

## ارزیابی کارایی مدل های تجربی در برآورد رسوبدهی آبخیزهای کوچک مناطق نیمه خشک با استفاده از داده های اندازه گیری شده

علی باقریان کلات<sup>۱</sup>

[Alibagheriankalat@yahoo.com](mailto:Alibagheriankalat@yahoo.com)

علی اکبر عباسی<sup>۲</sup>

سید مسعود سلیمان پور<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۸

تاریخ پذیرش: ۹۸/۴/۲۶

### چکیده

**زمینه و هدف:** با توجه به نبود ایستگاه های رسوبسنجی در اکثر حوضه های آبخیز کشور و عدم کفایت داده ها، مدل های تجربی مانند ابزارهای مناسبی برای تخمین رسوبدهی آبخیزها می باشند. از آن جا که این مدل ها در خارج از ایران طراحی شده، لازم است که کارایی آن ها در کشور بررسی شود. مطالعات پراکنده ای در خصوص برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از این مدل ها در ایران صورت گرفته و اکثر این مطالعات به واسطه فقدان داده های رسوب مشاهداتی، ارزیابی مناسبی از این مدل ها به دست نمی دهند. لذا برای توسعه این مدل ها استفاده از داده های اندازه گیری شده، ضروری است.

**روش بررسی:** در این تحقیق، چهار بند خاکی کوچک در حوضه سد کارده و پنج زیرحوضه دارای حوضچه جمع آوری رواناب و رسوب در حوضه سنگانه کلات انتخاب شد. مقدار رسوب ته نشین شده در مخازن سدها با استفاده از نقشه برداری به دست آمد. وزن مخصوص ظاهری رسوب با عملیات صحرایی تعیین و حجم رسوبها با در نظر گرفتن سال های رسوب گیری به وزن تبدیل شد. در زیرحوضه های سنگانه نیز پس از هر بارندگی میزان هدررفت خاک اندازه گیری شد. در نهایت مقدار رسوب توسط مدل های EPM و FSM تخمین زده شد و با مقادیر مشاهده ای مقایسه شد.

**یافته ها:** نتایج نشان داد با توجه به اختلاف زیاد مقادیر برآوردی مدل FSM و رسوب مشاهده ای، ضرایب مدل برای حوضه های مورد مطالعه نیاز به اصلاح دارد. در نهایت مقادیر ضریب کارایی نش-ساتکلیف برای مدل EPM و FSM به ترتیب ۰/۶۶ و ۰/۶۵ به دست آمد.

**بحث و نتیجه گیری:** نتایج حاصل دلالت بر کارایی مدل های مذکور در برآورد رسوب حوضه های آبخیز کوچک مورد مطالعه دارد.

**واژه های کلیدی:** حفاظت آب و خاک، مدل های فرسایش خاک، سدهای کوچک.

۱- محقق بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. \* (مسئول مکاتبات)

۲- دانشیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

۳- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

## **Evaluation of Empirical Models for Sediment Yield Prediction at Semi-Arid Small Watershed using Measured Data**

**Ali Bagherian kalat<sup>1\*</sup>**

[Alibagheriankalat@yahoo.com](mailto:Alibagheriankalat@yahoo.com)

**Ali Akbar Abbasi<sup>2</sup>**

**Seyed Masoud Soleimanpour<sup>3</sup>**

Admission Date: July 17, 2019

Date Received: December 29, 2018

### **Abstract**

**Background and Objective:** Due to the lack of sediment stations in most of the country's watersheds outlets and inadequacy of data, experimental models can be important tools for the production of these information layers. Common Empirical model in Iran is EPM.

**Method:** Since this model has been designed in other countries, it is necessary to examine its performance in Iran. The main objective of the project is Model situations with nature and complete database available about erosion and its affecting factors. In implementing this plan, 4 small soil dams in Kardeh Dam and five sub-basins have a pond to collect runoff and sediment in Sanganeh of Kalat was selected. These catchment areas were studied and information layers for EPM model produced. Amounts of sediment were estimated and were compared with observed sediment.

**Findings:** The results indicated that the uncalibrated FMS model overestimated the eroded materials. Results of the EPM and calibrated FMS model indicated 0.66 and 0.35 Nash-Sutcliffe efficiency.

**Discussion and Conclusion:** Therefore, we can accept the estimated results of this model as somewhat reliable.

**Key Words:** Erosion Model, Small Dam, Soil and Water Conservation.

---

1- Researcher, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran \*(Corresponding Authors)

2- Research Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.

3- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran.

