نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۲، شماره ۴، ۱۳۹۹، صفحات ۱۱۳۳-۱۱۴۵

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 12, Issue 4, 2021, Pages 1133-1145
DOI: 10.22092/ijwmse.2019.123145.1538

گزارش فنی

بررسی کارایی مدل EPM از طریق رسوب‌سنجی مخازن بندهای کوچک

غلامرضا قهاری*[۱]، صمد شادفر[۲] و حمید حسینی مرندی[۳]

[۱و۳] استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران و [۲] دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۳۰

چکیده

مسأله فرسایش و رسوب حاصل از آن، از مهمترین مسائل آبخیزداری است. در این راستا، برآورد رسوب و اولویت‌بندی حوزه‌های آبخیز از لحاظ فرسایش آبی از اهداف مهم آبخیزداری است. یکی از راه‌های برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب، استفاده از مدل‌های تجربی است. هدف از اجرای این پژوهش، بررسی کارایی مدل EPM در استان فارس است. در این مدل، پارامترهایی مانند ضریب شدت فرسایش، فرسایش ویژه و میزان رسوب‌دهی ویژه مورد بررسی قرار گرفتند. برای این کار، پنج حوزه آبخیز کوچک در استان فارس انتخاب شدند. در خروجی این حوضه‌ها، بندهای خاکی و سنگی-ملاتی بنا شده که تا کنون سرریز نداشته و سن بیشتر آن‌ها نزدیک به ۱۰ سال است. با استفاده از نقشه‌برداری دقیق، مقدار رسوبات ته‌نشین‌شده در مخازن آن‌ها به‌دست آمد. وزن مخصوص ظاهری رسوبات با عملیات صحرایی، تعیین و حجم رسوبات با در نظر گرفتن سال‌های رسوب‌گیری به وزن تبدیل شد. با استفاده از مدل EPM، مقدار حجم و وزن رسوب تولیدی حوضه‌ها تعیین شدند. کمینه و بیشینه اندازه‌گیری رسوب بندها بین ۰/۸۹ تا ۲/۶۲ تن در هکتار در سال تغییر داشته، ولی میزان رسوب برآوردی مدل بین ۳/۳ تا شش تن در هکتار در سال متغیر بوده است. نتایج درصد خطای نسبی برآوردهای مدل EPM نشان از بیش‌برآوردی در تمام حوضه‌ها دارد (کمینه ۱۲۱/۵ و بیشینه ۴۴۷/۲ درصد). میانگین نسبی مربعات خطای مدل (RRMSE) برابر ۲/۳۹ محاسبه شد که نشان‌دهنده خطای زیادی است. نتایج تحلیل آماری مقایسه مقادیر رسوب‌دهی واقعی حوزه‌های آبخیز با مقادیر برآوردشده به‌وسیله مدل، با استفاده از روش آماری t زوجی، نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری (t=۸/۷۲۸ و sig=۰/۰۰۱) بین این مقادیر وجود دارد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، مدل EPM برای مناطق مورد پژوهش پذیرفته‌شده نیست.

واژه‌های کلیدی: استان فارس، بندهای کوتاه، حوزه‌های آبخیز، رسوب‌دهی، مدل‌های تجربی

مقدمه

مسئله فرسایش و رسوب حاصل از آن، از مهمترین مسائل آبخیزداری است. پدیده فرسایش در مقیاس حوزه آبخیز، متنوع و ناهمگون بوده، در نتیجه، ارزیابی آن مشکل است (Nearing و همکاران، ۱۹۹۹). این مشکل با استفاده از مدل‌های برآوردکننده فرسایش تا اندازه‌ای قابل حل است (Lufafa و همکاران، ۲۰۰۳). محدودیت ثبت آمار و پراکنش نامناسب ایستگاه‌های رسوب‌سنجی، ضرورت استفاده از مدل‌های تجربی را ایجاب می‌کند (Dehzad و همکاران، ۲۰۰۹). از میزان

* مسئول مکاتبات: rezaghahari75@gmail.com

تطابق روش‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب‌دهی با شرایط حوزه‌های آبخیز کشور اطلاع کافی در دست نیست. بنابراین، ضرورت دارد که این روش‌ها برای مناطق مختلف کشور امتحان و در صورت نیاز واسنجی شوند. هدف از انجام این پژوهش، بررسی کارایی مدل EPM در مناطق مختلف استان فارس است. برای ارزیابی مدل‌های تجربی و برآورد رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز، روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، رسوب‌سنجی مخازن سدها و بندهای کوچک است (Hakimkhani و Feiznia، ۲۰۰۳؛ Mahmoudzadeh، ۱۹۹۷). رسوب ته‌نشست شده در مخازن بندهای کوچک می‌تواند پاسخگوی بسیاری از سؤالاتی باشد که متخصصین درگیر با حوزه‌های آبخیز و همچنین، مدیران بهره‌برداری از سدها برای حل معضلات خود به‌دنبال آن‌ها هستند.

Arabkhedri (۲۰۰۱) با تأکید بر عدم کفایت اطلاعات جمع‌آوری‌شده از ایستگاه‌های رسوب‌سنجی برای تحلیل کامل، استفاده از رسوبات نهشته‌شده در بندها، سدها و سایر مخازن را دقیق‌تر دانسته، مشروط بر این‌که بخش اعظم رسوبات بر اساس شواهد موجود تله‌اندازی شده باشند. ایشان در طی یک مطالعه موردی در چمرود کاشان، گودالی که حاصل از برداشت منابع قرضه بوده و جریان رسوب به آن هدایت می‌شده را مورد بررسی قرار داده و متوسط رسوب سالانه حوضه چمرود را در طی مدت پر شدن در گودال ۴۴۹۹۳ تن برآورد کرده است.

در ایران از مدل‌های PSIAC، MPSIAC و EPM نسبت به سایر مدل‌های تجربی بیشتر استفاده شده و نتایج متفاوتی نیز به‌دست آمده است (Bayat، ۱۹۹۹؛ Pakparvar، ۱۹۹۵؛ Dowlatkhahi، ۲۰۰۱؛ Refahi، ۱۹۹۶؛ Mahmoudabadi، ۲۰۰۳). در این میان، مدل EPM، مدل ساده‌ای است که می‌تواند برآورد اولیه‌ای از میزان رسوب آبراهه‌ها در طرح‌های مربوط به سدهای در حال احداث و یا سایر سازه‌ها که به این‌گونه داده‌ها نیازمندند، ارائه کند (Rangzan و همکاران، ۲۰۰۸). مدل EPM که نتیجه ۴۰ سال تحقیق و اندازه‌گیری فرسایش و رسوب در قطعه زمین‌های فرسایشی کشور یوگسلاوی است، در سال ۱۹۸۸ به‌وسیله Gavrilovic ارائه شده است. این مدل اساسا برای کاربرد در حوضه‌های سیل‌خیز جنوب و جنوب شرقی یوگسلاوی توسعه یافته، اما در مناطق دیگر چون سوئیس و ایتالیا نیز به‌کار گرفته شد. در این مدل، عوامل مؤثر در فرسایش، شامل وضعیت توپوگرافی، فرسایش، سنگ‌شناسی و خاک، نحوه استفاده از اراضی و عوامل اقلیمی (دما و بارش) مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ahmadi، ۲۰۰۷). مدل EPM با در نظر گرفتن عوامل کمتری نسبت به MPSIAC کارایی کمتری را در ایران نشان داده است (Bayat، ۱۹۹۹؛ Pakparvar، ۱۹۹۵؛ Refahi، ۱۹۹۶). به‌طور مثال، Pakparvar (۱۹۹۵) مدل EPM را در بخشی از حوزه آبخیز سد لتیان بررسی کرده، نتیجه گرفت که میزان رسوب محاسبه‌شده در یک ایستگاه چند برابر بیشتر از رسوب مشاهده‌ای است و مدل MPSIAC در مقایسه با مدل EPM از دقت بیشتری برخوردار است. به همین ترتیب، Hashemi و Arabkhedri (۲۰۰۷) در پژوهشی نه حوزه آبخیز کوچک در استان سمنان را برای ارزیابی مدل EPM از طریق رسوب‌سنجی مخازن سدهای کوچک انتخاب کردند. نتایج نشان داد که اختلاف بین میانگین‌ها برای مقادیر حجمی و وزنی رسوب‌دهی برآوردشده با استفاده از مدل EPM با مقادیر اندازه‌گیری‌شده در سطح پنج درصد معنی‌دار نیست و تعیین کارایی و میانگین نسبی مجذور مربعات خطای مدل نشان داد که مدل EPM از کارایی نسبتا پایین در برآورد رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز مناطق مورد مطالعه برخوردار است. Hashemi و Arabkhedri (۲۰۰۸)، در بررسی میزان رسوب اندازه‌گیری‌شده در نه بند استان سمنان با مقدار رسوب برآوردشده به‌وسیله دو مدل MPSIAC و EPM نتیجه‌گیری کردند که مدل EPM نسبت به مدل MPSIAC از دقت بالاتری برخوردار بوده است.

