ارزیابی مدل EPM از طریق رسوب‌سنجی مخازن سدهای کوچک

سید علی اصغر هاشمی[۱*] و محمود عرب خدری[۲]

(تاریخ دریافت: ۸۵/۵/۱۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۱۱/۲۴)

چکیده

به منظور ارزیابی کمی رسوب دهی حوزه‌های آبخیز فاقد آمار، استفاده از مدل‌های تجربی اجتناب ناپذیر است. مدل EPM یکی از مدل‌های مورد استفاده در ایران می باشد که بعضاً مورد ارزیابی قرار گرفته است. ولیکن اغلب ارزیابی‌ها، با استفاده از آمار رسوب رودخانه‌ها انجام پذیرفته و از اندازه‌گیری مستقیم رسوبات در مخازن سدها و بندها کمتر استفاده شده است، در صورتی که روش اندازه‌گیری رسوبات مخازن سدها و بندها از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. در این تحقیق تعداد ۹ حوزه آبخیز کوچک در استان سمنان انتخاب شده‌اند. درخروجی این حوزه‌ها، سدهای خاکی کوتاه طی سال‌های گذشته احداث گردیده‌اند که عمر آنها به ده سال می‌رسد. این سدها تا زمان اندازه‌گیری رسوب سرریز ننموده‌اند و به همین دلیل تمامی رسوبات تولیدی حوزه آبخیز بالادست آنها در مخازن سدها به تله افتاده‌اند. مقدار رسوبات ته نشین شده در مخازن این سدها از طریق عملیات نقشه برداری محاسبه شد. وزن مخصوص ظاهری رسوبات در هر مخزن اندازه‌گیری شد و مقادیر حجمی رسوبات به مقادیر وزنی تبدیل گردید. با استفاده از مدل EPM مقدار رسوب تولیدی حوزه‌ها به صورت حجمی و وزنی برآورد گردید. مقادیر رسوب تولیدی اندازه‌گیری شده در مخازن سدها با مقادیر برآورد شده با استفاده از آزمون t استیودنت مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اختلاف بین میانگین‌ها برای مقادیر حجمی و وزنی رسوب دهی برآورد شده با استفاده از مدل EPM با مقادیر اندازه‌گیری شده، در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد ولی تعیین کارایی و میانگین نسبی مجذور مربعات خطای مدل نشان داد که مدل EPM از کارایی نسبتاً پایینی در برآورد رسوب دهی حوزه‌های آبخیز مناطق مورد مطالعه برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: حوزه‌های آبخیز، رسوب دهی، استان سمنان، رسوب‌گذاری، مدل EPM

مقدمه

به منظور ارزیابی کمّی رسوب دهی حوزه‌های آبخیز فاقد آمار و اطلاعات، استفاده از مدل‌های تجربی اجتناب ناپذیر است. ولیکن بسیاری از این مدل‌ها در مناطق دیگر با شرایط متفاوت از منطقه مورد نظر، توسعه یافته‌اند که به کارگیری آنها را در سایر مناطق با محدودیت روبه‌رو می نماید. لذا قبل از استفاده فراگیر از این مدل‌ها، ارزیابی آنها در حوزه‌های واجد آمار می‌تواند به کارشناسان بخش‌های اجرایی در استفاده از این مدل‌ها کمک فراوانی بنماید.

از میان مدل‌های تجربی برآورد فرسایش و تولید رسوب، مدل PSIAC بیشتر از سایر مدل‌ها در ایران مورد استفاده قرار گرفته است (۳). پس از مدل مذکور، از مدل EPM

۱. عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان
۲. عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک وآبخیزداری، تهران
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hashemi_aa@yahoo.com

(Erosion Potential Model) نیز استفاده زیادی توسط سازمان‌های مختلف صورت گرفته است. مدل EPM در سال ۱۹۸۸ در کشور یوگسلاوی سابق ارائه شده است (۱۴) و در ایران نیز پس از مدل PSIAC، مورد استفاده قرار گرفته است (۶). این مدل طی تحقیقات مختلفی ارزیابی شده است ولی اغلب ارزیابی‌ها، با استفاده از آمار رسوب رودخانه‌ها انجام پذیرفته و از اندازه‌گیری مستقیم رسوبات در مخازن سدها و بندها، کمتر استفاده شده است. درصورتی که مبنای ارزیابی مدل‌های تجربی برآورد رسوب دهی حوزه‌های آبخیز، روش‌های مختلفی دارد که یکی از این روش‌ها، رسوب سنجی مخازن سدها و بندهای کوچک است (۳ و ۱۰) که توسط محققین مختلف توصیه شده است (۱۶). اندازه‌گیری رسوبات مخازن، روشی مناسب برای محاسبه تولید رسوب حوزه‌های آبخیز عنوان شده است (۳). چنانچه ضریب تله اندازی مخازن، حجم و وزن مخصوص رسوبات انباشته شده نیز به طور صحیح برآورد شوند، مقادیر تولید رسوب به دست آمده نسبت به اندازه‌گیری‌های رودخانه‌ای دارای خطای کمتری خواهند بود (۲۰).

ارزیابی مدل‌های تجربی با استفاده از آمار رسوب ایستگاه‌های رسوب سنجی دارای دقت بالایی نمی‌باشد چرا که از یک طرف آمار رسوب ایستگاه‌های رسوب سنجی غالباً مربوط به رسوب معلق بوده و کیفیت نامناسب این آمار، بویژه در دبی‌های سیلابی، نامناسب است (۱۹). از طرف دیگر تعداد ایستگاه‌های رسوب سنجی موجود در سطح کشور نیز محدود است. لذا در دقت و صحّت نمونه برداری‌ها، معرف بودن نمونه‌ها برای مواقع سیلابی و روش‌های برآورد بار معلق از این نمونه‌ها نیز در اغلب موارد شک و تردید وجود دارد (۳). در یک تحقیق در سد مهاباد، مقدار رسوب برآورد شده با استفاده از آمار رسوب تنها ۳۰ درصد از مقدار واقعی اندازه‌گیری شده در مخزن سد را نشان می‌دهد (۱). در سد لتیان نیز با بررسی آمار رسوب در ۵ ایستگاه موجود در منطقه و رسوبات مخزن سد که به روش عمق سنجی برآورد گردیده است اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین رسوبات مخزن سد با کل رسوبات خروجی از ایستگاه‌ها وجود دارد که صحت آمار ایستگاه‌ها را مورد تردید قرار می‌دهد (۵).