## مقدمه

فرسایش خاک و تولید رسوب از مهم‌ترین معضلات زیست محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان است که تأثیرات مخربی بر زیست‌بوم‌های طبیعی و تحت مدیریت انسان دارد (۱). این پدیده نتیجه فرآیندهای پیچیده‌ای است که دربرگیرنده تعداد زیادی از متغیرها مانند بارش، خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و عملیات مدیریتی می‌باشد. فرسایش طبیعی عامل مهمی در فرآیند خاک‌سازی بوده و خاک‌های حاصلخیزی را در جهان به وجود آورده است. در عوض فرسایش تشدید شونده که به دلیل دخالت‌های انسانی حاصل می‌شود فرآیندی مخرب برای منابع طبیعی بوده و در کشورهای در حال توسعه خطر جدی برای توسعه پایدار به حساب می‌آید (۲). تخمین دقیق رسوب مستلزم داشتن تعداد کافی نمونه در هر واقعه و یا متحنی کامل رسوب است. با این وجود، در ایستگاه‌های هیدرومتری کشور، نمونه‌برداری رسوب به صورت تصادفی بوده و ارزیابی مناسبی از الگوی توزیع زمانی رسوب در سیلاب‌ها و وقایع بارندگی صورت نمی‌پذیرد (۳). از سوی دیگر آمار و اطلاعات رسوب‌دهی به دست آمده از این ایستگاه‌ها عمدتاً مربوط به حوضه‌های آبخیز بزرگ هستند و نتایج به دست آمده از آن‌ها به راحتی قابل تعمیم به حوضه‌های کوچک نیست. از این رو تحقیقات و بررسی‌های گسترده‌ای در زمینه برآورد فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز از سالها پیش آغاز شده که منجر به ارائه مدل‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب گردید. باید توجه داشت که با وجود مطالعات زیادی که روی مدل‌سازی فرسایش و رسوب صورت گرفته، هنوز انتخاب مدل مورد قبول جهانی برای فرسایش و رسوب‌دهی به سادگی صورت نمی‌گیرد (۴). به گونه‌ای که اغلب مدل‌ها در شرایط خاص ایجاد شده‌اند و کاربرد آن‌ها در مناطق دیگر بدون ارزیابی با داده‌های مشاهداتی و واسنجی باعث ایجاد خطای بالا در میزان رسوب برآوردی می‌گردد، هم‌چنین ممکن است یک مدل با مفهوم سازی صحیح فرآیند فرسایش و رسوب به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات ورودی در بسیاری از مناطق کاربردی نداشته باشد (۲). در نتیجه تناسب یک مدل برای کاربردهای

مختلف یکسان نیست و انتخاب مدل مناسب بستگی به هدف و خصوصیات منطقه و داده‌های در دسترس دارد. در کشور ایران از میان مدل‌های متعدد برآورد فرسایش و رسوب، مدل‌هایی با تعداد کم داده‌های ورودی و سهل‌الوصول بودن پارامترها بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند. از جمله این مدل‌ها EPM<sup>۱</sup> و FSM<sup>۲</sup> را می‌توان نام برد که در برآورد رسوب‌دهی حوضه‌های خارج از کشور (۱۱-۵) نتایج مناسبی را نشان داده‌اند. از آن جا که این مدل‌ها در خارج از ایران طراحی گردیده، لازم است که کارایی آنها در حوضه‌های آبخیز متفاوت ایران مورد بررسی قرار گیرد. پژوهش‌های پیشین در ایران نشان می‌دهد که اغلب ارزیابی‌ها بر اساس داده‌های رسوب ایستگاه‌های رسوب‌سنجی انجام شده و از رسوبات مخازن که اطلاعات دقیق‌تری در اختیار قرار می‌دهند کمتر استفاده شده است. از طرفی به جز معدودی از پژوهش‌ها (۱۶-۱۲)، اغلب ارزیابی‌های انجام شده در حوضه‌های آبخیز با مساحت نسبتاً بالا صورت گرفته که از دقت و کاربرد نتایج آن‌ها برای حوضه‌های آبخیز کوچک می‌کاهد.

به منظور تعیین میزان رسوب‌دهی آبخیزهای کوچک روش اندازه‌گیری رسوبات مخازن آبی توسط محققان توصیه شده است (۱۳، ۱۵ و ۱۷). لذا ارزیابی مدل‌های مختلف تجربی برآورد فرسایش و تولید رسوب می‌تواند بر مبنای این اندازه‌گیری‌ها که دقت بسیار بالایی دارند انجام شود. البته خطای کمتر این روش‌ها نسبت به اندازه‌گیری‌های رودخانه‌ای منوط به اندازه‌گیری صحیح ضریب تله‌اندازی مخازن، حجم و وزن مخصوص رسوبات انباشته شده و لحاظ آن‌ها در محاسبات است. لذا به منظور اطمینان‌بخشی بیشتر به کاربرد نتایج پژوهش‌های مشابه برای بخش اجرا سعی شده است مبنای واسنجی مدل‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب حوضه‌های آبخیز از آمار ایستگاه‌های رسوب‌سنجی به سمت رسوبات نهشته شده در مخازن کوچک سوق داده شود که عمدتاً در بالادست حوضه‌های آبخیز واقع شده‌اند و سنجش مقادیر

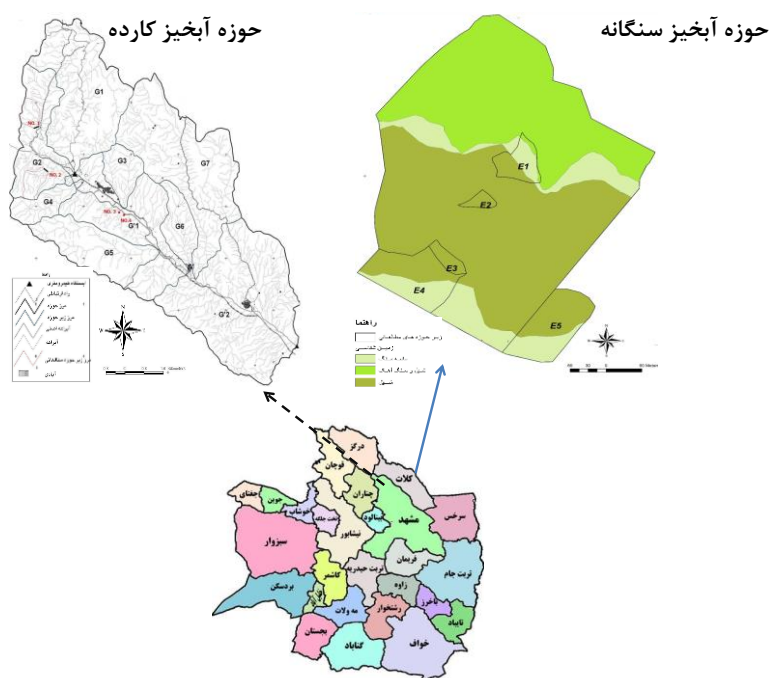
1- Erosion Potential Method  
2- Factorial Scoring Model

