

## ارزیابی کارایی مدل تجربی نمره‌دهی فاکتوریل (FSM) در مناطقی از ایران

سعید نبی‌پی لشکریان<sup>۱\*</sup>، محمود عرب‌خدری<sup>۲</sup> و صمد شادفر<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و <sup>۲،۳</sup> دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۸

### چکیده

فرسایش تشدیدی خاک و تولید و انتقال مقادیر زیاد رسوب از معضلات مهم بسیاری از مناطق کشور ایران است. برای کاهش اثرات سوء این معضل از طریق انجام اقدامات حفاظت خاک و آبخیزداری، اطلاع از میزان فرسایش خاک و تولید رسوب و به عبارتی، شناسایی مناطق بحرانی ضرورت دارد. با توجه به فقدان ایستگاه اندازه‌گیری در خروجی آبخیزهای کوچک، مدل‌های تجربی ابزار مناسبی برای تخمین فرسایش خاک و رسوب‌دهی هستند. یکی از این روش‌ها که بر اساس داده‌های رسوب مناطق مدیترانه‌ای ابداع شده، مدل تجربی نمره‌دهی فاکتوریل FSM است. بر همین اساس، هدف اصلی این پژوهش، بررسی میزان هم‌خوانی برآوردهای این مدل تجربی و مقدار مشاهده‌ای رسوب در مناطق منتخب کشور است. به همین منظور، ۵۸ حوضه واجد اطلاعات رسوب‌دهی در استان‌های سمنان، مرکزی، اصفهان، چهارمحال و بختیاری، آذربایجان غربی، لرستان، فارس، گلستان و خراسان رضوی برای مقایسه با مقادیر برآوردی مدل انتخاب شدند. برای محاسبه رسوب‌دهی حوضه‌ها، لایه‌های اطلاعاتی لازم برای مدل FSM بررسی و امتیازهای مربوطه داده شد. مقایسه نتایج نشان داد که تمامی تخمین‌های مدل اصلی قبل از واسنجی، چند برابر بیشتر از مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده مخازن، ۰/۴۴ تا ۴۵۹/۶۴ تن بر کیلومتر مربع در سال است. به منظور اصلاح ضرایب، واسنجی در قالب دو سناریو، یک‌بار با کل داده‌ها و بار دیگر، پس از تقسیم به سه منطقه جغرافیایی انجام گرفت که سبب بهبود قابل توجه برآوردها شد. به طوری که ضریب کارایی Nash-Sutcliffe برای کل ایستگاه‌ها، ۰/۳۹ و برای مناطق مرکزی، زاگرس و شمال شرقی به ترتیب ۰/۵۱، ۰/۶۶ و ۰/۷۸ به دست آمد. به همین دلیل توصیه می‌شود که از کاربرد مدل FSM بدون واسنجی خودداری شود. همچنین، طبق نتایج به دست آمده می‌توان جمع‌بندی کرد که واسنجی منطقه‌ای مدل تجربی FSM، نتایج بهتری دارد.

**واژه‌های کلیدی:** بند کوتاه، رسوب‌دهی، فرسایش تشدیدی، فرسایش خاک، واسنجی

### مقدمه

(Hakimkhani, ۲۰۰۲). از طرف دیگر، مساحت حوضه‌های بالادست بیشتر این ایستگاه‌ها، بزرگ بوده، تردیدهای زیادی در مورد دقت و صحت نمونه‌برداری‌ها و روش‌های برآورد بار معلق از این نمونه‌ها وجود دارد (Hakimkhani, ۲۰۰۲). تعداد سدهای مخزنی نیز در سطح کشور بسیار محدود بوده،

اندازه‌گیری رسوب را می‌توان در ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی مخازن سدها در مناطق پایین‌دست حوضه‌ها انجام داد. تعداد ایستگاه‌های رسوب‌سنجی موجود در سطح کشور محدود بوده، بسیاری از آن‌ها دارای آمار ناکافی است

زیرحوضه‌ها برای محاسبه رسوب با استفاده از این روش وجود داشت، مرتفع کردند.

Haregeweyn و همکاران (۲۰۰۵) در منطقه تیگری اتیوپی با ارزیابی مدل‌های PSIAC و FSM با استفاده از رسوب‌سنجی مخازن هشت سد نتیجه‌گیری کرده‌اند که مدل FSM با مقادیر اندازه‌گیری شده هم‌خوانی دارد، اما میزان تطابق این مدل نسبت به مدل PSIAC کمتر است. Khoddami (۲۰۰۵) برای اولین بار مدل FSM را در ایران استفاده و بدون واسنجی معادله اصلی نتیجه‌گیری کرده که مقادیر برآوردی با استفاده از مدل FSM، با مقادیر اندازه‌گیری شده در مخزن بند لاشور در محل خروجی حوضه نسبت به روش PSIAC، از تطابق مناسب‌تری برخوردار است. Mohamadiha و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی دیگر، در حوضه ایوانکی بدون واسنجی معادله اصلی نتیجه‌گیری کرده‌اند که میزان رسوب اندازه‌گیری شده به‌وسیله مدل FSM از تطابق بیشتری نسبت به مدل PSIAC برخوردار است. Gholami و Mesri Alamdari (۲۰۱۳) با کاربرد مدل‌های FSM و MPSIAC در حوزه آبخیز بالادست سد نهند در شمال شرقی تبریز و مقایسه نتایج با مقادیر رسوب برآورد شده از آمار ایستگاه هیدرومتری، به این نتیجه رسیدند که مدل FSM دارای تطابق بیشتری نسبت به مدل MPSIAC در برآورد رسوب‌دهی حوضه است.

در مطالعات متعددی، این مدل مورد ارزیابی قرار گرفته است. Haravi و Nazari Samani (۲۰۱۳) در تحقیقی در حوزه آبخیز کن با کاربرد مدل FSM، میزان رسوب‌دهی را برآورد کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که رسوب تخمینی این مدل، با میزان رسوب مشاهده‌ای حوضه هم‌خوانی نداشته است. Kaviani و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی در حوضه سرخ‌آباد استان مازندران با استفاده از مدل FSM، مقدار رسوب را معادل ۶۱۱/۴ تن بر کیلومتر مربع در سال برآورد کردند که این مقدار در مقایسه با مقدار رسوب واقعی برابر ۳۹۰/۹ تن بر کیلومتر مربع در سال، حاکی از بیش‌تخمینی مدل نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده آن در بندها دارد. Atapour Fard و

حوضه‌های بالادست اغلب این مخازن بسیار بزرگ هستند (Hakimkhani, ۲۰۰۲). در بیشتر کشورها، عدم وجود آمار دقیق از فرسایش و تولید رسوب، بهره‌گیری از مدل‌ها را اجتناب‌ناپذیر می‌کند (Thommas و Voinvoch, ۱۹۹۵). برخی محققین، از جمله Morgan معتقدند که به‌رغم پیشرفت‌های حاصل در توسعه مدل‌های فرایندی، مدل‌های ساده تجربی در برآورد فرسایش موفق‌تر عمل می‌کنند، ضمن این‌که استفاده از آن‌ها نیز راحت‌تر است (Arabkhedri و همکاران, ۲۰۱۸). مدل‌های متعددی برای برآورد فرسایش و رسوب‌دهی ارائه شده‌اند. اما بسیاری از مدل‌های پیچیده فرایندی مانند WEPP، ANSWERS، EUROSEM با وجود ارزش علمی فراوان، در دنیای واقعی به دو دلیل مشکلات و هزینه زیاد جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز آن‌ها و اعتبار ضعیف نتایج حاصل از آن‌ها کاربردی نیستند (Boardman, ۲۰۰۶). در مقابل، به‌رغم سادگی مدل‌های تجربی، در موارد زیادی نتایج رضایت‌بخش از آن‌ها گزارش شده است (Nabipay Lashkarian و همکاران, ۲۰۱۶). یکی از این روش‌ها، مدل تجربی نمره‌دهی فاکتوریل<sup>۱</sup> FSM است که با هدف برآورد رسوب‌دهی در کشور اسپانیا طراحی شده (Nabipay Lashkarian و همکاران, ۲۰۱۶) و ممکن است، برای شرایط ایران با خصوصیات اقلیمی و بوم‌شناختی نسبتاً مشابه مناسب باشد.

در مدل تجربی FSM که مدلی نیمه‌کمی است، اولین بار به‌وسیله Verstraeten و همکاران (۲۰۰۳) برای بررسی میزان رسوب در اسپانیا ارائه شده است. آن‌ها برای محاسبه رسوب‌دهی حوضه‌ها از پنج عامل توپوگرافی، سنگ‌شناسی، شکل حوضه، خندق و پوشش گیاهی استفاده کرده‌اند و با تعیین میزان رسوب ۲۳ مخزن پشت سد در تحقیقات خود به این نتیجه رسیده‌اند که عامل مساحت در بعضی موارد، به تنهایی ۱۷ درصد تغییرات بار رسوب حوضه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. به‌دنبال آن de Vente و همکاران (۲۰۰۴) این مطالعه را برای ۶۰ زیرحوضه در اسپانیا واسنجی کرده، اشکالاتی را که در بیشتر

<sup>۱</sup> Factorial Scoring Model

مدل بدون واسنجی در مقایسه با اندازه‌گیری‌های واقعی بندها خیلی بیشتر بوده، مدل واسنجی شده FSM با مقادیر رسوب‌سنجی بندها ۶۳ درصد مطابقت دارد و می‌توان نتایج مدل واسنجی شده را پذیرفت. بررسی سوابق پژوهشی، حکایت از این مسأله دارد که در تحقیقات انجام شده با استفاده از این مدل در خارج از کشور، مدل مورد واسنجی قرار گرفته، مقادیر برآوردی رسوب‌دهی اندازه‌گیری شده در بندها مقایسه شده‌اند. همچنین، در بیشتر مطالعات صورت گرفته در ایران، از معادله اصلی به‌کار رفته در اسپانیا استفاده شده است. بدین ترتیب مشخص می‌شود که با وجود استفاده از این مدل در کشور، هنوز هم از میزان تطابق آن با شرایط حاکم بر کشور اطلاع کافی وجود ندارد و یک نوع بی‌اعتمادی به پژوهش‌های انجام شده در خصوص استفاده از مدل FSM در ایران وجود دارد. بنابراین، هدف اصلی در این مطالعه، تعیین میزان هم‌خوانی رسوب‌دهی برآوردی به‌وسیله مدل FSM با رسوب‌دهی اندازه‌گیری شده در مخازن ۵۸ حوضه در سراسر کشور است.