تعداد ارزیابی‌های انجام شده از مدل EPM از طریق رسوب‌سنجی مخازن سدها و بندها بسیار محدود می‌باشد. در تحقیقی که درحوزه آبخیز بالا دست سد لتیان در استان تهران به انجام رسیده، مشخص شده است که متوسط رسوب دهی برآوردی از حوزه مورد مطالعه به وسیله مدل EPM بامیانگین رسوب‌گذاری در دریاچه سد (با ضریب رسوب‌گذاری ۸۵ درصد) اختلاف معنی‌داری ندارد (۵).

تحقیقات زیادی براساس آمار ایستگاه‌های رسوب سنجی صورت گرفته است که طی آن بعضی از مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب، از جمله مدل EPM، ارزیابی شده‌اند. در این قسمت بدون توجه به وضعیت آمار رسوب ایستگاه‌های رسوب سنجی مورد استفاده، به تحقیقات انجام شده در خصوص ارزیابی مدل مذکور اشاره می‌شود:

ارزیابی مدل EPM از طریق آمار رسوب در حوزه سد قشلاق سنندج نشان داده است که این مدل کارایی مناسبی در مطالعات فرسایشی حوزه‌های آبخیز دارد (۴). ارزیابی دیگر از طریق ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه آبخیز الموت رود، نشان دهنده دقت قابل قبول این مدل می‌باشد ولی توصیه شده است این روش در مطالعات اجمالی فرسایش خاک و در فازهای اولیه مطالعات (توجیهی) به کار گرفته شود و از آن برای مطالعات تفضیلی استفاده نگردد (۶). نتایج ارزیابی دیگر در حوزه آبخیز بردکل که یکی از زیر حوزه‌های کوچک حوزه آبخیز سد مهارلو است نشان دهنده اختلاف حدود ۱۰ درصدی بین میزان رسوب دهی برآوردی با مشاهده‌ای است (۱۱). این اختلاف در حوزه آبخیز طالقان رود حدود ۲۷ درصد برآورد شده است (۱۲). در حوزه آبخیز سد سفیدرود نیز مدل EPM ، مدلی مناسب جهت برآورد رسوب تولید شده، معرفی گردیده است (۷). ارزیابی مدل EPM در برآورد رسوب دهی حوزه آبخیز رامهٔ گرمسار در استان سمنان نشان داده است که در مقایسه با برآوردهای منتج از آمار رسوب ایستگاه رسوب

سنجی، مدل EPM برآورد نسبتاً دقیق‌تری نسبت به مدل MPSIAC نشان داده است (۱۳). تحقیق در ۳ حوزه یل چشمه، گرمابدشت و قوری چای رامیان در استان گلستان نشان داده است که تولید رسوب حاصل از برآوردهای مدل EPM فقط درحوزه آبخیز یل چشمه شباهت زیادی با مقادیرمشاهده‌ای دارد (۲).

این تحقیق با هدف ارزیابی مدل EPM در برآورد رسوبدهی حوزه‌های آبخیز کوچک بر اساس سنجش رسوب‌گذاری مخازن سدهای کوتاه در استان سمنان به اجرا درآمده است.

مواد و روش‌ها

مناطق مورد مطالعه در این تحقیق شامل ۹ سد کوچک وحوزه‌های آبخیز بالادست آنهاست که در شهرستان‌های سمنان، دامغان و شاهرود در استان سمنان واقع شده‌اند و طی سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۷۳توسط سازمان جهاد سازندگی سابق احداث گردیده‌اند. این سدها از نوع خاکی هستند و هدف از احداث آنها کنترل سیلاب بوده است. ارتفاع این سدها کمتر از ۱۲ متر است و از زمان احداث تاکنون سرریز ننموده‌اند. به همین دلیل تمامی رسوبات تولید شده ازحوزه‌های آبخیز بالادست این سدها به تله افتاده و به عبارتی ضریب تله اندازی آنها۱۰۰ درصد بوده است. مشخصات و موقعیت این سدها در جدول ۱ و شکل ۱ ارائه شده است.

به منظوربرآورد میزان رسوب دهی حوزه‌ها با استفاده از مدل EPM ، حوزه‌های آبخیز بالادست سدها مطالعه شدند و عوامل مؤثر در رسوب دهی مدل EPM شامل ضریب فرسایش، ضریب استفاده اززمین، ضریب حساسیت سنگ وخاک، شیب متوسط و ضریب رسوب دهی حوزه‌ها، ارزیابی و امتیازدهی شدند و با استفاده از فرمول زیر میزان تولید رسوب حوزه‌ها برآورد گردید (۱۴):

$$Gsp = Wsp \times Ru \qquad [۱]$$

دراین رابطه:

Gsp= تولید رسوب، مترمکعب بر کیلومترمربع در سال

Wsp= فرسایش ویژه، مترمکعب در کیلومترمربع در سال

Ru = ضریب رسوب دهی حوزه که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Ru = ۴ \times (O \times D)^{۱/۲} / (L + ۱۰) \qquad [۲]$$

در این رابطه:

O = محیط حوزه، کیلومترمربع

L = طول حوزه آبخیز، کیلومتر

D = اختلاف ارتفاع بین ارتفاع متوسط و ارتفاع نقطه خروجی حوزه، کیلومتر

مقدار Wsp از رابطه زیر برآورد می‌گردد:

$$Wsp = T.H.Z^{\frac{۳}{۲}}.\pi \qquad [۳]$$

که در آن:

H = بارندگی متوسط سالیانه ، میلیمتر

Z = ضریب فرسایش که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Z = Y.Xa(\psi + I^{\frac{۱}{۲}}) \qquad [۴]$$

که در آن Y ، Xa و ψ به ترتیب امتیاز عامل حساسیت خاک و سنگ، عامل استفاده از زمین و عامل فرسایش هستند که براساس جداول مربوط به مدل در هرحوزه اختصاص داده شده‌اند.