بیش از ۱۰ سال از احداث آن و عدم سرریز جریان در سال‌های پس از اجرا) را دارد. حوضه سنگانه از نظر مختصات جغرافیایی در محدوده طول‌های  $60^{\circ}13'07''40$  تا  $50^{\circ}13'50''79$  شرقی و عرض‌های  $36^{\circ}41'8''84$  تا  $30^{\circ}41'30''18$  شمالی واقع شده است. این حوضه در ۷۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان کلات قرار دارد. وسعت کل منطقه مورد مطالعه ۲۰ هکتار است. حوضه آبخیز سد کارده در استان خراسان رضوی، ۴۵ کیلومتری شمال شهرستان مشهد واقع شده است. محدوده مطالعات بین طول جغرافیایی  $31^{\circ}59'$  تا  $37^{\circ}59'$  و عرض جغرافیایی  $41^{\circ}36'$  تا  $47^{\circ}36'$  است. در شکل ۱ موقعیت این دو آبخیز در استان خراسان رضوی و در جدول ۱ مهم‌ترین مشخصات فیزیوگرافی ۹ زیرحوضه مورد بررسی در این دو آبخیز نشان داده شده است.

رسوبات آن‌ها چندان دشوار نیست. بنابراین تحقیق حاضر باهدف ارزیابی مدل‌های EPM و FSM در آبخیزهای کوچک در آبخیزهای خشک و نیمه خشک استان خراسان رضوی طرح‌ریزی شده است.

### روش بررسی

این بررسی در سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵ به انجام رسید. برای این تحقیق دو حوضه آبخیز سنگانه کلات و سد کارده در نظر گرفته شد. در حوضه سنگانه پنج زیر حوضه قرار دارد که در خروجی آن مخازن ذخیره رواناب و رسوب احداث شده و دارای آمار اندازه‌گیری رواناب و رسوب است. در حوضه سد کارده در زیر حوضه کوشک‌آباد تعدادی بند خاکی اجرا شده که تعداد چهاربند خاکی دارای شرایط موردنظر این تحقیق (گذشت



شکل ۱- موقعیت آبخیز سنگانه و کارده در استان خراسان رضوی

Figure 1. Location of Sangane and Karde watersheds in Khorasan Razavi province.

جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی زیرحوضه های سنگانه و کارده

Table 1. Physiographical features of Sangane and Karde subbasins.

شیب متوسط وزنی (متر بر متر)	طول حوضه (کیلومتر)	ارتفاع (متر)			محیط (کیلومتر)	مساحت (هکتار)	حوضه آبخیز
		اختلاف ارتفاع (کیلومتر)	ارتفاع خروجی (کیلومتر)	ارتفاع متوسط (کیلومتر)			
۰/۴۰۵	۰/۰۷۹	۰/۰۱۵	۰/۶۵۱	۰/۶۶۶	۰/۲۸۷	۰/۴۳۱	S1
۰/۶۳۵	۰/۰۴۲	۰/۰۱۴	۰/۶۵۹	۰/۶۷۳	۰/۱۶۲	۰/۱۱۹	S2
۰/۴۷۱	۰/۰۶۸	۰/۰۱۰	۰/۶۶۹	۰/۶۷۹	۰/۱۹۰	۰/۱۴۷	S3
۰/۳۱۲	۰/۱۴۵	۰/۰۱۷	۰/۶۶۹	۰/۶۸۶	۰/۴۸۲	۱/۲۰۰	S4
۰/۲۷	۰/۰۷۹	۰/۰۰۸	۰/۶۶۷	۰/۶۷۵	۰/۴۱۳	۱/۰۴۰	S5
۰/۴۱۸	۴/۲۴	۰/۰۸۳	۱/۷۷۷	۱/۸۶۰	۳/۴۱	۷۳	K1
۰/۵۳۳	۵/۶۴	۰/۱۴۵	۱/۶۵۸	۱/۸۰۳	۴/۰۴	۸۳	K2
۰/۳۵۰	۰/۴۱	۰/۰۳۵	۱/۵۵۰	۱/۵۸۵	۱/۰۸	۵/۵	K3
۰/۳۴۵	۰/۲۳	۰/۰۲۷	۱/۵۳۹	۱/۵۶۶	۰/۶۵	۲/۷	K4

S: و K به ترتیب معرف زیرحوضه های سنگانه و کارده می باشد.

## اندازه گیری رسوب دهی حوضه های آبخیز

گردید. بستگی به وسعت و گستره رسوبگذاری، در داخل مخزن هر بند تعدادی گمانه حفر شد (۱۲؛ ۱۳). در مخازن بندهای شماره ۱ تا ۴ به ترتیب ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۲ گمانه در رسوبات ریزدانه داخل مخزن حفر گردید. هم چنین برای تعیین وزن رسوبات ته نشست شده، اقدام به اندازه گیری وزن مخصوص در محل گردید. برای رسوبات ریزدانه در داخل هر مخزن یک آزمایش و برای رسوبات درشت دانه نیز در هر مخزن یک آزمایش انجام شد. در شکل ۲ نمونه ای از مخازن جمع آوری رسوب در آبخیز سنگانه (سمت راست) و گمانه های حفر شده در آبخیز کارده (سمت چپ) نشان داده شده است.