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه، ۵۸ مخزن بند و حوضچه رسوب‌گیر (Arabkhedri و همکاران، ۲۰۱۸) با قدمت نزدیک به ۱۰ سال در استان‌های سمنان، مرکزی، اصفهان، چهارمحال و بختیاری، آذربایجان غربی، لرستان، فارس، گلستان و خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱). انتخاب بندها بر اساس معیارهای عدم سرریز و انجام نشدن عملیات آبخیزداری و نفوذناپذیری آن‌ها بوده، ضمن تأیید وجود محدودیت‌هایی در این خصوص، تقریباً به پراکنش اقلیمی بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی (Massoudian و Kaviani، ۱۳۸۶) توجه شده است. در جدول ۱، مشخصات بندها و حوضچه‌های مورد مطالعه در این پژوهش ارائه شده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، رسوب بندها بین ۰/۴۴ تا ۴۵۹/۶۴ تن بر کیلومتر مربع در سال متغیر است.

همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی در شمال و شمال غربی استان تهران مدل FSM را به‌کار بردند و نتایج حاصله را با مقدار رسوب اندازه‌گیری شده در نه ایستگاه اندازه‌گیری رسوب مقایسه و نتیجه‌گیری کرده‌اند که مقادیر رسوب برآورد شده به‌وسیله مدل FSM با مقادیر اندازه‌گیری شده، از هم‌خوانی زیادی برخوردار است.

Nabipay Lashkarian و همکاران (۲۰۱۳) به‌منظور ارزیابی مدل FSM، نه سد کوتاه با عمر ۱۰ سال بدون سرریز در استان سمنان را انتخاب کردند و نتیجه‌گیری آن‌ها نشان داد که نتایج برآورد شده به‌وسیله مدل FSM واسنجی شده با مقادیر حاصل از رسوب‌سنجی بندها، ۸۴ درصد مطابقت دارد. Brooshkeh و همکاران (۲۰۱۸) با کاربرد مدل‌های MPSIAC، PSIAC و FSM در ۱۰ بند واقع در استان آذربایجان غربی نتیجه‌گیری کردند که مقادیر خطای نسبی مدل‌های فوق به‌ترتیب برابر ۲/۳۵، ۱/۲۲ و ۳۸/۶۷ درصد است. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که مدل PSIAC به‌دلیل درصد خطای نسبی کمتر نسبت به سایر مدل‌های استفاده شده از کارایی بهتری در برآورد رسوب‌دهی حوضه‌های مورد مطالعه برخوردار است. Davudirad و همکاران (۲۰۱۸) با کاربرد مدل FSM و استفاده از رسوب‌سنجی مخازن ۱۱ بند استان مرکزی گزارش کردند که میانگین خطای نسبی قبل و پس از واسنجی مدل، به‌ترتیب برابر ۳۵۸۱۴ و ۳۹۱ درصد است که این مسأله از افزایش صحت و دقت مدل پس از واسنجی حکایت دارد. Ghahari و همکاران (۲۰۱۸) نیز در استان فارس، مقادیر رسوب برآوردی از مدل FSM را با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده در مخازن پنج بند، ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از مدل FSM ارائه شده در اسپانیا بیش‌برآوردی زیادی را نشان می‌دهد و کارایی ندارد. همچنین، نتیجه‌گیری آن‌ها نشان داد که نتایج برآورد شده به‌وسیله مدل FSM واسنجی شده با مقادیر حاصل از رسوب‌سنجی بندها، ۷۵ درصد مطابقت دارد. همچنین، Nabipay Lashkarian و Arabkhedri (۲۰۱۹) با کاربرد مدل FSM در ۱۰ بند واقع در شمال شرقی کشور نتیجه‌گیری کردند که برآوردهای

جدول ۱- حوضه‌های مورد مطالعه در پژوهش

استان	نام حوضه	مساحت (ha)	درصد شیب حوضه	ضریب گراولوسوس	درصد پوشش گیاهی	فرسایش خندقی	لیتولوژی غالب	رسوب حوضه ( $t\ km^{-2}y^{-1}$ )	
سمنان	سولدره	۹۲/۲	۳۸/۵	۱/۳۲	۱۶/۸	ندارد	سنگ آهک و ماسه‌سنگ آهکی	۱۳۴/۷۸	
	ابراهیم‌آباد	۵۰۷/۸۱	۲۹/۳	۱/۳۶	۱۰/۳	ندارد	نهشته‌های آبرفتی، آهک، مارن	۲۵/۶۱	
	رویاب	۵۳۸/۸۳	۲۳/۹	۱/۳	۱۲/۹	خیلی کم	سنگ آذرین، شیل، کنگلومرا	۵۴/۳۵	
	علی‌آباد	۱۲۹/۲۵	۱۶/۲	۱/۴۵	۷/۱	ندارد	کنگلومرای قرمز، مارن	۸۶/۸۸	
	عمروان	۱۰۲/۳۵	۱۱/۴	۱/۳	۱۱/۶	نسبتاً زیاد	کنگلومرا، مارن، نهشته‌های آبرفتی	۴۵۹/۶۴	
	وینکه	۱۵۳۶	۱۸/۶	۱/۲۴	۲۷/۲	نسبتاً زیاد	کنگلومرا، نهشته‌های آبرفتی	۳۴/۹۲	
	مارچشمه	۲۴۱۷/۵	۲۲/۱	۱/۴۷	۱۴/۷	ندارد	نهشته‌های آبرفتی، توف	۲۰/۵۲	
	ارمیان	۱۱۱۶/۴	۱۹/۸	۱/۳۴	۹/۷	نسبتاً زیاد	نهشته‌های آبرفتی، کنگلومرا، آهک	۱۲۸/۴۵	
	مرکزی	کاظم‌آباد ۱	۶۲/۴۲	۱۲/۴	۱/۳۶	۲۲/۸	ندارد	شیل و ماسه‌سنگ	۱۴۵/۶۳
		کاظم‌آباد ۲	۱۸/۴۵	۱۳/۵	۱/۹۷	۲۴/۲	ندارد	شیل و ماسه‌سنگ	۱۵۳/۴
کلا		۲۵۰/۹۶	۱۳/۹	۱/۱۶	۲۷/۱	ندارد	ایگنمبریت، ریولیت	۲۳/۷۴	
قشلاق		۴۲۸/۷	۲۴/۷	۱/۱۸	۱۸/۱	ندارد	اسلیت و سنگ آهک	۰/۹۲	
قالیباف ۱		۲۴/۶۹	۲۲/۵	۱/۰۸	۲۰/۳	ندارد	شیل، اسلیت و شیست	۳۹/۹۳	
قالیباف ۲		۴۰/۲۲	۱۶/۸	۱/۱۶	۲۴/۲	ندارد	شیل، اسلیت و شیست	۱۶/۱۸	
قالیباف ۳		۱۰۹/۹۲	۱۸/۷	۱/۲۶	۲۸/۳	ندارد	پادگانه‌های آبرفتی، شیل، شیست	۶۱/۸۲	
سعادت‌آباد		۱۱۰/۳۷	۱۹/۶	۲/۰۴	۲۹/۲	ندارد	سنگ آهک، شیل و ماسه‌سنگ	۱۹۵/۸۱	
دربند		۱۰۱/۴۶	۱۴	۱/۱۸	۲۳/۲	ندارد	پادگانه‌های آبرفتی، اسلیت و آهک	۶۵/۸	
گوشه		۵۴۳/۹۷	۲۶	۱/۷۶	۱۷/۳	ندارد	پادگانه‌های آبرفتی، شیل	۶۷/۸۳	
اصفهان	وانان	۲۰۴/۵۱	۲۱/۴	۱/۲۵	۱۸	ندارد	شیل سبز، آهک	۱۸/۷۲	
	اشن دوماب	۱۳۸۷/۴۲	۹/۴	۱/۴۵	۱۷/۴	ندارد	شیل، نهشته‌های آبرفتی، آهک	۲۸/۱۳	
	بلمیر	۱۰۷۲/۶۹	۱۲/۹	۱/۳۱	۱۵/۴	ندارد	تراس‌های آبرفتی، آهک	۱۲/۶۲	
	مراوند بزرگ	۱۰۵۲	۲۳/۶	۱/۵۲	۱۵/۵	نسبتاً زیاد	آهک، شیل، نهشته‌های آبرفتی	۷/۳۵	
چهارمحال و بختیاری	تومانک	۱۶۶۲/۸۴	۱۰	۱/۱۹	۱۶	ندارد	شیل، آهک، نهشته‌های آبرفتی	۱۴/۷۸	
	سرتشنیز	۹۹۳/۶۱	۲۴	۱/۱۸	۲۵/۱	ندارد	شیل، آهک	۰/۴۴	
	هارونی	۳۱۶/۱	۲۲/۹	۱/۴۳	۱۵/۸	ندارد	شیل، آهک	۷/۸۶	
	زانیونی	۲۲۱/۴۷	۱۷/۴	۱/۲۳	۱۶/۶	ندارد	آهک با لایه‌های رسی	۱۰۰/۹۹	
آذربایجان غربی	امام‌کندی	۱۷۴/۰۳	۴۴/۹	۱/۴۲	۴۷/۲	ندارد	شیل، ماسه‌سنگ و سنگ آهک	۱۲۸/۸۲	
	سیلوه ۱	۷۹	۱۶/۹	۱/۰۴	۳۴/۳	ندارد	پادگانه‌های آبرفتی و سنگ آهک	۱۲۱/۸۷	
	سیلوه ۲	۷۸	۱۵/۷	۲/۱۹	۳۷/۱	ندارد	پادگانه‌های آبرفتی قدیمی	۵۳/۸۸	
	ازون‌دره ۱	۱۴/۳۵	۳۵/۱	۱/۱۷	۲۷	ندارد	فیلیت، گنیس و سنگ‌های آذرین	۱۵۲/۸۳	
	ازون‌دره ۲	۱۰۴/۷	۳۸/۸	۰/۹۹	۲۱/۶	ندارد	ریولیت	۸۷/۱۱	
	ازون‌دره ۳	۱۲۹/۰۴	۴۰/۵	۱/۱۱	۲۱/۶	ندارد	ریولیت، ماسه‌سنگ، دولومیت	۱۲۵/۱۳	
	کهنه‌ده ۱	۵۵۶	۳۲/۶	۲/۱۹	۲۲/۶	نسبتاً زیاد	دولومیت، ریولیت، شیل	۷۶/۴۳	
	کهنه‌ده ۲	۴۰۸	۳۰/۷	۱/۱۷	۱۹/۳	نسبتاً زیاد	دولومیت، ماسه‌سنگ و ریولیت	۷۰/۸۵	

