

# کاربرد مدل EPM در ارزیابی فرسایش خاک (مطالعه موردی، حوضه شازند، سد ساوه)

علی محمد رجیبی<sup>(۱)\*</sup>، عادل یاوری<sup>۲</sup> و حمیدرضا سلوکی<sup>۳</sup>

۱. استادیار گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران

۲. دانش‌آموخته گروه عمران، دانشکده فنی، مهندسی، دانشگاه قم، قم

۳. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۳

## چکیده

در این مقاله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی با دقت ۱۰×۱۰ متر، حوضه آبریز شازند شبیه‌سازی و پارامترهای مختلف مورد نیاز به صورت لایه‌های رقمی در محیط ArcGIS تعریف شده است. سپس با استفاده از مدل EPM نقشه پهنه‌بندی فرسایش این حوضه در محدوده سد ساوه تهیه و میزان تولید رسوب سالیانه آن برآورد شده است. در ادامه، خروجی حاصل از مدل با روش هیدرومتری مقایسه شده است. بر اساس نتایج حاصل از مدل EPM، میزان تولید رسوب سالیانه در ایستگاه‌های پل دوآب، بازنه، توره و شازند به ترتیب برابر با ۲۸۸۱۰۳/۸۱، ۱۸۹۶۳/۸۳، ۴۳۰۷۹/۲ و ۲۰۵۸۳/۷۶ و مطابق با روش هیدرومتری به ترتیب معادل با ۳۳۵۲۸۵/۴۲، ۲۳۹۳۷/۴۲، ۳۶۴۵۹/۰۹ و ۴۲۷۸۱/۶۹ تن در سال پیش‌بینی می‌شود. مقایسه نتایج حاصل از مدل EPM با روش هیدرومتری در ایستگاه‌های پل دوآب، توره، شازند و بازنه به ترتیب ۸۶، ۸۲، ۴۸ و ۷۹ درصد هم‌خوانی نشان می‌دهد. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که مدل EPM در برآورد حداکثر رسوب سالیانه از دقت قابل قبولی برخوردار است.

**واژه‌های کلیدی:** فرسایش، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل EPM، حوضه شازند، حداکثر رسوب سالیانه.

## مقدمه

داده و سبب آسیب به سدها می‌شود و با تأثیر بر کیفیت آب هزینه‌های اقتصادی بالایی را تحمیل می‌کند. همچنین، عمق موثر ریشه و مواد مغذی را کاهش داده و باعث عدم یکنواختی توزیع آب در ناحیه ریشه می‌شود و به تبع آن کیفیت خاک کاهش یافته و منجر به از بین رفتن خاک حاصلخیز فوقانی می‌شود. اخیراً برنامه‌های سنجش از دور (RS) و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) توسعه یافته است.

خاک به‌عنوان یکی از عوامل اصلی جهت تامین نیازهای اساسی در نظر گرفته می‌شود اما متأسفانه هر ساله میلیون‌ها تن خاک به دلیل خطرات طبیعی و فعالیت‌های انسانی در سراسر جهان تخریب می‌شود (Zhang et al., 2015) و فرسایش آبی مسئول بیش از ۵۶ درصد از حجم این رسوبات است (Elirehema, 2001). فرسایش خاک میلیون‌ها تن رسوب را از طریق زهکش‌ها به مخازن و دریاچه‌ها انتقال

