نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۷، شماره ۳، ۱۳۹۴، صفحات ۲۶۵-۲۷۳

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 7, Issue 3, 2015, Pages 265-273

ارزیابی مدل‌های تجربی MPSIAC و EPM از طریق رسوب‌سنجی سدهای کوچک در استان آذربایجان غربی

ابراهیم بروشکه*[۱] و محمود عرب‌خدری[۲]

[۱] مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی و [۲] استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۱۲

چکیده

فرسایش خاک و انتقال رسوب از مشکلات اغلب حوزه‌های آبخیز کشور است. برنامه‌های آبخیزداری بدون برآورد صحیح فرسایش و رسوبدهی با مدل‌های مناسب امکان‌پذیر نیست. این تحقیق با هدف ارزیابی دو مدل تجربی MPSIAC و EPM انجام گرفت. ابتدا، ۱۰ آبخیز کوچک در گستره استان آذربایجان غربی انتخاب شد که در آن‌ها ۱۱۳ سد رسوبگیر متوالی در قالب طرح‌های آبخیزداری اجرا شده بود. اطمینان از عدم خروج رسوب در آخرین سد رسوبگیر، به‌عنوان ملاک انتخاب آبخیزها در نظر گرفته شد. علاوه بر اندازه‌گیری مستقیم رسوب نهشته شده در پشت بندها، رسوبدهی آبخیزهای انتخابی با استفاده از مدل‌ها نیز برآورد شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون ناپارامتری من-ویتنی، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نشان نداد. در مرحله آخر، دو مدل با آماره‌های MAE و MBE مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل MPSIAC با MAE=۱/۳۴ و MBE=-۰/۱۲، نسبت به مدل EPM برتری دارد.

واژه‌های کلیدی: آزمون ناپارامتری من-ویتنی، حوزه‌های آبخیز، رسوب‌دهی، سد، فرسایش و رسوبدهی

مقدمه

اطلاعات از وضعیت رسوبدهی در آبخیزهای کوچک به‌دلیل فقدان ایستگاه‌های اندازه‌گیری بسیار کم است. در این مناطق به‌دلیل وسعت کم و تعداد زیاد آبخیزها، تاسیس ایستگاه‌های رسوب‌سنجی با پراکنش مناسب توجیه ندارد. از طرف دیگر برداشت نمونه‌ها به مقدار کافی و اندازه‌گیری مستقیم رسوب کاری دشوار و پر هزینه بوده و معمولا در رودخانه‌های بزرگ با جریان دائمی انجام می‌شود. خوشبختانه در این آبخیزها سازه‌های کنترل رسوب به تعداد زیاد در قالب عملیات آبخیزداری اجرا شده است. از بندهای کنترل رسوب می‌توان اطلاعات ذی‌قیمتی برای ارزیابی مدل‌ها و تعیین میزان فرسایش و رسوب سرشاخه‌ها و مناطق بالادست آبخیز به‌دست آورد.

در آبخیزهای فاقد آمار و اطلاعات رسوب، به اجبار وضعیت رسوبدهی و فرسایش خاک با استفاده از مدل‌های تجربی انجام می‌گیرد. بیشتر مدل‌ها در مکان‌های دیگری ارائه شده‌اند و اطلاع از میزان کارایی و دقت آن‌ها نیاز به بررسی دارد. از بین مدل‌های تجربی، دو مدل MPSIAC و EPM در گستره ایران بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در اینجا تعدادی از پژوهش‌هایی که این دو مدل را در قالب مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده مورد بررسی قرار داده‌اند، به تفکیک مرور می‌شود. Sokouti و همکاران (۲۰۰۵)،

* مسئول مکاتبات: e.brooshkeh@gmail.com

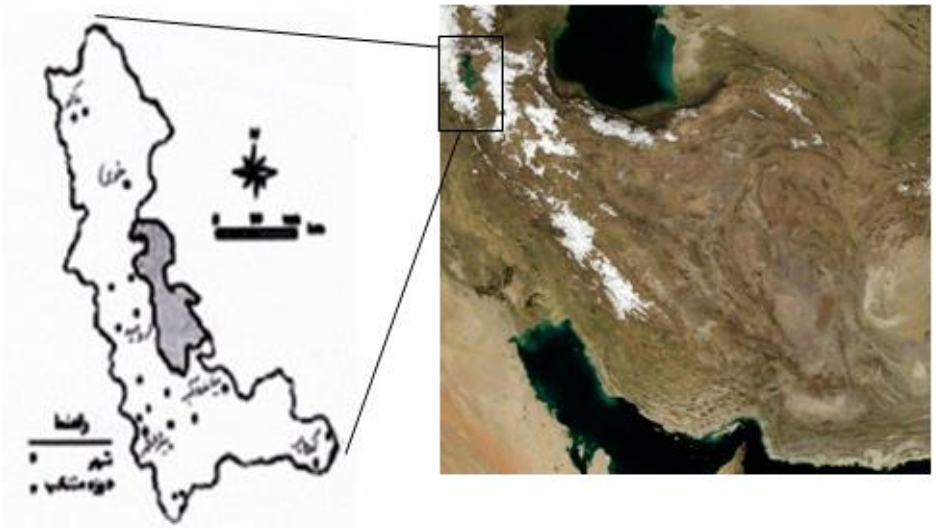
مدل MPSIAC را در پنج حوزه آبخیز بزرگ زولا، نازلو، باراندوز، گدار و سیمینه‌رود اجرا نمودند و نتیجه گرفتند که رسوب برآورد شده در چهار حوضه از پنج حوضه مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری با رسوب کل اندازه‌گیری شده ندارد. Nikjoo و همکاران (۱۹۹۵)، درحوزه آبخیز دریان‌چای با بکارگیری روش MPSIAC و مقایسه داده‌های برآوردی با رسوب کل نشان دادند، رسوب برآورد شده ۹۲ درصد مقدار واقعی رسوب است. Bayat و Mahmoodabadi (۲۰۰۵)، با کاربست مدل MPSIAC، توانستند با دقت ۹۸/۳ درصد، رسوب حوضه طالقان را برآورد نمایند. Maslahatjoo و Behnia (۲۰۰۴)، با کاربست مدل EPM در سه حوزه آبخیز استان گلستان، عنوان کردند که این مدل در آبخیزهای مرطوب با بارندگی کافی از دقت زیادی برخوردار نیست. Karimirad (۲۰۰۴)، مقدار رسوب برآوردی با مدل EPM درحوضه‌های مهران‌رود و آبشور آذربایجان غربی را به‌ترتیب ۱/۶ و ۲/۲ برابر رسوب اندازه‌گیری شده به‌دست آورد. Hashemi و Arabkhedri (۲۰۰۷)، مدل EPM را با استفاده از رسوب‌سنجی مخازن بندهای کوچک ارزیابی و نتیجه گرفتند، علی‌رغم این‌که رسوب برآوردی با رسوب مشاهده‌ای اختلاف معنی‌داری ندارد، ولی از کارایی نسبتا پایینی در برآورد رسوب برخوردار است.