از سوی دیگر، برخلاف موارد پیشین، Zanjani Jam (۱۹۹۶) در مطالعه‌ای در آبخیز سد سفیدرود نتیجه‌گیری کرده که اختلاف معنی‌داری بین رسوب برآوردی حاصله از مدل و رسوب مشاهده‌شده در ایستگاه نیست و همبستگی بالایی بین آن‌ها وجود دارد. همچنین، Beyer Portner (۱۹۹۸) مدل EPM را در پنج حوضه آلپ سوئیس با مساحت‌های ۳۶ تا ۲۱۰ کیلومترمربع به‌کار برده و مشاهده کرد که بین

مقادیر برآوردشده رسوب با مدل EPM و مقادیر اندازه‌گیری‌شده همبستگی بالایی (R^2=۰/۸۶) وجود دارد.

از نظر مقایسه مدل‌های رایج، Hashemi (۲۰۰۱) در مطالعه‌ای در رامه گرمسار در استان سمنان نتیجه‌گیری کرد که برآورد رسوب با استفاده مدل EPM نسبت به برآورد رسوب با MPSIAC دقیق‌تر است. Shahkarami (۲۰۰۲) طی مطالعه‌ای در حوضه نوژیان لرستان نشان داده که ارقام برآورد رسوب با استفاده از مدل MPSIAC در مقایسه با مدل EPM با ارقام رسوب خروجی حوضه مشابهت بیشتری نشان می‌دهند.

Salajegheh و Delfari (۲۰۰۷) در پژوهشی مقایسه روش‌های کیفی ژئومورفولوژی و کمی EPM در برآورد فرسایش رسوب و نتایج حاصل از دو روش ذکرشده را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که روش ژئومورفولوژی به‌دلیل در نظر گرفتن عوامل بیشتر دخیل در فرسایش، مناسب‌تر است و همچنین، در ۴۵/۶۵ درصد طبقات فرسایش مشخص‌شده حاصل از به‌کارگیری دو مدل مشابه هستند و در ۵۴/۳۵ درصد موارد، طبقات فرسایش مشاهده‌شده با هم تفاوت دارند. Abedini و Toulabi (۲۰۰۷) مدل‌سازی فرسایش خاک و تولید رسوب با سه مدل WEPP، EPM و Fournier در محیط GIS برای حوزه آبخیز سولاچای در اردبیل را بررسی کردند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که مدل WEPP نسبت به دو مدل دیگر از کارایی بهتری در برآورد فرسایش و رسوب حوضه برخوردار است.

Asadi و همکاران (۲۰۱۱) ارزیابی کارایی مدل‌های MPSIAC و EPM را به‌منظور فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز سد شیرین دره استان خراسان شمالی انجام دادند. ارزیابی کارایی مدل‌ها نشان داد که درصد خطای دو مدل EPM و MPSIAC به‌ترتیب برابر است با ۹/۲۷ و ۲۵/۰۷، که این نتایج حاکی از برتری مدل EPM نسبت به مدل MPSIAC در برآورد رسوب تولیدی در حوضه‌های فاقد آمار می‌باشد.

Hoseinkhani (۲۰۱۳) در پژوهشی خطر فرسایش و پتانسیل رسوب‌دهی حوزه آبخیز سد شهریار میانه با استفاده از فن‌های GIS و مدل EPM را ارزیابی کرد. نتایج نشان داد که سه عامل لیتولوژی، پوشش زمین و فرسایش آبراهه‌ای نقش اساسی را در کنترل فرسایش و رسوب ایفا می‌کند.

به‌منظور بررسی وضعیت فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه آبخیز سرخ‌آباد استان مازندران، Kavian و همکاران (۲۰۱۴) ابتدا به اندازه‌گیری رسوب ویژه مشاهده‌ای از طریق بررسی ابعاد رسوبات تجمع‌یافته در پشت دو بند سنگ و ملات موجود در خروجی حوضه مذکور پرداخته و سپس با به‌کارگیری مدل‌های FSM، PSIAC و EPM کارایی هر یک از این مدل‌ها در برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب منطقه را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل EPM به‌دلیل درصد خطای نسبی کمتر نسبت به سایر مدل‌های به‌کار رفته، کارایی بهتری در برآورد فرسایش و تولید رسوب در حوزه آبخیز سرخ‌آباد داشته است.

Farhoudi و همکاران (۲۰۱۵) اولویت‌بندی حوزه آبخیز بابل‌رود، استان مازندران از نظر فرسایش و شناسایی بازه‌های حساس آبراهه‌ها به فرسایش با استفاده از بازدیدهای میدانی انجام دادند. نتایج نشان داد که مقدار ضریب همبستگی بین پارامترهای مقادیر برآوردشده و داده‌های مشاهده‌ای ۰/۹۱ بوده، صحت نتایج مدل را تأیید کرد. پژوهشی برای ارزیابی مدل‌های تجربی MPSIAC و EPM از طریق رسوب‌سنجی سدهای کوچک در استان آذربایجان غربی انجام شد. نتایج نشان داد که مدل MPSIAC با MAE=۱/۳۴ و MBE=-۰/۱۲، نسبت به مدل EPM برتری دارد (Borooshke و Arabkhedri، ۲۰۱۵).

Rezaee Moghaddam و همکاران (۲۰۱۶) رسوب حوزه آبخیز شهرچای میانه را با استفاده از مدل‌های EPM و Fournier در محیط GIS برآورد کردند. نتایج نشان می‌دهد که مدل EPM با خطای نسبی ۹/۹ درصد همخوانی نزدیکی با وزن رسوب مشاهداتی دارد. همچنین، مدل فورنیه بسیار کمتر از حد، وزن رسوب تولیدی را نشان می‌دهد.

