر دانسته و همچنین نتایج حاصل از تحقیق نبی‌پی لشکریان و همکاران (۱۳۹۴) که به کارایی بهتر مدل EPM در مساحت‌های کم‌تر از ۵۰۰ هکتار اشاره دارد، مطابقت دارد.

فهرست منابع

- احمدی، ح. ۱۳۸۶. ژئومورفولوژی کاربردی. جلد ۱ (فرسایش آبی). انتشارات دانشگاه تهران. ص ۶۸۸.
- خالدیان، ح. ۱۳۷۴. بررسی فرسایش و رسوب با مدل EPM و روش سزیم و آمار رسوب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران.
- مسلمی کوپایی، م. ۱۳۷۶. بررسی فرسایش و رسوب به روش EPM و روش ژئومورفولوژی در حوضه‌های درکه و سولقان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران.
- مسیسی، م. و م. ملکی. ۱۳۹۰. بررسی کارایی روش تجربی EPM در برآورد فرسایش و رسوب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز آهار). هفتمین همایش ملی آبخیزداری. اصفهان. صص: ۱۸۰-۱۶۷.
- مصلحت‌جو، ع. و ع. بهنیا. ۱۳۸۳. ارزیابی کارایی مدل EPM جهت برآورد فرسایش و رسوب در سه حوزه آبخیز استان گلستان. کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک. دانشگاه کرمان.
- ملکی، م. ۱۳۹۰. بررسی فرسایش آبی با استفاده از روش تجربی EPM و مقایسه نتایج آن با آمار رسوب مطالعه موردی: حوزه آبخیز لوارک. هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. اصفهان. دانشگاه صنعتی اصفهان. صص: ۱۹۰-۱۸۳.
- نبی‌پی لشکریان، س. م. عرب‌خدری، ص. شادفر و ع. جعفری اردکانی. ۱۳۹۴. بررسی و ارزیابی نتایج تحقیقات مدل های فرسایش خاک و تولید رسوب در ایران. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی.
- نجفی‌نژاد، ع. ۱۳۷۳. بررسی کارایی مدل تجربی EPM در برآورد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز سد لتیان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران.
- نعمتی، ن. ۱۳۷۳. برآورد رسوب حوزه آبخیز رودخانه شاهرود حوضه سد سفیدرود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران.
- هاشمی، ع. ا. و م. عرب‌خدری. ۱۳۸۷. ارزیابی مدل‌های MPSIAC و EPM از طریق بررسی رسوب‌گذاری مخازن تعدادی از سدها و بندهای استان سمنان. مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان سمنان. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- Amiri, K. 2010. Estimate of Erosion and Sedimentation in Semi-arid Basin using Empirical Models of Erosion Potential within a Geographic Information System. Air, Soil and Water Research. 2010: 3.
- Bazzoffi, P. 1985. Methods for net erosion measurement in watersheds as a tool for the validation of models in central Italy. Workshop on soil erosion and hillslope hydrology with emphasis on higher magnitude events, Leuven.
- Beyer Portner, N. 1998. Erosion des bassins versant alpins scusses par ruissellement de surface. PhD Thesis. Laboratoire de Constructions Hydrauliques-LCH. No. 1815. Lausanne. Switzerland.

- 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.
- Hadley, R. F. and D. E. Walling. 1984. Erosion and sediment yield: some methods of measurement and modeling, Cambridge University press. Cambridge.
- Morgan, R.P.C. 2005. Soil Erosion and Conservation. 3rd edition. Blackwell Publishing. Oxford. 304 pp.
- Nash, J. E. & J. E. Sutcliffe, 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part 1 – A discussion of principles. Journal of Hydrology. 10, 282-290.
- Toy, T. J., G. R. Foster and K. G. Renard. 2002. Soil Erosion, Processes, Prediction, Measurement and Control, John Wiley & Sons. New York. 338 p.
- Walling, D.E., and B.W. Webb. 1988. The reliability of rating curve estimate of suspended sediment yield: Some further comment. In: Sediment Budgets (Proc. Of Porto Symp. Dec. 1988) IAHS Pub 1., 174, 337-350.
- Walling, D. E. 1994. Measuring sediment yield from river basins. In: Lal, R. (ed.). Soil Erosion Research Methods. Soil and Water Conservation Society Publ. 2nd Eddition. pp: 39-83.
- Zhang, X. C., M. A. Nearing, L. M. Risse and K.C. McGregor. 1996. Evaluation of runoff and soil loss predictions using natural runoff plot data. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 39. 855-863.