I = عامل شیب زمین، درصد

π = عدد پی برابر ۳/۱۴۱۵۹

T = ضریب درجه حرارت که از رابطه زیر به دست می‌آید:

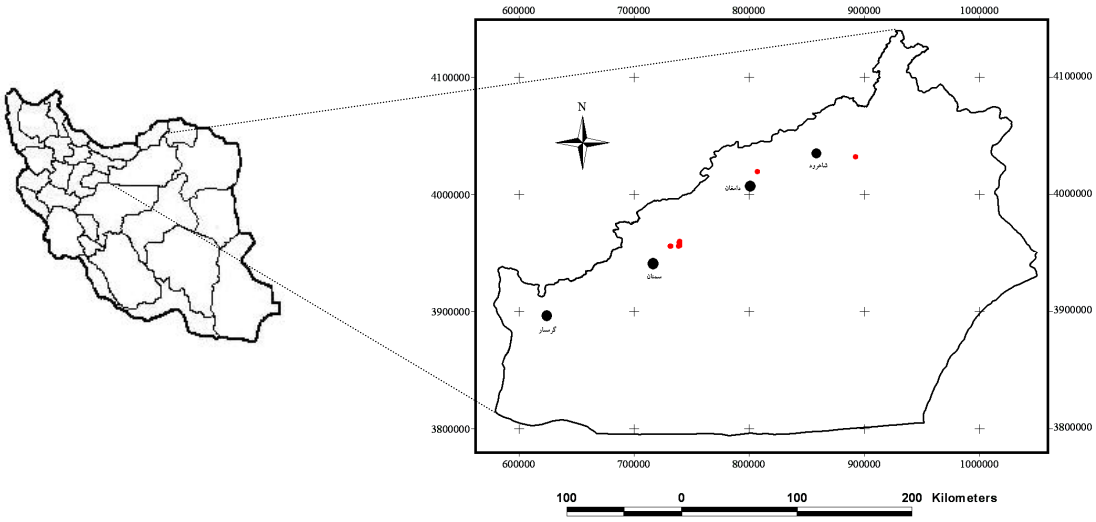
$$T = (\frac{t}{۱۰} + ۰.۱)^{\frac{۱}{۲}} \qquad [۵]$$

که در آن t میانگین درجه حرارت سالیانه برحسب درجه سانتی‌گراد است.

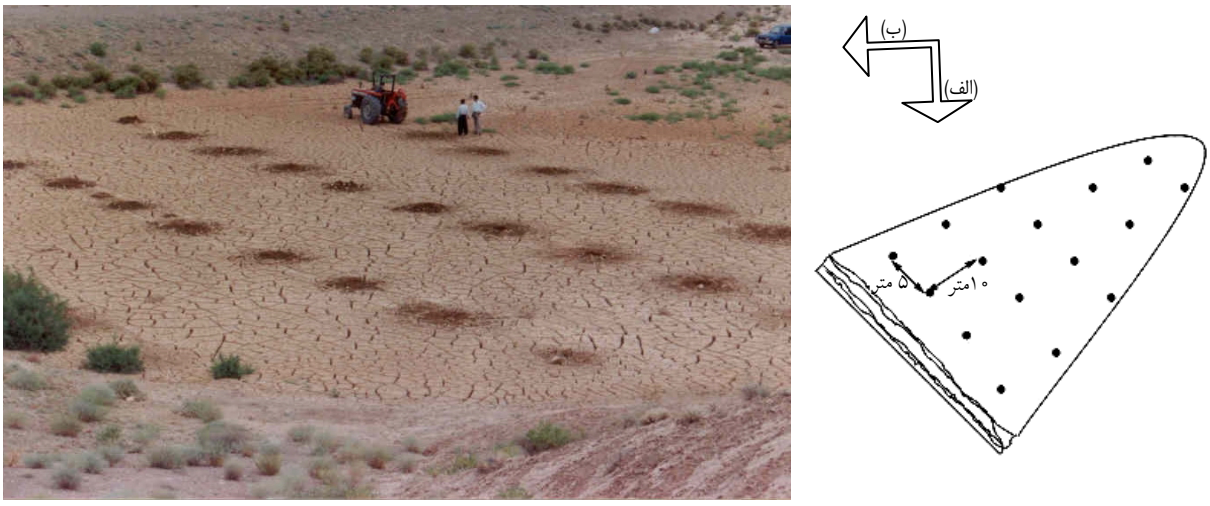
رسوبات نهشته شده در مخازن سدها از طریق نقشه برداری تعیین گردید. برای این منظور سطح رسوبات مخازن بندها به ابعاد۱۰×۵ مترشبکه بندی گردید (شکل ۲) و عمق رسوب در هر یک از نقاط تقاطع شبکه مذکور و از طریق حفر چاهک‌های گمانه‌ای اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عمق رسوبات از آگر دستی استفاده شد. به دلیل خشک بودن رسوبات در سطح مخازن سدها و برای شکستن قسمت سطحی رسوبات،