Shadfar و همکاران (۲۰۱۷) در واسنجی مدل تجربی EPM از طریق بررسی رسوب مخازن بندهای کوچک در غرب و شمال غرب کشور، به این نتیجه رسیدند که نتایج به‌دست آمده از مدل بر اساس

شرایط حوضه‌های مورد مطالعه نزدیک به واقعیت نیست و مدل از کارایی خوبی برخوردار نیست. همچنین، در حوضه‌های مورد بررسی پارامترهای ضریب استفاده از زمین و ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش دارای بیشترین شاخص حساسیت می‌باشند. ضمنا کارایی مدل پس از واسنجی برابر ۰/۴۴ شده است که بیانگر افزایش کارایی مدل است.

Nabipay Lashkarian و همکاران (۲۰۱۷) در واسنجی مدل تجربی EPM از طریق بررسی رسوب مخازن بندهای کوچک در شمال شرقی ایران به این نتیجه رسیدند که حساسیت عوامل موثر در رسوب‌دهی مدل EPM دو عامل زمین‌شناسی و کاربری اراضی دارای حساسیت بیشتری نسبت به سایر عوامل است. اما برعکس عامل طول حوضه از حساسیت زیادی برخوردار نیست. بر اساس نتایج به‌دست آمده از مدل در حوضه‌های شمال شرقی کشور، برآوردهای مدل با مقادیر مشاهده‌ای بندها مطابقت مناسبی ندارد. شاخص NSE برابر ۰/۴۴ و شاخص RRMSE برابر ۰/۶۸، نیز این مسئله را کاملا تأیید می‌کند. همچنین، بررسی نتایج حاصل از مدل در حوضه‌های شمال شرقی کشور با مساحت کمتر از ۵۰۰ هکتار نشان داد که تخمین‌های مدل، مطابقت مناسبی با رسوب اندازه‌گیری‌شده بندها داشته به‌طوری‌که شاخص‌های NSE و RRMSE به‌ترتیب برابر ۰/۷۱ و ۰/۴۸ است. همچنین، شاخص‌های NSE و RRMSE مدل اصلاحی به‌ترتیب برابر ۰/۷۲ و ۰/۲۲ هستند که می‌توان رسوبدهی حوضه‌های شمال شرقی را با دقت مناسبی از این روش برآورد کرد.

Noori و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی، میزان فرسایش و تولید رسوب در حوزه آبخیز سد دز را بر مبنای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و ابزار GIS و با استفاده از مدل EPM برآورد کردند. نتایج نشان داد که میزان متوسط فرسایش ویژه و بار رسوب تخمین زده شده به‌وسیله مدل EPM در منطقه مطالعاتی به‌ترتیب برابر با ۳۲۰۳/۷۱۸ و ۲۲۰۴/۸۴۴ مترمکعب در کیلومترمربع در سال است. میزان رسوب ویژه اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه آب‌سنجی، ۲۲۲۳/۱۷۸ مترمکعب در کیلومترمربع در سال است که در مقایسه با مقدار محاسبه‌شده، مدل EPM عملکرد مناسبی داشته است.

از بررسی منابع فوق چنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در بعضی مطالعات انجام‌گرفته به‌دلیل نحوه استفاده غلط از مدل، اشتباهات فاحشی در نتایج وجود دارد و لازم است، این مطالعات جمع‌بندی شده و مورد بازنگری دقیق قرار گیرند. همچنین، در مناطق منتخب این پژوهش، بررسی در این زمینه انجام نپذیرفته است. با توجه به عدم وجود ایستگاه‌های رسوب‌سنجی در حوضه‌های کوچک، اجرای این پژوهش و پژوهش‌های مشابه در نقاط مختلف کشور الزامی بوده و پژوهش حاضر به‌دنبال تعیین سازگاری یا عدم سازگاری این مدل در مناطق مختلف استان فارس است.

مواد و روش‌ها

تعداد ۵۹ بند خاکی در محدوده ۱۹ شهرستان که عموما در اقلیم‌های فراخشک، خشک، بیابانی معتدل و فراخشک گرم استان و در دهه‌های ۷۰ و ۸۰ به‌وسیله مدیریت آبخیزداری استان فارس اجرا شده، شناسایی شدند. بررسی‌ها نشان داد که از این تعداد بند، تنها بندهای پنج حوزه آبخیز دارای معیارهای مورد نیاز این پژوهش برای بررسی رسوب مخازن بندهای کوتاه می‌باشند. انتخاب بندهایی با مساحت کم، دارای عمر حدود ۱۰ سال، بدون سرریز و بدون هیچ‌گونه عملیات مکانیکی در مسیر آبراهه بالادست (همگن بودن حوضه بالادست)، مهمترین معیارهای انتخاب بندها بوده است.

منطقه مورد پژوهش: موقعیت بندهای منتخب در استان فارس و محل‌های نمونه‌برداری در مخازن بندها در جدول ۱، برخی از ویژگی‌های حوضه در جدول ۲ و تصاویری منتخب از موقعیت بندها در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

برای تعیین تیپ اشکال فرسایش و استفاده از زمین، از گزارش مطالعات معاونت آبخیزداری استان فارس مربوط به سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۳ استفاده شده و در سال ۱۳۹۲ با پیمایش‌های دقیق میدانی در کل زیرحوضه‌ها و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌روز شده است. در مورد نقشه شیب، نیازی به طبقه‌بندی

شیب نبوده، مستقیما شیب متوسط از شیب پیکسل‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌دست آمده است. برای به‌دست آوردن ضریب درجه حرارت (T) نیاز به درجه حرارت سالانه به درجه سانتی‌گراد است که با ایجاد روابط گرادیان به‌دست آمده است. برای به‌دست آوردن بارش متوسط سالیانه، از معادلات گرادیان و گزارشات موجود استفاده شده است. لازم به ذکر است که این کار، نتایج سه پروژه پژوهشی بوده، بنابراین، عملیات میدانی وسیعی برای تدقیق نقشه‌های اشکال فرسایش و نوع استفاده از زمین انجام شده است.

جدول ۱- مشخصات بندهای کوتاه منتخب در استان فارس

شماره حوضه در نقشه	نام زیرحوضه	تعداد بند	نوع بند	موقعیت جغرافیایی آخرین بند		شهرستان	سال احداث	طول عمر بند	مساحت حوزه آبخیز (هکتار)	ارتفاع بند
				طول	عرض					
۱	خاوران	۱	خاکی	"۵۳°۱۹'۰۱	"۲۸°۵۸'۰۲	جهرم	۱۳۸۴	۹	۲۴۴۴/۲	۱۲/۵
۲	کلستان	۱ و ۶۰	خاکی و سنگی-ملاتی	"۵۲°۱۷'۲۸	"۲۹°۵۳'۰۵	شیراز	۱۳۸۲	۱۱	۲۸۴۰/۹	۱۴/۳۵
۳	سپیدان پیست اسکی	۱	سنگی-ملاتی و سیمانی	"۵۱°۵۷'۳۱	"۳۰°۱۸'۲۶	سپیدان	۱۳۸۲	۱۱	۴۹۳/۵	۴
۴	چهل‌چشمه	۴	سنگی-ملاتی و سیمانی	"۵۲°۰۱'۲۵	"۲۹°۴۰'۰۴	شیراز	۱۳۸۴	۹	۲۶۲/۹	۲*
۵	غرب شیراز	۳	سنگی-ملاتی و سیمانی	"۵۲°۱۵'۰۴	"۲۹°۵۳'۰۶	شیراز	۱۳۸۴	۹	۷۷/۳	۲*

* در حوضه‌هایی که از چند بند متوالی تشکیل شده، مجموع حجم رسوب مخازن به یک عدد تبدیل شده و آب از روی بند انتهایی آن‌ها عبور نکرده است.