در حوضه سنگانه کلات پنج زیر حوضه وجود دارد که دارای مخازن اندازه گیری رواناب و رسوب است (با کد S1, S2, S3, S4, S5). در این حوضه از اول اردیبهشت ۱۳۸۵ تا اول اردیبهشت ۱۳۹۵ به مدت ده سال رسوب اندازه گیری شده مورد استفاده قرار گرفته است. در حوضه کارده چهار بند خاکی وجود دارد که در سال ۱۳۷۹ احداث شده و تا سال ۱۳۹۱ که زمان حفر گمانه برای رسوب سنجی بود ۱۲ سال از احداث آنها می گذرد (با کد k1, k2, k3, k4). در این مدت جریان و رسوب از آنها سرریز نداشته و تمامی رسوبات در مخزن این بندها ته نشست شده است. برای تعیین حجم رسوب در مخزن این بندها اقدام به حفر گمانه و اندازه گیری عمق رسوبات



شکل ۲- مخازن جمع آوری رسوب در آبخیز سنگانه (سمت راست) و کارده (سمت چپ)

Figure 2. Sediment reservoirs in Sangane (right) and Karde (left)

### مدل FSM

شود. در این زمینه نبی‌پی لشکریان و همکاران (۱۳۹۲) و قهاری و همکاران (۱۳۹۷) روش اصلاح ضرایب مدل FSM را این گونه بیان نموده‌اند. ابتدا بین مساحت حوضه‌های آبخیز به کیلومتر مربع (به‌عنوان متغیر مستقل) و رسوب اندازه‌گیری شده بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال (به‌عنوان متغیر وابسته) رابطه رگرسیونی (توانی) برقرار می‌شود. سپس با استفاده از رابطه به‌دست آمده در مرحله قبل (مساحت - رسوب ویژه) و قرار دادن مقدار مساحت به‌عنوان متغیر مستقل، عددی به‌عنوان رسوب حاصل از مساحت به‌دست می‌آید. در ادامه، رسوب حاصل از مساحت را از کل رسوب مشاهده‌ای کم نموده و در نتیجه رسوب باقی مانده محاسبه خواهد شد. در این مرحله بین  $FSM_{index}$  و باقی‌مانده رسوب رابطه رگرسیونی (خطی) برقرار و معادله به‌دست می‌آید. بنابراین حاصل جمع رسوب محاسبه شده در دو معادله رگرسیونی برابر با تخمین مدل FSM خواهد شد.

### مدل EPM

مدل پتانسیل فرسایش که به‌اختصار به‌عنوان مدل EPM معروف است در سال ۱۹۸۸ ارائه گردیده است (۱۸). در این مدل، عوامل مؤثر در رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز در قالب ضریب فرسایش فعلی، ضریب استفاده از زمین، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، شیب متوسط زمین و

مدل FSM (Factorial Scoring Model) یک مدل نیمه کمی است که برای بررسی میزان رسوب در اسپانیا ارائه گردیده است (۹؛ ۱۳؛ ۱۶). در مدل FSM از پنج عامل لیتولوژی، توپوگرافی، پوشش گیاهی، فرسایش خندقی و شکل حوضه آبخیز برای محاسبه رسوب‌دهی حوضه استفاده شده است. امتیازهایی که برای هر عامل در نظر گرفته شده، شامل ۳ بخش می‌باشد: الف) امتیاز ۱ مربوط به سهم کم، ب) امتیاز ۲ مربوط به سهم متوسط، ج) امتیاز ۳ مربوط به سهم زیاد هر عامل حوضه آبخیز می‌باشد (۹). اطلاعات مربوط به این مدل با استفاده از پیمایش‌های صحرایی و تلفیق آنها با نقشه‌های زمین شناسی، توپوگرافی و غیره به دست می‌آید.

بعد از امتیازدهی عوامل پنج گانه مدل، آن اعداد در هم ضرب شده و مقدار ضریب به دست می‌آید. با استفاده از این ضریب در معادله (۱) نرخ فرسایش حوضه به دست می‌آید.

$$SSY = 4139A^{-0.44} + \quad (1)$$

$$7/77 (FSM_{index}) - 310/99$$

در این معادله که  $SSY$  نرخ رسوب‌دهی حوضه بر حسب تن در کیلومتر مربع،  $A$  مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع و  $FSM_{index}$  حاصل ضرب امتیازات عوامل پنج گانه است.

با توجه به این‌که مدل FSM در اسپانیا ایجاد شده و مشخصات بارش و هیدرولوژی منطقه در مدل دیده نمی‌شود، لازم است تا ضرایب مدل برای حوضه‌های مورد بررسی اصلاح

$$T = \left(\frac{t}{10} + 0.1\right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Ru ضریب رسوب‌دهی حوضه آبخیز که از رابطه (۵) به دست می‌آید. در این رابطه P محیط حوضه آبخیز برحسب کیلومتر، L طول حوضه آبخیز به کیلومتر و D اختلاف ارتفاع بین ارتفاع متوسط حوضه آبخیز و ارتفاع نقطه خروجی حوضه آبخیز به کیلومتر است.

$$Ru = \frac{4 \times (P \times D)^{1/2}}{(L + 10)} \quad (5)$$

$$Gsp = Wsp \times Ru \quad (6)$$

#### ارزیابی نتایج مدل‌ها

در نهایت نتایج هر دو روش در تخمین رسوب آبخیزهای کوچک با استفاده از ضریب کارایی (رابطه ۷) و خطای نسبی (رابطه ۸) مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند.