ادامه جدول ۱- حوضه‌های مورد مطالعه در پژوهش

استان	نام حوضه	مساحت (ha)	درصد شیب حوضه	ضریب گراولوس	درصد پوشش گیاهی	فرسایش خندقی	لیتولوژی غالب	رسوب حوضه ( $t\ km^{-2}y^{-1}$ )
آذربایجان غربی	خره‌چو ۱	۹۷/۰۶	۳۷/۲	۱/۴	۳۱/۳	نسبتاً زیاد	گنیس و گرانیت	۱۲۸/۴۵
	خره‌چو ۲	۱۱۸/۷۵	۳۶/۹	۱/۲۱	۱۷/۴	نسبتاً زیاد	گنیس و گرانیت	۱۴۶/۷۳
لرستان	دارابی	۲۵۴/۲۳	۳۱	۱/۳۲	۳۱/۳	نسبتاً زیاد	گچ، نمک، مارن، سیلت، کنگلومرا	۱۸۱/۹۴
	دوگر	۲۱۶۷/۳۸	۲۹	۱/۴۵	۱۴/۴	خیلی کم	سیلت‌های زیتونی، آهک دولومیتی	۱۳۴/۴۲
	قلعه‌جغد	۱۰۳۴/۳۸	۲۴	۱/۳۸	۱۵/۶	ندارد	مارن، آهک و شیل، ماسه‌سنگ	۵۸/۶۷
	ریمله	۲۸/۳۹	۲۳	۱/۰۶	۱۴/۴	ندارد	گچ، نمک، مارن، آهک و شیل	۱۷۱/۴۹
	خاوران	۲۴۴۴/۲	۲۴	۱/۵۷	۲۱/۹	ندارد	رسوبات آبرفتی، آهک، کنگلومرا	۸۹/۴۸
	کلستان	۲۸۴۰/۸۷	۱۵/۲	۱/۴۱	۲۳/۲	ندارد	مارن، کنگلومرا، رس، آهک	۲۱۹/۴۷
	چهل‌چشمه	۲۶۲/۹	۲۴/۷	۱/۳۴	۳۹/۵	نسبتاً زیاد	سنگ‌های ژیبسی، مارن، آهک	۱۰۲/۰۱
	۱ غرب شیراز	۳۶۶/۲۳	۲۳	۱/۷۹	۲۶/۵	ندارد	آهک مارنی، مارن، کنگلومرا	۴۰/۵۷
	۲ غرب شیراز	۶۸/۹۸	۱۶/۱	۱/۶۸	۲۱/۴	ندارد	ژیبس، مارن و آهک‌های مارنی	۱۳/۴۸
۳ غرب شیراز	۷۷/۲۴	۱۹/۶	۱/۶۴	۲۱/۴	ندارد	ژیبس، مارن و آهک‌های مارنی	۱۴۸/۶	
گلستان	شوردرد ۱	۴۹۸/۲۲	۱۶/۵	۱/۷۳	۶۰	ندارد	رسوبات لسی	۱۷۹/۸۳
	شوردرد ۱۳	۱۰۱/۷۳	۱۱/۸	۱/۳۲	۶۴	ندارد	رسوبات لسی	۲۴۳/۶۳
	شوردرد ۱۶	۱۱۸/۲۸	۱۵/۱	۱/۳۲	۶۱	ندارد	رسوبات لسی	۳۷۱/۲۸
خراسان رضوی	سنگانه ۱	۰/۴۳	۷/۴	۱/۲۳	۲۴	ندارد	شیل و سنگ‌های هوازده و آهک	۱۶/۵۴
	سنگانه ۲	۰/۱۲	۱۱/۱	۱/۳۲	۲۳	ندارد	شیل	۱۳۶/۵۹
	سنگانه ۳	۰/۱۴	۷/۷	۱/۴	۱۸	ندارد	شیل	۵۴/۵۷
	سنگانه ۴	۱/۱۹	۶/۸	۱/۲۴	۲۱	ندارد	شیل و سنگ‌های هوازده و لس	۱۳/۰۴
	سنگانه ۶	۱/۰۴	۶/۹	۱/۱۴	۲۵	ندارد	شیل و سنگ‌های هوازده	۷۷/۳۷
	کارده ۱	۷۲/۹۶	۵۳/۳	۱/۱۳	۲۲	تعداد زیاد	شیل و مارن و نهشته‌های نئوژن	۳۱۶/۱۳
	کارده ۲	۸۳/۰۱	۴۱/۸	۱/۲۵	۲۴	تعداد کم	شیل و مارن و نهشته‌های نئوژن	۱۹۲/۲
	کارده ۳	۶/۰۲	۳۵	۱/۲۴	۲۱	تعداد کم	شیل و مارن و تراس‌رودخانه‌ای	۹۷/۰۸
	کارده ۴	۳/۰۱	۳۴/۵	۱/۰۶	۲۳	تعداد زیاد	شیل آهکی و مارن	۳۷۲/۰۶

به‌ترتیب با اعداد ۱ و ۲ و ۳ بوده که با استفاده از پیمایش صحرائی و استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و غیره داده می‌شود (Verstraeten و همکاران، ۲۰۰۳). در جدول ۲، نحوه امتیازدهی در

در مدل FSM، از پنج عامل زمین‌شناسی، توپوگرافی، پوشش گیاهی، فرسایش خندقی و شکل حوضه برای محاسبه رسوب‌دهی حوضه استفاده می‌شود. امتیاز هر عامل به‌صورت کم، متوسط و زیاد

(۶) استفاده شد. هر چه شاخص  $NSE$  به عدد یک نزدیکتر باشد، نشان از اعتبار بیشتر مدل است و هر چه از عدد یک فاصله داشته باشد، از اعتبار ضعیفتری برخوردارند. مقدار منفی  $NSE$  بی‌اعتباری مدل را نشان می‌دهد. همچنین، هر چه  $RRMSE$  به عدد صفر نزدیکتر باشد، حکایت از اعتبار بیشتر مدل دارد و هر چه از عدد صفر فاصله بگیرد، نشان می‌دهد که مدل از اعتبار کمتری برخوردار است. در این روابط،  $RMSE$ ، خطای جذر میانگین مربعات،  $RF$  اختلاف نسبی،  $MAPE$  میانگین خطای نسبی،  $NSE$  شاخص ارزیابی کارایی،  $RRMSE$  میانگین نسبی ریشه مربعات خطا،  $Pi$  مقدار برآورد مدل،  $O_i$  مقدار رسوب اندازه‌گیری شده،  $n$  تعداد داده است.

برای بررسی مطابقت یا عدم مطابقت برآورد مدل‌ها با مقادیر مشاهده‌ای نیز از راهنمای جدول ۳ (Toy و همکاران، ۲۰۰۲) استفاده شد که برای تعیین مطلوبیت تخمین‌های مدل نسبت به مقادیر مشاهده‌ای و بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی به کار می‌رود (Jafari و Ardakani و همکاران، ۲۰۱۸).

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

$$RF = \frac{P_i - O_i}{O_i} \times 100 \quad (3)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \right| \quad (4)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{mean})^2} \quad (5)$$

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

### نتایج و بحث

در این مطالعه، ابتدا مقدار رسوب مدل FSM، بدون واسنجی مدل به‌دست آمد. به همین منظور، امتیازات عوامل پنج‌گانه محاسبه شد و از حاصل ضرب این عوامل، شاخص مدل FSM، محاسبه شد. پس از این مرحله، اختلاف نسبی مدل قبل از واسنجی محاسبه شد و مطابقت مدل بر اساس راهنمای خطای مجاز به‌دست آمد، جدول ۴ که حاکی از بیش‌برآوردی تمامی تخمین‌ها دارد.

مدل FSM ارائه شده است. بعد از امتیازدهی عوامل پنج‌گانه، مقدار ضریب FSM<sup>۱</sup> با ضرب عوامل به‌دست می‌آید. با استفاده از این ضریب در رابطه (۱)، رسوب‌دهی حوضه برآورد می‌شود.

$$SSY = 4193A^{-0.44} + 7.77(FSMIndex) - 310.99 \quad (1)$$

که در آن،  $SSY$  میزان رسوب‌دهی حوضه (تن بر کیلومتر مربع در سال)،  $A$  مساحت حوضه (کیلومتر مربع) و  $FSM Index$  حاصل ضرب امتیازات عوامل پنج‌گانه است.

در مرحله بعد، واسنجی مدل (به روش de Vente و همکاران، ۲۰۰۴)، یک‌بار در تمامی حوضه‌های مورد مطالعه و یک‌بار به‌صورت منطقه‌ای (مرکزی، ناحیه زاگرس و شمال شرقی کشور) صورت گرفت. بدین‌ترتیب که ابتدا بین مساحت (کیلومتر مربع) و رسوب اندازه‌گیری شده مخازن بندها و حوضه‌های رسوب‌گیر (تن بر کیلومتر مربع در سال) یک رابطه برقرار شد. پس از این مرحله، بین عوامل پنج‌گانه و رسوب باقی‌مانده رابطه برقرار شده، از مجموع این دو رابطه، رسوب مدل محاسبه شد (de Vente و همکاران، ۲۰۰۴). به‌منظور، واسنجی از روش اعتبارسنجی متقاطع<sup>۲</sup> استفاده شد. بدین‌صورت که در هر بار واسنجی، با در نظر نگرفتن یکی از زیرحوضه‌ها، اعتباریابی انجام می‌شود، به‌طوری که خطای جذر میانگین مربعات<sup>۳</sup> رابطه (۲) به‌دست آمده، کمترین خطای ممکن را نشان دهد. خطای جذر میانگین مربعات ( $RMSE$ ) تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده به‌وسیله مدل و مقدار واقعی است و ابزار خوبی برای مقایسه خطاهای پیش‌بینی به‌وسیله یک مجموعه داده است. خطای نسبی مدل از رابطه (۳) و میانگین خطای نسبی مدل نیز از رابطه (۴) به‌دست آمد. این شاخص‌ها معمولاً به‌صورت درصد بیان می‌شوند و هر چه بیشتر باشند، ضعف مدل را در برآورد صحیح نشان می‌دهند. به‌منظور، محاسبه ارزیابی کارایی مدل، از روش Nash و Sutcliffe (۱۹۷۰) رابطه (۵) ( $NSE$ ) و میانگین نسبی ریشه مربعات خطا ( $RRMSE$ )<sup>۴</sup> رابطه

<sup>1</sup> FSM index

<sup>2</sup> Leave one-out-cross validation

<sup>3</sup> Root-Mean-Square Error (RMSE)