در برخی از پژوهش‌ها عوامل مهم مدل‌ها تعیین شده‌اند. مثلا Parehkar و همکاران (۲۰۱۳)، با بکارگیری مدل MPSIAC در آبخیز ایوانکی و استفاده از نتایج ۱۶ پروژه تحقیقی دیگر، به این نتیجه رسیدند که اثر عوامل کاربری اراضی، فرسایش مناطق بالادست و پوشش زمین بر فرسایش و رسوب بیشتر بوده و دو عامل اقلیم و رواناب تاثیر کمتری را نشان دادند. آن‌ها استفاده از این مدل را در آبخیزهای با رسوب بیش از ۲/۲ تن در هکتار مناسب ندانستند. Mansouri و Bagherzadeh (۲۰۱۲) با مقایسه نقشه‌های حاصل از مدل‌های MPSIAC و PSIAC در حوضه توروق دریافتند که نتایج دو مدل در بیشتر قسمت‌ها مطابقت خوبی با هم دارند و عوامل زمین‌شناسی، خاک، توپوگرافی و پوشش اراضی با رسوب سالانه همبستگی متوسط به بالا را دارند. Safamanesh (۲۰۰۴)، در پژوهشی برای آبخیز زرگه نشان داد، بین داده‌های برآوردی و مشاهداتی همبستگی معنی‌داری وجود دارد ($p<0.05$) و عوامل اقلیم، فرسایش آبراهه‌ای و رواناب از حساسیت بالایی برخوردارند. Soleimani و Bayat (۲۰۰۵)، با بررسی رسوب زیر حوضه سفیدآب در منطقه هراز با کاربرد مدل MPSIAC، مقدار رسوب را چهار تن در هکتار در سال برآورد نمودند و اختلاف ناشی از استفاده از روش سنتی و نوین (امکانات GIS) در مقدار رسوب را ناچیز دانستند. Rangzan و همکاران (۲۰۰۸) نیز با مقایسه رسوب ناشی از مدل MPSIAC با داده‌های اندازه‌گیری شده به این نتیجه رسیدند که داده‌ها به هم نزدیک بوده‌اند و مدل MPSIAC در شناسایی مناطق با پتانسیل فرسایش بالا دقت بالاتری نسبت به مدل EPM دارد.

این پژوهش با هدف ارزیابی مدل‌های MPSIAC و EPM برای برآورد رسوب در آبخیزهای کوچک از طریق مقایسه آن با داده‌های واقعی حاصل از رسوب‌سنجی مخازن در سطح استان آذربایجان غربی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

در این کار پژوهشی، ۱۰ آبخیز کوچک با کاربری‌های مختلف زراعی، مرتعی و جنگلی یا ترکیبی از آن‌ها در سطح استان آذربایجان غربی انتخاب شدند (شکل ۱). در مجموع در آبخیزهای انتخابی ۱۱۳ بند کوچک رسوبگیر متوالی به‌وسیله مدیریت آبخیزداری استان احداث شده بود. اطمینان از عدم خروج رسوب و تله‌اندازی کامل رسوب به‌عنوان شرط اصلی انتخاب حوضه، با بررسی مخزن و سرریز آخرین بند رسوبگیر در هر یک از حوضه‌های انتخابی حاصل شد. سپس با استفاده از حجم‌سنجی رسوب پشت بندها، مقدار رسوب هر بند محاسبه و در نهایت رسوب کل، اندازه‌گیری شد. از تقسیم رسوب کل اندازه‌گیری شده بر عمر سازه‌ها، حجم رسوب سالانه به‌دست آمد. در مرحله بعد با مطالعه سطح حوضه‌ها و کاربست مدل‌های تجربی MPSIAC و EPM مقادیر رسوب آبخیزها برآورد شد. در روش MPSIAC عوامل نه‌گانه مؤثر در فرسایش خاک در عرصه‌های تحقیق (جدول ۱) مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۱ – موقعیت حوضه‌های منتخب در سطح استان آذربایجان غربی

جدول ۱- عوامل نه‌گانه مدل MPSIAC (Jonson و Gebhart، ۱۹۹۲)