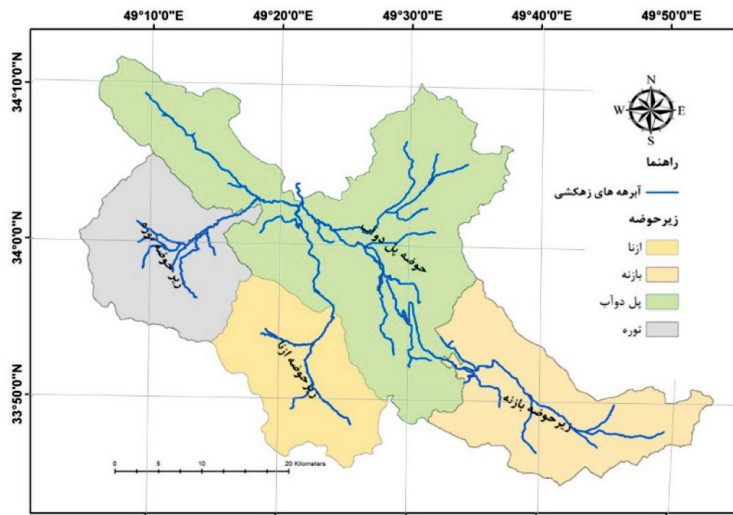
\* نویسنده مرتبط: amrajabi@ut.ac.ir

رسوب تا حد بالایی افزایش یافته است. از جمله این روابط می‌توان به روش‌های USLE، MPSIAC، EPM اشاره کرد (Sahin et al., 2002). (Tangestani 2006) مقدار فرسایش و رسوب را با مدل‌های MPSIAC و EPM برای تولید نقشه فرسایش در زیر حوضه افراز در حوضه رودخانه قره‌آغاج، محاسبه کرد و نتیجه گرفت که در این حوضه، مدل MPSIAC در مقایسه با مدل EPM دارای نتیجه بهتری است. (Hui et al., 2010) سطح فرسایش در لیاثو را با استفاده از مدل USLE و همچنین با استفاده از روش سنجش از دور ارزیابی کردند. آنها میانگین مقدار رسوب را ۱/۳ میلیون تن تعیین کردند که ۰.۲٪ بیشتر از میزان مشاهده شده بود. (Zhang et al., 2015) مناطق شمال غربی چین را در یک دوره ۲۶ ساله با استفاده از مدل EPM و به کمک تصاویر ماهواره‌ای مطالعه کرده‌اند. به‌عنوان مثال برای به دست آوردن میزان فرسایش و رسوب‌زایی در زیرحوضه سزار از مدل‌های تجربی EPM و MPSIAC و دانش فازی کمک گرفته شد (خدابخش و همکاران، ۱۳۸۸). در رابطه با تعیین میزان فرسایش و تولید رسوب، تحقیقاتی مشابهی با استفاده از مدل‌های EPM و MPSIAC و با کمک فناوری GIS و RS در حوضه‌های مختلف انجام شده است (راستگو و همکاران، ۱۳۸۵؛ قضاوی و همکاران، ۱۳۹۱؛ محسنی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Rastgoo؛ Modallaldoust، 2007 et al.، 2006). (Ghahreman et al.) در این مقاله در نظر است تا با استفاده از مدل EPM رسوب خروجی از حوضه شازند در گستره سد ساده برآورد شود.

### گستره مورد مطالعه

گستره مورد مطالعه حوضه آبریز شازند یکی از زیر حوضه‌های سد ساوه است و در محدوده ۳۵° ۱۸' ۰۴" تا ۵۴° ۱۶' ۵۲" ۴۹° طول شرقی و ۴۲° ۳۳' تا ۴۴° ۱۳' ۸" عرض جغرافیایی قرار دارد. حوضه مورد مطالعه شامل شهرهای اراک، ازنا و شازند است و مساحتی معادل ۱۷۲۱/۲۱ کیلومترمربع را شامل می‌شود. این حوضه یکی از زیرحوضه‌های بزرگ سد ساوه می‌باشد و به علت وقوع بارندگی‌های بیشتری که در این زیرحوضه نسبت به سایر