روش پژوهش: استفاده از مدل EPM[1]، نیازمند بررسی عوامل مؤثر در رسوب‌دهی مانند ضریب شدت فرسایش، ضریب استفاده از زمین، ضریب حساسیت سنگ و خاک، شیب متوسط و ضریب رسوب‌دهی است. پس از ارزیابی و امتیازدهی این عوامل، میزان رسوب‌دهی ویژه (Gsp) از رابطه (۱) به‌دست می‌آید.

$$GSP = WSP.RU \qquad (۱)$$

که در آن، GSP تولید رسوب (مترمکعب بر کیلومترمربع در سال)، WSP فرسایش ویژه (مترمکعب در کیلومترمربع در سال) و RU ضریب رسوب‌دهی حوضه است.

در مدل EPM برای محاسبه ضریب رسوب‌دهی در حوزه آبخیز از رابطه (۲) استفاده می‌شود (Gavrilovic، ۱۹۸۸).

$$Ru = \frac{4(P.D)^{0.5}}{L+10} \qquad (۲)$$

که درآن، RU ضریب رسوب‌دهی حوزه آبخیز، P محیط حوزه آبخیز (کیلومتر)، L طول حوزه آبخیز به کیلومتر، D اختلاف ارتفاع (کیلومتر) که از رابطه $D = Dav - Do$ به‌دست می‌آید که در آن، Dav ارتفاع متوسط حوزه آبخیز و DO ارتفاع نقطه خروجی می‌باشد.

برای تخمین فرسایش ویژه در حوزه آبخیز از رابطه (۳) استفاده می‌شود (Gavrilovic، ۱۹۸۸).

$$WSP = T.H.\pi.Z^{1.5} \qquad (۳)$$

که در آن، H بارندگی سالانه (میلی‌متر)، π عدد ۳/۱۴۱۵۹ و T ضریب درجه حرارت است که از رابطه (۴) به‌دست می‌آید.

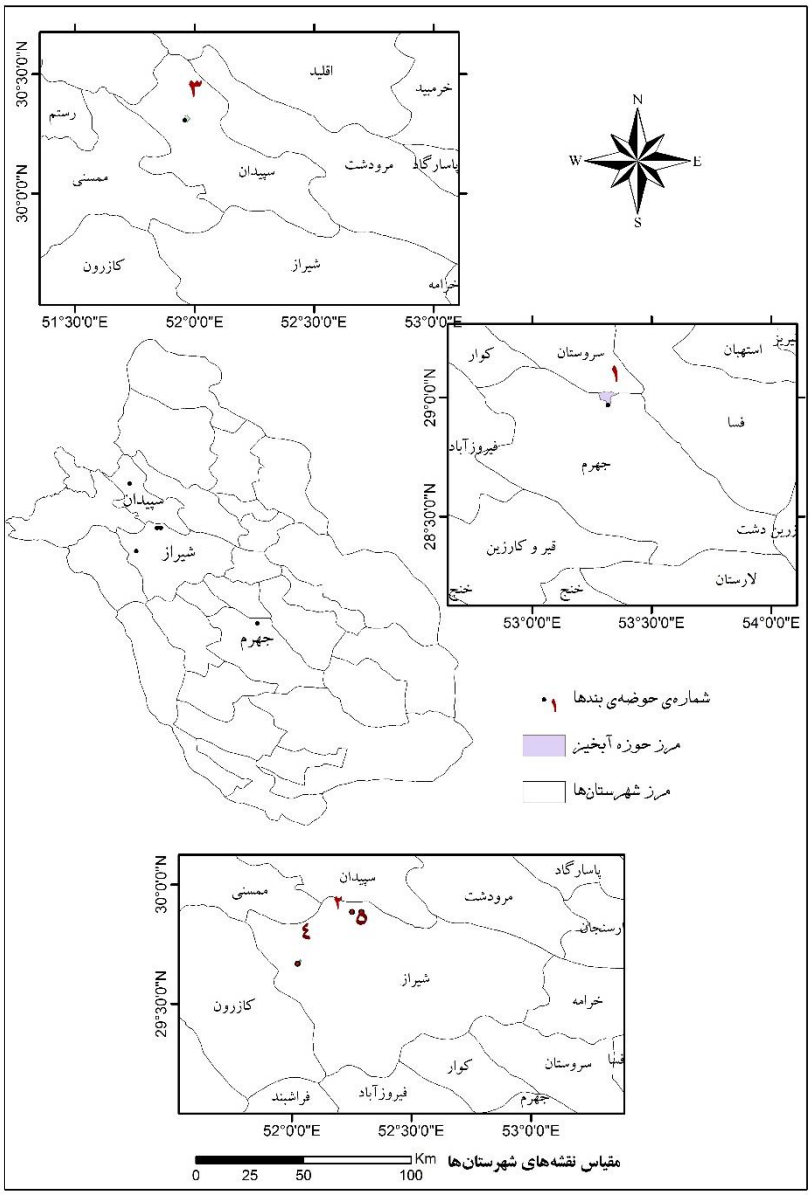
$$T = (t/10 + 0.1)^{0.5} \qquad (۴)$$

که در آن، t درجه حرارت سالانه (درجه سانتی گراد) و z ضریب فرسایش است که از رابطه (۵) به‌دست می‌آید (Gavrilovic، ۱۹۸۸).