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Obs_i - Sim_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Obs_i - \overline{Obs})^2} \quad (7)$$

$$RE(\%) = 100 \times \left| \frac{(Obs_i - Sim_i)}{(Obs_i)} \right| \quad (8)$$

ضریب فرسایش حوضه‌های آبخیز، امتیازدهی و با استفاده از رابطه (۶) میزان تولید رسوب حوضه‌های آبخیز برآورده می‌شوند که در آن Gsp تولید رسوب برحسب مترمکعب بر کیلومتر مربع در سال و Wsp فرسایش ویژه برحسب مترمکعب در کیلومتر مربع هر سال که از رابطه (۳) برآورد می‌گردد که در آن H بارندگی متوسط سالیانه برحسب میلی‌متر و Z ضریب فرسایش است که از رابطه (۲) به دست می‌آید. در این رابطه نیز Xa، Y و  $\Psi$  به ترتیب امتیاز عامل حساسیت خاک و سنگ، عامل استفاده از زمین و عامل فرسایش هستند که بر اساس جداول مربوط به مدل در هر حوضه آبخیز اختصاص داده می‌شوند.

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

$$Wsp = T \cdot H \cdot Z^{\frac{3}{2}} \cdot \pi \quad (3)$$

I عامل شیب زمین به متر بر متر،  $\pi$  برابر ۳/۱۴۱۵۹  
T ضریب دما که از رابطه ۴ به دست می‌آید که در آن t میانگین دمای سالیانه برحسب درجه سانتی‌گراد است.

#### جدول ۲- مقدار رسوب مشاهداتی زیر حوضه‌های آبخیز سنگانه

Table 2. The amount of observed sediments in Sangane subbasins.

شماره زیر حوضه	مقدار رسوب در سال (تن در هکتار)
S1	۰/۱۶۵
S2	۱/۳۶۶
S3	۰/۵۴۶
S4	۰/۱۳۰
S5	۰/۷۷۳

#### جدول ۳- مقدار رسوب مشاهداتی حوضه‌های آبخیز کارده

Table 3. The amount of observed sediments in Karde subbasins.

شماره حوضه	وزن رسوبات ریزدانه (تن)	وزن رسوبات درشت‌دانه (تن)	وزن رسوبات (تن)	عمر بند (سال)	مساحت حوضه (هکتار)	رسوب ویژه (تن در هکتار در سال)
k1	۲۵۹۹/۷۷	۱۶۸/۰۰	۲۷۶۷/۷۷	۱۲	۷۳	۳/۱۶
k2	۱۷۴۵/۲۷	۱۶۹/۲۶	۱۹۱۴/۵۳	۱۲	۸۳	۱/۹۲
k3	۶۵/۴۳	۴/۷۰	۷۰/۱۳	۱۲	۶	۰/۹۷
k4	۱۳۰/۳۵	۴/۰۳	۱۳۴/۳۸	۱۲	۳	۳/۷۳

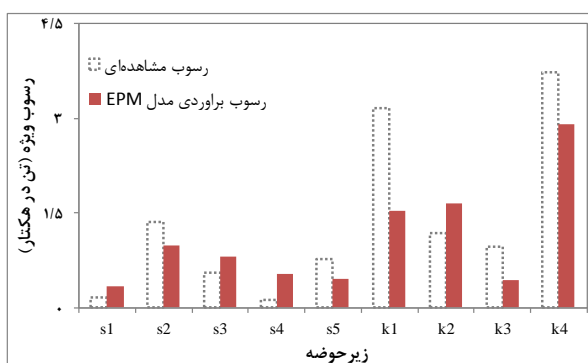
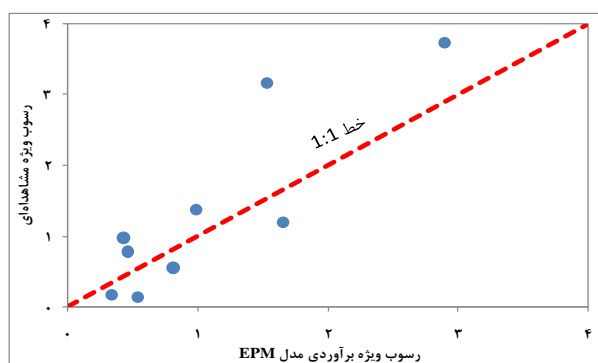
## نتایج مدل EPM

جدول ۴ نتایج تهیه داده‌های ورودی و کاربرد روابط ۲ تا ۶ را شده و تخمینی توسط مدل EPM در هر دو منطقه نشان می‌دهد. به منظور برآورد متوسط رسوب توسط مدل EPM را نشان می‌دهد. هم‌چنین شکل ۳ مقایسه مقادیر رسوب اندازه‌گیری

جدول ۴- فرسایش ویژه و رسوب ویژه از طریق مدل EPM در حوضه‌های سنگانه و کارده

Table 4. Special Erosion and Sediment calculated from EPM method in Sangane and Karde

زیر حوضه	ضریب فرسایش	ضریب استفاده از زمین	ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش	شیب متوسط حوضه (متر بر متر)	ضریب شدت فرسایش	فرسایش ویژه (مترمکعب بر کیلومتر مربع)	Ru	رسوب ویژه (تن بر هکتار)
S1	۰/۵۴	۰/۶۰	۱/۳۳	۰/۴۰۵	۰/۹۴	۹۲۸/۴۵	۰/۰۲۶	۰/۳۴
S2	۰/۷۰	۱/۰۰	۱/۶۰	۰/۶۳۵	۲/۳۹	۳۷۸۳/۳۷	۰/۰۱۹	۰/۹۹
S3	۰/۷۰	۱/۰۰	۱/۶۰	۰/۴۷۱	۲/۲۲	۳۳۷۱/۹۹	۰/۰۱۷	۰/۸۱
S4	۰/۵۴	۰/۶۸	۱/۳۸	۰/۳۱۲	۱/۰۳	۱۰۶۸/۴۳	۰/۰۳۶	۰/۵۴
S5	۰/۶۲	۰/۷۷	۱/۴۱	۰/۲۷	۱/۲۴	۱۴۰۴/۸۳	۰/۰۲۳	۰/۴۶
k1	۰/۸۰	۰/۵۴	۱/۰۷	۰/۸۴	۰/۴۱۸	۷۳۲/۶۲	۰/۱۴۹	۱/۵۳
k2	۰/۷۰	۰/۵۰	۱/۰۶	۰/۷۶	۰/۵۳۳	۶۰۵/۹۱	۰/۱۹۶	۱/۶۶
k3	۰/۶۰	۰/۵۰	۱/۱۰	۰/۶۶	۰/۳۵۰	۴۱۰/۸۳	۰/۰۷۵	۰/۴۳
k4	۰/۸۵	۰/۵۰	۱/۶۰	۰/۷۹	۰/۳۴۵	۵۳۲/۸۹	۰/۰۵۲	۳/۹