جدول ۱. موقعیت و مشخصات سدهای مورد بررسی

ردیف	نام سد	موقعیت جغرافیایی محل سد		شهرستان	سال احداث	مساحت حوزه آبخیز (هکتار)
		طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی			
۱	سولدره شرقی	۵۳° ۳۳′ ۵۲/۷۴″	۳۵° ۴۳′ ۱۹/۵۰″	سمنان	۱۳۷۱	۹۳/۵
۲	سولدره غربی	۵۳° ۳۳′ ۴۵/۲۴″	۳۵° ۴۳′ ۱۷/۲۸″	سمنان	۱۳۷۱	۹۲/۲
۳	عطاری	۵۳° ۳۸′ ۲۸/۹۲″	۳۵° ۴۳′ ۱۱/۱۶″	سمنان	۱۳۷۲	۶۲۷/۹۶
۴	ابراهیم آباد	۵۳° ۳۸′ ۵۰/۲۲″	۳۵° ۴۴′ ۵۱/۷۸″	سمنان	۱۳۷۲	۵۰۷/۸۱
۵	رویان	۵۳° ۳۹′ ۵/۵۸″	۳۵° ۴۵′ ۲۳/۶۴″	سمنان	۱۳۷۲	۵۳۸/۸۳
۶	علی آباد	۵۳° ۳۹′ ۲/۳۴″	۳۵° ۴۴′ ۱۱/۷۶″	سمنان	۱۳۷۲	۱۲۹/۲۵
۷	عمروان	۵۳° ۳۹′ ۱۵/۰۶″	۳۵° ۴۳′ ۲۷/۸۴″	سمنان	۱۳۷۲	۱۰۲/۳۵
۸	مارچشمه	۵۴° ۲۴′ ۵۹/۶۶″	۳۶° ۱۶′ ۳۹/۷۹″	دامغان	۱۳۷۳	۲۴۱۷/۵
۹	ارمیان	۵۵° ۲۲′ ۲۲/۸۶″	۳۶° ۲۱′ ۳۷/۱۴″	شاهرود	۱۳۷۳	۱۱۱۶/۴



شکل ۱. موقعیت بندها وسدهای مورد مطالعه در استان سمنان



شکل ۲. محل‌های نمونه برداری در مخازن سدها (الف) و نمونه‌ای از مناطق حفر چاهک‌های گمانه‌ای در مخزن سد عمران (ب)

از مته‌های چال کن متصل به تراکتور استفاده گردید و در قسمت‌های زیرین که غالباً دارای رطوبت بودند و امکان استفاده ازآگردستی وجود داشت از این وسیله برای تعیین عمق رسوب استفاده شد.

پس از تعیین عمق رسوبات در هر یک از نقاط، نقشه‌برداری توپوگرافی از مخزن هر بند با دقت یک سانتی متر انجام شد و دو نقشه توپوگرافی، یکی برای وضعیت موجود مخزن و دیگری برای شرایط مخزن بدون رسوب به دست آمد. از اختلاف این دو نقشه، حجم رسوبات مخازن هر یک از بندها به کمک نرم افزار Surfer تعیین گردید.

به منظور تبدیل حجم رسوبات مخازن بندها به وزن آنها و به عبارتی ساده تر برای تعیین وزن رسوبات نهشته شده در مخازن بندها، نیاز به وزن مخصوص رسوبات می‌باشد. برای تعیین این عامل در رسوبات مخزن هر بند، چند پروفیل حفر شد و از افق‌های مختلف آنها نمونه گیری شد. سپس وزن مخصوص این نمونه‌ها تعیین گردید. وزن مخصوص رسوبات با استفاده از لوله‌های فلزی که برای همین منظور ساخته شده بودند، به این صورت تعیین شد که این لوله‌ها با توجه به اندازه‌های مختلفی که از آنها تهیه شده بود براساس عمق رسوبات هر افق، مورد استفاده قرار می‌گرفت و با وارد کردن لوله در داخل قسمت مورد نظر از رسوب، نمونه لازم برداشت می‌شد و در آزمایشگاه، با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت حداقل ۲ ساعت خشک می‌شدند (۸) و وزن آنها تعیین می‌گردید. از تقسیم وزن نمونه‌های خشک شده بر حجم آنها که از طریق اندازه‌گیری لوله مورد استفاده مشخص شده بود وزن مخصوص ظاهری نمونه‌ها تعیین شد. میانگین وزن مخصوص ظاهری رسوبات در هر یک از مخازن بندها، براساس حاصل ضرب وزن مخصوص هریک از افق‌های رسوب درعمق افق مربوطه و تقسیم آن بر کل اعماق پروفیل‌های حفر شده در مخزن هر بند به دست آمد. تعداد پروفیل‌های حفر شده بر اساس نسبت سطح فعلی رسوبات درشت دانه (منظور دلتای رسوبات درشت دانه) به کل سطح مخزن تعیین شد و با نسبت مذکور تعداد پروفیل‌های بیشتری نیز در رسوبات ریزدانه حفر گردید.

پس از اندازه‌گیری حجم رسوبات مخازن هر یک از بندها و تعیین میانگین وزن مخصوص ظاهری آنها، وزن رسوبات، از حاصل ضرب وزن مخصوص ظاهری در حجم به دست آمد.

برای مقایسه مقادیر برآورد شده رسوب دهی حوزه‌های آبخیز مورد بررسی از طریق مدل‌های تجربی با مقادیر رسوب‌گذاری اندازه‌گیری شده در مخازن بندها، از آزمون آماری t استیودنت و روش Paired samples استفاده شد (۹).

به منظور ارزیابی کارایی مدل از روش ناش و ساتکلیف (۱۷) و آماره میانگین نسبی مجذور مربعات خطا (۱۸) استفاده شد که معادلات آن به صورت زیر می‌باشند.

$$ME = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - Q_{mean})^2} \qquad [6]$$

که ME کارایی مدل، n تعداد مشاهدات، Q_{mean} میانگین مقادیر مشاهده‌ای، Q_i مقدار مشاهده‌ای و P_i مقدار برآوردی است. دامنه تغییرات ME از منفی بی نهایت تا ۱ می‌باشد و مقادیر نزدیک‌تر به ۱ نشان دهنده کارایی بالاتر مدل و مقادیر منفی ME نشان دهنده عدم کفایت مدل هستند.