[1] Erosion Potential Method

جدول ۲- ویژگی حوضه‌های مورد پژوهش در استان فارس

نام زیر حوضه	تیپ اشکال فرسایش (Gavrilovic، ۱۹۸۸)		بارش متوسط سالانه	شیب متوسط حوضه، درصد	استفاده از زمین (Gavrilovic، ۱۹۸۸)		لیتولوژی غالب (Gavrilovic، ۱۹۸۸)		محیط حوضه (O) (کیلومتر)	طول حوضه (L) (کیلومتر)	اختلاف ارتفاع متوسط و خروجی حوضه (D) (کیلومتر)
	نوع	درصد			نوع	درصد	نوع سازند	درصد			
خاوران	رودخانه‌ای	۱/۳	۴۴۰/۸	۲۲/۱	صخره	۲۱/۶	آسماری-جهرم	۳۸/۲	۲۷/۵	۱۰/۸۹	۰/۲۵
	آبراهه‌ای، شیاری و سطحی	۱۷/۷			مرتع ضعیف تا متوسط	۱۸/۰					
	مکانیکی	۲۱/۷					رسوبات آبرفتی	۴۳/۴			
	مکانیکی، شیاری و سطحی	۱۰/۵									
	سطحی	۴/۲			مرتع بسیار ضعیف	۱۵/۳	رازک	۶/۴			
					مرتع متوسط	۵/۵					
	رودخانه‌ای	۴۴/۶			اراضی مخروبه	۲۵/۹	بختیاری	۱۱/۹			
					مرتع ضعیف	۱۳/۷					
	سطحی و توده‌ای کم	۱۳/۵			درخت‌کاری	۱۳/۷	رسوبات آبرفتی	۱۶/۲			
					بیشه‌زار	۱/۷					
	سطحی، شیاری، رودخانه‌ای زیاد و خندقی کم	۳۳/۷			دیم کاری	۱/۲	آهک آسماری	۲۳/۳			
کلستان	سطحی، شیاری، رودخانه‌ای زیاد و خندقی متوسط	۱۴/۵	۲۷۷/۲	۱۹/۰۳	دیم رها شده	۳/۵	چرت و کنگلومرای بختیاری	۳۱/۶	۲۶/۶۲	۱۰/۹۵	۰/۲۴
	سطحی، شیاری، انحلالی زیاد و رودخانه‌ای متوسط	۲۸/۳			صخره	۰/۵	آهک‌های مارنی و سیلتی گچساران پایینی	۷/۶			
					مرتع	۵۷/۳	کنگلومرا، بختیاری فوقانی	۱۸/۸			
	سطحی، شیاری، زیاد؛ رودخانه‌ای متوسط و انحلالی کم	۱۰			مخلوط مرتع، درخت کاری و دیم رها شده	۲۲/۱	مارن و ژیپس گچساران فوقانی	۲/۵			
پست اسکی	آبراهه‌ای متوسط و سطحی کم	۷/۷	۱۴۸۵/۸	۴۰/۷	مرتع خیلی ضعیف	۵/۸	آسماری، جهرم	۱/۵	۱۰/۰۴	۲/۶۳	۰/۲۲
	سطحی کم	۰/۲					سروک	۴۵/۳			
	سطحی متوسط انحلالی زیاد و مکانیکی متوسط	۷۶/۱			مرتع ضعیف	۲۴/۲	کژدمی	۱۴/۸			
		۴/۶					رازک	۹/۸			
	شیاری زیاد	۶			صخره	۲۰/۰	رسوبات آبرفتی	۷/۲			
	مکانیکی	۳									
	لغزش	۲/۴			دیم‌کاری	۵۰/۰	گروه خامی	۲۱/۴			
	انحلالی متوسط- سطحی کم	۹/۹			صخره	۹/۹	گچساران	۹۰/۱			
چهل چشمه	سطحی، شیاری، آبراهه‌ای متوسط و خندقی شدید	۹۰	۸۳۰/۵	۲۴/۷	مرتع بسیار ضعیف	۲۴/۱			۷/۷۲	۲/۶۷	۰/۰۳
					مرتع ضعیف	۱۳/۷					
	سطحی، شیاری، آبراهه‌ای متوسط و خندقی کم	۰/۱			مرتع متوسط	۴۵/۹	آسماری	۹/۹			
					زراعت دیم	۶/۴					
					بیشه‌زار	۳/۴	آبرفت‌های دارای ماسه، سیلت و رس	۱/۷			
غرب شیراز	سطحی، شیاری، رودخانه‌ای زیاد و خندقی کم	۷۹	۷۲۵/۳	۱۹/۶	مرتع	۳۸/۰			۵/۱۱	۲/۱۸	۰/۱۱
	سطحی، شیاری، انحلالی زیاد و رودخانه‌ای متوسط	۲۱			مخلوط مرتع و دیم رها شده	۵۸/۶	آبرفت‌های دارای ماسه، سیلت و رس	۹۸/۳			



شکل ۱- موقعیت بندهای منتخب در استان فارس

شکل ۲- محل‌های نمونه‌برداری در مخازن بندهای حوضه کلستان (Khalili، ۲۰۱۳)

$$Z = Y.Xa\left(\Psi + I^{0.5}\right) \quad (۵)$$

که در آن، Ψ ضریب فرسایش حوزه آبخیز (نمره ۱ برای فرسایش عمیق و گالی و نمره ۰/۱ برای اراضی فاقد فرسایش و بقیه صورت‌های فرسایش بین این دو عدد)، Xa ضریب استفاده از زمین (نمره ۱ برای اراضی غیرقابل کشت لخت و نمره ۰/۰۵ برای جنگل‌های

مرغوب)، Y ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (نمره ۲ برای ماسه، شن و خاک‌های لسی و نمره ۰/۲۵ برای سنگ‌های آذرین متراکم و لخت و بقیه مابین این دو عدد) و I شیب متوسط حوضه به درصد است (Gavrilovic، ۱۹۸۸). لازم به ذکر است، تعیین امتیازهای ضریب‌های مدل به‌ویژه ضریب فرسایش، بر اساس پیمایش زمینی استوار بود و تجربیات متعدد کارشناسی که امکان مقایسه وضعیت این حوضه را با سایر حوضه‌ها فراهم می‌کرد، در آن لحاظ و تلاش شد، ارقام با واقعیت زمینی عرصه‌ها منطبق باشد.

تعداد بیشتر نمونه‌ها در تمام کارهای آماری، به دقت بررسی‌ها خواهد افزود. ولی شرایط خاص این پژوهش (انتخاب بندهایی با مساحت کم، دارای عمر حدود ۱۰ سال، بدون سرریز) استفاده از حوضه‌های مناسب را محدود کرده است. برای توجیه این مسئله، یادآوری می‌شود که بر اساس روش‌های پذیرفته شده آماری، اگر هدف ایجاد رگرسیون، تخمین یک متغیر وابسته به کمک متغیرهای مستقل باشد، به ازای هر متغیر وارد شده به مدل، ۱۵ نمونه لازم است (Homan، ۲۰۱۴)، اما در این پژوهش که هدف مقایسه بین رسوب برآوردی مدل و اندازه‌گیری شده در مخزن بندها بوده است، حجم نمونه بر اساس روش مقایسه میانگین‌ها محاسبه شده و از رابطه (۶) تبعیت می‌کند.

$$n = \frac{(z1\frac{\propto}{2} - z1\beta)\delta^2}{d^2} \qquad (۶)$$

که در آن، $z1\frac{\propto}{2}$ مقدار دو طرفه آماره مقایسه میانگین‌ها بر اساس سطح معنی‌داری $\frac{\propto}{2}$، $z1\beta$ معادل ۰/۲ مقدار α، δ انحراف معیار و d کمینه خطای پذیرفته شده است. مقدار انحراف معیار در این پژوهش، معادل ۱/۰۹ (جدول ۵) و مقدار d معادل ۰/۷ تا ۰/۸ در نظر گرفته شد که بر این اساس مقدار کمینه نمونه (در اینجا حوضه) معادل ۴/۵ تا ۵/۹ به‌دست آمد. از آنجا که مقدار خطای ۰/۷ تا ۰/۸ تن در هکتار در اندازه‌گیری رسوب خطای قابل قبولی تلقی می‌شود، تعداد پنج نمونه (حوضه مورد بررسی) برای این مقایسه میانگین‌ها قابل‌قبول خواهد بود.

اندازه‌گیری مستقیم رسوبات در بندهای منتخب به‌علت خشک‌بودن در اغلب اوقات سال امکان‌پذیر است. برای برآورد حجم رسوبات می‌بایست نقشه توپوگرافی مخازن قبل از سیل‌گیری و پس از دوره بهره‌برداری تهیه شود. ولیکن نقشه توپوگرافی مخازن در قبل از سیل‌گیری بندها فقط برای بند خاکی کلستان موجود بوده و در بقیه بندها این نقشه‌ها موجود نبود، بنابراین محدوده مخازن شناسایی و با استفاده از دوربین نقشه‌برداری نیوو اقدام به برداشت محدوده مخزن و ترازیابی دقیق نقاط مختلف آن با ابعاد شبکه حدود ۵×۵ متری شد. در بندهای کوتاه حوضه کلستان شیراز با استفاده از بیل دستی و آگر اقدام به حفر گوده به فواصل حدود ۵×۱۰ متری در مخزن بند شده، عمق رسوبات اندازه‌گیری شد. در مخزن بند خاکی کلستان به‌دلیل عمق زیاد رسوبات این کار عملی نشد و از یک دستگاه بیل مکانیکی برای تعیین عمق رسوبات استفاده شد.

