



دوره‌ی ۳۴، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۳۳، زمستان ۱۴۰۰، صفحه‌های ۵۲-۳۴  
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2021.353257.1383

مقاله‌ی پژوهشی



# پژوهش‌های آبخیزداری

## ارزیابی کارایی مدل تجربی توان فرسایش در ۶۳ زیرآبخیز برگزیده‌ی ایران

سعید نبی‌پی لشکریان

(نویسنده‌ی مسئول)\* کارشناس پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

محمود عرب‌خدری

دانشیار پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

صمد شادفر

دانشیار پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

\*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: snabipay@gmail.com

تاریخ دریافت: ۶ بهمن ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: ۳۰ خرداد ۱۴۰۰

### چکیده

فرسایش تشدیدشده‌ی خاک و تولید رسوب زیاد از دشواری‌های مهم در بسیاری از منطقه‌های ایران است. شناسایی فراگیر منطقه‌های بحرانی برای کاهش دادن اثر بد آن با کنش‌های حفاظت خاک و آبخیزداری، ضرورت دارد. با توجه به نبود ایستگاه اندازه‌گیری در خروجی آبخیزهای کوچک، مدل‌های تجربی ابزار مناسبی برای برآورد کردن فرسایش خاک و رسوب دهی است. یکی از روش‌های متداول در ایران مدل توان فرسایش است. هدف اصلی این تحقیق تطبیق دادن شرایط نرم‌افزار با طبیعت و جمع‌بندی نتیجه‌ی به‌دست‌آمده در منطقه‌های برگزیده‌ی کشور است. ۶۳ آبخیز در نُه استان که پژوهش رسوب دهی در آن انجام شده بود برای مقایسه با مقدار برآوردشده انتخاب شد. برای محاسبه‌ی رسوب‌دهی آبخیزها، لایه‌های اطلاعاتی لازم برای مدل توان فرسایش بررسی، و امتیاز داده شد. مقایسه‌ی نتیجه‌ها نشان داد که در بیش‌تر زیرآبخیزها برآوردهای مدل (۰/۱۹ تا ۹/۷۱ تن بر کیلومتر مربع در سال) کم‌تر از مقدار رسوب اندازه‌گیری شده‌ی آبخیزها (۰/۴۴ تا ۴۵۹/۶۴ تن بر کیلومتر مربع در سال) است. واسنجی مدل با اصلاح ضریب‌های جدول‌های مدل توان فرسایش در قالب دو حالت ممکن کل آبخیزها و پس از تقسیم به سه منطقه‌ی جغرافیایی انجام شد، که سبب بهبود فراوان برآوردها شد. ضریب کارایی نش-ساتکلیف برای همه‌ی آبخیزها ۰/۶۶، و برای منطقه‌های مرکزی، زاگرس، و شمال شرقی به‌ترتیب ۰/۶۸، ۰/۵ و ۰/۸۹ به‌دست آمد. به همین دلیل توصیه می‌شود که مدل توان فرسایش اولیه به‌کار برده نشود، و از مدل با ضریب اصلاح شده بهره برده شود.

واژگان کلیدی: بند کوتاه، رسوب‌دهی، فرسایش خاک، مدل توان فرسایش، واسنجی

## مقدمه

با روش مدل توان فرسایش و اندازه‌های اندازه‌گیری شده‌ی ایستگاه آب‌سنجی، همبستگی زیادی ( $R^2=0/86$ ) هست. مشاهده‌های گلوبوینک و همکاران (۲۰۰۳) در آبخیز دراگونجا در اسلوونی در ۱۹۷۱ و ۱۹۹۱ نشان داد که مقدار رسوبدهی برآوردشده‌ی مدل به‌دلیل ساخت سازه‌های حفاظت خاک و افزایش سطح جنگل‌ها از ۲۵٪ به ۶۵٪، و متعاقب آن کاهش سطح زمین زراعی، حدود ۴۰٪ کاهش یافت. نتیجه‌ی افیمیو و همکاران (۲۰۱۶) در شمال یونان نشان می‌دهد که برآوردهای مدل در مقایسه با مقدار مشاهده‌شده مواد معلق، کم‌برآوردتر است. نتیجه‌ی پیش‌بینی رسوبدهی ۱۳ آبخیز با مساحت‌های ۰/۶۷ تا ۵/۵۴ کیلومتر مربع به‌وسیله‌ی دراگیسویچ و همکاران (۲۰۱۸) در کرواسی نشان داد که روش مدل توان فرسایش اصلاح‌شده در برآورد رسوبدهی بهتر جواب می‌دهد، در حالی که نرم‌افزار اولیه اندازه‌ی رسوبدهی را ۱۳٪ بیش‌تر برآورد کرد. الحاک و همکاران (۲۰۱۹) در عربستان سعودی، برآوردهای روش مدل توان فرسایش را مطمئن گزارش کردند. توسیچ و همکاران (۲۰۱۹) در بوسنی و هرزگوین ضریب‌های مدل را تغییر داد و بهبود نتیجه‌ی به‌دست‌آمده را مشاهده کرد. نتیجه‌ی لنس و همکاران (۲۰۲۰) در منطقه‌های جنگلی برزیل نشان داد که روش مدل توان فرسایش اندازه‌ی رسوبدهی را ۱۵/۳٪ کم‌تر از اندازه‌ی واقعی برآورد می‌کند.

در ایران نیز در برآورد رسوبدهی چندین آبخیز روش مدل توان فرسایش به‌کاربرده شده است. مصباح (۱۹۹۶) در زیرآبخیزهای کوچک دریاچه‌ی مهارلو، اختلاف رسوبدهی مشاهده‌شده و برآوردشده با کاربرد این مدل را ۱۰٪ گزارش کرد. نتیجه‌ی رنگزن (۲۰۰۸) در آبخیز پگاه‌سرخ گتوند خوزستان از تطابق نتیجه‌ی مدل توان فرسایش با مشاهده‌های صحرایی حکایت دارد. نتیجه‌ی پژوهش‌های تنگستانی (۲۰۰۶) در آبخیز افزر استان فارس و قبادی و همکاران (۲۰۱۱) در آبخیز باغ ملک، نیز نبود کارایی مدل را در مقایسه با رسوب مشاهده‌شده در ایستگاه‌های آب‌سنجی نشان داد. نتیجه‌ی پژوهش‌های بروشکه و عرب‌خداری (۲۰۱۵) نیز کارآ نبودن این مدل را با رسوب‌سنجی بندهای خاکی در آذربایجان غربی نشان داد. آقارزی و نبی‌پی‌لشکریان (۲۰۱۷) در ۱۰ آبگیر بند استان مرکزی به این نتیجه رسیدند که انطباق مناسبی بین رسوبدهی واقعی و برآوردشده هست و ضریب کارایی مدل را ۰/۶۷ به‌دست آوردند. نبی‌پی‌لشکریان و همکاران

اندازه‌گیری مواد معلق را می‌توان در ایستگاه‌های آب‌سنجی و رسوب‌سنجی آب‌گیرهای سدها در پایین‌دست آبخیزها انجام داد. تعداد ایستگاه‌های رسوب‌سنجی سطح کشور محدود است و برای بسیاری از آن‌ها آمار ناکافی است (حکیم‌خانی ۲۰۰۲). مساحت آبخیزهای سرآب بیش‌تر این ایستگاه‌ها بزرگ است و تردیدهای زیادی در دقت و صحت نمونه‌برداری‌ها و روش‌های برآورد بار معلق از این نمونه‌ها هست (حکیم‌خانی ۲۰۰۲). تعداد سدهای مخزنی نیز در سطح کشور بسیار محدود است و آبخیزهای سرآب اغلب این آب‌گیرها بسیار بزرگ است (حکیم‌خانی ۲۰۰۲). نبود آمار دقیق از فرسایش و رسوبدهی در بیش‌تر کشورها بهره‌گیری از مدل‌ها را اجتناب‌ناپذیر می‌کند (توماس و وینوچ ۱۹۹۵). برخی محققان معتقد اند که اگرچه پیش‌رفت‌هایی در توسعه‌ی مدل‌های فرآیندی هست، مدل‌های ساده‌ی تجربی در برآورد فرسایش موفق‌تر عمل می‌کند، ضمن این‌که استفاده از آن‌ها نیز راحت‌تر است (عرب‌خداری و همکاران ۲۰۱۷). مدل‌های پرشماری برای برآورد فرسایش و رسوبدهی داده شده‌است، اما بسیاری از مدل‌های پیچیده‌ی فرآیندی مانند، ANSWERS، EUROSEM و WEPP در کنار ارزش علمی فراوان، در دنیای واقعی به دو دلیل دشواری و هزینه‌ی زیاد جمع‌آوری داده‌های نیازداشته‌ی آن‌ها، و اعتبار ضعیف نتیجه‌ی آن‌ها کاربردی نیست (بردمن ۲۰۰۶). در برابر، اگرچه مدل‌های تجربی ساده است، در جاهای زیادی نتیجه‌ی رضایت‌بخش از آن‌ها گزارش شده است (نبی‌پی‌لشکریان و همکاران ۲۰۱۷). یکی از این مدل‌ها، روش تجربی توان فرسایش<sup>۱</sup> است که با هدف برآورد فرسایش و رسوبدهی طراحی شده است (نبی‌پی‌لشکریان و همکاران ۲۰۱۷b) و ممکن است برای شرایط ایران با خصوصیت‌های اقلیمی و بوم‌شناختی نسبتاً متفاوت مناسب نباشد.

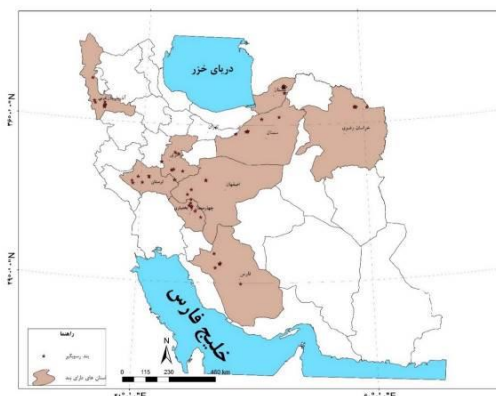
نتیجه‌ی پیش‌بینی رسوبدهی چهار آبخیز با مساحت‌های ۰/۶ تا ۲۱۵ کیلومتر مربع در ایتالیای مرکزی نشان داده است که مدل توان فرسایش اصلاح‌شده در برآورد رسوبدهی به‌ویژه برای آبخیزهای کوچک بهتر جواب می‌دهد، در حالی که مدل اولیه اندازه‌ی رسوبدهی را بیش‌تر برآورد می‌کند (بازوفی ۱۹۸۵ به نقل از نبی‌پی‌لشکریان و همکاران ۲۰۱۷a). بیرپرتنر (۱۹۹۸) در پنج آبخیز آلپ سوییس با مساحت‌های ۳۶ تا ۲۱۰ کیلومتر مربع نتیجه‌گیری کرده است که بین اندازه‌های برآوردشده

در مدل داده شده است. پژوهش‌های پرشماری با این مدل در کشور انجام شد، اما شوربختانه جمع‌بندی واحدی در باره‌ی کارایی آن در آبخیزهای کوچک نیست، و هنوز از اندازه‌ی تطابق آن با شرایط حاکم بر کشور اطلاع کافی در دست نیست. بنابراین هدف اصلی در این پژوهش، تعیین اندازه‌ی هم‌خوانی رسوب‌دهی برآوردشده با مدل توان فرسایش با رسوب‌دهی اندازه‌گیری‌شده در آبخیزهای ۶۳ آبخیز کوچک برگزیده در کشور است.

### مواد و روش‌ها

۶۳ آبخیز بند و حوضچه‌ی رسوب‌گیر ۱۰ ساله (عرب‌خدری و همکاران ۲۰۱۷) در استان‌های سمنان، مرکزی، اصفهان، چهارمحال و بختیاری، آذربایجان غربی، لرستان، فارس، خراسان رضوی و گلستان بررسی شد (شکل ۱). انتخاب بندها بر پایه‌ی معیارهای نبود سرریز و انجام نشدن کنش‌های آبخیزداری و نفوذناپذیری آن‌ها بود، و اگرچه محدودیت‌هایی در آن‌ها بود، تقریباً به پراکنش اقلیمی بر پایه‌ی رده‌بندی اقلیمی (مسعودیان و کاویانی ۲۰۰۸) توجه شد.