ردیف	عامل	رابطه و شرح
۱	زمین‌شناسی سطحی	$Y_1=X_1$، که در آن، X_1 شاخص حساسیت زمین‌شناسی بر اساس نوع سنگ، سختی و هوازدگی آن است.
۲	خاک	$X_2=16.67k$، که در آن، K شاخص فرسایش‌پذیری خاک است.
۳	آب و هوا	$X_3 = 0.2\times P$، که در آن، P مقدار بارندگی شش‌ساعته با دوره برگشت دوساله است.
۴	رواناب	$X_4=0.006\times R+10(QP)$، که در آن، R ارتفاع رواناب سالانه (میلی‌متر) و QP دبی بیشینه ویژه (متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع) است.
۵	پستی و بلندی	$X_5= 0.33\times s$، که در آن، S شیب متوسط بر حسب درصد است.
۶	پوشش زمین	$X_6 = 0.2\times pb$، که در آن، pb درصد اراضی لخت و فاقد پوشش است.
۷	استفاده از اراضی	$X_7 = 20-0.2\times Pc$، که در آن، Pc تاج پوشش بر حسب درصد است.
۸	وضعیت فعلی	$X_8 = 0.25\times S.S.F$، که در آن، $S.S.F$ امتیاز عامل سطحی خاک است.
۹	فرسایش آبراهه‌ای	$X_9 =1.67\times S.S.F(G)$، که در آن، $S.S.F(G)$ امتیاز عامل فرسایش خندقی در عامل سطحی خاک است.

پس از تعیین و محاسبه هر یک از عوامل نه‌گانه روش MPSIAC، برای محاسبه میزان تولید رسوب سالیانه از رابطه زیر استفاده شد.

$$Qs = 0.253e^{0.036R} \quad (۱)$$

که در آن، Qs میزان رسوبدهی (تن در هکتار در سال) و R درجه رسوبدهی یا جمع امتیازات عوامل نه‌گانه می‌باشد.

در مدل MPSIAC برای محاسبه دو عامل آب و هوا و رواناب، به‌صورت غیرمستقیم زمان تمرکز لازم است و مطابق مدل می‌بایست از بارش شش‌ساعته با دوره برگشت دوساله، رگبارها را استخراج نمود، در این تحقیق با توجه به کوچک بودن مساحت آبخیزهای مورد مطالعه و پایین بودن زمان تمرکز آن‌ها، زمان تمرکز آبخیزها ملاک محاسبات قرار گرفت. مدل EPM با استفاده از اندازه‌گیری رسوب پس از ۴۰ سال تحقیقات در کشور یوگسلاوی به‌دست آمد

(Gavrilovig، ۱۹۹۸). این مدل برای اولین‌بار در سال ۱۹۸۸ در کنفرانس بین‌المللی رژیم رودخانه به‌وسیله Gavrilovig ارائه شده است. در روش EPM شدت فرسایش بر اساس معیارهای ضریب فرسایش (Ψ)، ضریب استفاده از زمین (Xa)، ضریب حساسیت خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط (I) تعیین می‌شود. پس از مشخص شدن چهار معیار فوق، ضریب شدت فرسایش (Z) از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$Z = Y \times Xa \times \left[\Psi + I^{1/2}\right] \quad (۲)$$

سپس از رابطه (۳) مقدار فرسایش ویژه محاسبه شد.

$$WSP = T \times H \times z^{(3/2)} \times \pi \quad (۳)$$

که در آن، WSP مقدار فرسایش (متر مکعب در کیلومتر مربع در سال)، H ارتفاع متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)، T ضریب درجه حرارت، Z ضریب شدت فرسایش و π عدد پی است.

برای تبدیل مقدار فرسایش به رسوب از رابطه (۴) استفاده شده است.

$$Ru = 4(p \times d) \times 0.5 / (1+10) \quad (۴)$$

که در آن، Ru ضریب رسوب‌دهی و p طول محیط حوضه (کیلومتر)، d اختلاف ارتفاع (کیلومتر) که تفاضل ارتفاع متوسط از ارتفاع نقطه خروجی است و L طول آبخیز (کیلومتر) است.

در نهایت رسوب کل از رابطه (۵) به‌دست آمده است.

$$Gsp = WSP \times Ru \quad (۵)$$

که در آن، Gsp دبی رسوب ویژه (مترمکعب در کیلومتر مربع درسال)، WSP مقدار فرسایش (متر مکعب در کیلومتر مربع در سال) و Ru نسبت تحویل رسوب است.

برای تبدیل رسوب محاسبه شده از تن به متر مکعب با توجه به خصوصیات ظاهری رسوبات موجود در پشت بندهای رسوبگیر و بر اساس توصیه‌های Linsley و همکاران (۱۹۸۲)، وزن مخصوص ۱/۳ تن بر مترمکعب در تبدیل رسوب لحاظ شد. در مرحله بعد، نرمال بودن داده‌ها در محیط SPSS با آزمون کلموگراف-اسمیرنوف (One sample Kolmogorov-Smirnov test)، بررسی شد. اگر α=۰/۰۵ و مقدار p بزرگ‌تر از ۰/۰۵ باشد، می‌توان توزیع داده‌ها را نرمال فرض کرد. در جدول ۲، نتیجه آزمون نرمال بودن داده‌های مشاهداتی و مدل‌ها ارائه شده است.