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_i - P_i)^2}}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}Q_i} \qquad [7]$$

که RRMSE میانگین نسبی مجذور مربعات خطا، Q_i مقادیر اندازه‌گیری شده یا مشاهده‌ای و P_i مقادیر برآورد شده می‌باشند. دامنه تغییرات RRMSE از صفر تا بی نهایت است و مقادیر نزدیک‌تر به صفر نشان دهنده کارایی بیشتر مدل می‌باشند (۱۶).

نتایج

نتایج بررسی و امتیازدهی به عوامل مدل EPM در جدول ۲ ارائه شده است. هم‌چنین براساس روابط مربوط به مدل EPM

جدول ۲. امتیاز عوامل مدل EPM و برآورد رسوب دهی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه

حوزه آبخیز	برآورد ضریب فرسایش (Z)					ضریب درجه حرارت (T)	متوسط بارندگی به میلی‌متر (H)	فرسایش ویژه (Wsp) $M^3\ km^{-2}\ yr^{-1}$	ضریب رسوب دهی (Ru)			تولید رسوب (Gsp)	
	ψ	Xa	Y	I	Z				محیط حوزه km	طول حوزه km	اختلاف ارتفاع متوسط و خروجی حوزه km	Ru	(مترمکعب در کیلومترمربع درسال)	(تن درهکتار در سال)
سولدره شرقی	۰/۳۱	۰/۶	۰/۵۹	۰/۳۱۵	۰/۳۰۶	۱/۱۶	۱۸۶	۱۱۴/۴	۴/۳	۱/۶۶	۰/۱۴۱	۰/۲۷	۳۰/۶	۰/۴۱۶
سولدره غربی	۰/۲۳	۰/۶	۰/۹۲	۰/۳۸۵	۰/۴۶۸	۱/۱۵	۱۸۹/۴	۲۱۹/۴	۴/۵	۱/۶۱	۰/۲۰۹	۰/۳۳	۷۳/۳	۰/۹۹۷
عطاری	۰/۴۱	۰/۶	۰/۸۴	۰/۱۶	۰/۴۰۸	۱/۱۶	۱۸۰/۴	۱۷۱/۷	۱۲/۲۳	۵/۲۳	۰/۱۸۳	۰/۳۹	۶۷/۵	۰/۹۱۸
ابراهیم آباد	۰/۳۹	۰/۶	۰/۹۲	۰/۲۹۳	۰/۵۱۷	۱/۱۶	۱۸۲/۹	۲۴۸/۱	۱۰/۹۱	۳/۵۴	۰/۱۴۶	۰/۳۷	۹۲/۵	۱/۲۵۸
رویان	۰/۳۹	۰/۶	۱/۱۰	۰/۲۴۰	۰/۵۸۱	۱/۱۶	۱۸۴	۲۹۶/۷	۱۰/۶۹	۳/۹	۰/۱۳۱	۰/۳۴	۱۰۱/۰	۱/۳۷۴
علی آباد	۰/۴۱	۰/۶	۱/۴۹	۰/۱۶۲	۰/۷۲۷	۱/۱۷	۱۷۶/۹	۴۰۱/۵	۵/۸۴	۲/۴	۰/۱۰۶	۰/۲۵	۱۰۱/۹	۱/۳۸۶
عمروان	۰/۹۲	۰/۷۳	۱/۴۹	۰/۱۱۴	۱/۳۶۹	۱/۱۷	۱۷۴/۵	۱۰۲۷/۵	۴/۶۵	۱/۹۵	۰/۰۵۰	۰/۱۶	۱۶۵/۸	۲/۲۵۵
مارچشمه	۰/۳۷	۰/۶	۰/۷۶	۰/۲۲۱	۰/۳۸۴	۱/۱۳	۱۵۲/۳	۱۲۸/۸	۲۵/۵۸	۹/۲۷	۰/۳۲۲	۰/۶۰	۷۶/۷	۱/۰۴۳
ارمیان	۰/۵۷	۰/۶	۱/۳۴	۰/۱۹۹	۰/۸۱۸	۱/۱۵	۲۰۳/۲	۵۴۲/۷	۱۵/۹۱	۶/۰۱	۰/۱۸۴	۰/۴۳	۲۳۲/۰	۳/۱۵۵

جدول ۳. حجم و وزن رسوبات نهشته شده در مخازن سدهای مورد بررسی

نـام سد/بند	حجم رسوبات m3	وزن مخصوص ظاهری gr/cm3	وزن رسوبات ton	مساحت حوزه ha	رسوب‌دهی ویژه حوزه در طی ده سال m3/ha/yr	رسوب‌دهی ویژه حوزه در طی ده سال ton/ha/yr
سولدره شرقی	۱۱۸۳/۹۶	۱/۴۰۳	۱۶۶۱/۰۹۶	۹۳/۵	۱/۲۷	۱/۷۸
سولدره غربی	۶۲۸/۱۳۵	۱/۴۳۱	۸۹۸/۸۶۱	۹۲/۲	۰/۶۸	۰/۹۷
عطاری	۲۶۷۶/۱	۱/۴۱۲	۳۷۷۸/۶۵۳	۶۲۷/۹۶	۰/۴۳	۰/۶۰
ابراهیم آباد	۱۲۴۴/۴	۱/۴۳۶	۱۷۸۶/۹۵۸	۵۰۷/۸۱	۰/۲۵	۰/۳۵
رویان	۲۳۶۳/۲۹	۱/۳۸۵	۳۲۷۳/۱۵۷	۵۳۸/۸۳	۰/۴۴	۰/۶۱
علی آباد	۱۰۳۵/۸۹	۱/۳۴۷	۱۳۹۵/۳۴۴	۱۲۹/۲۵	۰/۸۰	۱/۰۸
عمروان	۲۶۲۴/۷۶	۱/۳۹۱	۳۶۵۱/۰۴۱	۱۰۲/۳۵	۲/۵۶	۳/۵۷
مارچشمه	۳۴۱۵/۴۶	۱/۴۰۹	۴۸۱۲/۳۸۳	۲۴۱۷/۵	۰/۱۴	۰/۲۰
ارمیان	۱۳۵۷۸/۷	۱/۳۳۸	۱۸۱۶۸/۳۰۱	۱۱۱۶/۴	۱/۲۲	۱/۶۳