این سیستم‌ها به‌طور قابل توجهی در زمینه‌های مختلف از جمله توسعه و برنامه‌ریزی مدیریت منابع و مطالعات علمی و پروژه‌ها در جهان توسعه یافته است (Wang et al., 2003؛ Byrne et al., 2017). در دهه‌های گذشته سنجش از دور جهت برنامه‌های مختلف، از جمله، تبیین ساختار شهری، پوشش گیاهی و استخراج آب، ویژگی‌های زمین‌شناسی و غیره به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (Peijun et al., 2014). کاربرد سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در فرسایش زمین روزبه‌روز افزایش یافته است و ارزیابی فرسایش خاک با استفاده از این تکنولوژی‌ها مقرون به‌صرفه‌تر بوده و در برخی موارد، دقت بیشتری نسبت به روش‌های سنتی دارد. لذا؛ این تکنولوژی در سراسر جهان به‌عنوان یک ابزار پیشرفته برای ارزیابی و کنترل منابع آب و خاک مورد استفاده قرار گرفته است. چنانچه آمار و اطلاعات کافی در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب ناشی از آن وجود داشته باشد، محاسبه حجم کل رسوب‌دهی سالانه با به‌کارگیری روش‌های آماری متداول امکان‌پذیر خواهد بود، ولی به دلیل نبود این داده‌ها (در اکثر مواقع) و یا عدم دقت آنها در حوضه‌های آبریز به‌ویژه در کشور ایران، تنها می‌توان از روابط تجربی استفاده کرد. روش‌های تجربی، عددی و آزمایشگاهی متعددی به‌منظور تخمین بار رسوبات حوضه آبریز گسترش یافته است (Manoj Kumar and Debjyoti, 2010). برای اولین بار روش‌های تجربی برای بررسی اثر فعالیت‌های کشاورزی توسعه یافت. از اولین این مدل‌ها، معادله جهانی خسارت خاک (Universal Soil Loss Equation؛ USLE) است (Smith 1978؛ Prasannakumar et al., 2011) روش USLE، میانگین نرخ فرسایش طولانی مدت سالیانه را بر روی یک سطح شیب‌دار، بر اساس عواملی همچون، الگوی بارندگی، مشخصات خاک، توپوگرافی، پوشش سطح زمین و فعالیت‌های مدیریتی ارزیابی کرد. مدل USLE، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، فرسایش ورقه‌ای و شیاری را در حوضه‌های آبریز، برآورد می‌کند. امروزه با پیشرفت تکنولوژی و به‌کارگیری این سیستم‌ها، دقت مدل‌های تجربی در برآورد میزان فرسایش و تولید



شکل ۱. حوضه شازند و زیرحوضه‌های آن

### تعیین مرز کاری حوضه

مرز حوضه، زیرحوضه‌های مورد مطالعه و مسیره‌های زهکشی از الحاقیه ArcHydro و با استفاده از دو لایه شبکه زهکشی و DEM به دست آمده است. به این منظور ابتدا باید شبکه آبراهه‌ها را به نقشه DEM تحمیل کرد. این مرحله منجر به تعیین مسیر صحیح جریان آب شده و مبنایی برای فرآیندهای بعدی است. سپس سایر مشخصات حوضه از جمله مرز حوضه، جهت جریان، جریان تجمعی آبراهه‌ها، خطوط اصلی زهکشی حوضه و پروفیل طولی رودخانه‌ها به دست می‌آید.

### معرفی مدل EPM

این مدل در سال ۱۹۵۲ میلادی برای بررسی شدت فرسایش خاک کشور یوگسلاوی سابق، در موسسه Jaroslav cerni مورد استفاده قرار گرفت و موجب ابداع یک روش طبقه‌بندی به نام M.Q.C.E (Method of Quantitative Classification of Erosion) شد. سپس روشی برای محاسبه میزان فرسایش نیز به دست آمد و مدلی به نام مدل EPM نام‌گذاری شد (احمدی، ۱۳۷۹). مدل EPM روش پیشرفته طبقه‌بندی کمی فرسایش M.Q.C.E است (احمدی، ۱۳۷۹).

زیرحوضه‌های سد ساوه دارد، مطالعه فرسایش و تولید رسوب در این گستره از اهمیت بیشتری برخوردار است.