جدول ۲- نتیجه آزمون نرمال بودن داده‌ها

	شاپیرو- ویلک			کلموگراف- اسمیرنوف		
	معنی‌داری	درجه آزادی	بیشترین اختلاف	معنی‌داری	درجه آزادی	بیشترین اختلاف
متغییر	۰/۰۰۰	۱۰	۰/۵۹۲	۰/۰۰۰	۱۰	۰/۳۷۹

مطابق نتایج به‌دست آمده، داده‌ها توزیع نرمال ندارند، لذا برای مقایسه میانگین‌های مقادیر برآوردی با مشاهده‌ای از آزمون ناپارامتری من-ویتنی استفاده شد. برای ارزیابی میزان خطای متوسط و دقت رسوب برآوردی هر یک از مدل‌ها، به‌ترتیب از دو روش آماری MBE و MAE استفاده به عمل آمد (روابط ۶ و ۷). صفر شدن مقادیر MAE و MBE نشان‌دهنده این واقعیت است که مدل استفاده شده از دقت زیادی برای پیش‌بینی مقادیر برخوردار است و هر چه از صفر فاصله بگیرد، کمی دقت و زیاد بودن میزان انحراف را نشان می‌دهد (Fekete و همکاران، ۲۰۰۴).

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Rs - Ro)}{n} \quad (۶)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|(Rs - Ro)\right|}{n} \quad (۷)$$

که در آن، Rs مقدار برآورد شده، Ro مقدار اندازه‌گیری شده، n تعداد داده‌ها است.

روش دیگر برای ارزیابی دقت، به‌وسیله Nash و Sutcliffe (۱۹۷۰)، مورد استفاده واقع شده است.

$$ME = 1 - \frac{\sum(oi - pi)^2}{\sum(oi - p_{mean})^2} \quad (۸)$$

که در آن، ME دقت مدل، n تعداد مشاهدات، oi مقدار مشاهده شده، p_{mean} متوسط مقدار مشاهده شده، pi مقدار برآوردی است. هر چه ME (شاخص سنجش دقت) به عدد یک نزدیک‌تر باشد، دقت مدل

بالاتر است. اگر مقدار ME محاسبه شده منفی باشد، مدل ناکارآمد است.

نتایج و بحث

در جدول ۳، مشخصات آبخیزهای مورد مطالعه از قبیل وسعت، شیب و طول آبراهه اصلی، شیب حوضه، تراکم زهکشی، کمینه و بیشینه ارتفاع، بارش متوسط و عمر سازه‌ها آورده شده است. کمینه وسعت آبخیزها ۷۹ هکتار و بیشینه وسعت آن‌ها ۷۸۰ هکتار است. عرصه‌های تحقیق دارای تنوع کاربری اراضی بوده و سه نوع کاربری مرتع، زراعت و جنگل یا ترکیبی از آن‌ها را شامل است. محدوده ارتفاعی حوضه‌ها از ۱۳۵۰ تا ۲۱۰۰ متر و بارش متوسط سالانه در طول دوره آماری از ۳۵۰ تا ۶۴۰ میلی‌متر متغیر بوده و مناطقی با ویژگی‌های متفاوت اقلیمی را در بر می‌گیرد.

کمینه شیب آبخیزهای انتخابی ۱۰/۸ درصد و بیشینه ۳۲/۶ درصد تعیین شد. از زمان احداث بندهای رسوبگیر کمینه شش و بیشینه ۱۱ سال سپری شده است. از ویژگی‌های بارز این تحقیق، تنوع در انتخاب عرصه‌های تحقیق از لحاظ شیب و توپوگرافی، مساحت، کاربری اراضی، بارش و سایر عوامل دخیل در تولید رسوب است و شعاع کاربرد نتایج طرح را در سطح منطقه‌ای گسترش می‌دهد.

جدول ۳- برخی مشخصات آبخیزهای انتخابی

ردیف	نام حوضه	وسعت (ha)	شیب (%)	طول آبراهه اصلی (m)	شیب آبراهه اصلی (%)	تراکم زهکشی ($km.km^{-2}$)	بیشینه ارتفاع (m)	کمینه ارتفاع (m)	بارش متوسط ($mm.y^{-1}$)	عمر سد
۱	قاضی‌آباد	۶۴۴/۰	۱۵/۲	۴۰۰۸	۱۱/۲	۱/۱۱	۲۰۶۰	۱۳۵۰	۳۷۶	۹
۲	امام کندی	۱۷۰/۰	۳۲/۶	۲۲۸۴	۲۰/۹	۲/۰۳	۲۲۳۰	۱۴۱۰	۳۴۷	۷
۳	ربط	۶۹۴/۰	۲۳/۱	۵۶۹۰	۷/۰۲	۱/۲۴	۱۶۸۹	۱۰۸۰	۶۳۲	۶
۴	کولیج	۷۵۸/۸	۱۴/۷	۳۰۲۵	۶/۳	۱/۳	۱۹۷۶	۱۵۷۰	۳۵۰	۱۱
۵	اشترمل	۳۵۳/۰	۱۳/۰	۴۹۵۱	۱۰/۹	۱/۸۲	۱۷۱۰	۱۰۲۰	۶۴۰	۸
۶	سیلوه	۸۰/۸	۱۱/۵	۲۲۵۰	۱۱/۱	۲/۷۸	۱۹۰۰	۱۶۰۰	۳۴۴	۸
۷	خری	۱۱۴/۷	۱۳/۵	۱۹۲۳	۱۰/۹	۱/۸۹	۱۹۰۰	۱۵۷۰	۴۱۸	۱۱
۸	جنوب	۱۴۳/۵	۱۰/۸	۲۴۱۵	۴/۹۶	۱/۶۸	۲۰۷۶	۱۸۴۰	۳۷۰	۸
۹	شمال قره	۱۲۴/۲	۲۵/۰	۱۰۲۴	۱۳/۷	۲/۰۶	۲۳۲۰	۱۸۸۰	۳۵۵	۱۱
۱۰	گوله‌گوله	۱۲۲/۳	۱۳/۰	۳۰۶۹	۹/۴۵	۲/۵۱	۲۵۶۸	۲۱۰۰	۳۵۲	۷