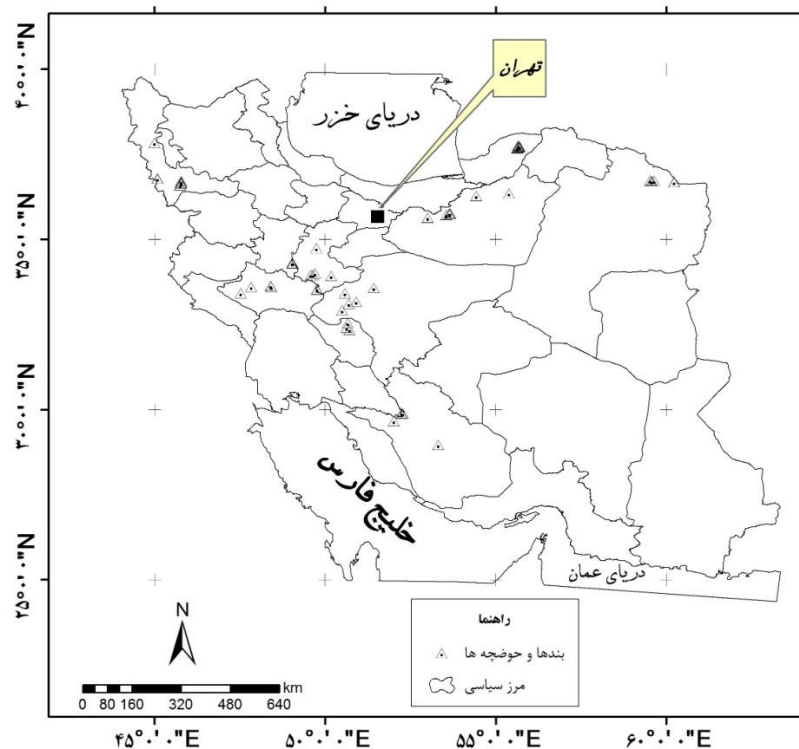
<sup>4</sup> Relative Root Mean Square Error

جدول ۲- نحوه امتیازدهی عوامل مدل (FSM Verstraeten و همکاران، ۲۰۰۳)

عامل	امتیاز	تشریح عوامل
توپوگرافی	۱	شیب ملایم دامنه‌های مشرف به رودخانه‌های اصلی و محل بند، اختلاف ارتفاع کمتر از ۲۰۰ متر در هر پنج کیلومتر
	۲	شیب متوسط دامنه‌های مشرف به رودخانه‌های اصلی و محل بند، اختلاف ارتفاع بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر در هر پنج کیلومتر
	۳	شیب تند دامنه‌های مشرف به رودخانه‌های اصلی و محل بند، اختلاف ارتفاع بیشتر از ۵۰۰ متر در هر پنج کیلومتر
پوشش گیاهی	۱	پوشش سطحی خوب (بیش از ۷۵ درصد از سطح خاک حفاظت شده است)
	۲	پوشش سطحی متوسط (۲۵ تا ۷۵ درصد سطح خاک حفاظت شده است)
	۳	پوشش سطحی فقیر (کمتر از ۲۵ درصد سطح خاک حفاظت شده است)
خندق‌ها	۱	فرسایش کناری و خندقی نادر
	۲	فرسایش کناری و خندقی کم
	۳	فرسایش کناری و خندقی زیاد
لیتولوژی	۱	آهک، ماسه‌سنگ و کنگلومرا غالب (درجه هوازدگی پایین)
	۲	نهشته‌های رسوبی نئوژن غالب (گراول و غیره)
	۳	مواد به شدت هوازده (سست) و مارن‌ها
شکل حوضه	۱	حوضه‌های کشیده با یک رودخانه اصلی به سمت مخزن، سهم رواناب مستقیم دامنه‌های مشرف به مخزن سد کم
	۲	حوضه‌های با شکلی بین کشیده و شبه دایره‌ای
	۳	حوضه‌های شبه دایره‌ای با چند رودخانه به سمت مخزن، سهم رواناب مستقیم دامنه‌های مشرف به مخزن سد زیاد

جدول ۳- راهنمای خطای مجاز برای نرخ‌های متوسط فرسایش (Toy و همکاران، ۲۰۰۲)

ردیف	نرخ متوسط فرسایش ( $t\ ha^{-1}y^{-1}$ )	خطای قابل قبول (درصد)
۱	$>60$	$\pm 25$
۲	$1-60$	$\pm 50$
۳	$<1$	$\pm 100$



شکل ۱- پراکنش بندها و حوضه‌های منتخب در کشور

$$SSY = 0.62A^2 - 16.98A + 0.0028(FSMI)^2 + 0.69(FSMI) + 104.07 \quad (7)$$

$$SSY = 48.701A^{-0.463} - 16.98A + 0.0012(FSMI)^2 - 9.75(FSMI) + 184.21 \quad (8)$$

$$SSY = 0.6194A^2 - 15.329A + 0.0238(FSMI)^2 + 2.962(FSMI) - 81.5 \quad (9)$$

$$SSY = -36.535A^2 + 196.44A + 107.22 \ln(FSMI) - 299.72 \quad (10)$$

در مرحله بعد، واسنجی مدل با استفاده از روش اعتبارسنجی متقاطع انجام شد و مدل بر اساس تمامی داده‌های موجود، به صورت رابطه (۷) به دست آمد (جدول ۵). همچنین، واسنجی مدل با استفاده از روش اعتبارسنجی متقاطع به صورت منطقه‌ای انجام شد. رابطه‌های (۸)، (۹) و (۱۰) به ترتیب مدل‌های واسنجی شده مناطق مرکزی، زاگرس و شمال شرقی کشور را نشان می‌دهند.

جدول ۴- محاسبه شاخص و رسوب برآوردی مدل FSM قبل از واسنجی

ردیف	نام حوضه	زمین‌شناسی	توپوگرافی	شکل حوضه	پوشش گیاهی	فرسایش خندقی	شاخص FSM	رسوب برآوردی مدل قبل واسنجی ( $t\ km^{-2}\ y^{-1}$ )	اختلاف نسبی مدل قبل واسنجی (درصد)
۱	سولدره	۱/۱	۳	۲	۳	۱	۱۹/۴	۴۱۸۵/۶	۳۰۰۵/۶
۲	ابراهیم‌آباد	۱/۷	۳	۲	۳	۱	۳۰/۹	۱۹۸۰/۸	۷۶۳۴
۳	رویان	۱/۶	۳	۲	۳	۱	۲۹	۱۹۱۲/۶	۳۴۱۹/۲
۴	علی‌آباد	۱/۴	۳	۲	۳	۱	۲۵/۹	۳۶۳۵/۸	۴۰۸۵
۵	عمروان	۱/۴	۳	۲	۳	۲	۴۹/۷	۴۲۲۵/۴	۸۱۹/۳
۶	وینکه	۱/۵	۳	۲	۲	۲	۳۴/۸	۱۲۱۹/۸	۳۳۹۲/۹
۷	مارچشمه	۱/۷	۳	۲	۳	۱	۲۹/۷	۹۵۲/۲	۴۵۴۰/۷
۸	ارمیان	۱/۸	۳	۲	۳	۲	۶۳/۴	۱۶۳۱/۷	۱۱۷۰/۳
۹	کاظم‌آباد ۱	۱/۵	۳	۲	۳	۱	۲۷	۵۰۵۸	۳۳۷۳/۲
۱۰	کاظم‌آباد ۲	۱/۵	۳	۱	۳	۱	۱۳/۵	۸۶۱۴/۳	۵۵۱۵/۶
۱۱	کلا	۱	۳	۳	۲	۱	۱۸	۲۶۲۵/۹	۱۰۹۵۸/۶
۱۲	قشلاق	۱	۳	۳	۳	۱	۲۷	۲۱۰۸/۷	۲۲۸۵۳۸
۱۳	قالیباغ ۱	۲	۳	۳	۳	۱	۵۴	۷۸۶۷/۸	۱۹۶۰۴/۸
۱۴	قالیباغ ۲	۲	۳	۳	۳	۱	۵۴	۶۳۶۸/۵	۳۹۲۵۷/۶
۱۵	قالیباغ ۳	۲	۳	۲	۲	۱	۲۴	۳۸۹۷/۶	۶۲۰۵/۱
۱۶	سعادت‌آباد	۱/۵	۳	۱	۲	۱	۸/۹	۳۷۷۳/۳	۱۸۲۷/۱
۱۷	دربند	۱/۷	۳	۳	۳	۱	۴۵/۴	۴۲۰۷/۸	۶۲۹۵
۱۸	گوشه	۱/۴	۳	۱	۳	۱	۱۲/۷	۱۷۷۷/۷	۲۵۲۰/۷
۱۹	وانان	۱/۳	۳	۲	۳	۱	۲۳	۲۹۲۸/۷	۱۵۵۴۰/۷
۲۰	اشن دوماب	۲/۷	۲	۲	۳	۱	۳۲/۶	۱۲۶۰/۷	۴۳۸۱
۲۱	بلمیر	۱/۴	۳	۲	۳	۱	۲۵/۴	۱۳۶۲/۳	۱۰۶۹۷/۸
۲۲	مراوند بزرگ	۱/۴	۳	۱	۳	۲	۲۴/۸	۱۳۷۰/۸	۱۸۵۶۰
۲۳	تومانک	۱/۲	۳	۳	۳	۱	۳۱/۶	۱۱۵۱/۶	۷۶۸۹/۹
۲۴	سرتشنیز	۲/۷	۳	۳	۲	۱	۴۸/۲	۱۵۹۰/۵	۳۵۹۷۱۰
۲۵	هارونی	۱/۴	۳	۲	۳	۱	۲۵/۹	۲۴۱۷/۴	۳۰۶۶۹/۶
۲۶	زانپونی	۱	۳	۲	۳	۱	۱۸	۲۷۸۴/۱	۲۶۵۶/۶
۲۷	امام‌کندی	۱/۸	۲/۹	۲	۲/۲	۱	۲۳/۱	۳۱۵۴/۲	۲۳۴۸/۶
۲۸	سیلوه ۱	۱/۹	۲	۱	۲/۲	۱	۸/۴	۴۴۰۵/۷	۳۵۱۵/۱
۲۹	سیلوه ۲	۲	۱/۹	۱	۲/۱	۱	۸/۳	۴۴۳۰/۹	۸۱۲۴
۳۰	ازون‌دره ۱	۱	۲/۷	۳	۲/۴	۱	۱۹/۴	۹۶۹۱/۴	۶۲۴۱/۳
۳۱	ازون‌دره ۲	۱	۲/۸	۳	۲/۳	۱	۱۹/۴	۳۹۴۸/۹	۴۴۳۳/۵