(۲۰۱۸) در آبخیزهای بندهای شمال شرقی کشور به این نتیجه رسیدند که این مدل در مساحت‌های کم‌تر از ۵۰۰ هکتار کارایی بهتری دارد. رجیبی و همکاران (۲۰۱۹) در آبخیز شازند ساوه مشاهده کردند که برآوردهای مدل توان فرسایش در مقایسه با مواد معلق مشاهده‌شده‌ی ایستگاه‌های آب‌سنجی دقیقی پذیرفتنی دارد. اسمعلی عوری و کاتب (۲۰۲۰) نیز به دقت پذیرفتنی روش مدل توان فرسایش در آبخیز شریف‌بیگلوی استان اردبیل اشاره کردند. از طرف دیگر، احمدی و همکاران (۲۰۲۰) در آبخیز کنگیر استان ایلام، اندازه‌ی مواد معلق برآوردشده از مدل و مواد معلق اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه آب‌سنجی را به ترتیب ۱۰/۵۸ تن در هکتار در سال و ۱۰/۵ تن در هکتار در سال گزارش کردند، که نشان‌دهنده‌ی انطباق مناسب برآورد مدل با مواد معلق مشاهده‌شده است. نتیجه‌ی قهاری و همکاران (۲۰۲۱) در آبخیزهای شش بند استان فارس نبود انطباق مناسب بین رسوب دهی اندازه‌گیری‌شده‌ی بندها و برآوردهای مدل توان فرسایش را نشان دادند، نتیجه‌ی خطای نسبی برآوردهای مدل، بیش‌برآوردی در همه‌ی آبخیزها را نشان داد. در برخی پژوهش‌های خارج از ایران اصلاح‌های اندکی



شکل ۱- پراکنش بندها و حوضچه‌های برگزیده در کشور.

رابطه‌ی ۲، ضریب رسوب‌دهی از رابطه‌ی ۳ و رسوب‌دهی ویژه از رابطه‌ی ۴ به دست آمد. در این رابطه‌ها  $Z$  ضریب فرسایش،  $Y$  ضریب حساسیت سنگ به فرسایش،  $Xa$  ضریب زمین،  $\phi$  ضریب شرایط فرسایشی،  $I$  عامل شیب زمین،  $Wsp$  فرسایش ویژه،  $H$  متوسط بارندگی سالانه به میلی‌متر،  $T$  ضریب دما (رابطه‌ی ۵ که در آن  $t$  دمای متوسط سالانه است)،  $Ru$  ضریب رسوب‌دهی،  $P$  محیط آبخیز به کیلومتر،  $D$  اختلاف ارتفاع متوسط و خروجی آبخیز به

در جدول ۱ مشخصات بندها و حوضچه‌های این پژوهش آورده شده است. رسوب‌دهی بندها بین ۰/۴۴ تا ۴۵۹/۶۴ تن بر کیلومتر مربع در سال متغیر بود. برای برآورد رسوب‌دهی با روش EPM، ابتدا عامل مؤثر در رسوب‌دهی آبخیزها در قالب ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، ضریب بهره‌برداری از زمین، ضریب فرسایش فعلی و شیب متوسط از جدول‌های مدل (گاوریلوویچ ۱۹۸۸) ارزیابی و امتیازدهی شد. سپس، ضریب فرسایش از رابطه‌ی ۱، فرسایش ویژه از

کیلومتر، L طول آبخیز به کیلومتر و Gsp رسوب‌دهی ویژه به متر مکعب بر کیلومتر مربع در سال است.

$$Z = Y.Xa.(\varphi + I^{\frac{1}{2}}) \quad 1$$

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

$$Ru = \frac{4 \times (P \times D)^{0.5}}{L + 10} \quad 3$$

$$Gsp = Wsp \times Ru \quad 4$$

$$T = \left(\frac{t}{10} + 0.1\right)^{\frac{1}{2}} \quad 5$$

جدول ۱- ویژگی‌های آبخیزهای پژوهش.

استان	نام آبخیز	مساحت (ha)	سنگ شناسی غالب	کاربری زمین	وضعیت اشکال فرسایشی	رسوب‌دهی آبخیز (t.km <sup>-2</sup> .y <sup>-1</sup> )	
سمنان	سولدره	۹۲/۲	سنگ آهک و ماسه‌سنگ آهکی	مرتع فقیر	شیاری، سطحی	۱۳۴/۸	
	ابراهیم‌آباد	۵۰۷/۸	نهشته‌های آب‌رُفتی، آهک، آهک‌رس	مرتع فقیر	سطحی	۲۵/۶	
	رویان	۵۳۸/۸	خاکستر آتشفشانی، پلمه‌سنگ، آذرین	مرتع فقیر، دیم	سطحی شدید، خندقی	۵۴/۳	
	علی‌آباد	۱۲۹/۲	جوش‌سنگ قرمز، آهک‌رس	مرتع فقیر	تخریب ساختمانی شدید	۸۶/۹	
	عمروان	۱۰۲/۳	جوش‌سنگ، آهک‌رس، نهشته‌های آب-رُفتی	مرتع فقیر، هزاردره	شیاری، خندقی، هزاردره	۴۵۹/۶	
	وینکه	۱۵۳۶	جوش‌سنگ، نهشته‌های آب‌رُفتی	مرتع فقیر	سطحی، خندقی	۳۴/۹	
	مارچشمه	۲۴۱۷	نهشته‌های آب‌رُفتی، خاکستر آتشفشانی، آهک	مرتع فقیر	سطحی، تخریب	۲۰/۵	
	ارمیان	۱۱۱۶	آهک‌رس، نهشته‌های آب‌رُفتی، جوش‌سنگ	مرتع فقیر	شیاری، خندقی، سطحی	۱۲۸/۴	
	قزوین	کاظم‌آباد ۱	۶۲/۴۲	پلمه‌سنگ و ماسه‌سنگ	مرتع متوسط، شخم	سطحی	۱۴۵/۶
		کاظم‌آباد ۲	۱۸/۴۵	پلمه‌سنگ و ماسه‌سنگ	مرتع متوسط، شخم	سطحی	۱۵۳/۴
کلا		۲۵۱	ایگنمبریت، ریولیت	مرتع متوسط	سطحی	۲۳/۷	
قشلاق		۴۲۸/۷	اسلیت و سنگ آهک	مرتع متوسط	فرسایش ندارد	۰/۹۲	
قالیباف ۱		۲۴/۷	پلمه‌سنگ، اسلیت و شیست	مرتع متوسط	شیاری، سطحی	۳۹/۹	
قالیباف ۲		۴۰/۲	پلمه‌سنگ، اسلیت و شیست	مرتع متوسط	شیاری، سطحی	۱۶/۲	
قالیباف ۳		۱۰۹/۹	پلمه‌سنگ، شیست، پادگانه‌های آب‌رُفتی	مرتع متوسط	شیاری، سطحی	۶۱/۸	
سعادت‌آباد		۱۱۰/۴	پلمه‌سنگ و ماسه‌سنگ	مرتع متوسط	شیاری، سطحی	۱۹۵/۸	
دربند		۱۰۱/۵	پادگانه‌های آب‌رُفتی، اسلیت و آهک	مرتع متوسط	سطحی	۶۵/۸	
گوشه		۵۵۳	پلمه‌سنگ، آهک، پادگانه‌های آب‌رُفتی	مرتع متوسط	سطحی	۶۷/۸	
آذربایجان غربی	وانان	۲۰۴/۵	آهک، پلمه‌سنگ سبز	مرتع فقیر/ خوب، دیم	تخریب ساختمانی	۱۸/۷	
	اشن دوماب	۱۳۸۷	پلمه‌سنگ، آهک‌رس، نهشته‌های آب‌رُفتی	مرتع فقیر/ خوب، باغ	سطحی	۲۸/۱	
	بلمیر	۱۰۷۳	آهک، تراس‌های آب‌رُفتی	مرتع فقیر، دیم	تخریب ساختمانی	۱۲/۶	
	مراوند بزرگ	۱۰۵۲	آهک، پلمه‌سنگ، آهک‌رس، آذرآواری	مرتع خوب/ فقیر، جنگل	سطحی، شیاری	۷/۳	

## ارزیابی کارایی مدل تجربی توان فرسایش در ۶۳ زیرآبخیز...

جدول ۱- ویژگی‌های آبخیزهای پژوهش.

استان	نام آبخیز	مساحت (ha)	سنگ شناسی غالب	کاربری زمین	فرسایشی وضعیت اشکال	نسبت ریزش آبخیز (t.km <sup>-2</sup> .y <sup>-1</sup> )
چهارمحال و بختیاری	تومانک	۱۶۷۲	آهک، نهشته‌های آب‌زفتی	مرتع فقیر/ خوب، دیم	تخریب ساختمانی	۱۴/۸
	سرتشنیز	۹۹۳/۶	پلمه‌سنگ، آهک	مرتع فقیر/ خوب، دیم	تخریب ساختمانی	۰/۴۴
	هارونی	۳۱۶/۱	آهک، پلمه‌سنگ	مرتع فقیر/ خوب، دیم	تخریب ساختمانی	۷/۹
	زانپونی	۲۲۱/۵	آهک با لایه‌های رسی	دیم، مرتع فقیر/ متوسط	تخریب ساختمانی	۱۰۱
	شوردره ۶	۲۳۰/۳	بادآورد، نهشته‌های آب‌زفتی، پلمه‌سنگ	مرتع متوسط، دیم	سطحی، شیاری	۱۰۶۲
	شوردره ۷	۳۱۴/۴	بادآورد و پلمه‌سنگ	مرتع متوسط، دیم	سطحی، شیاری	۵۶۳
	شوردره ۹	۲۲۶/۳	بادآورد، نهشته‌های آب‌زفتی	مرتع متوسط، دیم	سطحی، شیاری	۱۰۸۴
	شوردره ۱۲	۲۴۲/۹	بادآورد	مرتع متوسط، دیم	سطحی، شیاری	۱۹۸
	شوردره ۱۳	۱۰۱/۷	بادآورد	مرتع متوسط، دیم	سطحی، شیاری	۲۴۳/۶
	اردبیل	امام‌کندی	۱۷۴	پلمه‌سنگ، ماسه‌سنگ و آهک	مرتع فقیر	سطحی، تخریب
سیلوه ۱		۷۹	پادگانه‌های آب‌زفتی، سنگ آهک	مرتع فقیر	سطحی، شیاری	۱۲۱/۹
سیلوه ۲		۷۸	پادگانه‌های آب‌زفتی قدیمی	مرتع فقیر	سطحی، شیاری	۵۳/۹
ازون‌دره ۱		۱۴/۳۵	فیلیت، گنیس و سنگ آذرین	مرتع فقیر، دیم	سطحی، خندقی	۱۵۲/۸
ازون‌دره ۲		۲۴/۶۹	ریولیت	مرتع فقیر	سطحی، تخریب	۸۷/۱
ازون‌دره ۳		۱۰۴/۷	ریولیت، ماسه‌سنگ، دولومیت	مرتع فقیر، هزاردره	شیاری، خندقی، هزاردره	۱۲۵/۱
کهنه‌ده ۱		۱۲۹	دولومیت، ریولیت، پلمه‌سنگ	مرتع فقیر	سطحی، خندقی	۷۶/۴
کهنه‌ده ۲		۵۵۶	دولومیت، پلمه‌سنگ، ماسه‌سنگ	مرتع فقیر	سطحی	۷۰/۸
خره‌چو ۱		۴۰۸	گرانیت، گنیس	مرتع فقیر	سطحی، شیاری، خندقی	۱۲۸/۴
خره‌چو ۲		۹۷/۰۶	گنیس، گرانیت	مرتع متوسط، دیم	سطحی	۱۴۶/۷
زنجان	خاوران	۲۴۴۴	نهشته آب‌زفتی، آهک، جوش‌سنگ	مرتع متوسط	آبراه‌ای، تخریب	۸۹/۵
	کلستان	۲۸۴۱	آهک‌رس، جوش‌سنگ، رس، آهک	مرتع متوسط	سطحی، شیاری	۲۱۹/۵
	چهل چشمه	۲۶۲/۹	سنگ‌های ژیبسی، آهک‌رس، آهک	مرتع متوسط	سطحی، شیاری، خندقی	۱۰۲
	۱ غرب شیراز	۳۶۶/۲	آهک رسی، آهک‌رس، جوش‌سنگ	مرتع فقیر/ خوب، دیم	سطحی، تخریب	۴۰/۶
	۲ غرب شیراز	۶۸/۹۸	ژیبس، آهک‌رس و آهک‌های رسی	مرتع فقیر/ خوب، دیم	سطحی، شیاری	۱۳/۵
	۳ غرب شیراز	۷۷/۲۴	لای، رس، ریگ	مرتع فقیر/ خوب، دیم	تخریب ساختمانی	۱۴۸/۶
گیلان	دارابی	۲۵۴/۲	گچ، آهک‌رس، آهک، پلمه‌سنگ	مرتع متوسط، دیم	سطحی	۱۸۱/۹
	دوگر	۲۱۶۷	لای زیتونی، آهک دولومیتی	مرتع متوسط	سطحی	۱۳۴/۴
	قلعه‌جغد	۱۰۳۴	جوش‌سنگ، ماسه‌سنگ، آهک	مرتع متوسط	سطحی، شیاری	۵۸/۷
	ریمله	۲۸/۳۹	گچ، نمک، آهک‌رس، پلمه‌سنگ	مرتع متوسط	سطحی، شیاری	۱۷۱/۵