شیب متوسط حوضه در گستره مورد مطالعه ۱۰/۵۸ درصد و چهار رودخانه مهم به نام‌های شراز، شازند، نهر میان و بازنه به ترتیب دارای طول ۴۱/۷، ۲۹/۷، ۲۹/۱ و ۴۵ کیلومتر در این محدوده در جریان هستند. شکل ۱ حوضه و زیرحوضه‌های گستره مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

### روش تحقیق

به‌منظور انجام این مطالعه ابتدا نقشه‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، با دقت ۱۰ متر، و شیب فایل‌های منطقه از سازمان نقشه‌برداری کشور؛ نقشه‌های زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و وضعیت فرسایش منطقه از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی؛ آمار ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی از سازمان آب منطقه‌ای استان مرکزی و آمار ایستگاه‌های سینوپتیک از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد، سپس داده‌ها وارد محیط ArcMap 10.2 و ENVI 5.1 شد و تجزیه و تحلیل‌های جانبی در نرم‌افزار Excel و SMADA انجام گرفت. سپس بر اساس مدل EPM، پهنه‌بندی فرسایش و برآورد مقدار رسوب سالیانه در محیط نرم‌افزار ArcMap انجام شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

ضریب فرسایش و I شیب متوسط حوضه برحسب درصد می‌باشد. با توجه به رابطه (۱) برای تعیین ضریب شدت فرسایش (Z)، می‌بایست ضرایب حساسیت خاک به فرسایش (Y)، فرسایش (f)، کاربری زمین (Xa) و شیب متوسط حوضه (I) به دست آید. در این مطالعه با استفاده از نقشه DEM شیب حوضه در مناطق مختلف به دست آمده است. نقشه شیب حوضه (شکل ۲) در گستره مورد مطالعه و جدول (۱) مقادیر حداکثر، حداقل و متوسط مقدار شیب را نشان می‌دهد.

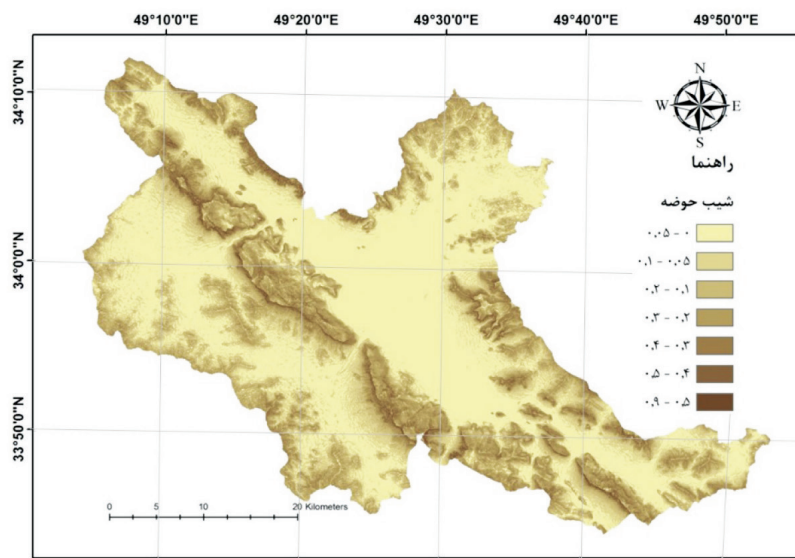
در این مدل عوامل موثر در فرسایش خاک شامل وضعیت توپوگرافی، سنگ‌شناسی، خاک و نحوه استفاده از اراضی و عوامل اقلیمی می‌باشند.

### تعیین شدت فرسایش

در این روش شدت فرسایش از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$Z = Xa \cdot Y \cdot (f+I)^{0.5} \quad (1)$$

که در این رابطه، Z؛ ضریب شدت فرسایش، Xa؛ ضریب کاربری زمین، Y؛ ضریب حساسیت خاک به فرسایش، f؛



شکل ۲. نقشه شیب حوضه برای مدل EPM در حوضه شازند سد ساوه

جدول ۱. مقادیر شیب در زیرحوضه‌های شازند سد ساوه

پارامتر آماری	پل دوآب	توره	ازنا	بازنه
حداقل شیب	۰	۰	۰	۰
شیب متوسط	۱۰/۵۸	۸/۸۳	۱۱/۱۲	۱۳/۱۹
حداکثر شیب	۸۹/۵۲	۷۵/۲۸	۷۷/۳۷	۷۷/۱۳