شکل ۳- مقایسه مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده و تخمینی توسط مدل EPM

Figure 3. Comparison between measured sediment and calculated sediment by EPM method.



## نتایج مدل FSM

از این است که رابطه ۱ برای حوضه‌های بزرگ توسعه یافته و این تحقیق در حوضه‌های کوچک انجام شده است. از این رو ضرورت دارد که این رابطه اصلاح شود. چنانچه این رابطه برای حوضه‌های مورد مطالعه اصلاح شود، مراحل زیر انجام و روابط زیر حاصل می‌شود.

با توجه به اطلاعات زیرحوضه‌های انتخابی در حوضه سنگانه و سد کارده، عوامل پنج گانه روش FSM و امتیازات مربوط به این عوامل تعیین شد که به شرح جدول ۵ می‌باشد. هم‌چنین شکل ۴ مقایسه مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده و تخمینی توسط مدل FSM در هر دو منطقه را نشان می‌دهد. چنانکه از جدول ۵ مشخص است، تفاوت زیادی بین رسوب مشاهداتی و رسوب محاسباتی از رابطه ۱ وجود دارد که ناشی

## جدول ۵- فرسایش ویژه و رسوب ویژه از طریق مدل FSM در زیرحوضه‌های سنگانه و کارده

Table 5. Special Erosion and Sediment calculated from FSM method in Sangane and Karde subbasins

A (Km <sup>2</sup> )	Ssy (ton/ha.year)	FSMIndex	شکل حوضه	لیتولوژی	خندق‌ها	پوشش گیاهی	توپوگرافی	شماره حوضه آبخیز معیار
۰/۰۰۴۳	۴۵۲/۶۸	۸	۲	۲	۱	۲	۱	S1
۰/۰۰۱۲	۷۹۶/۳۹	۱۸	۲	۴	۱	۴	۱	S2
۰/۰۰۱۵	۷۲۱/۰۵	۹	۱	۳	۱	۳	۱	S3
۰/۰۱۲۰	۲۸۷/۲۸	۸	۲	۲	۱	۲	۱	S4
۰/۰۱۰۴	۳۰۵/۹۶	۶	۱	۳	۱	۲	۱	S5
۰/۷۳	۵۱/۴۲	۹۰	۲	۲/۵	۳	۲	۳	K1
۰/۸۳	۴۴/۵۵	۳۵/۲	۲	۲/۲	۲	۲	۲	K2
۰/۰۵۵	۱۴۶/۷۴	۲۰	۱	۲/۵	۲	۲	۲	K3
۰/۰۲۷	۲۰۴/۹۲	۶۷/۲	۲	۲/۸	۳	۲	۲	K4

رابطه بین رسوب اندازه‌گیری شده و مساحت (رابطه ۹):

$$SSY = 232.2A^{0.256} \quad (9)$$

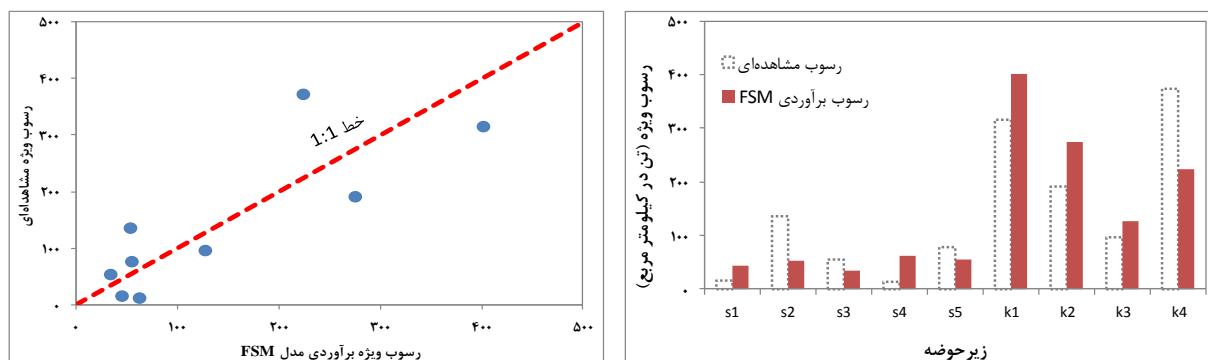
ضرایب مدل FSM (رابطه ۱۰):

$$ResidualSSY = 2.44(FSMIndex) - 32.23 \quad (10)$$

و رابطه نهایی محاسبه رسوب از روش FSM (رابطه ۱۱):

$$SSY = 232.23A^{0.256} + 2.44(FSMIndex) - 32.23 \quad (11)$$

پس از اصلاح ضرایب مدل، رسوب محاسباتی و مشاهداتی به شرح شکل ۴ می باشد.