در جدول ۴، مقادیر رسوب مخازن سدها اندازه‌گیری شده به روش حجم‌سنجی مشاهده می‌شود. کمینه رسوب اندازه‌گیری شده ۰/۲۷ مترمکعب در هکتار در سال مربوط به آبخیز خری در حوضه شهرچای و بیشینه رسوب اندازه‌گیری شده ۱۲/۰۴ مترمکعب در هکتار در سال به آبخیز جنوب ریحانلو در حوزه آبخیز بارون تعلق دارد. بیشترین فراوانی‌های رسوب اندازه‌گیری شده در محدوده ۰/۳ تا دو متر مکعب در هکتار در سال است.

در جدول ۵، امتیاز عوامل نه‌گانه مدل MPSIAC مطابق روابط مندرج در جدول ۱ تعیین و سپس مقدار رسوب آبخیزها برآورد شد. مطابق محاسبات انجام شده، کمینه رسوب ویژه برآورد شده از مدل ۱/۳۷ مترمکعب در هکتار در سال برای آبخیز اشترمل و بیشینه رسوب ویژه برآورد شده ۵/۲ مترمکعب در هکتار در سال مربوط به آبخیز جنوب ریحانلو است. جدول ۶ نیز عوامل مدل EPM و مقدار رسوبدهی برآورد شده در آبخیزهای ده‌گانه را نشان می‌دهد. مطابق برآوردهای انجام شده، کمینه رسوب ویژه با این مدل، ۰/۸۳ مترمکعب در هکتار در سال به آبخیز سیلوه و بیشینه رسوب ویژه برآورد شده هفت مترمکعب در هکتار در سال مربوط به آبخیز ربط

است.

مقایسه مقادیر رسوب مشاهداتی و برآوردی با دو مدل نشان می‌دهد که دامنه تغییرات مقادیر مشاهده‌ای بیش از برآوردی EPM و دامنه تغییرات مقادیر برآوردی مدل MPSIAC کمتر از همه است.

بر اساس ماتریس همبستگی، داده‌های رسوب اندازه‌گیری شده به‌ترتیب با عوامل فرسایش خندقی (r=۰/۹۴)، عامل سطحی خاک (r=۰/۹۳) و زمین‌شناسی (r=۰/۸۳) بیشترین همبستگی را نشان می‌دهد.

نتایج مقایسه میانگین داده‌های مدل‌های تجربی MPSIAC و EPM با داده‌های اندازه‌گیری شده از طریق رسوب‌سنجی مخازن با آزمون آماری من-ویتنی در جدول ۷ آمده است.

جدول ۴- حجم رسوب، رسوب سالانه و رسوب ویژه مشاهداتی

ردیف	نام حوضه	حجم کل رسوب (m^3)	حجم رسوب سالانه ($m^3.y^{-1}$)	رسوبدهی ویژه سالانه ($m^3.ha^{-1}.y^{-1}$)
۱	قاضی‌آباد	۳۰۵۱	۳۳۹/۰	۰/۶۸
۲	امام کندی	۱۳۱۶	۱۸۸/۰	۱/۰۳
۳	ربط	۶۷۲۷	۱۱۲۱/۲	۱/۶۲
۴	کولیج	۴۱۸۳	۳۸۰/۳	۰/۴۹
۵	اشترمل	۴۵۹۷	۵۷۴/۶	۱/۶۷
۶	سیلوه	۶۲۰	۷۷/۵	۰/۹۸
۷	خری	۳۵۵	۳۲/۳	۰/۲۷
۸	جنوب ریحانلو	۱۳۱۰۰	۱۶۳۷/۵	۱۲/۰۴
۹	شمال قره‌آغاج	۵۰۱۹	۴۵۶/۰	۳/۶۲
۱۰	گوله‌گوله	۱۴۷۰	۲۱۰/۰	۱/۷۱