(فرمول‌های شماره ۱ تا ۵) مقادیر رسوب دهی حوزه‌ها برآورد شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. بالاترین و پایین‌ترین مقدار رسوب دهی برآورد شده توسط مدل برابر ۳/۱۵۵ و ۰/۴۱۶ تن در هکتار در سال به ترتیب برای حوزه‌های آبخیز ارمیان و سولدره شرقی می‌باشد.

نتایج عملیات نقشه برداری و تعیین حجم و وزن رسوبات نهشته شده در مخازن سدهای مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. بیشترین و کمترین مقدار رسوب دهی به ترتیب برابر ۳/۵۷ و ۰/۲۰ تن در هکتار در سال مربوط به حوزه‌های آبخیز عمروان و مارچشمه است.

وضعیت آماری برآورد مقادیر رسوب دهی حوزه‌ها به روش‌های مختلف در جدول ۴ ارائه شده است. برآوردهای رسوب دهی مدل EPM در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده در مخازن سدها نشان دهنده برآوردهای بالاتر مدل در ۷ حوزه و برآوردهای کمتر مدل در ۲ حوزه دیگر است که در شکل ۳ نشان داده شده است.

آنالیز آماری مقایسه مقادیر رسوب دهی واقعی حوزه‌ها (اندازه‌گیری شده از مخازن سدها و بندها) با مقادیر برآورد شده به کمک مدل EPM از طریق آزمون t – استیودنت و به روش Paired samples- T test برای دو سری از داده‌ها انجام شد. این داده‌ها شامل مقادیر برآورد شده رسوب دهی حوزه‌ها به وسیله مدل‌ها و هم‌چنین مقادیر اندازه‌گیری شده آنها ازطریق رسوبات مخازن سدها بود. نتایج نشان داد که در سطح ۵ درصد، بین مقادیر برآوردهای مدل EPM (هم به صورت حجمی وهم به صورت وزنی) با مقادیر اندازه‌گیری شده، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. نتایج در جدول ۵ ارائه شده است.

کارایی (ME) برای مدل EPM به صورت حجمی و وزنی به ترتیب برابر۰/۰۵۳ و ۰/۰۵۶ به دست آمد. هم‌چنین میانگین نسبی مجذور مربعات خطا (RRMSE) برای مقادیر حجمی و وزنی به ترتیب برابر ۷۹/۸ و ۷۹/۳ درصد به دست آمد.

بحث

ارزیابی نتایج اندازه‌گیری رسوب دهی حوزه‌ها از طریق رسوب‌سنجی مخازن سدها در مقایسه با مقادیر برآورد شده از طریق مدل EPM (جدول ۴) به صورت توصیفی نشان می‌دهد که متوسط مقادیر برآوردی توسط مدل EPM با مقادیر اندازه‌گیری شده در مخازن سدها بسیار به هم نزدیک بوده و فقط ۰/۲ تن در هکتار در سال با یکدیگر اختلاف دارند. این اختلاف بسیار ناچیز بوده و در مقیاس مطالعات و طرح‌های منابع طبیعی و آبخیزداری قابل اغماض است. از طرفی ضریب تغییرات نسبتاً

جدول ۴. نتایج بررسی و تعیین پارامترهای آماری مقادیر رسوب دهی درحوزه‌های آبخیز

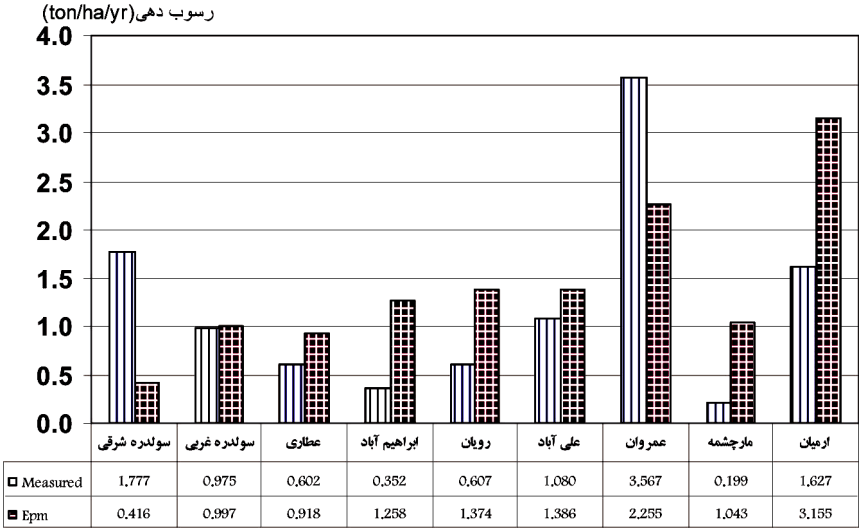
	Numbers	Mean	Std. Error of Mean	Median	Mode	Std. Deviation	Variance	C.V	Skew ness	Std. Error of Skew ness	Kurtosis	Std. Error of Kurtosis	Range	Minimum	Maximum	Sum
EPM(M^3)[1]	۹	۱/۰۴۶	۰/۲۰۰	۰/۹۲۵	۰/۳۰۶	۰/۶۰۰	۰/۳۵۹	۵۷/۳۲	۱/۳۳۳	۰/۷۱۷	۱/۸۷۷	۱/۴۰۰	۲/۰۱۴	۰/۳۰۶	۲/۳۲۰	۹/۴۱۳
EPM(Ton)[2]	۹	۱/۴۲۲	۰/۲۷۲	۱/۲۵۸	۰/۴۱۶	۰/۸۱۵	۰/۶۶۵	۵۷/۳۲	۱/۳۳۳	۰/۷۱۷	۱/۸۷۶	۱/۴۰۰	۲/۷۳۹	۰/۴۱۶	۳/۱۵۵	۱۲/۸۰۲
MEAS(M^3)[3]	۹	۰/۸۶۶	۰/۲۴۹	۰/۶۸۰	۰/۱۴۰	۰/۷۴۸	۰/۵۵۹	۸۶/۴۱	۱/۶۱۱	۰/۷۱۷	۲/۹۴۱	۱/۴۰۰	۲/۴۲۰	۰/۱۴۰	۲/۵۶۰	۷/۷۹۰
MEAS(Ton)[4]	۹	۱/۱۹۹	۰/۳۴۶	۰/۹۷۰	۰/۲۰۰	۱/۰۳۹	۱/۰۸۰	۸۶/۶۶	۱/۶۵۷	۰/۷۱۷	۳/۱۳۴	۱/۴۰۰	۳/۳۷۰	۰/۲۰۰	۳/۵۷۰	۱۰/۷۹۰