ادامه جدول ۴ - محاسبه شاخص و رسوب برآوردی مدل FSM قبل از واسنجی

ردیف	نام بند	زمین‌شناسی	توپوگرافی	شکل حوضه	پوشش گیاهی	فرسایش خندقی	شاخص FSM	رسوب برآوردی مدل قبل واسنجی ( $t km^{-2}y^{-1}$ )	اختلاف نسبی مدل قبل واسنجی (درصد)
۳۲	ازون‌دره ۳	۱/۲	۲/۹	۳	۲/۵	۱	۲۵/۲	۳۶۳۳	۲۸۰۳/۳
۳۳	کهنه‌ده ۱	۱/۶	۲/۷	۲	۲/۵	۲	۴۴/۱	۲۰۰۲/۵	۲۵۲۰/۱
۳۴	کهنه‌ده ۲	۱/۴	۲/۸	۲	۲/۶	۲	۴۱/۵	۲۲۷۰	۳۱۰۳/۸
۳۵	خره‌چو ۱	۱	۲/۸	۳	۲/۳	۲	۳۸/۷	۴۲۳۸	۳۱۹۹/۴
۳۶	خره‌چو ۲	۱	۲/۸	۳	۲/۲	۲	۳۷/۸	۳۸۷۰/۶	۲۵۳۷/۹
۳۷	دارابی	۲/۴	۲/۷	۲	۲/۴	۱/۴	۴۳/۳	۲۸۰۶/۴	۱۴۴۲/۴
۳۸	دوگر	۱/۴	۲/۸	۲	۳	۱/۲	۲۷/۴	۹۸۵/۲	۶۳۲/۹
۳۹	قلعه‌جغد	۱/۶	۲/۸	۲	۳	۱	۲۵/۸	۱۳۸۹/۲	۲۲۶۷/۷
۴۰	ریمله	۳	۲/۹	۳	۳	۱	۷۸	۷۵۹۲/۲	۴۳۲۷/۲
۴۱	خاوران	۱/۵	۲/۶	۱	۳	۱	۱۱/۹	۸۰۸/۶	۸۰۳/۶
۴۲	کلستان	۲/۲	۲/۴	۲	۳	۱	۳۱/۵	۸۹۵/۷	۳۰۸/۱
۴۳	چهل‌چشمه	۲	۲/۸	۲	۲	۲	۴۴/۸	۲۷۷۷/۵	۲۶۲۲/۷
۴۴	۱ غرب شیراز	۲	۲/۹	۱	۲	۱	۱۱/۵	۲۱۴۶/۷	۵۱۹۱/۴
۴۵	۲ غرب شیراز	۲	۲/۵	۱	۳	۱	۱۵/۲	۴۷۴۴/۳	۳۵۰۹۲
۴۶	۳ غرب شیراز	۲	۲/۶	۱	۳	۱	۱۵/۶	۴۵۰۷/۸	۲۹۳۳/۴
۴۷	شوردره ۱	۳	۲/۸	۱	۲	۱	۱۷	۱۸۸۹/۵	۹۵۰/۷
۴۸	شوردره ۱۳	۳	۲/۸	۲	۲	۱	۳۳/۴	۴۱۰۹/۷	۱۵۸۶/۹
۴۹	شوردره ۱۶	۳	۲/۸	۲	۲	۱	۳۴/۲	۳۸۴۹/۲	۹۳۶/۷
۵۰	سنگانه ۱	۲/۳	۱/۹	۲	۲/۷	۱	۲۳/۵	۴۵۹۴۴/۴	۲۷۷۶۰۸/۹
۵۱	سنگانه ۲	۳	۲/۴	۲	۳	۱	۴۳/۲	۸۱۱۸۸/۹	۵۹۳۴۱/۱
۵۲	سنگانه ۳	۳	۲/۱	۲	۳	۱	۳۷/۸	۷۳۹۸۲/۵	۱۳۵۴۷۴/۳
۵۳	سنگانه ۴	۲/۶	۱/۸	۲	۲/۴	۱	۲۲/۵	۲۹۲۲۳/۶	۲۲۴۰۵۳/۸
۵۴	سنگانه ۶	۲/۷	۱/۷	۳	۲/۳	۱	۳۱/۸	۳۱۲۰۲/۷	۴۰۲۲۹/۸
۵۵	کارده ۱	۲/۴	۲/۸	۳	۲/۸	۲/۵	۱۴۱/۲	۵۶۰۳/۴	۱۶۷۲/۵
۵۶	کارده ۲	۲/۳	۲/۸	۲	۲/۶	۱/۷	۵۹/۸	۴۷۰۴/۹	۲۳۴۷/۹
۵۷	کارده ۳	۲/۸	۳	۲	۲/۶	۱	۴۶/۷	۱۴۴۸۹/۶	۱۴۸۲۴/۹
۵۸	کارده ۴	۳	۳	۳	۲/۷	۳	۲۲۲/۷	۲۱۰۰۶/۲	۵۵۴۶

## نتیجه‌گیری

به‌دست آمده که نشان‌گر میزان خطای زیاد بوده، عدم تناسب مدل برای تخمین رسوب‌دهی حوضه‌ها را نشان می‌دهد. شاخص‌های RMSE و MAPE به‌ترتیب برابر ۱۷۲۹۱/۴۳ و ۲۸۶۳۹/۵ به‌دست آمده‌اند که عدم اعتبار معادله واسنجی نشده را نشان می‌دهند. اختلاف نسبی مدل اولیه بر اساس راهنمای خطای مجاز (Toy) و همکاران، (۲۰۰۲) نیز حاکی از این است که تمامی برآوردهای مدل، بیش‌برآوردند. این نتیجه با نتایج

همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده شد، در تمامی حوضه‌ها رسوب برآوردی مدل FSM با استفاده از معادله اصلی (واسنجی نشده)، بسیار بیشتر از رسوب اندازه‌گیری شده بندها است. از آنجایی که شاخص NSE برابر ۳۱۷۳۶/۹- حاصل شده است، نشان می‌دهد که مدل بدون اعتبار است. ضمن این‌که میانگین نسبی مربعات خطای مدل نیز برابر ۱۶۰/۹۹

پژوهش‌های Khoddami (۲۰۰۵)، Mohamadiha و همکاران (۲۰۰۹)، Mohamadiha و همکاران (۲۰۱۱) و Brooshkeh و همکاران (۲۰۱۵) که مدل اصلی استفاده شده در اسپانیا را بدون واسنجی به کار برده‌اند و کارایی مدل را به این صورت مورد تأیید قرار داده‌اند، مغایرت دارد، ضمن این که نتیجه‌گیری به‌دست آمده از مطالعات Nabipay Lashkarian و همکاران (۲۰۱۳) را تأیید می‌کند.

جدول ۵- محاسبه رسوب مدل واسنجی شده FSM و مطابقت برآورد مدل با رسوب اندازه‌گیری شده بندها در تمامی حوضه‌های مورد مطالعه و مناطق مرکزی، زاگرس و شمال شرقی کشور

ردیف	نام بند	رسوب برآوردی مدل واسنجی شده ( $t\ km^{-2}y^{-1}$ )	اختلاف نسبی مدل واسنجی شده* (درصد)	منطقه	نتیجه مطابقت	رسوب برآوردی مدل واسنجی شده ( $t\ km^{-2}y^{-1}$ )	اختلاف نسبی مدل واسنجی شده* (درصد)	نتیجه مطابقت
۱	سولدره	۱۰۴/۱	-۲۲/۷		مطلوب	۹۰/۶	-۳۲/۸	مطلوب
۲	ابراهیم‌آباد	۶۱/۹	۱۴۱/۶		بیش‌برآورد	۲۰/۴	-۲۰/۲	مطلوب
۳	رویان	۱۰۳/۹	۱۹/۶		مطلوب	۲۴/۹	-۵۴/۲	مطلوب
۴	علی‌آباد	۵۷/۲	۵/۲		مطلوب	۵۵/۴	-۳۶/۲	مطلوب
۵	عمروان	۱۲۹/۳	-۷۱/۹		کم‌برآورد	۴۴/۶	-۹۰/۳	کم‌برآورد
۶	وینکه	۲۹/۱	-۱۶/۷		مطلوب	۴/۱۶	-۸۸/۱	مطلوب
۷	مارچشمه	۹۸	۳۷۷/۶		بیش‌برآورد	۱۱/۷	-۴۲/۸	مطلوب
۸	ارمیان	۵۵/۵	-۵۶/۷		کم‌برآورد	۶۵	-۴۹/۴	مطلوب
۹	کاظم‌آباد ۱	۱۱۴/۹	-۲۱/۱		مطلوب	۶۹/۱	-۵۲/۵	کم‌برآورد
۱۰	کاظم‌آباد ۲	۱۱۰/۹	-۲۷/۶۸		مطلوب	۱۸۰/۹	۱۸	مطلوب
۱۱	کلا	۸۰/۷	۲۳۹/۷		بیش‌برآورد	۷۹/۴	۲۳۴/۴	بیش‌برآورد
۱۲	قشلاق	۶۶/۷	۷۱۳۴/۸		بیش‌برآورد	۳۳/۳	۳۵۱۴/۴	بیش‌برآورد
۱۳	قالیباف ۱	۱۴۵/۵	۲۶۴/۵		بیش‌برآورد	۱۰۱/۳	۱۵۳/۷	بیش‌برآورد
۱۴	قالیباف ۲	۱۴۳/۱	۷۸۴/۲		بیش‌برآورد	۸۲/۵	۴۰۹/۶	بیش‌برآورد
۱۵	قالیباف ۳	۱۰۵/۲	۷۰/۲		مطلوب	۶۶	۶/۷	مطلوب
۱۶	سعادت‌آباد	۹۳/۳	-۵۲/۳		کم‌برآورد	۱۵۳/۱	-۲۱/۸	مطلوب
۱۷	دربند	۱۲۵/۳	۹۰/۵	مرکزی	مطلوب	۳۷/۶	-۴۲/۸	مطلوب
۱۸	گوشه	۴۳/۶	-۳۵/۸		مطلوب	۱۰۲	۵۰/۴	مطلوب
۱۹	وانان	۹۰/۹	۳۸۵/۶		بیش‌برآورد	۹/۳	-۳۶/۸	بیش‌برآورد
۲۰	اشن دوماب	۲۴/۳	-۱۳/۶		مطلوب	۱۰/۴	۲۲۴/۸	بیش‌برآورد
۲۱	بلمیر	۲۱/۱	۶۶/۹		مطلوب	۴۰/۸	۴۱۸/۸	بیش‌برآورد
۲۲	مراوند بزرگ	۲۱/۲	۱۸۹/۱		بیش‌برآورد	۸۱/۳	-۱۹/۵	بیش‌برآورد
۲۳	تومانک	۳۰/۹	۱۰۸/۹		بیش‌برآورد	۵۸/۳	۲۱۱/۲	مطلوب
۲۴	سرتشنیز	۴۴/۲	۹۹۰۱/۹		بیش‌برآورد	۸/۴	-۷۰/۲	بیش‌برآورد
۲۵	هارونی	۷۸/۸	۹۰۳/۶		بیش‌برآورد	۳۰/۳	۱۴۰/۵	بیش‌برآورد
۲۶	زانپونی	۸۴/۶	-۱۶/۲		مطلوب	۳۲/۵	۳۴۲/۳	مطلوب
۲۷	امام‌کندی	۹۵/۲	-۲۶/۱		مطلوب	۱۱۲/۴	-۱۲/۸	مطلوب
۲۸	سیلوه ۱	۹۷/۷	-۱۹/۸		مطلوب	۹۳	-۲۳/۶	مطلوب
۲۹	سیلوه ۲	۹۷/۷	۸۱/۴		مطلوب	۹۲/۹	۷۲/۴	مطلوب
۳۰	ازون‌دره ۱	۱۱۶/۲	-۲۴		مطلوب	۱۲۷/۸	-۱۶/۴	مطلوب
۳۱	ازون‌دره ۲	۱۰۲/۲	۱۷/۴		مطلوب	۱۱۴/۶	۳۱/۶	مطلوب
۳۲	ازون‌دره ۳	۱۰۳/۴	-۱۷/۴		مطلوب	۱۲۲/۳	-۲/۳	مطلوب
۳۳	کهنه‌ده ۱	۶۹/۱	-۹/۶		مطلوب	۹۹/۷	۳۰/۵	مطلوب