پس از تعیین عمق رسوبات در هر یک از نقاط شبکه فرضی، نقشه‌برداری توپوگرافی از مخزن بند با دقت یک سانتی‌متر انجام شد، به‌طوری که در ضمن نقشه‌برداری، علاوه بر نقاط بسیار زیادی که برداشت شد، محل تمامی نقاط گمانه‌زنی عمق رسوبات نیز نقشه‌برداری شده و کدگذاری شد. تهیه نقشه‌های توپوگرافی و برآورد حجم رسوبات از طریق نرم‌افزار Surfer و روش میان‌یابی کریجینگ انجام شد.

برای تعیین وزن رسوبات در مخازن بندها، بسته به وسعت مخزن، چند پروفیل در هر مخزن حفر شده و از افق‌های مختلف آن با استفاده از لوله‌های با حجم معین نمونه‌گیری شد. سپس، وزن مخصوص ظاهری را از طریق تقسیم وزن خشک بر حجم نمونه رسوب به‌دست آورده، با حاصل‌ضرب مقادیر وزن مخصوص ظاهری افق مربوطه در عمق آن افق تقسیم بر عمق آن پروفیل، میانگین وزن مخصوص ظاهری محاسبه شد. با حاصل‌ضرب وزن مخصوص ظاهری در حجم، وزن رسوبات محاسبه شد. در صورت وجود شکاف‌های سطحی در رسوبات نهشته‌شده در مخزن از یک ضریب برای اصلاح وزن مخصوص ظاهری استفاده می‌شود. بدین‌منظور ابتدا در دو جهت عمود بر هم شکاف‌ها را با یک متر، اندازه‌گیری کرده و از آنجایی که این شکاف‌ها با عمق کاهش می‌یابند، در مقطع ایجادشده، در اعماق مساوی مثلا هر ۱۰ سانتی‌متر عرض این

شکاف‌ها مشخص می‌شود. با تقسیم عرض شکاف نسبت به عرض شکاف سطحی، درصد شکاف نسبت به سطح به‌دست آمده و نهایتا نسبت مواد جامد به کل توده خاک محاسبه می‌شود.

برای ارزیابی کارایی مدل، از روش Nash-Sutcliffe (۱۹۷۰) استفاده شد (رابطه ۷). از رابطه (۸) برای تعیین میانگین نسبی مربعات خطا استفاده شده است.

$$ME = 1 - [\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2 / \sum_{i=1}^{n}(O_i - O_m)^2] \quad (۷)$$

$$RRMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2} / \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} O_i \quad (۸)$$

که در آن‌ها، ME شاخص ارزیابی کارایی، O_i اندازه‌گیری مربوط به اندازه‌گیری رسوب، O_m میانگین مقادیر مربوط به اندازه‌گیری رسوب و P_i داده مربوط به برآورد رسوب و $RRMSE$ میانگین نسبی مربعات خطا است. دامنه تغییرات RRMSE از صفر تا بی‌نهایت بوده و هرچه مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشد، کارایی مدل بیشتر است.

نتایج و بحث

به‌منظور برآورد رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز مورد بررسی از طریق مدل EPM، ضرایب و عوامل این مدل در هر حوزه آبخیز مورد ارزیابی قرار گرفتند که متوسط/میانگین نتایج امتیازدهی در جدول ۳ نشان داده شده است. در این جدول همچنین، ضریب رسوب‌دهی و مقادیر تولید رسوب ارائه شده است. حجم و وزن اندازه‌گیری‌شده رسوبات مخازن بندهای مورد بررسی در جدول ۴ مشاهده می‌شود.

جدول ۳- امتیاز عوامل مختلف مدل EPM و برآورد تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز منتخب استان فارس

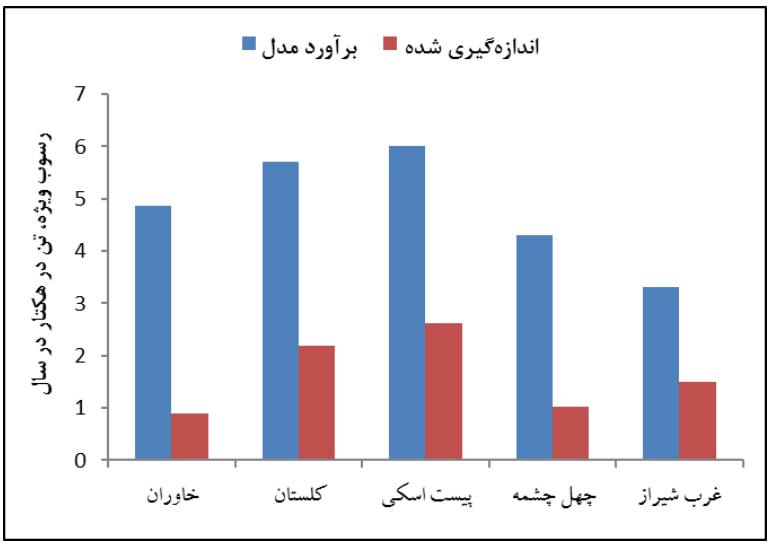
حوزه آبخیز	برآورد ضریب فرسایش (Z)					ضریب درجه حرارت (T)	متوسط بارندگی به میلی‌متر (H)	فرسایش ویژه (Wsp) $M^3Km^{-2}yr^{-1}$	ضریب رسوب‌دهی (RU)	تولید رسوب (Gsp) مترمکعب در کیلومترمربع در سال	تولید رسوب (Gsp) تن در هکتار در سال
	ψ	Xa	Y	I	Z						
خاوران	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۷۸	۰/۲۴	۰/۴۸	۱/۳۳	۴۴۰/۸۱	۶۵۷/۳۳	۰/۵۱	۳۳۵/۰۱	۴/۸۷
کلستان	۰/۶۹	۰/۴	۰/۹۵	۰/۱۵	۰/۴۱	۱/۱۵	۷۲۷/۲۴	۷۹۷/۶۹	۰/۴۸	۳۸۲/۷۸	۵/۷
پیست اسکی	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۹۴	۰/۴۱	۰/۳۲	۰/۹۵	۱۴۸۵/۸	۸۶۸/۷۳	۰/۴۷	۴۱۱/۱۳	۶
چهل‌چشمه	۰/۶۷	۰/۴۹	۱/۱۷	۰/۲۵	۰/۶۷	۱/۱۷	۸۳۰/۵۲	۱۸۵۲/۰۳	۰/۱۵	۲۸۳/۸۴	۴/۳
غرب شیراز	۰/۷۷	۰/۳۸	۰/۹۹	۰/۱۹	۰/۴۵	۱/۱۶	۷۲۵/۳۰	۸۷۸/۵۳	۰/۲۵	۲۱۷/۴۹	۳/۳

جدول ۴- حجم و وزن اندازه‌گیری‌شده رسوبات مخازن بندهای مورد بررسی

نام حوضه	حجم رسوبات (مترمکعب)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	وزن رسوبات (تن)	مساحت حوضه (هکتار)	عمر بند	رسوب‌دهی ویژه (مترمکعب در هکتار در سال)	رسوب‌دهی ویژه (تن در هکتار در سال)
خاوران	۱۳۵۳۷	۱/۴۵۴	۱۹۶۸۲/۸	۲۴۴۴/۲	۹	۰/۶۱	۰/۸۹
کلستان	۴۵۷۶۰	۱/۴۹۸	۶۸۵۸۳/۴	۲۸۴۰/۸۷	۱۱	۱/۴۶	۲/۱۹
پیست اسکی	۹۷۴۹/۶۲	۱/۴۶۰	۱۴۲۳۴/۴	۴۹۳/۵	۱۱	۱/۸۰	۲/۶۲
چهل‌چشمه	۱۶۶۸/۲	۱/۴۵۰	۲۴۱۳/۷۷	۲۶۲/۹	۹	۰/۷۰	۱/۰۲
غرب شیراز	۶۸۰/۴۷	۱/۵۱۸	۱۰۳۳/۰۷	۷۷/۲۴	۹	۰/۹۸	۱/۴۹

مقایسه توصیفی نتایج اندازه‌گیری رسوب حوضه‌ها از طریق رسوب‌سنجی مخازن بندها در مقایسه با مقادیر برآوردشده از طریق مدل EPM، نشان می‌دهد که مقادیر برآوردی در تمام حوضه‌ها تفاوت

چشم‌گیری داشته، درصد خطای نسبی نیز بسیار زیاد است (شکل ۳). نتایج درصد خطای نسبی برآوردهای مدل EPM در هر یک از حوضه‌های مورد پژوهش نشان از بیش‌برآوردی در تمام حوضه‌ها دارد.