۱. مقادیر برآورد شده مدل EPM برحسب واحد حجم (متر مکعب در هکتار در سال)
۲. مقادیر برآورد شده مدل EPM برحسب واحد وزن (تن در هکتار در سال)
۳. مقادیر اندازه‌گیری شده رسوب‌دهی حوزه‌ها از طریق رسوبات مخازن سدها و بندها برحسب واحد حجم (متر مکعب در هکتار در سال)
۴. مقادیر اندازه‌گیری شده رسوب‌دهی حوزه‌ها از طریق رسوبات مخازن سدها و بندها برحسب واحد وزن (تن در هکتار در سال)

جدول ۵ . نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش t استیودنت

	میانگین	انحراف معیار	میانگین استاندارد اشتباه	حدود اطمینان اختلاف (۹۵ درصد)		درجه آزادی	t
				بالا	پایین		
EPM(M3)(۱) – MEAS(M3)(۳)	۰/۱۸۰۳۳	۰/۷۰۲۱۹۹	۰/۲۳۴۰۶۶	۰/۷۲۰۰۹	-۰/۳۵۹۴۲	۸	۰/۷۷۰ ns
EPM(Ton)(۲) – MEAS(Ton)(۴)	۰/۲۲۳۵۶	۰/۹۸۶۱۴۵	۰/۳۲۸۷۱۵	۰/۹۸۱۵۷	-۰/۵۳۴۴۶	۸	۰/۶۸۰ ns

ns : اختلاف غیر معنی‌دار ۱ ، ۲ ، ۳ و ۴ در زیر جدول ۴ تعریف شده‌اند.



شکل ۳. تغییرات مقادیر رسوب دهی برآوردی و اندازه‌گیری شده

بالای برآوردهای مدل EPM و مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که در هر دو حالت، به دلیل تغییرات خصوصیات حوزه‌ها ، مقادیر رسوب دهی آنها نیز متغیر است و مدل EPM قادر است این تغییرات را نشان دهد. لذا با این توصیف می‌توان به کاربرد این مدل در مناطق مشابه اعتماد کرد. این نتیجه‌گیری با نتایج مصباح (۱۱) همخوانی دارد.

از دیدگاه تحلیل آماری، مقایسه میانگین برآورد مدل EPM از رسوبدهی حوزه‌های آبخیز با مقادیر اندازه‌گیری شده در مخازن سدها به روش آزمون t استیودنت نشان داد که در سطح ۵ درصد، میانگین برآوردهای حجمی و وزنی مدل EPM با مقادیر اندازه‌گیری شده اختلاف معنی‌دار نداشته و به این ترتیب می‌توان نتایج برآوردهای این مدل را پذیرفت. این نتیجه‌گیری با نتایج دادخواه و نجفی نژاد (۵) که براساس رسوب سنجی مخزن سد لتیان (با ضریب رسوبگذاری ۸۵ درصد)، نتایج مدل EPM را مورد تأیید قرار داده‌اند همخوانی دارد، با این تفاوت که ضریب رسوب‌گذاری در سدهای مورد بررسی در این تحقیق ۱۰۰ درصد می‌باشد.

ارزیابی کارایی مدل EPM در مناطق مورد بررسی نشان داد که مقدار کارایی (ME) برای مقادیر حجمی و وزنی رسوب‌دهی به ترتیب برابر ۰/۰۵۳ و ۰/۰۵۶ به دست آمده است. این مقادیر ME به دلیل این که منفی نشده‌اند نشان می‌دهد که مدل EPM از نظر کارایی در محدوده قبول واقع شده است ولیکن از کارایی بالایی برخوردار نیست. هم‌چنین میانگین نسبی مجذور مربعات خطای مدل نیز که برای مقادیر حجمی و وزنی به ترتیب برابر۷۹/۸ و ۷۹/۳ درصد به دست آمده است مؤید کارایی نسبتاً پایین مدل در مناطق مورد بررسی می‌باشد.