شکل ۴- مقایسه مقادیر رسوب اندازه گیری شده و تخمینی توسط مدل FSM در تحقیق حاضر  
Figure 4. Comparison between measured sediment and calculated sediment by FSM method

#### بحث و نتیجه گیری

دارد. نبودن عامل اقلیم در مدل اصلی FSM محدودیتی است که به راحتی نمی توان آن را در سایر مناطق استفاده نمود. ضمن آن که رابطه ای قطعی مابین مساحت و رسوب دهی وجود نداشته و لازم است در حوضه های مورد مطالعه محاسبه شود. به همین دلیل، ضرایب و نمادهای معادله های به دست آمده در مناطق مختلف توسط پژوهشگرها با هم تفاوت دارد. از سوی دیگر de Vente (۲۰۰۹) بیان نمود با توجه به این که عامل اقلیم در مدل FSM دیده نشده است، باید در مناطقی که خصوصیات و الگوی بارش متفاوتی دارند مدل واسنجی گردد (۱۹).

نتایج ارائه شده در جدول ۴ و شکل ۳ دلالت بر کارایی بالا و تطابق خوب برآوردهای مدل EPM با مقادیر مشاهده ای رسوب در آبخیزهای کوچک مورد بررسی دارد. نتایج نشان داد که میانگین رسوب برآوردی توسط مدل EPM و مقادیر مشاهداتی به ترتیب ۱/۱۸ و ۱/۳۳ تن در هکتار با انحراف معیار به ترتیب ۱/۱۲ و ۱/۲۷ می باشند. هم چنین متوسط خطای تخمین مدل EPM در حوضه آبخیز سنگانه و کارده به ترتیب ۱۰۷ و ۴۲ درصد به دست آمد خطای تخمین برای هر دو منطقه نیز ۷۸ درصد محاسبه شد. ضریب کارایی نش-ساتکلیف

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی مدل های EPM و FSM در ۹ آبخیز کوچک در استان خراسان رضوی طرح ریزی شده است. مقایسه توصیفی نتایج اندازه گیری رسوب زیر حوضه های آبخیز سنگانه و کارده از راه رسوب سنجی (جدول های ۲ و ۳) در مقایسه با مقادیر برآورد شده توسط مدل FSM بدون واسنجی (جدول ۵)، بسیار متفاوت است و نشان از بیش تخمینی مدل اصلی دارد. محققان بسیاری استفاده از معادله اصلی مدل FSM در برآورد رسوب را دارای بیش تخمینی گزارش نموده اند (۱۵؛ ۱۶؛ ۲۰). با این حال واسنجی مدل FSM نشان داد که رسوب تخمینی با مقادیر اندازه گیری شده تطابق بسیار زیادی دارد. به گونه ای که متوسط و انحراف معیار مقادیر رسوب مشاهده ای به ترتیب برابر با ۱۱۲/۹ و ۱۰۱/۶ تن در کیلومتر مربع بود و برای مقادیر برآوردی توسط مدل FSM واسنجی شده به ترتیب ۱۳۱/۵ و ۱۳۴/۹ تن بر کیلو متر مربع دست آمد. همسو با یافته های این تحقیق واسنجی مدل توسط محققان پیشین (۹؛ ۱۳؛ ۱۶؛ ۱۷) صورت پذیرفته و بهبود نتایج برآوردی مدل گزارش شده است. متوسط خطای تخمین مدل FSM در حوضه های آبخیز مورد بررسی ۹۵ درصد محاسبه شد. ضریب کارایی نش-ساتکلیف نیز برای مدل FSM ۰/۶۵ به دست آمد که دلالت بر کارایی مدل در مناطق مورد بررسی

امکانات موجود در کشور باید دقت مدل‌های تجربی مورد ارزیابی قرار گیرد و در راستای واسنجی آن‌ها تلاش شود.

## Reference

1. Liu, X., Li, J., 2008. Application of SCS Model in Estimation of Runoff from Small Watershed in Loess Plateau of China. *Chinese Geographical Sciences*, 18(3): 235–241.
2. Hosseini, S. S., Ghorbani, M., 2005. Economics of soil erosion. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad. (In Persian)
3. Mishra, S. K., Tyagi, J. V., Singh, V. P., Singh, R. 2006. SCS-CN-based modeling of sediment yield. *Journal of Hydrology*, 324(1-4), 301-322.
4. Merritt, W. S., Letcher, R. A., Jakeman, A. J. 2003. A Review of Erosion and Sediment Transport Models. *Environmental Modelling & Software*, 761–799.
5. Beyer Portner, N. 1998. Erosion des basins versant alpins scusses par ruissellement de surface. PhD Thesis. Laboratoire de Constructions Hydrauliques-LCH. No. 1815. Lausanne. Switzerland.
6. Verstraeten, G., Poesen, J., De Vente, J., Koninckx, X. 2003. Sediment yield variability in Spain: A quantitative and semiquantitative analysis using reservoir sedimentation rates. *Geomorphology*. 50 (4): 327– 348.
7. Globevink, L. D., Holjevic, G., Petkovesk, J. Rubinic. 2003. Applicability of the Gavrilovic method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques. In: De Boer, D. W. Froehlich, T. Mizuyama, A. Pietroniro (Eds.), *Erosion*

نیز برای مدل EPM ۰/۶۶ به دست آمد که دلالت بر کارایی مدل در مناطق مورد بررسی دارد.