ادامه جدول ۵- محاسبه رسوب مدل واسنجی شده FSM و مطابقت برآورد مدل با رسوب اندازه‌گیری شده بندها در تمامی حوضه‌های مورد مطالعه و مناطق مرکزی، زاگرس و شمال شرقی کشور

ردیف	نام بند	رسوب برآوردی مدل واسنجی شده ( $t\ km^{-2}y^{-1}$ )	اختلاف نسبی مدل واسنجی شده* (درصد)	منطقه	نتیجه مطابقت	رسوب برآوردی مدل واسنجی شده ( $t\ km^{-2}y^{-1}$ )	اختلاف نسبی مدل واسنجی شده* (درصد)	نتیجه مطابقت
۳۴	کهنه‌ده ۲	۸۱/۸	۵۶/۹		مطلوب	۱۱۱/۲	۵۶/۹	مطلوب
۳۵	خره‌چو ۱	۱۱۹/۸	۱۳/۸		مطلوب	۱۴۶/۲	۱۳/۸	مطلوب
۳۶	خره‌چو ۲	۱۱۵/۸	-۳/۱		مطلوب	۱۴۲/۲	-۳/۱	مطلوب
۳۷	دارابی	۱۰۲	-۲۸/۵		مطلوب	۱۳۰/۱	-۲۸/۵	مطلوب
۳۸	دوگر	۶۵/۴	-۲۳		مطلوب	۱۰۳/۵	-۲۳	مطلوب
۳۹	قلعه‌جغد	۲۲/۶	-۱۵/۲		مطلوب	۴۹/۷	-۱۵/۲	مطلوب
۴۰	ریمله	۱۷۰/۴	-۴/۷	مرکزی	مطلوب	۱۶۳/۴	-۴/۷	مطلوب
۴۱	خاوران	۸۷/۳	۲۱/۴		مطلوب	۱۰۸/۶	۲۱/۴	مطلوب
۴۲	کلستان	۱۶۹/۱	-۱/۷		مطلوب	۲۱۵/۶	-۱/۷	مطلوب
۴۳	چهل‌چشمه	۱۰۲/۳	۲۷/۸		مطلوب	۱۳۰/۴	۲۷/۸	مطلوب
۴۴	۱ غرب شیراز	۶۱/۴	۵۹/۱		مطلوب	۶۴/۵	۵۹/۱	مطلوب
۴۵	۲ غرب شیراز	۱۰۴/۳	۷۲۱/۱		بیش‌برآورد	۱۱۰/۷	۷۲۱/۱	بیش‌برآورد
۴۶	۳ غرب شیراز	۱۰۳/۴	-۲۵/۷		مطلوب	۱۱۰/۴	-۲۵/۷	مطلوب
۴۷	شوردرد ۱	۵۱/۳	-۵۷/۹		کم‌برآورد	۷۵/۷	-۵۷/۹	کم‌برآورد
۴۸	شوردرد ۱۳	۱۱۴/۴	-۲/۱		کم‌برآورد	۲۳۸/۴	-۲/۱	کم‌برآورد
۴۹	شوردرد ۱۶	۱۱۲/۶	-۲۹/۹		کم‌برآورد	۲۶۰/۲	-۲۹/۹	کم‌برآورد
۵۰	سنگانه ۱	۱۲۱/۸	۱۳۹/۸		بیش‌برآورد	۳۹/۷	۱۳۹/۸	بیش‌برآورد
۵۱	سنگانه ۲	۱۳۹/۱	-۲۳/۶		مطلوب	۱۰۴/۳	-۲۳/۶	مطلوب
۵۲	سنگانه ۳	۱۳۴/۱	۶۵	شمال شرقی	بیش‌برآورد	۹۰	۶۵	بیش‌برآورد
۵۳	سنگانه ۴	۱۲۰/۸	۱۷۸/۴		بیش‌برآورد	۳۶/۳	۱۷۸/۴	بیش‌برآورد
۵۴	سنگانه ۶	۱۲۸/۶	-۵/۵		مطلوب	۷۳/۱	-۵/۵	مطلوب
۵۵	کارده ۱	۲۴۵/۹	۱۲/۳		مطلوب	۳۵۴/۹	۱۲/۳	مطلوب
۵۶	کارده ۲	۱۴۲/۳	۴۴		مطلوب	۲۷۶/۹	۴۴	مطلوب
۵۷	کارده ۳	۱۴۱/۴	۲۷/۸		مطلوب	۱۲۴/۱	۲۷/۸	مطلوب
۵۸	کارده ۴	۳۹۶/۱	-۲۳/۲		مطلوب	۲۸۵/۸	-۲۳/۲	مطلوب

برآوردی مدل به‌ترتیب برابر  $۱۰۱/۷۲$  و  $۱۰۲/۲۸$  تن بر کیلومتر مربع در سال است. چولگی داده‌های رسوبات مشاهده‌ای و برآوردی مدل مثبت بوده، به‌ترتیب برابر  $۱/۵۹۴$  و  $۲/۴۸۱$  به‌دست آمده است که نشان‌دهنده تجمع مقادیر رسوب‌دهی کمتر از مقدار میانگین است. همچنین، رسوب اندازه‌گیری شده بندها بین  $۰/۴۴$  و  $۴۵۹/۶۵$  تن بر کیلومتر مربع در سال متغیر است، در حالی که رسوب برآوردی مدل بین  $۲۱/۰۶$  و  $۳۹۶/۱۴$  تن بر کیلومتر مربع در سال تغییر می‌کند. ضریب تغییرات رسوب اندازه‌گیری شده بندهای مورد مطالعه و رسوب برآوردی مدل نیز به‌ترتیب برابر  $۹۱/۱۵$  و

بررسی نتایج رابطه (۷) نیز این مسأله را به‌وضوح نشان می‌دهد که تخمین‌های مدل FSM واسنجی شده، خطای به‌مراتب کمتری نسبت به معادله اصلی واسنجی نشده دارد. شاخص‌های RMSE و MAPE به‌ترتیب برابر  $۶۶/۹۲$  و  $۴۲۲/۷۲$  به‌دست آمده‌اند. ضمن این‌که شاخص‌های NSE و RRMSE به‌ترتیب برابر  $۰/۳۹$  و  $۰/۶۶$  محاسبه شدند. همچنین، بررسی نتایج شاخص‌های آماری نیز حاکی از این است که میانگین و میانه رسوب اندازه‌گیری شده بندها به‌ترتیب برابر  $۱۰۷/۴۱$  و  $۸۶/۹۹$  تن بر کیلومتر مربع در سال بوده، در حالی‌که میانگین و میانه رسوب

می‌دهند که مدل اصلاح شده FSM، خطای کمتری نسبت به مدل‌های قبلی دارند. نتایج جدول ۶، نیز بر تأیید این مسأله حکایت دارد. در جدول ۶، پارامترهای آماری و شاخص‌های اعتبارسنجی مدل اصلاح شده FSM در مناطق مرکزی، زاگرس و شمال شرقی کشور ارائه شده‌اند.

۵۶/۴۶ به‌دست آمد که حاکی از تغییرات بیشتر رسوب اندازه‌گیری شده نسبت به رسوب برآوردی مدل است. اختلاف نسبی مدل اصلاح شده FSM، بر اساس راهنمای خطای مجاز (Toy و همکاران، ۲۰۰۲)، حاکی از این است که ۳۷ برآورد مطلوب، ۱۵ تخمین بیش‌برآورد و شش تخمین کم‌برآورد داشتند. بررسی نتایج روابط (۸)، (۹) و (۱۰) نشان

جدول ۶- پارامترهای آماری مدل اصلاح شده FSM در مناطق مرکزی، زاگرس و شمال شرقی

NSE	RRMSE	RMSE	ضریب تغییرات (درصد)	رسوب ( $t\ ha^{-2}y^{-1}$ )				شاخص آماری	منطقه	
				انحراف معیار	چولگی	میان	میانگین			بیشینه
۰/۵۱	۰/۶۶	۳۸/۰۱	۱۳۰/۵	۹۵/۷	۲/۸۷۳	۳۷/۴۲	۷۳/۳۵	۴۵۹/۶	۰/۴۴	مشاهده‌ای مرکزی
			۷۶/۶	۴۴	۱/۱۶	۵۰/۰۴	۵۷/۴۴	۱۸۰/۹	۴/۱۶	
۰/۶۶	۰/۲۳	۲۶/۶۸	۴۵/۹	۵۱/۷	۰/۰۳۱	۱۲۳/۵	۱۱۲/۶	۲۱۹/۵	۱۳/۴۸	مشاهده‌ای زاگرس
			۲۹/۶	۳۴/۸	۰/۸۱۸	۱۱۱/۸	۱۱۷/۵	۲۱۵/۶	۴۹/۷۴	
۰/۷۸	۰/۳۴	۵۳/۱۷	۷۵/۲	۱۲۹/۷	۰/۴۱۴	۱۵۸/۲	۱۷۲/۵	۳۷۲/۱	۱۳/۰۴	مشاهده‌ای شمال شرقی
			۶۸/۴	۱۱۱/۷	۰/۶۶۶	۱۱۴/۲	۱۶۳/۳	۳۵۴/۹	۳۶/۳	

می‌کند. ضریب تغییرات رسوب اندازه‌گیری شده بندهای مورد مطالعه و رسوب برآوردی مدل نیز به‌ترتیب برابر ۱۳۰/۴۶ و ۷۶/۶۲ به‌دست آمد که حاکی از تغییرات بیشتر رسوب اندازه‌گیری شده نسبت به رسوب برآوردی مدل دارد.