تحقیقات معدودی در مورد ارزیابی مدل‌های تجربی از طریق رسوب سنجی مخازن سدها و بندها انجام شده است. در

اغلب تحقیقات انجام شده، صرفاً برآوردهای مدل‌های تجربی با مقادیر آمار رسوب ایستگاه‌های رسوب‌سنجی مقایسه شده‌اند. این در حالی است که مقدار رسوب دهی مشاهده ای آنها از مقادیر دبی رسوب معلق ایستگاه‌های هیدرومتری و با اعمال ضریب بارکف برای برآورد دبی رسوب کل به دست آمده است که در مقایسه با روش رسوب سنجی از مخازن بندها وسدهای کوچک از دقت کمتری برخوردار است. هم‌چنین از آنجائی که در اینگونه سدها و بندها ضریب تله اندازی رسوب به دلیل عدم سرریز از آنها ۱۰۰ درصد است و با توجه به این که این گونه سدها و بندها مقدار رسوبات کل حوزه، اعم از رسوب معلق و بار کف را نشان می دهند لذا می توان به دقت روش رسوب سنجی مخازن بندها و سدهای کوچک اعتماد نمود و به منظور ارزیابی مدل‌ها و سنجش میزان دقت آنها ، تحقیقات تکمیلی را برای دستیابی به روش‌های مناسب برآورد رسوب دهی از حوزه‌های آبخیز براساس داده‌های بسیار نزدیک به واقعیت (یعنی مقادیر رسوب‌گذاری در مخازن بندها وسدهای کوچک) ادامه داد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان و مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور که در اجرای این طرح تحقیقاتی همکاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. بروشکه، ا. ۱۳۸۲. برآوردرسوب دهی سرشاخه‌ها با استفاده از اندازه گیری رسوب در پشت سدهای رسوبگیری- مطالعه موردی سرشاخه‌های استان آذربایجان غربی. مجموعه مقالات دومین گردهمایی مجریان طرح‌های تحقیقاتی در زمینه رسوب سنجی مخازن بندها، سدها و مدل‌های رسوبی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.۱۱و۱۲ آبان، ارومیه.

۲. پارسایی، ل.، ج. قدوسی، ح. عیسایی، ح. اعتراف، م. خواجه و س. فیض نیا. ۱۳۸۳. بررسی کارایی مدل‌های تجربی EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب آبخیزهای استان گلستان. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، سازمان تحقیقات وآموزش کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران.

۳. حکیم خانی، ش. ۱۳۸۱. مروری برمطالعات و پایان نامه‌های انجام شده بر روی مدل PSIAC در ایران و بررسی ایرادهای وارده برآنها و تهیه دستورالعمل استفاده از آن. سمینار دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۴. خالدیان، ح. ۱۳۷۴. بررسی فرسایش و رسوب حوزه سد قشلاق سنندج با استفاده از مدل EPM و روش سزیم و آمار رسوب. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۵. دادخواه، م. و ع. نجفی نژاد. ۱۳۷۶. کارایی مدل ای. پی. ام در برآورد فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز لتیان. منابع طبیعی ایران۵۰(۱): ۴۹-۶۰ .

۶. رفاهی، ح. و م. ر. نعمتی. ۱۳۷۴. بکارگیری روش EPM در مطالعه فرسایش‌پذیری و تولید رسوب حوزه آبخیز الموت رود. علوم کشاورزی ایران ۲۶(۱): ۳۳-۴۵.

۷. زنجانی جم، م. ۱۳۷۵. بررسی مدل EPM در برآورد فرسایش حوزه آبخیز زنجانرود. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۸. غازان شاهی، ج. ۱۳۷۶. *آنالیز خاک و گیاه (تهیه وترجمه)*. انتشارات مترجم، تهران.

۹. فتوحی، ا. و ف. اصغری. ۱۳۸۰. *کتاب آموزشی آنالیز آماری داده‌ها با SPSS 8 (ترجمه)*. انتشارات ناقوس، تهران.

۱۰.محمودزاده، ا. ۱۳۷۶. بررسی رابطه رسوب تولیدی وکاربری زمین. جنگل و مرتع۳۶ : ۲۵-۳۰.

۱۱.مصباح، س. ح . ۱۳۷۴ . بررسی فرسایش و رسوب زایی حوزه آبخیز بردکل با کاربرد EPM و سزیم. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۱۲.ملکی، م. ۱۳۸۲. بررسی فرسایش آبی با استفاده از روش‌های ژئومرفولوژی و EPM در آبخیز طالقان رود. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۱۳.هاشمی، س. ع. ا. ۱۳۸۰. بررسی و مقایسه دو مدل برآورد فرسایش و رسوب در البرز مرکزی (محدوده استان سمنان). مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت اراضی- فرسایش خاک وتوسعه پایدار، ۲ تا ۴ بهمن، اراک.

14. 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, England, 18-20 May.
15. Hadley, R.F. and D.E. Walling. 1984. Erosion and Sediment Yield: Some Methods of Measurement and Modeling. Cambridge University Press, Cambridge.
16. Haregeweyn, N., J. Poesen, J. Nyssen, G. Verstraeten, J. D. Vente, G. Govers, S. Deckers and J. Moeyersons. 2005. Specific sediment yield in Tigray-Northern Ethiopia: Assessment and semi-quantitative modeling. Geomorph. 69: 315-331.
17. Nash, J. E. and J.V. Sutcliff. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I: a discussion of principles. Hydrol. 10: 282-290.
18. Van Rompaey, A. J. J., G. Verstaeten, K. Van Oost, G. Govers and J. Poesen. 2001. Modeling mean annual sediment yield using a distributed approach. Earth Surface Proc. and Landforms 26: 1221-1236.
19. Walling, D.E. 1994. Measuring sediment yield from river basins. PP. 39-83. *In*: R. Lal (Ed.), Soil Erosion Research Methods. 2nd ed., Soil and Water Conservation Society Pub., USA.
20. Walling, D. E. and B. W. Webb. 1988. The reliability of rating curve estimate of suspended sediment yield: Some further comments. PP. 337-350. *In*: Proceeding of Sediment Budgets Symposium, Porto Alegre, Brazil, December, International Association of Hydrology Sciences Pub., USA.