میان مقدار پیش‌بینی شده با کاربرد مدل و مقدار واقعی است. خطای نسبی و میانگین خطای نسبی مدل از رابطه‌های ۷ و ۸ به‌دست آمد. این شاخص‌ها معمولاً به درصد بیان می‌شود و هر چه بیش‌تر باشد، ضعف مدل را در برآورد کردن صحیح نشان می‌دهد. برای محاسبه‌ی ارزیابی کارایی مدل روش نش-ساتکلیف (۱۹۷۰) (رابطه‌ی ۹) و میانگین نسبی ریشه‌ی مربع‌های خطا (RRMSE) (رابطه‌ی ۱۰)

سازگاری نداشتن مدل با شرایط کشور شناسایی شد و برای بهینه‌سازی ضریب‌های جدول‌های مدل اولیه روش آزمون و خطا به‌کاربرده شد. برای واسنجی، از روش اعتبارسنجی متقاطع<sup>۲</sup> (نزون ۱۹۹۶) بهره‌برده شد: با در نظر نگرفتن یکی از زیرآبخیزها اعتباریابی انجام شد، تا خطای جذر میانگین مربع‌های<sup>۳</sup> (رابطه‌ی ۶) به‌دست آمده کم‌ترین خطای ممکن را نشان دهد. خطای جذر میانگین مربع‌ها (RMSE) تفاوت

2 - Leave one-out-cross validation  
3 - Root-mean-square error (RMSE)  
4 - Relative Root Mean Square Error

مشاهده‌شده نیز راهنمای خطای مجاز برای رشد سرعت متوسط فرسایش و رسوب‌دهی (توی و همکاران ۲۰۰۲) به کار برده شد، که برای تعیین مطلوبیت برآوردهای مدل نسبت به مقدار مشاهده‌شده و بیش برآوردی و کم‌برآوردی به کار می‌رود (جعفری اردکانی و همکاران ۲۰۱۸). شکل ۲ نمودار مفهومی مراحل انجام پژوهش را نشان می‌دهد.

به کار برده شد. در این رابطه‌ها، RMSE خطای جذر میانگین مربع‌ها، RF اختلاف نسبی، MAPE میانگین خطای نسبی، NSE شاخص ارزیابی کارایی، RRMSE میانگین نسبی ریشه‌ی مربع‌های خطا،  $P_i$  مقدار برآورد مدل،  $O_i$  مقدار رسوب‌دهی اندازه‌گیری‌شده و  $n$  تعداد داده است. برای بررسی مطابقت برآورد مدل‌ها با مقدار

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \quad 6$$

$$RF = \frac{P_i - O_i}{O_i} \times 100 \quad 7$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \right| \quad 8$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{mean})^2} \quad 9$$

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i} \quad 10$$



شکل ۲- نمودار مفهومی مرحله‌های پژوهش.

### نتایج

برای محاسبه‌ی رسوبدهی با روش مدل توان فرسایش، با امتیازدهی عامل از جدول‌های مدل (گاوریلوویچ ۱۹۸۸) ضریب فرسایش، فرسایش ویژه، ضریب رسوبدهی و رسوبدهی ویژه به ترتیب از رابطه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به دست آمد (جدول ۲). جدول ۳ ضریب‌های پیشنهادشده‌ی مدل سازگارشده‌ی مدل توان فرسایش را نشان می‌دهد. اختلاف نسبی برآوردشده‌ی مدل اولیه با مقدار مشاهده‌شده از رابطه‌ی ۷ محاسبه شد و مطابقت مدل بر پایه‌ی راهنمای خطای مجاز به دست آمد. بر پایه‌ی ناهم‌خوانی برآوردها با رسوبدهی اندازه‌گیری‌شده‌ی آبگیرها، علت‌های احتمالی آن در امتیازهای آورده‌شده در جدول مدل اولیه (گاوریلوویچ ۱۹۸۸) بررسی شد. امتیاز عامل حساسیت

زمین و خاک به فرسایش در همه‌ی اقلیم‌ها یکسان در نظر گرفته شد، به پوشش گیاهی توجهی نشد، و عامل کاربری زمین بی‌توجه به آن امتیازدهی شد، و وزن امتیازدهی در عامل فرسایش فعلی آبخیز بیش‌تر روی وسعت فرسایش است، و به شدت فرسایش کم‌توجهی شد. برای ضریب‌های عامل حساسیت سنگ و خاک به فرسایش با توجه به اقلیم غالب (فیض‌نیا ۱۹۹۵)، ضریب‌های کاربردی زمین با توجه به درصد تراکم پوشش گیاهی (نبی‌پی لشکریان و همکاران ۲۰۱۶)، و عامل فرسایش فعلی آبخیز به شدت فرسایش توجه بیش‌تری شد (نبی‌پی لشکریان و همکاران ۲۰۱۶). بدین ترتیب برای بهینه‌سازی ضریب‌ها از روش آزمون و خطا، با در نظر نگرفتن یکی از زیرآبخیزها بهره گرفته شد، و واسنجی مدل با روش واسنجی متقاطع انجام شد.