جدول ۵- امتیاز عوامل مدل MPSIAC و برآورد رسوب‌دهی آبخیزها مورد مطالعه

عوامل	زمین‌شناسی سطحی	خاک	آب و هوا	رواناب	شیب	پوشش گیاهی	استفاده از اراضی	وضعیت فعلی فرسایش	فرسایش آبراهه‌ای	درجه رسوب‌دهی	رسوب ویژه (ton/ha/y)	رسوب ویژه (m^3/ha/y)
قاضی‌آباد	۴/۵۰	۵/۳۳	۲/۶۰	۸/۹۸	۱۳/۰۶	۱۳/۰۰	۵/۰۰	۷/۷۵	۱/۶۸	۶۱/۹۰	۲/۳۵	۱/۸۰
امام کندی	۴/۸۰	۵/۰۰	۴/۲۸	۹/۶۸	۱۶/۷۰	۱۱/۸۰	۹/۳۴	۹/۰۰	۱/۶۷	۷۳/۴۰	۳/۴۱	۲/۶۲
ربط	۵/۵۰	۵/۱۷	۲/۲۰	۶/۸۶	۵/۳۸	۸/۲۰	۶/۶۰	۱۱/۰۰	۶/۶۸	۵۷/۵۸	۲/۰۱	۱/۵۵
کولیج	۴/۰۰	۶/۸۳	۳/۰۰	۸/۲۹	۸/۹۷	۱۱/۰۰	۴/۴۰	۷/۷۵	۳/۳۴	۵۷/۵۹	۲/۰۱	۱/۵۴
اشترمل	۴/۱۰	۴/۶۷	۲/۴۰	۹/۹۵	۷/۸۲	۸/۰۰	۵/۴۰	۱۰/۲۵	۱/۶۷	۵۴/۲۵	۱/۷۸	۱/۳۷
سیلوه	۴/۰۰	۶/۸۳	۳/۲۰	۹/۴۴	۳/۷۹	۸/۰۰	۶/۰۰	۹/۰۰	۶/۶۸	۵۷/۷۰	۱/۹۶	۱/۵۱
خری	۴/۵۰	۵/۶۷	۴/۲۸	۹/۴۰	۵/۶۱	۱۳/۰۰	۵/۰۰	۸/۲۵	۱/۶۷	۵۸/۹۴	۱/۹۹	۱/۵۴
جنوب ریحانلو	۷/۴۰	۶/۶۷	۳/۶۰	۹/۶۷	۲/۶۱	۱۵/۰۰	۹/۰۰	۱۷/۱۵	۲۰/۰۴	۹۲/۶۲	۶/۷۵	۵/۲
شمال قره‌آغاج	۶/۶۰	۵/۸۳	۶/۰۰	۹/۷۰	۸/۵۴	۱۶/۰۰	۱۱/۰۰	۱۳/۲۵	۶/۶۸	۸۴/۷۷	۵/۱۳	۳/۹۵
گوله‌گوله	۵/۵۰	۷/۱۷	۲/۴۰	۷/۷۲	۴/۸۵	۱۲/۰۰	۶/۰۰	۱۱/۰۰	۵/۰۱	۶۱/۶۵	۲/۱۷	۱/۷۹

جدول ۶- امتیاز عوامل مدل EPM و برآورد رسوب‌دهی آبخیزها مورد مطالعه

زیرحوضه‌ها	قاضی‌آباد	امام کندی	ربط	کولیج	اشترمل	سیلوه	خری	جنوب ریحانلو	شمال قره‌آغاج	گوله‌گوله
ضریب فرسایش (φ)	۰/۶۵	۰/۵۵	۰/۷۰	۰/۶۰	۰/۳۰	۰/۶۰	۰/۳۰	۰/۸۰	۰/۷۰	۰/۷۰
ضریب استفاده از زمین (Xa)	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۶۰	۰/۹۰	۰/۶۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۹۰	۰/۷۵	۰/۵۰
ضریب حساسیت خاک (Y)	۰/۸۰	۰/۸۰	۱/۰	۰/۹۰	۰/۶۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۹۰	۰/۷۵	۰/۵۰
شیب (I)	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۲۶	۰/۴۷
Z	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۷۱	۰/۹۱	۰/۳۸	/۴۲	۰/۳۹	۱/۲۲	۱/۰۹	۰/۸۳
متوسط بارش سالانه (mm)	۳۷۶/۴	۳۴۶/۷	۶۳۲	۳۵۰	۶۴۰	۳۴۴	۴۱۸	۳۷۰	۳۵۵	۳۵۲
ضریب درجه حرارت (T)	۱/۰۹	۱/۰۰	۱/۱۶	۱/۰۵	۱/۱۶	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۸۹	۰/۹۵
فرسایش ($m^3.km^{-2}.y^{-1}$)	۴۷۵/۶۹	۳۹۰/۱۷	۱۳۷۲/۸۸	۹۹۹/۳۰	۵۴۵/۱۲	۲۸۹/۲۳	۳۰۵/۳۳	۱۵۳۰/۸۷	۱۱۳۲/۹۰	۷۹۴/۸۰
محیط (Km)	۹/۵۱	۶/۶۷	۱۳/۱۰	۱۰/۹۶	۱۱/۵۶	۵/۵۷	۵/۱۰	۵/۴۷	۴/۷۱	۷/۵۰
L (Km)	۳/۶۰	۲/۶۴	۴/۷۲	۳/۳۵	۵/۰۵	۲/۵۷	۲/۰۴	۲/۲۵	۱/۷۴	۴/۴۸
D (Km)	۰/۳۵۲	۰/۴۸۶	۰/۲۶۹	۰/۱۴	۰/۳۱۳	۰/۱۴۵	۰/۱۴۵	۰/۰۹۴	۰/۲۷۶	۰/۲۰۰
ضریب رسوبدهی (Ru)	۰/۵۴	۰/۵۷	۰/۵۱	۰/۳۷	۰/۵۱	۰/۲۹	۰/۲۹	/۲۳	۰/۳۹	۰/۳۶
رسوب ویژه ($m^3.ha^{-1}.y^{-1}$)	۲/۵۶	۲/۲۲	۷/۰۰	۳/۷۱	۲/۷۵	۰/۸۳	۰/۸۷	۳/۵۸	۴/۴۰	۲/۸۹

جدول ۷- نتایج آزمون من-ویتنی بین داده‌های مشاهداتی و رسوب برآوردی از مدل‌های MPSIAC و EPM

عامل	Asymp.seg (2-taild)
مشاهده‌ای با MPSIAC	۰/۱۹۹
مشاهده‌ای با EPM	۰/۰۸۲

بر اساس نتایج جدول ۷، در سطح خطای ۰/۰۵ چون Asymp.seg محاسبه شده بیش از ۰/۰۵ است، پس اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مشاهداتی با مدل MPSIAC وجود ندارد، اما در مدل EPM مقدار محاسبه شده Asymp.seg بسیار نزدیک به سطح خطای مورد نظر (۰/۰۵) است.