با این حال تفاوت‌های موجود می‌تواند ناشی از ضریب تحویل رسوب (Ru) باشد که رابطه معرفی شده برای این ضریب برای حوضه‌های بزرگ توسعه یافته است. از سوی دیگر نتایج نشان داد که دقت مدل در آبخیز کارده بیش‌تر از آبخیز سنگانه می‌باشد، از آن‌جا که حداکثر مساحت زیرحوضه‌ها در آبخیز سنگانه حدود یک هکتار می‌باشد در حالی که در حوضه سد کارده بزرگ‌ترین زیرحوضه ۸۳ هکتار است. بنابراین تفاوت دقت مدل EPM در برآورد رسوب می‌تواند ناشی از این باشد که این روش برای حوضه‌های چندهکتاری و کوچک‌تر توسعه نیافته است. از طرف دیگر زیر حوضه مورد مطالعه در آبخیز سنگانه قرق می‌باشد که در جداول ذکر شده برای روش EPM جایی برای اعمال قرق بودن حوضه دیده نشده است. در این زمینه De Vente (۲۰۰۹) یکی از معایب مدل EPM را عدم در نظر گرفتن اقدامات حفاظتی بیان نموده است (۱۹). در مجموع و بر اساس معیارهای خطای نسبی و ضریب کارایی نش-ساتکلیف هر دو مدل توانایی برآورد رسوب در آبخیزهای کوچک را دارند، با این حال دقت مدل‌ها در آبخیزهای چندهکتاری (مانند زیرحوضه‌های سنگانه) پایین‌تر خواهد بود. از سوی دیگر دقت در معیارهای ارزیابی نشان می‌دهد که در بین دو مدل مورد بررسی مدل EPM از دقت بالاتری در تخمین رسوب سالانه این مناطق برخوردار است. در این زمینه کاپیان و همکاران (۱۳۹۳) و De Vente و Posen (۲۰۰۵) دقت بالاتر مدل EPM در مقایسه با سایر مدل‌های تجربی را گزارش نمودند.

در پایان لازم به توضیح است که مدل‌های EPM و FSM از روش‌های قدیمی در برآورد رسوب بوده و امروزه مدل‌های جدیدتر و دقیق‌تر از نوع فیزیکی و مفهومی تعریف و ارائه گردیده است اما استفاده از این مدل‌ها دارای محدودیت‌هایی نیز بوده و دسترسی به برخی اطلاعات و داده‌های لازم جهت اجرای آن‌ها، عملاً در بعضی مناطق و شرایط منطقه‌ای بسیار سخت و حتی غیرممکن می‌باشد. لذا با توجه به شرایط و

- efficiency for sediment yield estimation in Semnan province. *Watershed Engineering and Management*. 5(1): 51–58. (In Persian)
14. Mohamadiha, S., Peyrowan, H.R., Mousavi Harami, R., Feiznia, S., Bayat, R. 2009. Evaluation of erosion and sediment rate using FSM model and rainfall simulator in Evanaki Basin and its subbasins. *The 6th Iranian Engineering Geology and the Environment*. Tarbiat Modares University. 1089–1096. (In Persian)
  15. Kavian, A., Askarian, R., Nateghi, T., Jafarian Joloudar, Z., Safari, A. 2014. Performance evaluation of FSM, PSIAC and EPM models to estimate sediment yield in the rangelands (Case study: Sorkh Abad Watershed, Mazandaran province). *Journal of Geographic Space*. 14(48): 57–79. (In Persian)
  16. Ghahari, Gh., Nabipay Lashkarian, S., Mesbah, S.H. 2018. Evaluation of the FMS empirical model using sediment survey of small reservoirs in the Fars Province. *Watershed Management Research*. 118: 2-12. (In Persian)
  17. Haregeweyn, N., Poesen, J., Nyssen, G., Verstraeten, J., De Vente, G., Govers, S., Deckers Moeyersons, J. 2005. Specific sediment yield in Tigray-Northern Ethiopia: Assessment and semiquantitative modeling. *Geomorphology*. 69: 315–331.
  18. Gavrilovic, Z. 1988. The use of an empirical method (erosion potential method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams. *Proceeding of international conference on River Regime*. May 1988.
  - prediction in Ungauged Basin: Integrating methods and Techniques. IAHS Publication. 279: 224-233.
  8. Emmanouloudis, D.A. Christou, O.P., Filippidis, E. 2003. Quantitative estimation of degradation in the Aliakmon river basin using GIS. In: De Boer, D. W. Froehlich, T. Mizuyama & A. Pietroniro (Eds). *Erosion prediction in Ungauged Basin: Integrating methods and Techniques*. IAHS Publication. 279: 234-240.
  9. De Vente, J., Poesen, J., Verstraeten, G. 2004. The application of semi-quantitative methods and reservoir sedimentation rates for the prediction of basin sediment yield in Spain. *Journal of Hydrology*. 305: 63–86.
  10. Milanese, L., Pilotti, M., Clerici, A. 2015. The Application of the Erosion Potential Method to Alpine Areas: Methodological Improvements and Test Case. In *Engineering Geology for Society and Territory-Volume 3* (pp. 347-350). Springer, Cham.
  11. Meshesha, D.T., Tsunekawa, A., Tsubo, M., Haregeweyn, N. 2011. Spatial analysis and semi-quantitative modeling of specific sediment yield in six catchments of the central rift valley of Ethiopia. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 9(3– 4): 784–792.
  12. Hashemi, A.A., 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 pages. (In Persian)
  13. Nabipay Lashkarian, S., Hashemi, S.A.A., Shadfar, S. 2013. FSM model

20. Devent, J., and Poesen, J. 2005. Predicting Soil erosion and sediment yield at the basin scale, Scale issues and a semi-quantitative Model. Earth Science, 20: 1-31.

Published by John Wiley and sons. Paper.12. p.411-422.

19. de Vente, J. (2009). Soil Erosion and Sediment Yield in Mediterranean Geosystems - Scale issues, modelling and understanding. 264 Pp.