جدول ۲- محاسبه‌ی رسوبدهی ویژه و اختلاف نسبی مدل اولیه EPM

ردیف	نام آبگیر	زمین‌شناسی	کاربری زمین	وضع فرسایش	شیب	ضریب فرسایش	بارندگی	دما	فرسایش ویژه ( $m^3.km^{-2}.Y^{-1}$ )	ضریب رسوبدهی ( $t.km^{-2}.Y^{-1}$ )	رسوبدهی ویژه ( $t.km^{-2}.Y^{-1}$ )	معدل اصلی (%)	اختلاف نسبی	نتیجه مطابقت
۱	سولدره	۰/۹	۰/۶	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۵	۱۷۱	۱۲	۲۳۵	۰/۳۳	۱۰/۷	-۲۰/۷	مطلوب	
۲	ابراهیم‌آباد	۱/۰۲	۰/۶	۰/۳۹	۰/۲۹	۰/۵۷	۱۶۵	۱۲	۲۵۹	۰/۳۷	۱۳۱	۴۱۲/۸	بیش‌برآورد	
۳	رویان	۱/۰۴	۰/۶	۰/۳۹	۰/۲۴	۰/۵۵	۱۶۶	۱۳	۲۴۷/۸	۰/۸۴	۱۱۵	۱۱۱/۲	بیش‌برآورد	
۴	علی‌آباد	۱/۱	۰/۶	۰/۴۱	۰/۱۶	۰/۵۴	۱۶۰	۱۳	۲۳۱/۶	۰/۵۹	۸۰	-۷/۹۷	مطلوب	
۵	عمروان	۱/۰۵	۰/۷۳	۰/۹۲	۰/۱۱	۰/۹۶	۱۵۸	۱۲	۵۴۷/۲	۰/۱۶	۱۲۰	-۷۳/۸	کم‌برآورد	
۶	وینکه	۰/۸۳	۰/۶	۰/۶	۰/۱۹	۰/۵۱	۲۱۰	۱۱	۲۶۷/۴	۰/۵۸	۲۱۲	۵۰/۸/۴	بیش‌برآورد	
۷	مارچشمه	۰/۷۴	۰/۶	۰/۳۷	۰/۲۲	۰/۳۷	۱۳۹	۱۳	۱۱۷/۵	۰/۶	۹۵	۳۶۳/۹	بیش‌برآورد	
۸	ارمیان	۱/۰۴	۰/۶	۰/۵۷	۰/۲	۰/۶۳	۱۸۸	۸	۲۸۷/۶	۰/۴۳	۱۶۷	۳۰/۲	مطلوب	
۹	کاظم‌آباد ۱	۱/۱	۰/۶۶	۰/۶	۰/۱۲	۰/۶۹	۳۸۰	۱۳	۸۲۰/۹	۰/۲	۲۲۵	۵۴/۵	بیش‌برآورد	
۱۰	کاظم‌آباد ۲	۱/۱	۰/۶۶	۰/۶	۰/۱۳	۰/۷	۳۸۰	۱۳	۸۴۱/۱	۰/۱۹	۲۱۳	۳۸/۷	مطلوب	
۱۱	کلا	۰/۳۵	۰/۵	۰/۶	۰/۱۴	۰/۱۲	۴۳۲	۱۰	۵۹/۸	۰/۲۸	۲۳	-۴/۴۷	مطلوب	
۱۲	قشلاق	۰/۹۸	۰/۵	۰/۵	۰/۲۵	۰/۴۹	۳۵۶	۱۱	۴۱۰/۹	۰/۴۱	۲۲۹	۲۴۷۳۴	بیش‌برآورد	
۱۳	قالیباف ۱	۱	۰/۵	۰/۸	۰/۲۲	۰/۶۴	۳۲۰	۱۴	۶۲۶/۴	۰/۱۳	۱۱۵	۱۸۸/۶	بیش‌برآورد	
۱۴	قالیباف ۲	۱	۰/۵	۰/۸	۰/۱۷	۰/۶	۳۲۰	۱۴	۵۷۹	۰/۱۴	۱۱۱	۵۸۷/۲	بیش‌برآورد	
۱۵	قالیباف ۳	۰/۸۸	۰/۵	۰/۸	۰/۱۹	۰/۵۴	۳۲۰	۱۴	۴۹۱/۵	۰/۲۶	۱۷۷	۱۸۶	بیش‌برآورد	
۱۶	سعادت‌آباد	۱	۰/۵	۰/۹	۰/۲	۰/۶۷	۲۲۹	۹	۴۰۵/۴	۰/۴۶	۲۵۲	۲۸/۹۵	مطلوب	
۱۷	دریند	۰/۶۶	۰/۵	۰/۶	۰/۱۴	۰/۳۲	۳۳۴	۱۰	۲۰۵/۳	۰/۲۱	۵۸	-۱۱/۳	مطلوب	
۱۸	گوشه	۰/۹۱	۰/۵	۰/۶	۰/۲۶	۰/۵	۳۵۶	۱۰	۴۳۱/۹	۰/۶۳	۳۶۸	۴۴۳/۱	بیش‌برآورد	
۱۹	وانان	۰/۹۴	۰/۵۸	۰/۵۴	۰/۲۱	۰/۵۵	۵۱۶	۱۲	۷۴۹/۸	۰/۱۶	۱۶۱	۷۵۸/۳	بیش‌برآورد	
۲۰	اشن‌دوماب	۱/۰۹	۰/۵۳	۰/۷۱	۰/۰۹	۰/۵۹	۳۳۰	۱۰	۴۸۹/۴	۰/۳۳	۲۱۸	۶۷۵/۷	بیش‌برآورد	
۲۱	بلمیر	۰/۸۷	۰/۶۱	۰/۵۴	۰/۱۳	۰/۴۸	۳۳۰	۱۰	۳۶۱/۷	۰/۳۶	۱۷۷	۱۳۰/۳	بیش‌برآورد	
۲۲	مراوند بزرگ	۰/۸۵	۰/۵	۰/۴۷	۰/۲۴	۰/۴۱	۱۶۴	۱۲	۱۵۳/۵	۰/۴۲	۸۷	۱۰/۸۸	بیش‌برآورد	
۲۳	تومانک	۰/۸۶	۰/۵۸	۰/۳۹	۰/۱	۰/۳۵	۳۴۷	۱۲	۲۶۰/۲	۰/۴۴	۱۵۶	۹۵۲/۹	بیش‌برآورد	
۲۴	سرتشینز	۱/۱۵	۰/۵۶	۰/۴۹	۰/۲۴	۰/۶۳	۳۲۱	۱۲	۵۶۹/۷	۰/۳۵	۲۶۹	۶۰۶۹۲	بیش‌برآورد	
۲۵	هارونی	۰/۹۷	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۲۳	۰/۵۵	۵۱۶	۱۲	۷۶۳/۶	۰/۳	۳۱۵	۳۹۰/۸	بیش‌برآورد	
۲۶	زانیونی	۰/۹	۰/۵۹	۰/۵۵	۰/۱۷	۰/۵۱	۳۲۱	۱۲	۴۱۸/۲	۰/۲	۱۱۲	۱۱۱/۱	مطلوب	
۲۷	امام‌کندی	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۴۷	۰/۵۸	۳۴۶	۹	۴۸۶/۶	۰/۵۷	۳۷۶	۱۹۱/۸	بیش‌برآورد	
۲۸	سیلوه ۱	۰/۸	۰/۷۱	۰/۴	۰/۱۷	۰/۴۶	۵۴۹	۸	۵۲۵/۹	۰/۳	۲۱۶	۷۷/۲	بیش‌برآورد	
۲۹	سیلوه ۲	۰/۹	۰/۷۶	۰/۴	۰/۱۶	۰/۵۴	۵۴۹	۸	۶۷۵/۷	۰/۳۳	۳۰۵	۴۶۶/۱	بیش‌برآورد	
۳۰	ازون‌دره ۱	۱	۰/۶۳	۰/۶	۰/۳۵	۰/۷۵	۴۹۶	۱۱	۱۱۱۲	۰/۱۲	۱۸۶	۲۲/۱	مطلوب	
۳۱	ازون‌دره ۲	۰/۲۵	۰/۵۱	۰/۶	۰/۳۹	۰/۱۶	۴۹۶	۱۱	۱۰۵/۱	۰/۳۲	۴۵	-۴۷/۹	مطلوب	
۳۲	ازون‌دره ۳	۰/۵	۰/۵۱	۰/۶	۰/۴	۰/۳۱	۴۹۶	۱۱	۳۰۲/۱	۰/۳۶	۱۴۷	۱۷/۱	مطلوب	
۳۳	کهنه‌ده ۱	۰/۹۸	۰/۶۹	۰/۳	۰/۳۳	۰/۵۹	۴۹۶	۱۱	۷۷۱/۷	۰/۵۸	۶۰۵	۶۹۲/۳	بیش‌برآورد	
۳۴	کهنه‌ده ۲	۰/۹۶	۰/۶۷	۰/۳	۰/۳۱	۰/۵۵	۴۹۶	۱۱	۶۹۵/۴	۰/۵۴	۵۱۴	۶۲۵/۷	بیش‌برآورد	
۳۵	خره‌چو ۱	۰/۶۴	۰/۶۶	۰/۷	۰/۳۷	۰/۵۵	۴۹۶	۱۱	۷۰۲/۸	۰/۲۶	۲۴۸	۹۳/۳	بیش‌برآورد	
۳۶	خره‌چو ۲	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۷	۰/۳۷	۰/۵۵	۴۹۶	۱۱	۶۹۸/۴	۰/۲۸	۲۶۸	۸۲/۹	بیش‌برآورد	
۳۷	دارابی	۱/۴۱	۰/۲۸	۰/۳۶	۰/۳۱	۰/۳۶	۵۷۹	۱۳	۴۷۵/۵	۰/۴۵	۲۹۱	۶۰/۲	بیش‌برآورد	
۳۸	دوگر	۰/۷۵	۰/۳۲	۰/۵۳	۰/۲۹	۰/۲۶	۵۵۶	۱۵	۲۸۶/۹	۰/۶۱	۲۳۷	۷۶/۷	بیش‌برآورد	
۳۹	قلعه‌جغد	۰/۷۸	۰/۴۴	۰/۵	۰/۲۴	۰/۳۴	۶۱۹	۱۲	۴۳۷/۷	۰/۵۷	۳۴۲	۴۸۲/۲	بیش‌برآورد	
۴۰	ریمله	۱/۹	۰/۳۴	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۴۴	۶۱۵	۱۲	۶۶۰/۲	۰/۱۳	۱۱۵	-۳۳/۱	مطلوب	
۴۱	خاوران	۰/۷۸	۰/۵۹	۰/۵۵	۰/۲۴	۰/۴۸	۴۴۱	۱۷	۶۰۹/۹	۰/۵	۴۱۸	۳۶۷/۳	بیش‌برآورد	
۴۲	کلستان	۰/۹۵	۰/۴	۰/۶۹	۰/۱۵	۰/۴۱	۷۲۷	۱۲	۶۹۲/۶	۰/۴۸	۴۵۵	۱۰۷/۶	بیش‌برآورد	
۴۳	چهل‌چشمه	۰/۹۵	۰/۴۹	۰/۵۷	۰/۲۵	۰/۵	۸۳۰	۱۳	۱۰۶۵	۰/۳۱	۴۵۸	۳۴۹/۱	بیش‌برآورد	
۴۴	۱ غرب شیراز	۰/۹۸	۰/۳۶	۰/۷۷	۰/۲۳	۰/۴۴	۷۹۷	۱۳	۸۶۴/۳	۰/۲۸	۳۳۱	۷۱۷/۱	بیش‌برآورد	
۴۵	۲ غرب شیراز	۰/۹۹	۰/۳۸	۰/۷۷	۰/۱۶	۰/۴۴	۷۱۹	۱۲	۷۶۸/۲	۰/۲۱	۲۱۷	۱۵۱/۳	بیش‌برآورد	
۴۶	۳ غرب شیراز	۰/۹۹	۰/۳۸	۰/۷۷	۰/۱۹	۰/۴۵	۷۲۵	۱۲	۸۱۳/۵	۰/۲۴	۲۷۰	۸۱/۶	بیش‌برآورد	
۴۷	سنگانه ۱	۱/۳۳	۰/۶	۰/۵۴	۰/۰۷	۰/۶۵	۲۵۷	۱۵	۵۲۶/۹	۰/۰۳	۱۹	۱۲/۸	مطلوب	



## ارزیابی کارایی مدل تجربی توان فرسایش در ۶۳ زیرآبخیز...

ادامه‌ی جدول ۲.

ردیف	نام آبخیز	زمین‌شناسی	کاربری زمین	وضع فرسایش	شیب	ضریب فرسایش	بارندگی	دما	فرسایش ویژه ( $m^3 \cdot km^{-2} \cdot Y^{-1}$ )	ضریب رسوب‌دهی	رسوب‌دهی ویژه ( $t \cdot km^{-2} \cdot Y^{-1}$ )	مدل اصلی (%)	اختلاف نسبی	نتیجه مطابقت
۴۸	سنگانه ۲	۱/۶	۱	۰/۷	۰/۱۱	۱/۶۵	۲۵۷	۱۵	۲۱۴۰	۰/۰۲	۵۵	-۵۹/۵	مطلوب	
۴۹	سنگانه ۳	۱/۶	۱	۰/۷	۰/۰۸	۱/۵۶	۲۵۷	۱۵	۱۹۷۴	۰/۰۲	۴۶	-۱۴/۸	مطلوب	
۵۰	سنگانه ۴	۱/۳۸	۱/۶۸	۰/۵۴	۰/۰۷	۰/۷۵	۲۵۷	۱۵	۶۵۶/۲	۰/۰۴	۳۲	۱۴۳/۶	بیش‌برآورد	
۵۱	سنگانه ۶	۱/۴۱	۰/۱۷۷	۰/۶۲	۰/۰۷	۰/۹۶	۲۵۷	۱۵	۹۴۴/۸	۰/۰۲	۲۹	-۶۲/۱	مطلوب	
۵۲	کارده ۱	۱/۰۷	۰/۵۴	۰/۸	۰/۵۳	۰/۸۸	۳۰۴	۹	۷۹۷/۴	۰/۱۵	۱۶۲	-۴۸/۷	مطلوب	
۵۳	کارده ۲	۱/۰۶	۰/۵	۰/۷	۰/۴۲	۰/۷۱	۲۹۷	۹	۵۵۴	۰/۲	۱۴۷	-۲۳/۲	مطلوب	
۵۴	کارده ۳	۱/۱۹	۰/۵	۰/۶	۰/۳۵	۰/۷۱	۲۷۱	۷	۴۶۲/۵	۰/۰۷	۴۷	-۵۱/۵	مطلوب	
۵۵	کارده ۴	۱/۲	۰/۵	۰/۸۵	۰/۳۴	۰/۸۶	۲۶۸	۷	۶۰۷/۶	۰/۰۵	۴۳	-۸۸/۴	کم‌برآورد	
۵۶	شوردره ۱	۱/۶	۰/۴۸	۰/۶۳	۰/۱۶	۰/۸	۵۸۵	۱۸	۱۷۷۸	۰/۴	۹۷۱	۴۴۰/۲	بیش‌برآورد	
۵۷	شوردره ۲	۱/۶	۰/۵۹	۰/۶۵	۰/۱۳	۰/۹۵	۵۸۵	۱۸	۲۳۲۰	۰/۲۴	۷۶۳	-۲۱/۶	مطلوب	
۵۸	شوردره ۶	۱/۵۶	۰/۴۶	۰/۶۲	۰/۱۳	۰/۷۱	۵۸۵	۱۸	۱۴۹۱	۰/۲۸	۵۷۴	-۴۵/۹	مطلوب	
۵۹	شوردره ۷	۱/۴۳	۰/۴۵	۰/۶۲	۰/۱۵	۰/۶۵	۵۸۵	۱۸	۱۳۰۷	۰/۳۱	۵۴۷	-۲/۹	مطلوب	
۶۰	شوردره ۹	۱/۵۷	۰/۴۹	۰/۶۳	۰/۱۷	۰/۸	۵۸۵	۱۸	۱۷۹۲	۰/۳۱	۷۶۵	-۲۹/۴	مطلوب	
۶۱	شوردره ۱۲	۱/۶	۰/۳۹	۰/۶۲	۰/۱۴	۰/۶۲	۵۸۵	۱۸	۱۲۱۶	۰/۲۸	۴۶۲	-۱۷/۱	مطلوب	
۶۲	شوردره ۱۳	۱/۶	۰/۳۳	۰/۶	۰/۱۲	۰/۵	۵۸۵	۱۸	۸۸۱	۰/۱۸	۲۱۹	-۹/۹	مطلوب	
۶۳	شوردره ۱۶	۱/۶	۰/۴۴	۰/۶۲	۰/۱۵	۰/۷۱	۵۸۵	۱۸	۱۴۹۹	۰/۲۴	۴۸۸	۳۱/۵	مطلوب	

جدول ۳- مقدار پیشنهادشده‌ی ضریب‌های اصلاح‌شده‌ی مدل توان فرسایش.