نتیجه آزمون MAE و MBE بین داده‌های رسوب مشاهده‌ای و مدل MPSIAC به‌ترتیب برابر ۱/۳۴ و ۰/۱۲- است. هر چه رقم محاسبه شده در ارزیابی به عدد یک نزدیک‌تر باشد، حاکی از دقت در برآورد است، وقتی عدد منفی است، نشان‌دهنده این است که داده‌های برآوردی رقم پایین‌تری را نسبت به داده‌های مشاهده‌ای برآورد نموده‌اند.

داده‌های برآورد شده با مدل MPSIAC، توزیع نرمال دارند و میانگین رسوب ۱۰ آبخیز مورد مطالعه ۲/۰۳ مترمکعب در هکتار در سال است. میانگین داده‌های رسوب مشاهده‌اتی به روش رسوب‌سنجی مخازن ۲/۴۱ مترمکعب در هکتار در سال است که اختلاف آنچنانی بین آن دو وجود ندارد. میانه داده‌های مشاهده‌ای و مدل MPSIAC در این تحقیق به‌ترتیب ۱/۶۶ و ۱/۳۳ است و بین میانه و میانگین داده‌ها نیز تفاوت جزئی است. برآوردهای رسوب مدل MPSIAC در آبخیزهای کوچک دقت نسبی و قابل قبولی دارد. بر اساس آماره MBE، تفاوت داده‌های برآوردی در حد ۰/۱۲- است که حاکی از برآورد کمتر مدل نسبت به مقادیر واقعی است.

در مدل EPM، میانگین رسوب برآورد شده از مدل ۳/۰۸ مترمکعب در هکتار در سال است. نتیجه آزمون MAE و MBE برای مدل EPM به‌ترتیب برابر ۳/۶۷ و ۳/۵۷ است، انحراف داده‌های برآورد شده مدل در مقایسه با داده‌های میانگین مشاهده‌ای، بالاست و داده‌های مدل EPM دقت قابل قبولی در برآورد داده‌های رسوب در حوضه‌های مورد مطالعه ندارد. میانه و میانگین داده‌های EPM به‌ترتیب ۳/۰۷ و ۲/۸۷ بوده که تفاوت زیادی با داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد. از مقایسه زوجی داده‌ها نیز می‌توان به این مهم پی برد که برآوردهای مدل EPM تفاوت چشمگیری با مقدار مشاهده‌ای دارد.

مطابق نتایج به‌دست آمده از کاربست روش Nash و Sutcliffe (۱۹۷۰)، برای برآورد میزان خطای مدل، برای مدل‌های MPSIAC و EPM به‌ترتیب اعداد ۰/۵۱ و ۳/۱۳- به‌دست آمد. در این شاخص هر چه نتایج محاسبه شده به عدد یک نزدیک‌تر باشد، دقت مدل بالاتر است. اگر مقدار ME محاسبه شده منفی باشد، مدل ناکارآمد است. پس بر اساس ME محاسبه شده، مدل MPSIAC از دقت قابل قبول برخوردار بوده ولی مدل EPM فاقد کارایی شناخته شد.

بر اساس تحقیقات انجام یافته در کشور به‌وسیله Sokouti و همکاران (۲۰۰۵)، Bayat و Mahmoodabadi (۲۰۰۵)، Tahmasebipoor و Najafi Disfani (۱۹۹۴)، Nikjoo و همکاران (۱۹۹۵)، کارایی مدل MPSIAC از طریق مقایسه آن با ارقام مشاهده‌ای داده‌های متناظر رسوب تایید شده است. در این تحقیق کارایی مدل MPSIAC از طریق مقایسه آن با داده‌های اندازه‌گیری شده از رسوب‌سنجی مخازن تایید شد.

دقت مدل EPM به‌وسیله Hashemi و Arabkhedri (۲۰۰۷)، از طریق رسوب‌سنجی مخازن تایید نشد. در کار تحقیقی Arabkhedri و همکاران (۲۰۰۹)، میانه و میانگین رسوب ویژه در حوضه آبگیر دریاچه ارومیه با استفاده از آمار مشاهداتی ۳۰ ایستگاه، به‌ترتیب ۱۹۰ و ۲۶۳ تن در هکتار در سال برآورد نمود، این رقم با رقم برآورد شده در مدل MPSIAC همخوانی کامل دارد. مرور منابع نشان داد که در بررسی‌های مختلف با توجه به تنوع در شرایط اقلیمی، مدیریتی و زمین‌شناسی در حوزه‌های آبخیز، عوامل حساس به فرسایش و رسوب از هم متفاوتند. در بعضی از بررسی‌ها عوامل اقلیم، فرسایش نواحی بالادست و رواناب نسبت به فرسایش حساس‌اند (Safamanesh، ۲۰۰۴). بر اساس تجربیات به‌دست آمده در این پژوهش و مشاهدات صحرایی در گستره استان آذربایجان غربی، عامل زمین‌شناسی سطحی با بیشترین اثرگذاری و سایر عوامل مانند کاربری اراضی، اقلیم و رواناب در مراحل بعدی قرار دارند.

پیشنهادات

در این تحقیق علاوه بر تایید کارایی مدل MPSIAC با استفاده از داده‌های رسوب‌سنجی بندهای رسوب‌گیر، مواردی به شرح زیر پیشنهاد می‌شود.

الف: برای تعیین عامل آب و هوا و رواناب در آبخیزهای خیلی کوچک با زمان تمرکز کمتر از شش ساعت، بهتر است، به‌جای بارندگی شش‌ساعته با دوره برگشت دو سال از رگبارهای معادل زمان تمرکز استفاده شود.