اختلاف نسبی مدل اصلاح شده FSM بر اساس راهنمای خطای مجاز (Toy و همکاران، ۲۰۰۲) در منطقه زاگرس نشان می‌دهد که ۱۹ برآورد مطلوب و یک تخمین بیش‌برآورد دارد. شاخص‌های RMSE و MAPE نیز در منطقه زاگرس، به‌ترتیب برابر ۲۶/۶۸ و ۲۴/۷۷ حاصل شده‌اند. بررسی نتایج رابطه (۹) نشان می‌دهد که شاخص‌های NSE و RRMSE به‌ترتیب برابر ۰/۶۶ و ۰/۲۳ محاسبه شدند. همچنین، بررسی نتایج شاخص‌های آماری نیز حاکی از این است که میانگین و میانه رسوب اندازه‌گیری شده بندها در حوضه‌های منطقه زاگرس به‌ترتیب برابر ۱۱۲/۶۱ و ۱۲۳/۵ تن بر کیلومتر مربع در سال بوده، در حالی که میانگین و میانه رسوب برآوردی مدل به‌ترتیب برابر ۱۱۷/۴۷ و ۱۱۱/۸ تن بر کیلومتر مربع در سال می‌باشد. چولگی داده‌های رسوبات مشاهده‌ای و برآوردی مدل مثبت بوده، به‌ترتیب برابر ۰/۰۳۱ و ۰/۸۱۸ به‌دست آمده است که نشان‌دهنده تجمع

اختلاف نسبی مدل اصلاح شده FSM بر اساس راهنمای خطای مجاز (Toy و همکاران، ۲۰۰۲) در حوضه‌های مرکزی نشان می‌دهد که ۱۴ برآورد مطلوب و ۱۰ تخمین بیش‌برآورد و دو تخمین کم‌برآورد داشتند. شاخص‌های RMSE و MAPE نیز در مناطق مرکزی، به‌ترتیب برابر ۳۸/۰۱ و ۳۳۲/۶۲ حاصل شده‌اند. بررسی نتایج رابطه (۸) نشان می‌دهد که شاخص‌های NSE و RRMSE به‌ترتیب برابر ۰/۵۱ و ۰/۶۶ محاسبه شدند. همچنین، بررسی نتایج شاخص‌های آماری نیز حاکی از این است که میانگین و میانه رسوب اندازه‌گیری شده بندها در مناطق مرکزی به‌ترتیب برابر ۷۳/۳۵ و ۳۷/۴۲ تن بر کیلومتر مربع در سال بوده، در حالی که میانگین و میانه رسوب برآوردی مدل به‌ترتیب برابر ۵۷/۴۴ و ۵۰/۰۴ تن بر کیلومتر مربع در سال می‌باشد. چولگی داده‌های رسوبات مشاهده‌ای و برآوردی مدل مثبت بوده، به‌ترتیب برابر ۲/۸۷۳ و ۱/۱۶ به‌دست آمده است که نشان‌دهنده تجمع مقادیر رسوب‌دهی کمتر از مقدار میانگین است. همچنین، رسوب اندازه‌گیری شده بندها بین ۰/۴۴ و ۴۵۹/۶۵ تن بر کیلومتر مربع در سال متغیر است، در حالی که رسوب برآوردی مدل بین ۴/۱۶ و ۱۸۰/۹۴ تن بر کیلومتر مربع در سال تغییر

شرقی کشور را نشان می‌دهند. مطابق شکل ۲- الف، مدل واسنجی شده، تنها قادر به تبیین ۳۹ درصد رسوب مشاهده‌ای تمامی بندهای مورد مطالعه است ( $r=0/62$ ). همچنین، از آنجایی که کشور ایران دارای اقلیم‌ها و لیتولوژی‌های مختلفی است، این مدل در مناطق مختلف جواب‌های مناسب‌تری را ارائه داد. به‌طوری که مطابق شکل ۲- ب، مدل واسنجی شده در حوضه‌های مرکزی ۵۲ درصد رسوب مشاهده‌ای ( $r=0/72$ )، مطابق شکل ۲- ج، مدل واسنجی شده در حوضه‌های منطقه زاگرس ۶۷ درصد رسوب مشاهده‌ای ( $r=0/82$ ) و مطابق شکل ۲- د، مدل واسنجی شده در حوضه‌های شمال شرقی کشور نیز ۷۸ درصد رسوب مشاهده‌ای را توضیح می‌دهند ( $r=0/88$ ).

نتیجه به‌دست آمده، با نتیجه‌گیری حاصل از تحقیقات de Vente و همکاران (۲۰۰۴)، Haregeweyn و همکاران (۲۰۰۵)، de Vente و همکاران (۲۰۱۲) و Atapour Fard و همکاران (۲۰۱۳) و Nabipay Lashkarian و همکاران (۲۰۱۳) هم‌خوانی دارد. این پژوهشگران، مدل اصلی را برای منطقه مورد مطالعه خود واسنجی کرده‌اند (جدول ۷). همان‌گونه که ملاحظه شد، مدل FSM مساحت به‌علاوه پنج عامل توپوگرافی، شکل حوضه، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و خندق را در نظر می‌گیرد. Verstraeten و همکاران (۲۰۰۳) نتیجه‌گیری کردند که مساحت، ۱۷ درصد رسوب‌دهی را کنترل می‌کند. خصوصیات توپوگرافی از قبیل تندی شیب، شکل شیب و طول شیب از عوامل مؤثر در فرسایش‌پذیری حوضه است (de Vente و همکاران، ۲۰۰۶). شکل حوضه نیز با توجه به اثری که بر روی زمان تمرکز حوضه دارد، از جمله عواملی است که در فرسایش‌پذیری حوضه مؤثر است. پژوهش‌های زیادی نشان داده‌اند که رابطه مستقیمی بین خصوصیات مورفومتریک حوضه و پاسخ هیدرولوژیکی از قبیل زمان تأخیر و دبی اوج وجود دارد (Moussa، ۲۰۰۳). به نقل از de Vente و همکاران، ۲۰۰۶، عامل مهم دیگر در رسوب‌دهی، زمین‌شناسی است. مطالعات مختلفی، نشان داده‌اند که حوضه‌های با سنگ مارن، دارای بار رسوبی بیشتری نسبت به شیست، سنگ آهک و ماسه‌سنگ است (Feiznia، ۱۹۹۵؛ Lahlou، ۱۹۸۸؛

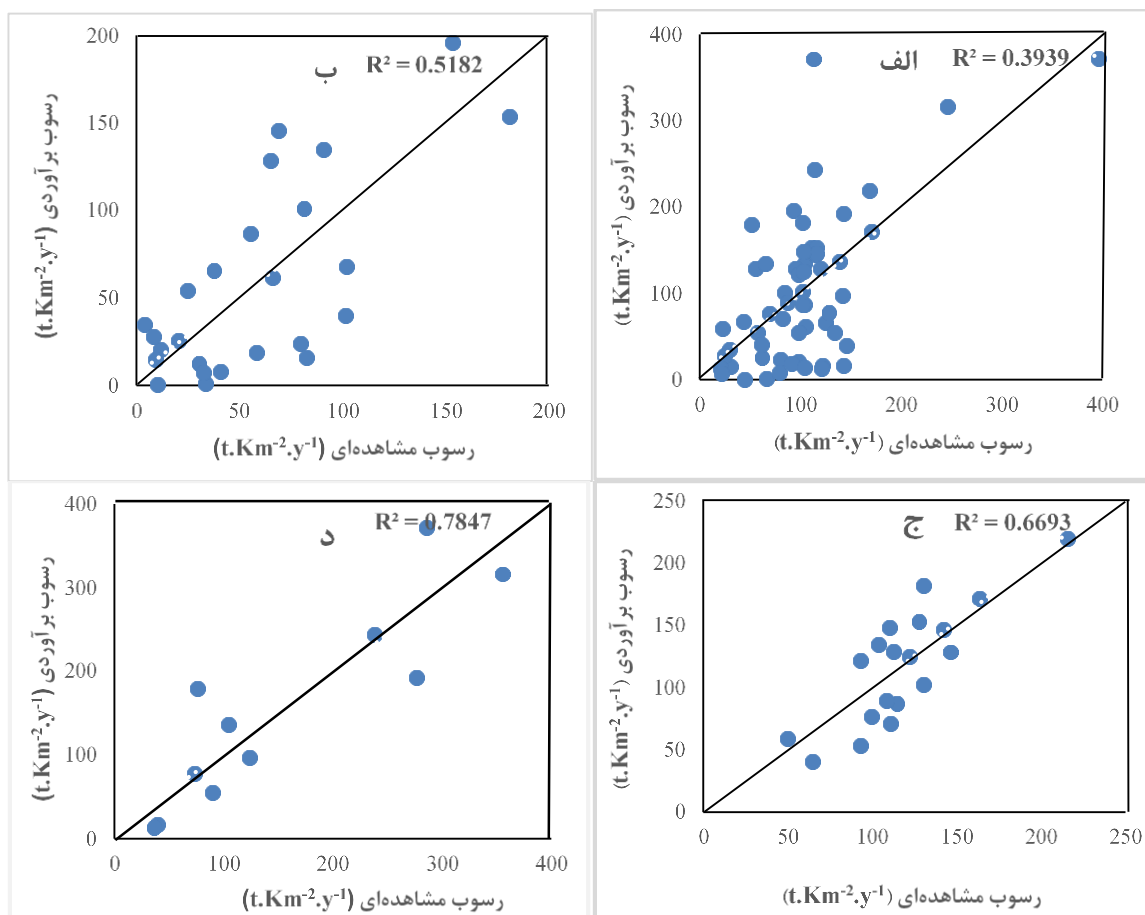
مقادیر رسوب‌دهی کمتر از مقدار میانگین است. همچنین، رسوب اندازه‌گیری شده بندها بین ۱۳/۴۸ و ۲۱۹/۴۷ تن بر کیلومتر مربع در سال متغیر است، در حالی که رسوب برآوردی مدل بین ۴۹/۷۴ و ۲۱۵/۶۵ تن بر کیلومتر مربع در سال تغییر می‌کند. ضریب تغییرات رسوب اندازه‌گیری شده بندهای مورد مطالعه و رسوب برآوردی مدل نیز به‌ترتیب برابر ۴۵/۸۸ و ۲۹/۶۱ به‌دست آمد که حاکی از تغییرات همسان رسوب اندازه‌گیری شده و رسوب برآوردی مدل دارد.

اختلاف نسبی مدل اصلاح شده FSM بر اساس راهنمای خطای مجاز (Toy و همکاران، ۲۰۰۲) در حوضه‌های شمال شرقی نشان می‌دهد که نه برآورد مطلوب و سه تخمین بیش‌برآورد داشتند. شاخص‌های RMSE و MAPE نیز در مناطق شمال شرقی، به‌ترتیب برابر ۵۳/۱۷ و ۵۲/۶۹ حاصل شده‌اند. بررسی نتایج رابطه (۱۰) نشان می‌دهد که شاخص‌های NSE و RRMSE به‌ترتیب برابر ۰/۷۸ و ۰/۳۴ محاسبه شدند. همچنین، بررسی نتایج شاخص‌های آماری نیز حاکی از این است که میانگین و میانه رسوب اندازه‌گیری شده بندها در مناطق شمال شرقی به‌ترتیب برابر ۱۷۲/۵۳ و ۱۵۸/۲۸ تن بر کیلومتر مربع در سال بوده، در حالی که میانگین و میانه رسوب برآوردی مدل به‌ترتیب برابر ۱۶۳/۲۸ و ۱۱۴/۱۷ تن بر کیلومتر مربع در سال می‌باشد. چولگی داده‌های رسوبات مشاهده‌ای و برآوردی مدل مثبت بوده و به‌ترتیب برابر ۰/۴۴۴ و ۰/۶۶۶ به‌دست آمده است که نشان‌دهنده تجمع مقادیر رسوب‌دهی کمتر از مقدار میانگین می‌باشد. همچنین، رسوب اندازه‌گیری شده بندها بین ۱۳/۰۴ و ۳۷۲/۰۶ تن بر کیلومتر مربع در سال متغیر است، در حالی که رسوب برآوردی مدل بین ۳۶/۲۹ و ۳۵۴/۹۵ تن بر کیلومتر مربع در سال تغییر می‌کند. ضریب تغییرات رسوب اندازه‌گیری شده بندهای مورد مطالعه و رسوب برآوردی مدل نیز به‌ترتیب برابر ۷۵/۲ و ۶۹/۹۷ به‌دست آمد که حاکی از تغییرات همسان رسوب اندازه‌گیری شده و رسوب برآوردی مدل دارد.