اقلیم		خصوصیت‌های سنگ و خاک بستر	ضریب اصلاح		
خشک	مدیترانه‌یی				
۱/۸	۱/۷	آهک‌رس دارای املاح گچ و نمک، خاک‌های شور و قلیایی	سنگ و خاک به فرسایش		
۱/۶۵	۱/۶	خاکستر آتش‌فشانی منفصل، بادآورد			
۱/۴	۱/۲	آهک‌رس			
۱/۴	۱/۱	جوش‌سنگ نرم، ماسه‌سنگ قرمز، پلمه‌سنگ، ماسه‌سنگ آهکی، جوش‌سنگ قرمز			
۱/۱	۱	اسلیت			
۱/۱	۰/۹۵	سنگ آهک دولومیتی			
۱	۰/۹	سنگ آهک نرم			
۰/۹	۰/۸	جوش‌سنگ، سنگ آهک سخت			
۰/۸	۰/۷	دولومیت			
۰/۷	۰/۶	شیت، خاکستر آتشفشانی سیلیسی شده (کرج)			
۰/۴	۰/۵	سنگ‌های آذرین، نهشته‌های آب‌رفتی با یافت خوب			
۰/۵	۰/۴۵	نهشته‌های آب‌رفتی با یافت نسبتاً خوب، آب‌رفت‌های قدیمی			
۰/۴	۰/۲	سنگ‌های دگرگونی و متبلور، ریولیت			
متوسط شیب		نوع کاربرد زمین		ضریب اصلاح	
<۱۵	۱۵-۲۵		۲۵-۴۰		>۴۰
۱	۰/۹۵	-	-	هزارده‌های فعال	کاربرد زمین
۱	۰/۹	-	-	زمین غیر قابل کشت لخت	
۰/۹	۰/۸۵	۰/۸	۰/۷۵	زمین شخم‌خورده در دامنه	
۰/۸۵	۰/۸	۰/۷۵	۰/۷	مراغ با زه‌کشی بسیار نامناسب و جنگل‌های مخروطه	
۰/۶۵	۰/۶	۰/۵۵	۰/۵	زراعت دیم در منطقه‌ی کم‌شیب	
۰/۵	۰/۴۵	۰/۴	۰/۳۵	مزرعه‌ی دائمی و کشت آبی	
۰/۴	۰/۳۵	۰/۳	۰/۲۵	مراغ زه‌کشی شده در شیب‌های کم	
متوسط شیب		نوع کاربرد از زمین	ضریب اصلاح		
<۱۵	۱۵-۲۵			۲۵-۴۰	>۴۰
۰/۲	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱	جنگل‌های مرغوب و باغ‌ها روی شیب‌های تند	ضریب اصلاح
۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱	۰/۰۵	جنگل‌های مرغوب و باغ‌ها روی شیب‌های ملایم	
وسعت فرسایش		ضریب اصلاح			
زیاد	متوسط		کم		
۱	۰/۹۵	۰/۹	هزارده، فرسایش آبراهیی و فرسایش‌های خندقی فعال (عریض و عمیق)	ضریب اصلاح	
۰/۹	۰/۸۵	۰/۸	فرسایش خندقی محدود		
۰/۸	۰/۷۵	۰/۷	فرسایش شیب‌های شدید		
۰/۷	۰/۶۵	۰/۶	فرسایش شیب‌های محدود		
۰/۶	۰/۵۵	۰/۵	فرسایش سطحی شدید		
۰/۵	۰/۴۵	۰/۴	فرسایش سطحی منطقه متوسط		
۰/۴۵	۰/۴	۰/۳۵	فرسایش سطحی منطقه خفیف		
۰/۳۵	۰/۳	۰/۲۵	فرسایش ندارد. دیدنی، ولی در کنار رودخانه‌ها واریزه و لغزش مشاهده می‌شود.		
۰/۲	۰/۱۵	۰/۱	فرسایش ندارد و با پوشش زراعت		
۰/۱۵	۰/۱	۰/۰۲	فرسایش ندارد دیدنی و با پوشش گیاهان دائمی		

## ارزیابی کارایی مدل تجربی توان فرسایش در ۶۳ زیرآبخیز...

توان فرسایش در منطقه‌های مرکزی، زاگرس، و شمال شرقی آورده شده است. شکل‌های ۳-الف و ب نیز به ترتیب رابطه‌ی رسوبدهی مشاهده‌شده و برآوردشده همگی آبخیزها، قبل از اصلاح و بعد از اصلاح را نشان می‌دهند.

جدول ۴ نتیجه‌ی رسوبدهی ویژه و اختلاف نسبی مدل اصلاح‌شده‌ی مدل توان فرسایش را نشان می‌دهد. در جدول ۵ شاخص‌های اعتباریابی مدل‌های اولیه و اصلاح‌شده‌ی مدل توان فرسایش نشان داده شده است. در جدول ۶ نیز شاخص‌های اعتباریابی مدل‌های اولیه و اصلاح‌شده‌ی مدل

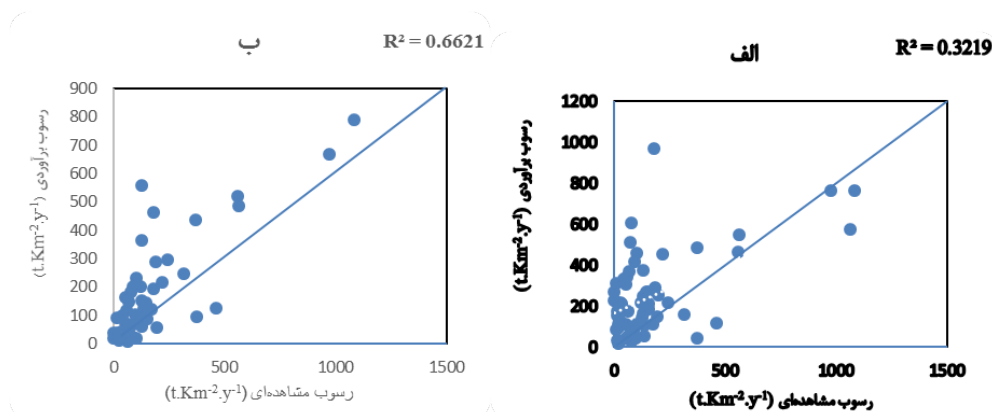
**جدول ۴ - محاسبه‌ی رسوبدهی ویژه و اختلاف نسبی مدل اصلاح‌شده EPM**

ردیف	منطقه	نام آبخیز	زمین‌شناسی	کاربری زمین	وضع فرسایش	شیب	فرسایش ویژه	فرسایش ویژه (m <sup>3</sup> .km <sup>-2</sup> .Y <sup>-1</sup> )	فرسایش ویژه محاسبه‌شده رسوبدهی ویژه (t.km <sup>-2</sup> .Y <sup>-1</sup> )	رسوبدهی ویژه	اختلاف نسبی مدل (%)	نتیجه‌ی مقایسه
۱		سولدره	۰/۹۲	۰/۶۵	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۶	۲۷۳/۹	۰/۳۳	۱۲۴	-۷/۶	مطلوب
۲		ابراهیم‌آباد	۰/۶۹	۰/۶۵	۰/۴۲	۰/۲۹	۰/۴۳	۱۷۰/۴	۰/۳۷	۲۲	-۱۵/۶۵	مطلوب
۳		رویان	۰/۷۶	۰/۶۵	۰/۴۷	۰/۲۴	۰/۴۷	۱۹۸/۹	۰/۸۴	۲۳	-۵۷/۶	مطلوب
۴		علی‌آباد	۱/۱۷	۰/۶	۰/۴۶	۰/۱۶	۰/۶	۲۷۷/۹	۰/۵۹	۲۴	-۷۲/۳	مطلوب
۵		عمروان	۱/۱۲	۰/۷۶	۰/۸۴	۰/۱۱	۱	۵۸۰/۳	۰/۱۶	۱۰۶	-۷۲/۲	کم‌برآورد
۶		وینکه	۰/۸۱	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۱۹	۰/۴۴	۲۱۰	۰/۵۸	۸۸	۱۹/۵	مطلوب
۷		مارچشمه	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۵	۰/۲۲	۰/۴۲	۱۳۸/۵	۰/۶	۱۱	۳۶/۷	مطلوب
۸		ارمیان	۱/۱۴	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۲	۰/۸۱	۴۱۷	۰/۴۳	۳۸	-۵۲/۸	مطلوب
۹	زیرآبخیز	کاظم‌آباد ۱	۱	۰/۷۶	۰/۲	۰/۱۲	۰/۴۲	۳۸۷/۹	۰/۲	۳۴	-۲۶/۹	مطلوب
۱۰		کاظم‌آباد ۲	۱	۰/۶۹	۰/۲	۰/۱۳	۰/۳۹	۳۵۰	۰/۱۹	۲۷	-۴۲/۲	مطلوب
۱۱		کلا	۰/۶	۰/۵۵	۰/۲	۰/۱۴	۰/۱۹	۱۱۵/۹	۰/۲۸	۱۱	-۵۳/۷	مطلوب
۱۲		قشلاق	۰/۸۹	۰/۶	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۷	۲۷۳/۳	۰/۴۱	۵۶	۴۰/۲۹	بیش‌برآورد
۱۳		قالیباف ۱	۰/۶	۰/۶۵	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۲۸	۱۸۴/۹	۰/۱۳	۷	-۱۴/۷	مطلوب
۱۴		قالیباف ۲	۰/۶	۰/۶	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۲۴	۱۴۲/۴	۰/۱۴	۵۵	۵۸۷/۲	بیش‌برآورد
۱۵		قالیباف ۳	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۲۱	۱۱۸/۶	۰/۲۶	۲۱	۶۹/۰۵	مطلوب
۱۶		سعادت‌آباد	۰/۹۹	۰/۵۵	۰/۷	۰/۲	۰/۶۲	۳۶۱/۷	۰/۴۶	۲۰	-۸۲/۷	مطلوب
۱۷		دربند	۰/۵۹	۰/۶	۰/۲	۰/۱۴	۰/۲	۱۰۳/۲	۰/۲۱	۲۹	-۷۱/۲	کم‌برآورد
۱۸		گوشه	۰/۸۴	۰/۶	۰/۲	۰/۲۶	۰/۳۶	۲۵۷/۶	۰/۶۳	۱۹	-۸۸/۸	مطلوب
۱۹		وانان	۰/۹۱	۰/۵۵	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۳۲	۳۳۸/۴	۰/۱۶	۱۸	-۳/۱۵	مطلوب
۲۰		اشن‌دوماب	۰/۹۹	۰/۴۵	۰/۵۱	۰/۰۹	۰/۳۶	۲۳۸/۶	۰/۳۳	۲۷	-۵/۴۵	مطلوب
۲۱		بلمیر	۰/۸۷	۰/۳۷	۰/۴۵	۰/۱۳	۰/۲۶	۱۴۵/۸	۰/۳۶	۱۸	۴۱/۴	مطلوب
۲۲		مراوند بزرگ	۰/۸۵	۰/۵	۰/۴۷	۰/۲۴	۰/۴۱	۱۵۳/۵	۰/۴۲	۲۲	۱۹۶/۹	بیش‌برآورد
۲۳		تومانک	۰/۸۸	۰/۵۴	۰/۱۸	۰/۱	۰/۲۴	۱۴۲/۵	۰/۴۴	۲۱	۴۴/۲	مطلوب
۲۴		سرتشنیز	۰/۹۸	۰/۴۷	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۲۸	۱۷۳/۴	۰/۳۵	۲۰	۴۵۲/۵	بیش‌برآورد
۲۵		هارونی	۰/۹۲	۰/۴۷	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۲۸	۲۸۱/۹	۰/۳	۲۹	۲۶۹/۹	بیش‌برآورد
۲۶		زانپونی	۰/۹	۰/۷۱	۰/۲	۰/۱۷	۰/۳۹	۲۸۱/۴	۰/۲	۱۹	-۸۱/۳	کم‌برآورد
۲۷		امام‌کندی	۰/۷۷	۰/۶۵	۰/۳۴	۰/۴۷	۰/۵۱	۳۹۰/۹	۰/۵۷	۱۵۱	۱۷/۲	مطلوب
۲۸		سیلوه ۱	۰/۹۲	۰/۶	۰/۳۹	۰/۱۷	۰/۴۴	۴۹۴/۶	۰/۳	۲۰۳	۶۶/۶	بیش‌برآورد
۲۹		سیلوه ۲	۰/۶۸	۰/۶۵	۰/۴۲	۰/۱۶	۰/۳۶	۳۶۴/۳	۰/۳۳	۱۶۴	۲۰۵/۲	بیش‌برآورد
۳۰	زیرآبخیز	ازون‌دره ۱	۰/۸۲	۰/۶۵	۰/۴۷	۰/۳۵	۰/۵۷	۷۲۷/۵	۰/۱۲	۱۲۲	-۲۰/۱	مطلوب
۳۱		ازون‌دره ۲	۱	۰/۶۵	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۶۷	۹۳۹/۶	۰/۳۲	۲۰۲	۱۳۲/۴	بیش‌برآورد
۳۲		ازون‌دره ۳	۰/۸۲	۰/۷۶	۰/۸۴	۰/۴	۰/۹۲	۱۵۰/۶	۰/۳۶	۳۶۵	۱۹۱/۹	بیش‌برآورد
۳۳		کهنه‌ده ۱	۰/۶۸	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۳۳	۰/۴۲	۴۶۳/۵	۰/۵۸	۱۸۲	۱۳۷/۹	بیش‌برآورد