ب: با جمع‌بندی نتایج تحقیقاتی موجود و تحقیقاتی که در آینده در سر شاخه‌ها انجام می‌گیرد، می‌توان برای استفاده بهتر و آسان‌تر عوامل مختلف مدل MPSIAC، از جمله زمین‌شناسی، عامل خاک، عامل رواناب و عامل پوشش گیاهی نقشه رقومی با پوشش سراسری استخراج شود.

ج: مدل MPSIAC همانند سایر مدل‌های تجربی، عاری از اشکال نبوده و برای اخذ نتایج دقیق‌تر، نیاز به کار پژوهشی بیشتری دارد. مدیریت آبخیزداری استان‌ها در سطح وسیعی بند و سدهای رسوبگیر را احداث نموده است، با پایش مداوم این مخازن، امکان ارائه مدل‌های برآورد رسوب و یا واسنجی مدل‌های تجربی با دقت بالا فراهم می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Arabkhedri, M., A. Valikhojini, Sh. Hakimkhani, A.H. Charkhabi and A. Telvari. 2009. Sediment estimation and sedimentation map of Iran. The final report of the research project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 135 pages (in Persian).
2. Bayat, R. and M. Mahmoodabadi. 2005. To determine the effect of MPSIAC and EPM parameters on the estimation of deposition. National Conference of Erosion and Sedimentation, 253-250 (in Persian).
3. Fekete, B.M., C.J. Vörösmarty, J.O. Roads and C.J. Willmott. 2004. Uncertainties in precipitation and their impacts on runoff estimates. Journal of Climate, 17: 294–304.
4. Gavrilovic, Z. 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, 1998: 411-422.
5. Hashemi, A. and M. Arabkhedri. 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).
6. Jonson, C.W. and K.A. Gebhart. 1992. Predicting sediment yields from sagebrush rangelands. Agricultural reviews and manuals. ARM-W- United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Western Region, 12 pages.
7. Karimirad, S. 2004. Evaluation of EPM models in estimating erosion and sediment of Mehran rood and Abshoor basins of Eastern Azerbaijan. National Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources, University of Kerman (in Persian).
8. Linsley, R.K., M. Kohler and J. Paulhus. 1982. Hydrology for engineers (McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering). McGraw Hill, 512 pages.
9. Mansouri, M. and A. Bagherzadeh. 2012. Evaluation of sediment yield in PSIAC and MPSIAC models by using GIS at Toroq Watershed, Northeast of Iran. Frontiers of Earth Science, 6(1): 83-94.
10. Maslahatjoo, A. and A. Behnia. 2003. Evaluation of EPM model for estimation of erosion and sedimentation in the watershed, Golestan Province. National Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources, University of Kerman (in Persian).
11. Nash, J.E. and J.V. Sutcliff. 1970. River flow forecasting through conceptual model, Part I: discussion of principles. Journal of Hydrology, 1(10): 282-290.
12. Nikjoo, M., A. Ahmadi and A. javanshir. 1995. Evaluation of PSIAC models in estimating erosion and sediment of Daryanchai basin. MSc Thesis, Tarbiat Modares University, 229 pages (in Persian).
13. Parehkar, A., N. Behnam and M. Shokrabadi. 2013. An investigation survey on MPSIAC model to predict sediment yield in Iran. Research Journal of Environmental and Earth Sciences, 5(6): 342-349.
14. Rangzan, K., A. Zarasvandi and A. Heydari. 2008. Comparison of EPM and MPSIAC models in GIS and RS for erosion and sediment yield assessment of the Pegah-sorkh basin, Gotvand area, Khuzestan province, Iran. Geographical Research Quarterly, 40(64): 123-136.
15. Safamanesh, R. 2004. Validation of the MPSIAC model for sediment yield prediction in Zargeh watershed, Iran. MSc Thesis, University Putra Malaysia, 150 pages.
16. Sokouti, R., M. Arabkhedri, J. Ghoddosi and E. Brooshkeh. 2005. Calibration of MPSIAC model for estimating sediments. Final research report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 51 pages (in Persian).
17. Soleimani, K. and F. Bayat. 2005. Sing remote sensing data in estimating erosion and sediment supply by MPSIAC model in Sefid-ab sub-basin of Haraz region. Geographical Research, 20(76): 107-122.
18. Tahmasebipoor, N. and M. Najafi Disfani. 1994. Application and evaluation MPSIAC model for mapping erosion and sediment at Lork basin with the use of satellite images and geographic information systems. MSc Thesis, Tarbiat Modares University, 185 pages (in Persian).

Evaluation of MPSIAC and EPM empirical models in Western Azerbaijan Province based on sediment surveying behind small dams

Ebrahim Borooshke[*1] and Mahmood Arabkhedri[2]
[1] Scientific Board, Agricultural and Natural Resources Research Center, Western Azerbaijan, Iran and
[2] Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 30 December 2013 Accepted: 02 June 2014

Abstract

Soil erosion and sediment transport is an important issue in many Iranian watersheds. Watershed planning without accurate estimates of erosion and sediment yield with appropriate models is not possible. The objective of this study was evaluating of two common empirical models of MPSIAC and EPM. First, 10 small watersheds were selected in Western Azerbaijan Province, with several consecutive check dams on their streams implemented under watershed management projects. No flow over the last downstream check dam was considered as the main criterion in each selected basin. In addition to the direct measurement of sediment deposited behind the dams, sediment yield of watersheds were estimated using the models. Comparison of means using (Mann-Whithney) did not show any significant difference at 0.05 percent level between measured and estimated data. At final step, both models were tested by MAE and MBE statistics. The MPSIAC showed better performance than EPM with MAE=1.34 and MBE =-0.12.

Key words: Dam, Erosion and sediment, Mann-Whithney, Sediment, Watershed

[*] Corresponding author: e.brooshkeh@gmail.com