شکل ۳- مقادیر رسوب ویژه اندازه‌گیری‌شده و برآورد مدل

کمینه و بیشینه مقدار اندازه‌گیری رسوب بندها بین ۰/۸۹ تا ۲/۶۲ تن در هکتار در سال تغییر کرده ولی میزان رسوب برآوردی مدل بین ۳/۳ تا شش تن در هکتار در سال متغیر بوده که نشان‌دهنده عدم تطابق رسوب برآوردی مدل با رسوب واقعی حوضه‌های مورد پژوهش است (جدول ۵).

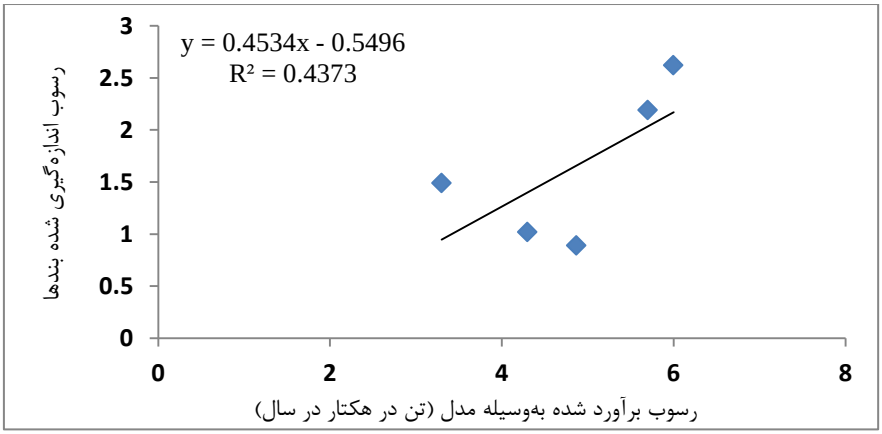
جدول ۵- مقایسه رسوب ویژه حاصل از مدل و اندازه‌گیری شده در مخازن بندهای مورد پژوهش

نام حوضه	رسوب برآوردی مدل	رسوب اندازه‌گیری‌شده در مخزن بند	درصد خطای نسبی
	تن در هکتار در سال		
خاوران	۴/۸۷	۰/۸۹	۴۴۷/۲
کلستان	۵/۷	۲/۱۹	۱۶۰/۳
پیست اسکی	۶	۲/۶۲	۱۲۹/۰
چهل‌چشمه	۴/۳	۱/۰۲	۳۲۱/۷
غرب شیراز	۳/۳	۱/۴۹	۱۲۱/۵
کمینه	۳/۳	۰/۸۹	-
بیشینه	۶	۲/۶۲	-
میانگین	۴/۸۳	۱/۶۴	-
میانه	۴/۸۷	۱/۴۹	-
چولگی	-۰/۴۹	۰/۴۳	-
انحراف معیار	۱/۰۹	۰/۷۵	-

برای ارزیابی کارایی مدل از روش Nash-Sutcliffe (۱۹۷۰) استفاده شد. اعداد نزدیک به یک در این شاخص نشان‌دهنده اعتبار بیشتر این شاخص بوده و هرچه که اعداد از یک فاصله بگیرند، اعتبار شاخص کمتر می‌شود. در این پژوهش این شاخص برابر ۷/۳۳ محاسبه شده که نشان‌دهنده کارایی کم این مدل در حوضه‌های منتخب است. برای نشان‌دادن قابلیت این مدل، از میانگین نسبی مربعات خطای مدل RRMSE استفاده شد. هرچه این مقدار به عدد صفر نزدیک باشد، مدل از اعتبار بیشتری برخوردار است. در این پژوهش، این مقدار برابر ۲/۳۹ محاسبه شد که نشان‌دهنده خطای زیاد است.

نتیجه‌گیری

به‌منظور تعیین میزان کارایی مدل EPM در برآورد رسوب‌دهی حوضه‌های مورد پژوهش در استان فارس و ارائه مدل پیش‌بینی رسوب‌دهی، از این مدل استفاده شد. استفاده از این روش نیازمند بررسی پارامترهایی مانند ضریب شدت فرسایش، فرسایش ویژه (WSP) و تخمین میزان رسوب‌دهی ویژه (Gsp) در حوزه‌های آبخیز است. نتایج حاصله با استفاده از این مدل نشان داد که در رابطه با حوضه‌های مورد پژوهش، بیش‌برآوردی بسیار زیادی مشاهده می‌شود. دلایل این بیش‌برآوردی می‌تواند به‌علت تعداد اندک اندازه‌گیری باشد. همچنین، اگرچه این مدل و مدل‌های مشابه نتایج کمی دارند، اما چون مبتنی بر ضرایبی با اعمال نظر مستقیم کارشناسی است، بیش‌برآوردی و یا کم‌برآوردی مدل غیرمنتظره نیست. جداول این مدل مربوط به کشور یوگسلاوی بوده که کاربرد آن با شرایط مناطق دیگر بدون واسنجی و تعیین ضرایب جدید، منطقی نیست. این نتیجه با نتایج پژوهش‌های Neamati (۱۹۹۲)، Pakparvar (۱۹۹۵)، Shahkarami (۲۰۰۲) و Abedini و Toulabi (۲۰۱۷) مطابقت دارد. در نتایج این محققین نیز به بیش برآوردی میزان رسوب محاسبه شده با مدل، در مقایسه با رسوب مشاهده‌ای تأکید شده است. رابطه بین رسوب‌دهی برآورد شده به‌وسیله مدل واسنجی شده و رسوب‌دهی اندازه‌گیری شده بندها، نشان‌دهنده ضریب تعیین پایین (R^2=0.437) است (شکل ۴).



شکل ۴- رابطه رسوب برآوردی مدل واسنجی شده و رسوب اندازه‌گیری شده

نتایج تحلیل آماری مقایسه مقادیر رسوب‌دهی واقعی حوزه‌های آبخیز با مقادیر برآوردشده به‌وسیله مدل، با استفاده از روش آماری t زوجی، نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد، بین این مقادیر وجود دارد و بنابراین نتایج برآورد این مدل برای مناطق مورد پژوهش پذیرفته‌شده نیست. این نتیجه‌گیری با نتایج پژوهش Pakparvar (۱۹۹۵) که در بخشی از حوزه آبخیز سد لتیان انجام‌شده، Baiat (۱۹۹۹) در حوضه طالقان و Zeiaabadi و همکاران (۲۰۰۷) که در حوضه کسیلیان کار شده‌اند، مطابقت دارد.