جدول ۴- محاسبه‌ی رسوب‌دهی ویژه و اختلاف نسبی مدل اصلاح‌شده EPM

ردیف	منطقه	نام آب‌بزر	زمین‌شناسی	کاربری زمین	وضع فرسایش	شیب	فرسایش ضریب	فرسایش ویژه ( $m^3 \cdot km^{-2} \cdot Y^{-1}$ )	دهی ضریب رسوب- ویژه ( $t \cdot km^{-2} \cdot Y^{-1}$ )	رسوب‌دهی معدل (%)	اختلاف نسبی معدل (%)	نتیجه‌ی مطابقت
۳۴		کهنه‌ده ۲	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۳۸	۴۰۵/۷	۰/۵۴	۱۵۰	۱۱۱/۷	بیش‌برآورد
۳۵		خره‌چو ۱	۱/۱۴	۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۳۷	۰/۹۵	۱۵۷۷	۰/۲۶	۵۵۷	۳۳۳/۸	بیش‌برآورد
۳۶		خره‌چو ۲	۱	۰/۷۲	۰/۲	۰/۳۷	۰/۵۸	۷۵۶/۳	۰/۲۸	۱۴۵	-۰/۹۷	مطلوب
۳۷		دارابی	۱	۰/۵۸	۰/۲	۰/۳۱	۰/۴۴	۶۳۵/۱	۰/۴۵	۱۹۵	۶/۹۵	مطلوب
۳۸		دوگر	۰/۶	۰/۵۵	۰/۲	۰/۲۹	۰/۲۴	۲۶۵/۸	۰/۶۱	۱۱۰	-۱۸/۱	مطلوب
۳۹		قلعه‌جغد	۰/۶	۰/۶	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۷	۳۰۳/۹	۰/۵۷	۱۱۹	۱۰۲/۱	بیش‌برآورد
۴۰		ریمله	۱/۰۵	۰/۶	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۴۶	۶۹۱/۹	۰/۱۳	۱۲۰	-۲۹/۹	مطلوب
۴۱		خاوران	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۳	۲۰۰/۴	۰/۵	۶۹	-۲۳/۲	مطلوب
۴۲		کلستان	۰/۶۱	۰/۶	۰/۷	۰/۱۵	۰/۴	۶۶۳/۸	۰/۴۸	۲۱۸	-۰/۵۳	مطلوب
۴۳		چهل‌چشمه	۰/۸۴	۰/۶	۰/۵	۰/۲۵	۰/۵	۱۰۸۴	۰/۳۱	۲۳۳	۱۲۸/۵	بیش‌برآورد
۴۴		۱ غرب شیراز	۰/۸۸	۰/۵۴	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۳۱	۵۱۸/۱	۰/۲۸	۹۹	۱۴۴/۹	بیش‌برآورد
۴۵		۲ غرب شیراز	۰/۹۸	۰/۴۷	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۲۴	۳۱۷/۹	۰/۲۱	۹۰	۵۶۷/۶	بیش‌برآورد
۴۶		۳ غرب شیراز	۰/۹۲	۰/۴۷	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۲۷	۳۶۷/۹	۰/۲۴	۱۲۲	-۱۷/۸	مطلوب
۴۷		سنگانه ۱	۱/۴۴	۰/۶۴	۰/۵۴	۰/۰۷	۰/۷۵	۶۵۴	۰/۰۳	۲۳	۳۹/۹	مطلوب
۴۸		سنگانه ۲	۱/۶۵	۱	۱	۰/۱۱	۲/۲	۳۲۸۷	۰/۰۲	۸۵	-۳۷/۹	مطلوب
۴۹		سنگانه ۳	۱/۶۵	۱	۱	۰/۰۸	۲/۱۱	۳۰۸۸	۰/۰۲	۷۳	۳۳/۲	مطلوب
۵۰		سنگانه ۴	۱/۴۶	۰/۷۱	۰/۵۴	۰/۰۷	۰/۸۳	۷۶۱/۸	۰/۰۴	۳۷	۱۸۲/۸	بیش‌برآورد
۵۱		سنگانه ۶	۱/۴۴	۰/۷۶	۰/۵۸	۰/۰۷	۰/۹۲	۸۹۱/۹	۰/۰۲	۲۸	-۶۴/۲	مطلوب
۵۲		کارده ۱	۱/۲۲	۰/۶۳	۰/۷۹	۰/۵۳	۱/۱۷	۱۲۱۱	۰/۱۵	۲۴۶	-۲۲/۱	مطلوب
۵۳		کارده ۲	۱/۳۸	۰/۶	۰/۷	۰/۴۲	۱/۱۱	۱۰۸۲	۰/۲	۲۸۸	۴۹/۸	مطلوب
۵۴		کارده ۳	۱/۶۸	۰/۶	۰/۶	۰/۳۵	۱/۲	۱۰۲۰	۰/۰۷	۱۰۴	۶/۷۴	مطلوب
۵۵		کارده ۴	۱/۷	۰/۶	۰/۸۴	۰/۳۴	۱/۴۵	۱۳۳۳	۰/۰۵	۹۴	-۷۴/۷	کم‌برآورد
۵۶		شوردره ۱	۱/۶۵	۰/۴۵	۰/۶۳	۰/۱۶	۰/۷۷	۱۶۹۱	۰/۴	۴۶۲	۱۵۶/۸	بیش‌برآورد
۵۷		شوردره ۲	۱/۶۵	۰/۸۳	۰/۶۵	۰/۱۳	۱/۳۸	۴۰۵۴	۰/۲۴	۶۶۷	-۳۱/۵	مطلوب
۵۸		شوردره ۶	۱/۶۳	۰/۷۶	۰/۶۲	۰/۱۳	۱/۲۲	۳۳۸۲	۰/۲۸	۳۲۵	-۶۹/۳	مطلوب
۵۹		شوردره ۷	۱/۵۵	۰/۶۱	۰/۶۲	۰/۱۵	۰/۹۵	۲۳۲۹	۰/۳۱	۴۸۷	-۱۳/۵	مطلوب
۶۰		شوردره ۹	۱/۶۲	۰/۷۷	۰/۶۳	۰/۱۷	۱/۲۹	۳۷۰۱	۰/۳۱	۷۹۰	-۲۷/۱	مطلوب
۶۱		شوردره ۱۲	۱/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۲	۰/۱۴	۱/۰۶	۲۷۴۱	۰/۲۸	۵۲۱	-۶/۶	مطلوب
۶۲		شوردره ۱۳	۱/۶۵	۰/۶۲	۰/۶	۰/۱۲	۰/۹۶	۲۳۷۶	۰/۱۸	۲۹۶	۲۱/۵	مطلوب
۶۳		شوردره ۱۶	۱/۶۵	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۱۵	۱/۰۵	۲۶۸۹	۰/۲۴	۴۳۸	۱۸/۰۱	مطلوب

## ارزیابی کارایی مدل تجربی توان فرسایش در ۶۳ زیرآبخیز...



شکل ۳- نمودار رابطه‌ی رسوبدهی مشاهده‌شده و برآوردشده‌ی مدل‌های اولیه (الف) و اصلاح‌شده‌ی مدل توان فرسایش (ب).

### بحث و نتیجه‌گیری

اطلاعات جدول ۱ نشان‌دهنده‌ی تغییر وزن رسوبدهی ویژه در آبخیزهای کوچک از ۰/۴۴ تن در کیلومتر مربع در سال در آبخیز سرشنیز (چهارمحال و بختیاری) تا ۱۰۸۳/۷ تن در کیلومتر مربع در سال در شوردره‌ی ۹ (گلستان) است. بر پایه‌ی نتیجه‌ی این پژوهش ضریب فرسایش از ۰/۱۲ در آبخیز کلا (مرکزی) تا ۱/۶۵ در آبخیز سنگانه‌ی ۲ (خراسان رضوی) متغیر است (جدول ۳). فرسایش ویژه نیز از ۵۹/۸ تن در کیلومتر مربع در سال در آبخیز کلا (مرکزی) تا ۲۳۱۹/۸ تن در کیلومتر مربع در سال در آبخیز شوردره‌ی ۲ (گلستان) تغییر کرد (جدول ۲). رسوبدهی برآوردشده‌ی مدل توان فرسایش از ۱۸/۷ تن در کیلومتر مربع در سال در

آبخیز سنگانه‌ی ۲ (خراسان رضوی) تا ۹۷۱/۵ تن در کیلومتر مربع در سال در شوردره‌ی ۱ (گلستان) متغیر بود (جدول ۲). در بیش‌تر آبخیزها رسوبدهی برآوردشده‌ی مدل توان فرسایش انطباق لازم در مقایسه با رسوبدهی اندازه‌گیری شده‌ی آب‌گیرهای آبخیزها نداشت (جدول ۲). از آن‌جا که شاخص NSE برابر ۰/۱۱ به دست آمد، نشان می‌دهد که مدل اعتبار لازم را ندارد. میانگین نسبی مربع‌های خطای مدل نیز ۱/۳۱ به دست آمد، که نشان‌دهنده‌ی اندازه‌ی خطای زیاد و نبود تناسب مدل برای تخمین رسوبدهی آبخیزها است. شاخص‌های RMSE و MAPE به ترتیب ۲۱۷/۸ و ۱۶۵۷/۲ به دست آمد، که نبودن اعتبار روش مدل توان فرسایش را نشان می‌دهد.

جدول ۵- شاخص‌های اعتباریابی مدل‌های اولیه و اصلاح‌شده‌ی مدل توان فرسایش در مساحت‌های مختلف.

مساحت (Km <sup>2</sup> )	شاخص ارزیابی	تعداد آبخیز	R <sup>2</sup>	MAPE	RMSE	RRMSE	NSE
<۱	اولیه	۲۱	۰/۰۰۴	۱۷۵/۳۱	۱۲۳/۱۱	۱/۰۱	-۰/۸۱
	اصلاح شده		۰/۳	۷۸/۹۹	۸۱/۴۱	۰/۶۷	۰/۷۲
<۲	اولیه	۳۳	۰/۴۶	۱۳۳/۱	۱۳۳/۳۵	۰/۸	۰/۴۴
	اصلاح شده		۰/۵۹	۷۴/۴	۱۱۷/۹۸	۰/۷	۰/۵۷
<۳	اولیه	۴۱	۰/۶۲	۱۳۸/۲۵	۱۶۳/۳۸	۰/۷۸	۰/۶۱
	اصلاح شده		۰/۶۴	۷۵/۵۵	۱۳۶/۱۴	۰/۷۲	۰/۷۹
<۴	اولیه	۴۴	۰/۵۸	۲۳۴/۰۱	۱۷۰/۱۴	۰/۸۱	۰/۵۸
	اصلاح شده		۰/۶۷	۸۰/۲۵	۱۳۲/۱۷	۰/۶۹	۰/۸
<۵	اولیه	۴۷	۰/۳۸	۷۶۸/۰۱	۲۱۳/۸۳	۱/۰۶	۰/۳
	اصلاح شده		۰/۶۴	۱۶۸/۴۴	۱۳۴/۹۹	۰/۷۴	۰/۶۴
<۱۰	اولیه	۵۲	۰/۳۳	۱۸۹۳/۲۳	۲۲۳/۸۷	۱/۲	۰/۱۸
	اصلاح شده		۰/۶۵	۲۴۵/۱۷	۱۲۹/۱۷	۰/۷۶	۰/۶۶

جدول ۶- شاخص‌های اعتباریابی مدل‌های اولیه و اصلاح‌شده‌ی مدل توان فرسایش در منطقه‌های مرکزی، زاگرس و شمال شرقی.