شکل ۲- الف، ب، ج و د نیز به‌ترتیب، رابطه رسوب مشاهده‌ای و برآوردی تمامی حوضه‌های مورد مطالعه، منطقه حوضه‌های مرکزی، زاگرس و شمال

حوضه تأثیر به‌سزایی دارد (de Vente و همکاران، ۲۰۰۶). در بین انواع فرسایش‌هایی که در یک حوضه شکل می‌گیرد، فرسایش خندقی مقدار رسوب بیشتری تولید می‌کند (de Vente و همکاران، ۲۰۰۶).

Woodward، ۱۹۹۵ به نقل از de Vente و همکاران، ۲۰۰۶). عامل پوشش گیاهی به‌طور مستقیم با جلوگیری از برخورد قطرات باران به زمین و به‌طور غیرمستقیم با ممانعت از تولید سیل و افزایش ظرفیت نفوذ از جمله عواملی است که بر روی رسوب‌دهی



شکل ۲- نمودار رابطه رسوب مشاهده‌ای و رسوب برآوردی (الف) تمامی حوضه‌ها، (ب) حوضه‌های مرکزی، (ج) زاگرس و (د) شمال شرقی

جدول ۷- مقایسه کارایی مطالعات انجام‌شده به‌وسیله پژوهشگران در پژوهش‌های مختلف

پژوهشگر	کشور	تعداد مشاهده	NSE	RRMSE	ضریب تبیین رسوب‌دهی مشاهده‌ای-برآوردی
Verstraeten و همکاران (۲۰۰۳)	اسپانیا	۲۳	۰/۸۳	۰/۳۳	۰/۶۶
de Vente و همکاران (۲۰۰۴)	اسپانیا	۶۰	۰/۷۲	۰/۶۵	۰/۷۲
Haregeweyn و همکاران (۲۰۰۵)	اتیوپی	۸	۰/۶۸	۰/۲۲	۰/۶۹
de Vente و همکاران (۲۰۰۶)	ایتالیا	۲۸	۰/۱۶	۰/۵۱	۰/۶۱
AtapourFard و همکاران (۲۰۱۲)	ایران	۹	۰/۶۲	۰/۲۷	۰/۸
Nabipay Lashkarian و همکاران (۲۰۱۳)	ایران	۹	۰/۸۴	۰/۳۳	۰/۸۴

واسنجی آن قادر است، برآورد دقیق و قابل اعتمادی از رسوب‌دهی ارائه کند. این مسأله مؤید آن است که کاربرد مدل در خارج از منطقه ابداع، بایستی با دقت و

نتیجه‌گیری حاصله بیانگر این است که کاربرد مدل FSM بدون واسنجی، جوابی دور از واقعیت ارائه می‌دهد. ضمن این‌که، استفاده صحیح از این مدل و

مناطق زاگرس و استفاده از رابطه (۱۳) در شمال شرقی کشور توصیه می‌شود.

$$SSY = 48.701A^{-0.463} - 16.98A + 0.0012 (FSMI)^2 - 9.75 (FSMI) + 184.21 \quad (۱۱)$$

$$SSY = 0.6194A^2 - 15.329A + 0.0238(FSMI)^2 + 2.962(FSMI) - 81.5 \quad (۱۲)$$

$$SSY = -36.535A^2 + 196.44A + 107.22 \ln(FSMI) - 299.72 \quad (۱۳)$$

وسواس بیشتری صورت گیرد. ضمن این که رابطه‌ای قطعی بین مساحت و رسوب‌دهی وجود نداشته، لازم است، در حوضه‌های مورد مطالعه محاسبه شود.

لذا اکیدا توصیه می‌شود که از کاربرد مدل اصلی استفاده شده در اسپانیا بدون هیچ‌گونه واسنجی خودداری شود. ضمناً پیشنهاد می‌شود که مدل FSM به‌صورت منطقه‌ای واسنجی شده، مورد استفاده قرار گیرد. در همین راستا، استفاده از رابطه (۱۱) در حوضه‌های مرکزی کشور و استفاده از رابطه (۱۲) در

### منابع مورد استفاده

1. Arabkhedri, M., D. Nikkami, S. Nabipay Lashkarian and S. Shadfar. 2018. Calibration of empirical models for sediment yield estimation using sediment survey of small reservoirs in Iran. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 186 Pages. (in Persian).
2. Atapour Fard, A., M. Moradi Sharaf and G.R. Shoaie. 2012. The application of FSM model for the prediction of sediment yield in Tehran Basin. *Nature and Science*, 10(9): 105-112.
3. Boardman, J. 2006. Soil erosion science: reflections on the limitations of current approaches. *Catena*, 68(2/3): 73-86.
4. Brooshkeh, E., R. Sokouti and S. Nabipay Lashkarian. 2015. Evaluation of efficiency FSM model using sediment survey of small resources. The first International Conference on Healthy Agriculture, Nutrition and Community. July 2015, Tehran, Iran, 8 pages.
5. Brooshkeh, E., R. Sokouti, M. Arabkhedri and S. Nabipay Lashkarian. 2018. Comparative efficiency of some empirical models to estimate sediment yield in small catchments. *Agriculture and Forestry*, 64(2): 163-173.
6. Davudirad, A.K., S. Nabipay Lashkarian and H. Agharazi. 2018. Investigation and calibration of factorial scoring model for estimating soil erosion and sediment yield in small watersheds. 13th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering and the Third National Conference on Conservation of Natural Resources and the Environment, Mohaghegh Ardebil University, Ardebil, 6 pages (in Persian).
7. de Vente, J., J. Poesen and G. Verstraeten. 2004. The application of semi-quantitative methods and reservoir sedimentation rates for the prediction of basin sediment yield in Spain. *Journal of Hydrology*, 305(2005) 63-86.
8. de Vente, J., J. Poesen, P. Bazzoffi, A. van Rompaey and G. Verstraeten. 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: 1017-1034.
9. Feiznia, S. 1995. Resistance of rocks to erosion in different climates of Iran. *Iranian Journal of Natural Resources*, 47: 95-116. (in Persian).
10. Ghahari, Gh.R., S. Nabipay Lashkarian and S.H. Mesbah. 2018. Evaluation of the FMS empirical model using sediment survey of small reservoirs in the Fars Province. *Quarterly Journal of Watershed Research, Pazhouhesh and Sazandegi*, 118: 1-11.
11. Gholami, A. and P. Mesri Alamdari. 2013. The sensitivity analysis and efficiency of FSM and MPSIAC models for estimating sediment load. 3rd International Conference on Civil, Transport and Environment Engineering (ICCTEE'2013), December 25-26, Bangkok, Thailand.
12. Hakimkhani, Sh. 2002. Investigation of methods of using MPSIAC in studies and theses. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 120 pages (in Persian).
13. Haravi, H. and A.A. Nazari Samani. 2013. FSM method of soil erosion and sediment yield, case study: Kan Watershed. The First National Conference on Strategies to Achieve Sustainable Development, Tehran, Interior Ministry (in Persian).
14. 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. *Geomorphology*, 69 pages.
15. Hashemi, A.A. and M. Arabkhedri. 2008. Evaluation of MPSIAC and EPM models using

- sedimentation survey within some small dam reservoirs in Semnan Province. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 93 pages (in Persian).
16. Jafari Ardekani, A., R. Bayat, S. Nabipay Lashkarian, M. Arabkhedri, H.R. Peyrowan, M. Shariat Jafari and B. Ghermezcheshmeh. 2016. Investigating of performance EPM model in central Iran basins. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 186 pages (in Persian).
  17. Kaviani, A., R. Asgarian, T. Nateghi. Z. Jafarian Jelodar and A. Safari. 2015. Performance evaluation of FSM, PSIAC and EPM models to estimate sediment yield in the rangelands, case study: Sorkh Abad Watershed, Mazandaran Province. Quarterly Journal of Research, Geographic Space, 48: 31-33 (in Persian).
  18. Khoddami, M., A. Mahboubi, R. Herami and S. Feiznia. 2005. Analysis of rock facies and Latshour River sediment model. MSc Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, 163 pages (in Persian).
  19. Massoudian, S.A. and M.R. Kaviani. 2008. Iranian climate. Isfahan University, 182 Pages (in Persian).
  20. Mohamadiha, S., H.R. Peyrowan, R. Mousavi Harami, S. Feiznia and R. Bayat. 2009. Evaluation of erosion and sediment rate using FSM model and rainfall simulator in Evanaki Basin and its sub-basins. The 6th Iranian Engineering Geology and the Environment, Tarbiat Modares University, 2009: 1089-1096 (in Persian).
  21. Mohamadiha, S., H.R. Peyrowan, R. Mousavi Harami and S. Feiznia. 2011. Evaluation of soil erosion and sediment yield using semi quantitative models: FSM and MPSIAC in Eivaneki Watershed and the sub-basins (Southeast of Tehran, Iran). Journal of American Science, 7 (7): 234-239.
  22. Nabipay Lashkarian, S., S.A.A. Hashemi and S. Shadfar. 2013. FSM model efficiency for sediment yield estimation in Semnan Province. Watershed Engineering and Management, 5(1): 51-58 (in Persian).
  23. Nabipay Lashkarian, M., S. Arabkhedri, S. Shadfar and E. Borooshkeh. 2016. Estimation of sediment using the experimental model of FSM. First National Conference on Soil Conservation and Watershed Management, 8-10 February (in Persian).
  24. 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.
  25. Thommas, M.B. and G.V. Voinvoch. 1995. Landslide in Ohio. The Division of Geological Survey Geofacts Series, 4 pages.
  26. Toy, T.J., G.R. Foster and K.G. Renard. 2002. Soil erosion, processes, prediction, measurement and control. John Wiley and Sons, New York, 338 pages.
  27. Verstraeten, G., J. Poesen, J. de Vente and X. Koninckx. 2003. Sediment yield variability in Spain: a quantitative and semiquantitative analysis using reservoir sedimentation rates. Geomorphology, 50(4): 327-348.