در خصوص معادله تبدیل عامل Z به Wsp لازم است، در یک جمع‌آوری از مقالات و گزارشاتی که تا کنون منتشر شده، اصلاحاتی با توجه به اقلیم‌های مختلف کشور در این معادله صورت پذیرد. در پژوهش Pakparvar (۱۹۹۵) پیشنهادی برای اصلاح آن در منطقه پژوهش سد لتیان ارائه شد، اما این اصلاح در پژوهش بعدی دنبال نشده تا بتواند به یک نتیجه‌گیری کلی برای مناطق مختلف منجر شود.

برای افزایش دقت مدل و کاربردی‌کردن آن پیشنهاد می‌شود که واسنجی مدل‌های فرسایش و رسوب در اقلیم‌ها، خاک‌ها و کاربری‌های مختلف انجام پذیرد. افزون بر این برای تعیین دقیق میزان کارایی لازم است، این بررسی در چند دوره زمانی مختلف (مثلا سه دوره ۱۰ ساله) انجام شود. ضمنا می‌توان پژوهش‌هایی در نقاط مختلف استان با مدل‌های

جدیدتر انجام و مقایسه مدل‌ها با هم و با مقادیر اندازه‌گیری‌شده صورت پذیرد.

منابع مورد استفاده

1. Abedini, M. and S. Tulabi. 2017. Modeling of soil erosion and sediment production with three models of WEPP, EPM and Fournier in GIS, case study: Sulachai Watershed, Ardabil. Geographical Researches, 32(2): 93-105 (in Persian).
2. Ahmadi, H. 2007. Applied geomorphology. Tehran University Publication, 213 pages (in Persian).
3. Arabkhedri, M. 2001. Determine the ratio of bed load to suspended load by sediment survey of reservoirs and sediment grading. Journal of Agricultural Engineering Research, 2(6): 69-81 (in Persian).
4. Asadi, A., M. Vafakhah, S. Mohtashamnia and K. Ansari. 2011. Evaluating the efficiency of MPSIAC and EPM models for erosion and sedimentation in Shirin Dare Dam Watershed of North Khorasan Province. Forest and Rangeland, 92: 42-52 (in Persian).
5. Bayat, R. 1999. Evaluating the efficiency of sediment production maps using MPSIAC and EPM models in Taleghan Watershed. MSc Thesis, Tehran University, 136 pages (in Persian).
6. Beyer Portner, N. 1998. Erosion des bassins versants alpins suisses par ruissellement de surface. Laussanne Publication, Switzerland, 1815 pages.
7. Borooshke, E. and M. Arabkhedri. 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).
8. Dehzad, B., A. Shakiba, A. Hosseini and Kh. Meshgin. 2009. Erosion zoning using EPM model in Golestan Province. Quarterly Journal of the Studies of Human Settlements Planning (JSHSP), 3(7): 61-72 (in Persian).
9. Dowlatkhahi, M. 2001. Investigation of the relationship between soil properties, topography and vegetation with sedimentation in Loess Deposits in Gorgan-rood Basin. MSc Thesis, Gorgan University, 152 pages (in Persian).
10. Farhoodi, M., H. Mirzaei, A. Kavyan and A. Safari. 2015. Comparison and evaluation of different methods to estimate sediment delivery ratio in three different climates of Iran. Geography and Environmental Planning Journal, 26(3): 255-274 (in Persian).
11. Gavrilovic, S. 1988. The use of an empirical method (erosion potential method), for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams. Proceedings of International Conference on River Regime. Hydraulics Research Limited, 411-422.
12. Hakimkhani, S. and S. Feiznia. 2003. Investigation of methods of using MPSIAC in studies. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 120 pages (in Persian).
13. Hashemi, A. and M. Arabkhedri. 2007. Evaluation of the EPM Model by sediment survey of small reservoirs. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 11(42B): 345-355 (in Persian).
14. Hashemi, A. 2001. Evaluating and comparing between two models of erosion and sediment estimation in central Alborz, Semnan Province. Proceedings of National Conference on Land Management, Soil Erosion and Sustainable Development, Arak, 594-603 (in Persian).
15. Hooman, H.A. 2014. Research methodology in the behavioral sciences. The Organization for Researching and Composing University Textbooks in Humanities (SAMT), Sixth Edition, 540 pages (in Persian).
16. Hoseinkhani, H. 2013. Assessment of erosion risk and sedimentation potential of Shahriar Dam Basin by using GIS techniques and EPM Model. Iran Geology Journal, 7(26): 87-96 (in Persian).
17. Lufafa, A., M. Tenywa, M. Isabirye, M. Majaliwa, M.J.G. and P.L. Woomer. 2003. Prediction of soil erosion in a Lake Victoria Basin using a GIS based Universal Soil Loss Model. Agricultural Systems, 76: 883-894.
18. Mahmoudabadi, M. 2003. The zoning of erosion risk in Golabad Watershed of Ardestan using GIS and remote sensing techniques. MSc Thesis, Tehran University, 98 pages (in Persian).
19. Mahmoudzadeh, A. 1997. The use of farm dams to determination the effects of land use and lithology on cathment sediment yields. PhD Thesis, University of New South Wales, 165 pages.
20. Nabipay Lashkarian, S., M. Arabkhedri, S. Shadfar, A. Jafari Ardakani and S. Ahmadi. 2017. 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 pages (in Persian).
21. Nash, J.E. and J.E. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models, part 1, a discussion of principles. Journal of Hydrology, 10: 282-290.

22. Nearing, M.A., G. Govers and L.D. Nirton. 1999. Variability in soil erosion data from replicated plots. Soil Science Society of America Journal, 63: 1829-1835.
23. Nemati, N. 1992. Estimation of the amount of sediment in Shahrood River Watershed, Sefid Rood Dam Basin. MSc Thesis, Tehran University, 114 pages (in Persian).
24. Noori, H., M. Siadatmousavi and B. Mojaradi. 2017. Estimation of soil erosion and sediment yield based on satellite imagery using the GIS technique and employing Erosion Potential Method (EPM) on watersheds, case study: the Dez Watershed. Journal of Water Management System, 10(32): 45-54 (in Persian).
25. Pakparvar, M. 1995. Evaluation of PSIAC and EPM methods for predicting sediment yield and erosion distribution in part of Latian Dam Watershed. MSc Thesis, Tehran University, 123 pages (in Persian).
26. Rangzan, K., A. Zarasvandi and A. Haydari. 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).
27. Refahi, H. 1996. Water erosion and control. Tehran University Publication, 544 Pages.
28. Rezaee Mogadam, M., S. Andaryani, M. Nikjoo and A. Mokhtari Asl. 2016. Analysis and evaluation of sediment estimated of Miyaneh Shaharchay Basin using EPM and Fournier models in GIS environment. Journal of Arid Regions Geographics Studies, 6(23): 82-95 (in Persian).
29. Salajegheh, A. and S. Delfari. 2007. Comparison of qualitative, geomorphologic and quantitative methods of EPM in erosion and sediment estimation, case study: Taleghan Watershed. Fourth National Conference on Watershed Management Science and Engineering, Karaj, Iran, 1-19 (in Persian).
30. Shahkarami, A. 2002. Investigation of PSIAC, MPSIAC and EPM sediment estimation methods in the Noghian Watershed. Proceedings of National Conference on Land Management, Soil Erosion and Sustainable Development, Arak, 562-572 (in Persian).
31. Zanjani Jam, M. 1996. Investigation of EPM model for estimating erosion in Sefid-rood Basin. MSc Thesis, Tehran University, 114 pages (in Persian).