مدل اصلاح‌شده‌ی توان فرسایش				مدل اولیه‌ی توان فرسایش				شاخص اعتباریابی
NSE	RRMSE	RMSE	MAPE	NSE	RRMSE	RMSE	MAPE	منطقه
۰/۶۸	۰/۷۸	۴۵/۰۶	۳۹۷/۱۲	-۱/۵۷	۱/۹۱	۱۵۴/۹۷	۳۵۹۴/۷	مرکزی
۰/۵	۰/۷۸	۸۶/۸۳	۱۰۱/۲۶	-۲۲/۲۴	۲/۱۶	۲۴۲/۸۴	۳۰۵/۲۳	زاگرس
۰/۸۹	۰/۴۶	۱۵۲/۵۴	۴۹/۱۷	۰/۴۳	۰/۷۱	۲۶۳/۴۸	۶۴/۹۲	شمال شرقی

مشاهده‌شده نسبت به رسوب‌دهی برآوردشده مدل است. اختلاف نسبی مدل سازگار شده‌ی مدل توان فرسایش بر پایه‌ی راهنمای خطای مجاز (توی و همکاران ۲۰۰۲) نشان دهنده‌ی ۴۱ برآورد مطلوب، ۱۸ برآورد بیش‌برآورد و چهار برآورد کم‌برآورد است. نتیجه‌ی به‌دست‌آمده در انطباق با نتیجه‌گیری بازوفی (۱۹۸۵)، دراگیسویچ و همکاران (۲۰۱۸)، و توسیچ و همکاران (۲۰۱۹) است که کاربرد مدل اصلاح‌شده‌ی مدل توان فرسایش را در برآورد رسوب توصیه می‌کند.

شاخص‌های اعتباریابی در روش اصلاح‌شده‌ی مدل توان فرسایش بسیار بهبود می‌یابد (جدول ۶). از آن‌جا که در ایران اقلیم‌ها و سنگ‌شناسی‌های مختلفی است، این روش در منطقه‌های مختلف جواب‌های متفاوتی داده است. نتیجه در انطباق با نتیجه‌گیری نبی‌پی لشکریان و همکاران (الف ۲۰۱۷) و نبی‌پی لشکریان و همکاران (ب ۲۰۱۷) است. این روش به‌ترتیب در مساحت‌های کوچک‌تر از سه کیلومتر مربع و کوچک‌تر از چهار کیلومتر مربع کارایی مناسب‌تری دارد (جدول ۵). پژوهش‌های بیات و همکاران (۲۰۰۱) و صدوق و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که روش مدل توان فرسایش در آبخیزهای بزرگ دقت بسیار کمی دارد، و این نتیجه در تطابق با بازوفی (۱۹۸۵)، دراگیسویچ و همکاران (۲۰۱۸)، و نبی‌پی لشکریان و همکاران (ب ۲۰۱۷) است که کاربرد این نرم‌افزار را در برآورد رسوب آبخیزهای کوچک توصیه کردند.

مدل توان فرسایش چهار عامل اصلی زمین‌شناسی، کاربری زمین، فرسایش آبخیز و شیب متوسط را در نظر می‌گیرد. ویژگی‌های زمین‌شناسی عامل مؤثری در فرسایش‌پذیری آبخیز است. پژوهش‌های مختلفی نشان داده‌است که آبخیزهای با سنگ آهک‌رس، بار رسوبی بیش‌تری از شیست، سنگ آهک و ماسه‌سنگ دارد (فیض‌نیا ۱۹۹۵؛ دی‌ونته و همکاران ۲۰۰۶). فیض‌نیا (۱۹۹۵) نتیجه‌گیری کرد که حساسیت سنگ‌ها در اقلیم‌های مختلف متفاوت است. عامل مهم دیگر در رسوب‌زایی آبخیزها تغییر کاربری

اختلاف نسبی مدل اولیه بر پایه‌ی راهنمای خطای مجاز (توی و همکاران ۲۰۰۲) نیز نشان‌دهنده‌ی این است که بیش‌تر برآوردهای مدل بیش‌برآورد بود. این نتیجه با نتیجه‌ی پژوهش بیرپرتنر (۱۹۹۸)، امیری (۲۰۱۰)، نجفی‌نژاد (۱۹۹۴) و هاشمی و عرب‌خدری (۲۰۰۸) که مدل را بی‌واسنجی به کار بردند و کارایی آن را تأیید کردند، مغایرت دارد. نتیجه‌گیری به دست آمده از پژوهش‌های بازوفی (۱۹۸۵)، شادفر و همکاران (۲۰۱۸)، دراگیسویچ و همکاران (۲۰۱۸) و قهاری و همکاران (۲۰۲۱) نتیجه‌ی ما را تأیید می‌کند. مطابق نتیجه‌ی پژوهش‌های بیات و همکاران (۲۰۰۱) و صدوق و همکاران (۲۰۱۵) مدل توان فرسایش مناسب شرایط اقلیمی ایران نیست.

بررسی نتیجه‌ی جدول ۴ نیز این مسأله را به وضوح نشان می‌دهد که برآوردهای مدل توان فرسایش واسنجی‌شده، خطای به‌مراتب کم‌تری از مدل اولیه (واسنجی‌نشده) دارد. شاخص‌های RMSE و MAPE به‌ترتیب ۱۱۷/۸۱ و ۲۱۰/۴ به‌دست آمد. شاخص‌های NSE و RRMSE به‌ترتیب ۰/۶۶ و ۰/۷۸ محاسبه شد. بررسی نتیجه‌ی شاخص‌های آماری نیز نشان‌دهنده‌ی این است که میانگین و میان‌ه‌ی رسوب‌دهی اندازه‌گیری‌شده‌ی بندها به‌ترتیب ۱۵۱/۷۶ و ۹۳/۲۸ تن بر کیلومتر مربع در سال، اما میانگین و میان‌ه‌ی رسوب برآوردشده مدل به‌ترتیب ۱۵۰/۲۳ و ۹۶/۶۲ تن بر کیلومتر مربع در سال بود. چولگی داده‌های رسوب‌دهی مشاهده‌شده و برآوردشده‌ی نرم‌افزار مثبت بود، و به ترتیب ۳/۰۴ و ۱/۹۲۱ به‌دست آمد، که نشان‌دهنده‌ی تجمع مقدار رسوب‌دهی کم‌تر از مقدار میانگین است.

رسوب‌دهی اندازه‌گیری‌شده‌ی بندها بین ۰/۴۴ و ۱۰۸۳/۶۸ تن بر کیلومتر مربع در سال متغیر بود، در حالی که رسوب‌دهی برآوردشده‌ی مدل بین ۷/۳۴ و ۷۸۹/۶۲ تن بر کیلومتر مربع در سال تغییر کرد. ضریب تغییر رسوب‌دهی اندازه‌گیری‌شده‌ی بندهای پژوهش و رسوب‌دهی برآوردشده‌ی مدل نیز به‌ترتیب ۱۳۴/۴۵ و ۱۱۴/۵۵ به‌دست آمد، که نشان‌دهنده‌ی تغییر بیش‌تر رسوب‌دهی

عملی بودن در بسیاری از پژوهش‌های فرسایش و رسوب‌دهی به کاربرده شده است، ولی کاربرد مدل توان فرسایش اولیه در بیش تر جاها پاسخی دور از واقعیت می‌دهد. این مسأله مؤید این است که کاربرد مدل در خارج از منطقه‌ی ابداع باید با دقت و وسواس بیش‌تری باشد. بنابراین توصیه می‌شود مدل توان فرسایش اولیه در پژوهش‌های اجمالی به کاربرده شود، و در پژوهش‌های تفصیلی به کاربرده نشود. کاربرد مدل توان فرسایش اولیه در منطقه‌هایی با فرسایش شدید توصیه نمی‌شود. با اصلاح ضریب‌ها و واسنجی آن می‌توان برآورد دقیق‌تری از رسوب دهی گرفت. ضمن این‌که این مدل در مساحت‌های کوچک‌تر از ۴۰۰ هکتار کارایی بهتری دارد. از این‌رو توصیه می‌شود که مدل اولیه (در کرواسی) بی اصلاح ضریب‌ها و واسنجی به کار برده نشود، و در مساحت‌های کوچک‌تر از ۴۰۰ هکتار به کاربرده شود. به کار بردن روش اصلاح‌شده‌ی مدل توان فرسایش در هر مساحتی توصیه می‌شود. سرانجام، پیشنهاد می‌شود که ارزیابی مدل‌های تجربی دیگر مانند MPSIAC نیز در این آبخیزها انجام شود، تا امکان کاربرد این مدل‌ها در شرایط ایران و مقایسه‌ی این روش‌ها با روش مدل توان فرسایش فراهم شود.

### سپاس‌گزاری

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی «واسنجی مدل‌های تجربی برآورد رسوب‌دهی با بررسی رسوب مخازن بندهای کوچک در ایران» (۲۰۱۰-۲۹-۲۹-۸۹۰۲) در پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری است. به‌این‌وسیله از آقایان دکتر علی‌اکبر عباسی، مهندس محمدرضا پارسامهر، مهندس ابراهیم بروشکه، دکتر غلامرضا قهاری، دکتر کیانفر پیامی، دکتر احمد مختاری، مهندس حشمت‌اله آقارزی، دکتر علی‌اصغر هاشمی و همکاران دست‌اندرکار در این پژوهش تشکر می‌شود.

زمین است. اندازه‌ی فرسایش خاک در ارتباط با عامل طبیعی و کاربری زمین است (هدلی و والینگ ۱۹۸۴؛ به نقل از نبی‌پی لشکریان و همکاران ۲۰۱۷ ب). پژوهش‌های عامل پوشش گیاهی مستقیمانه با جلوگیری از برخورد قطره‌ی باران به زمین و نامستقیم با جلوگیری از تولید سیل و افزایش ظرفیت نفوذ از جمله عامل‌هایی است که بر رسوب دهی آبخیز تأثیر زیادی دارد (دی‌ونته و همکاران ۲۰۰۶). رسوب‌زایی نوع‌های مختلف فرسایش یک آبخیز متفاوت است، به طوری‌که در بین فرسایش‌هایی که در آبخیز شکل می‌گیرد، فرسایش خندقی مقدار رسوب بیش‌تری تولید می‌کند (دی‌ونته و همکاران ۲۰۰۶). ویژگی‌های پستی‌بلندی مانند تندی شیب از عامل‌های مؤثر در فرسایش‌پذیری آبخیز است (دی‌ونته و همکاران ۲۰۰۶). در شکل ۳ جاهای خیلی پرت شوردره‌ی ۱ (گلستان)، کهنه‌ده ۱ و کهنه‌ده ۲ (آذربایجان غربی)، چهل چشمه‌ی (فارس) و عمروان (سمنان) است. علت آن در بیش‌تر جاها ساختار پلمه‌سنگ و رسی یا خندقی بودن این آبخیزها است که نشان‌دهنده‌ی امتیازدهی نامناسب مدل توان فرسایش اولیه است. در جدول ۳ با بهینه‌سازی امتیازهای اولیه، مدل تا حد بسیار مناسبی اصلاح شد. به طوری‌که مدل اولیه تنها توانست ۳۲٪ از تغییر رسوب‌دهی مشاهده‌شده‌ی همه‌ی بندهای پژوهش را بیان کند ( $R=0/57$ ) (شکل ۲-الف)، در حالی‌که مدل اصلاح‌شده‌ی مدل توان فرسایش توانست ۶۶٪ از تغییر رسوب‌دهی مشاهده‌شده را بیان کند ( $R=0/81$ ) (شکل ۲-ب). مطابق نتیجه‌ی ژانگ و همکاران (۱۹۹۶) مقدار ضریب تعیین زیادتر از ۰/۵ پذیرفتنی است. نتیجه‌ی به‌دست‌آمده در انطباق با نتیجه‌گیری بازوفی (۱۹۸۵)، دراگیسویچ و همکاران (۲۰۱۸)، نبی‌پی لشکریان و همکاران (الف ۲۰۱۷) و نبی‌پی لشکریان و همکاران (ب ۲۰۱۷) است. نتیجه‌ها بیان‌گر این است که این روش به‌دلیل سادگی اجرا و

- Agharazi H, Nabipay Lashkarian S. 2017. Evaluation of EPM empirical model results through Sediment survey of small dams in Markazi Province. First National Conference on Soil Conservation and Watershed Management. 8-10 February. 7 p. (In Persian).
- Ahmadi M, Minaei M, Ebrahimi O, Nikshesht M. 2020. Evaluation of WEPP and EPM for improved predictions of soil erosion in mountainous watersheds: A case study of Kangir River basin, Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*. 6 (4): 2303–2315.
- 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*. doi. org/10.1177/ASWR.S3427. 2010: 3 (1): 37–44.
- Arabkhedri M, Nikkami D, Nabipay Lashkarian S, Shadfar S. 2017. Calibration of empirical models for sediment yield estimation using sediment survey of small reservoirs in Iran. *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. Final Report of Research Plan*. 186 p. (In Persian).
- Bayat R, Refahi H, Darwish Sefat A.A, Sarmadian F. 2001. Evaluation of the efficiency of EPM and MPSIAC models in estimating sediment of Taleghan watershed using GIS. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 32 (9): 203–217. (In Persian).
- Beyer Portner N. 1998. Erosion des bassins versant alpins scusses par ruissellement de surface. PhD Thesis. Laboratoire de Constructions Hydrauliques-LCH. Lausanne. Switzerland. 1815 p.
- Boardman J. 2006. Soil erosion science: reflections on the limitations of current approaches. *Catena*. 68: (2/3). 73–86.
- Borooshkeh E, Arabkhedri M. 2015. Evaluation of MPSIAC and EPM empirical models in Western Azerbaijan Province based on sediment surveying behind small dams. *Watershed Engineering and Management*. 7(3): 265–273. (In Persian).
- de Vente J, Poesen J, Bazzoffi P, van Rompaey A, Verstraeten, G. 2006. Predicting catchment sediment yield in Mediterranean environments: the importance of sediment sources and connectivity in Italian drainage basins. *Earth Surface Processes and Landforms*. 31 (8): 1017–1034.
- Dragicevic N, Karleusa B, Ozanic N. 2018. Modification of erosion potential method using climate and land cover parameters. *Jornal of Natural Hazards and Risks*. 9 (1): 1085–1105.
- Efthimiou N, Likoudi E, Panagoulia D, Karavitis C. 2016. Assessment of soil susceptibility to erosion using the EPM and RUSLE models: the case of Venetikos river catchment. *Global NEST Journal*. 18 (1): 164–179.
- Elhag M, Kojchevska T, Boteva S. 2019. EPM for soil loss estimation in different geomorphologic conditions and data conversion by using GIS. *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium*. 3–7 september. 2019. doi:10.1088/1755-1315/221/1/012079. Volume 221. IOP Conference Series: Earth and Environmental science. pp. 1–12.
- Esmali Ouri A, Kateb F. 2020. Investigation of soil erosion potential with the involvement of land features measures (Case study: Sharif-Beiglou, Ardabil province). *Hydrogeomorphology*. 6 (24): 145–164. (In Persian).
- Feiznia S. 1995. Resistance of rocks to erosion in different climates of Iran. *Iranian Jour-*



- nal of Natural Resources. No. 47: 95–116. (In Persian).
- Gavrilovic Z. 1988. The use of an empirical method (Erosion Potential Method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams, International Conference on River Regime. Hydraulics Research Limited. Wallingford. Oxon UK. 1988. pp. 411–422.
- Ghahari GR, Shadfar S, Hosseini-Marandi H. 2021. Evaluation of the EPM model using sediment survey of small reservoirs. Journal of Watershed Engineering and Management. 12 (4): 1133–1145. (In Persian).
- Ghobadi Y, Pirasteh S, Pradhan B, Ahmad Helmi NB, Shafri ZBM, Sayyah GA, Kabiri K. 2011. Determine of correlation coefficient between EPM and Generation of erosion maps by GIS Techniques in baghmalek Watershed. Khuzestan. Iran. 5<sup>th</sup> Symposium on Advance in Science. 8 (1): 525–537.
- Globevink L, Holjevic D, Petkovesk G, Rubinic J. 2003. Applicability of the Gavrilovic method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques. In: De Boer D, Froehlich W, Mizuyama T, Pietroniro A. (Eds.). Erosion prediction in Ungauged Basin: Integrating methods and Techniques. IAHS Publication. 279: 224–233.
- Hakimkhani S. 2002. Investigation of methods of using MPSIAC in studies and theses. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 120 p. (In Persian).
- Hadley RF, Walling DE. 1984. Erosion and sediment yield: some methods of measurement and modeling. Cambridge University press. 218 p.
- Hashemi AA, Arabkhedri M. 2008. Evaluation of MPSIAC and EPM models using sedimentation survey within some small dam reservoirs in Semnan Province. Soil Conservation and Watershed Management Institute. Final Report of Research Plan. 93 p. (In Persian).
- Jafari Ardakani A, Bayat R, Nabipay Lashkarian S, Arabkhedri M, Peyrowan HR, Shariat-Jafari M, Ghermezcheshmeh B. 2016. Investigating of performance EPM model in central Iran basins. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. Final Report of Research Plan. 186 p. (In Persian).
- Kavian A, Asgarian R, Nateghi S, Safari A. 2014. Performance evaluation models FSM, PSIAC and EPM in estimating sediment yield pasture lands. Journal of geographic space. 4 (48): 57–79. (In Persian).
- Lense GHE, Moreira RS, Parreiras TC, Santana DB, Bolelli TM, Mincato RL. 2020. Water erosion modeling by the Erosion Potential Method and the Revised Universal Soil Loss Equation: a comparative analysis, Rev. Ambient. Taubaté. Versión Online ISSN1980-993X. doi.org/10.4136/ambigua. 2501. 15 (4): 1–11.
- Massoudian SA, Kaviani MR. 2008. Iranian climate. Isfahan University. 182 P. (In Persian).
- Mesbah SH. 1995. Investigation of erosion and sedimentation of Bardkol watershed using EPM and cesium. M.S. of Thesis in Watershed Management. Department of natural resources. University of Tehran. 158 p. (In Persian).
- Nabipay Lashkarian S, Payrovan HR, Arabkhedri M. 2016. A review of studies conducted by the experimental EPM model. 7th Iranian Conference on Engineering Geology and Environment. Shahroud University of Technology. February 2016. 9 p. (In Persian).
- Nabipay Lashkarian S, Arabkhedri M, Shadfar S. 2018. Evaluation of EPM model results in sediment estimation of small basins. Third National Conference on Soil Conservation and Watershed Management. 24-25 May. 3: 12 p. (In Persian).

- Nabipay Lashkarian S, Arabkhedri M, Shadfar S, Jafari Ardakani A. 2017a. Calibration of EPM empirical model using sediment survey of small reservoirs in the central of basins of Iran. Research Final Report. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 147 p. (In Persian).
- Nabipay Lashkarian S, Arabkhedri M, Shadfar S, Jafari Ardakani A, Ahmadi S. 2017b. Calibration of EPM empirical model using sediment survey of small reservoirs in the northeast of Iran. Research Final Report. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 107 p. (In Persian).
- Najafi-nejad A. 1994. Evaluation of the efficiency of EPM experimental model in estimating erosion and sedimentation of Latian dam watershed. Master Thesis. Faculty of Natural Resources. University of Tehran. 145 p. (In Persian).
- Nash JE, Sutcliffe JE. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part 1 – A discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 10 (3) 282–290.
- Nason GP. 1995. Wavelet shrinkage using cross-validation. *Journal of the Royal Statistical Society. B*. 58 (2): 463–479.
- Rajabi AM, Yavari A, Soloki HR. 2019. Application of EPM model in soil erosion evaluation (Case study, Shazand watershed-Saveh Dam). *Iranian Journal of Geology*. 13 (50): 89–98.
- Rangzan K, Zarasvandi A, Haydari A. 2008. Comparison of two models of MPSIAC and EPM in estimating erosion and sediment of Pegah Sorkh Gotvand Khouzestan Basin using GIS and RS techniques. *Journal of Geographical Studies*. 40 (64):123–136. (In Persian).
- Sadoogh SH, Hosseinzadeh MM, Azadi F. 2015. Erosion zoning in Kahman watershed using three models EPM, BLM and Fargas. *Journal of Hydrogeomorphology*. 1(2): 137–154. (In Persian).
- Shadfar S, Arabkhedri M, Nabipay Lashkarian S. 2017. Calibration of EPM empirical model using sediment survey of small reservoirs in the northwest of Iran. Research Final Report. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 110 p. (In Persian).
- Tangestani MH. 2006. Comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield assessment in a semi-arid environment: Afzar Catchment, Fars Province, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*. 27 (5): 585–597.
- Thommas MB, Voinvoch GV. 1995. Landslide in Ohio. The division of geological survey geofacts series. 4p.
- Tosic R, Lovric N, Dragicevic S. 2019. Assessment of the impact of depopulation on soil erosion: Case study-Repulica Srpska (Bosnia and Herzegovina). *Journal of Earth and Environmental Sciences*. August 2019. 14 (2): 505–518.
- Toy TJ, Foster GR, Renard KG. 2002. *Soil Erosion, Processes, Prediction, Measurement and Control*. John Wiley and Sons. New York. 338 p.
- Zhang XC, Nearing MA, Risse LM, McGregor KC. 1996. Evaluation of runoff and soil loss predictions using natural runoff plot data. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 39 (3): 855–863.



## An Assessment of the Empirical Erosion Potential Model in 63 Selected Watersheds in Iran

**Saeed Nabipay- Lashkarian**

(Corresponding Author)\* Research Scientist, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

**Mahmood Arabkhedri**

Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

**Samad Shadfar**

Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Corresponding Author's Email: snabipay@gmail.com

Received: 25 January 2021

Accepted: 20 June 2021

### Abstract

Accelerated soil erosion and high sediment production are important issues in many parts of Iran. The identification of high erosion risk regions is necessary for the planning of soil and water conservation measures in order to reduce erosion damages. Empirical models are required for estimating soil erosion and sediment yield in the absence of gauged small watersheds. The Erosion Potential Method (EPM), originally developed in Croatia, is a popular erosion estimating model in Iran; however, its efficiency across the country has not been thoroughly assessed. Therefore, a calibration study was carried out by comparison between the model the estimated and measured sediment yields through sediment survey for 63 reservoirs at the outlet of small catchments in the Semnan, Markazi, Isfahan, Chaharmahal va Bakhtiari, West Azarbaijan, Lorestan, Fars, Golestan, and the Khorasan Razavi Provinces. All required maps and information of the study basins for estimating the EPM sediment yield were produced via field survey as well as data analysis. Comparison of the results showed that in most cases, the model estimates (0.19 to 9.71 tons per square kilometer per year) are lower than the measured sediment yields at the reservoir inlets (0.44 to 459.64 tons per square kilometer per year). Thus, we calibrated the EPM by modifying its original tables and evaluated the results using the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient in two scenarios, a, all basins, and b, after dividing into three geographical zones, which significantly improved the estimates. The Nash - Sutcliffe efficiency coefficient for scenario a was 0.66, and 0.68, 0.50 and 0.89 for the Central, Zagros, and Northeast zones, for scenario b respectively. Based on the results, it is strongly recommended to use the modified EPM instead of the original model.

**Keywords:** Calibration, EPM model, sediment yield, small dam, soil erosion