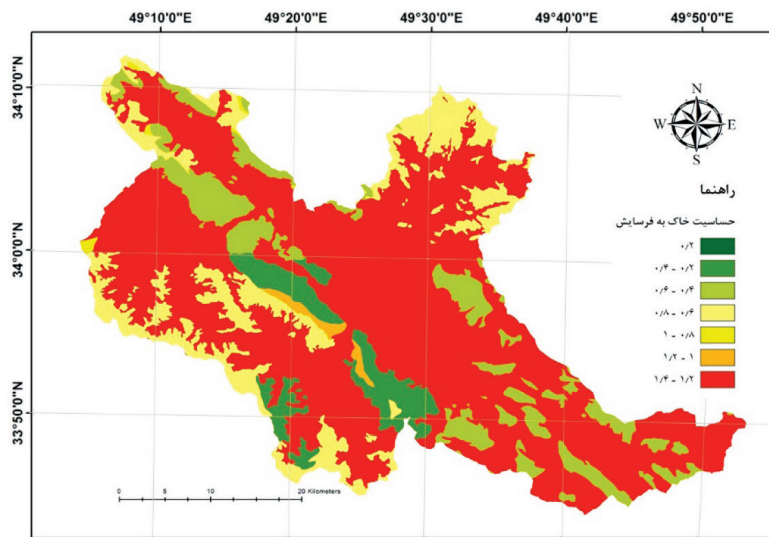
### ضریب حساسیت خاک به فرسایش (Y)

رتبه‌بندی شدند (جدول ۲) و بر اساس مشاهدات صحرایی و تجربیات کارشناس زمین‌شناسی در طرح ملی فرسایش استان مرکزی کد حساسیت (عددی بین ۰-۱۰) دریافت کردند (شکل ۳).

برای به دست آوردن این لایه لازم است تا مطالعات زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی انجام گیرد. لایه‌های خاک موجود در کل حوضه سد ساوه با توجه به گروه هیدرولوژی خاک و سازند زمین‌شناسی نسبت به فرسایش

جدول ۲. حساسیت سازندهای خاک‌شناسی سد ساوه نسبت به فرسایش در مدل EPM

کد حساسیت	گروه هیدرولوژی	سازند خاک‌شناسی	سازند زمین‌شناسی
۴	C	شنی لومی کم عمق، شنی کم عمق	شیل و ماسه سنگ ژوراسیک
۲	D	رسی لومی شنی نیمه عمیق، شنی لومی کم عمق، شنی کم عمق	اسلیت آهکی
۳	C	شنی کم عمق، شنی لومی کم عمق	اسلیت و سنگ آهک
۴	B	شنی لومی نیمه عمیق، رسی لومی عمیق، شنی عمیق	پادگانه‌های آبرفتی جوان
۶	B	رسی لومی شنی نیمه عمیق	پادگانه‌های آبرفتی قدیمی
۱	C	شنی کم عمق، شنی لومی کم عمق	سنگ آهک
۲	C	شنی لومی کم عمق، شنی کم عمق	سنگ آهک اوریتولین دار
۶	D	شنی لومی کم عمق، شنی کم عمق	سنگ آهک اوریتولین دار
۲	C	شنی لومی کم عمق، شنی کم عمق	سنگ آهک خاکستری
۱	D	شنی لومی کم عمق، شنی کم عمق	سنگ آهک دولومیتی
۲	D	شنی کم عمق، شنی لومی کم عمق، رسی لومی شنی نیمه عمیق	سنگ آهک مارنی سبز
۴	D	شنی لومی کم عمق	شیل-اسلیت-شیست
۵	D	شنی کم عمق، شنی لومی کم عمق	شیل-دولومیت ماسه‌ای
۳	C	شنی لومی کم عمق	فیلیت
۱	C	شنی لومی کم عمق، شنی کم عمق	گرانیت و گرانودیوریت
۴	D	شنی کم عمق	مارن خاکستری و سنگ آهک
۶	D	شنی کم عمق، شنی لومی کم عمق	مارن مابین لایه‌های آهک
۷	D	شنی لومی کم عمق، شنی کم عمق	مارن و شیل کرتاسه میانی

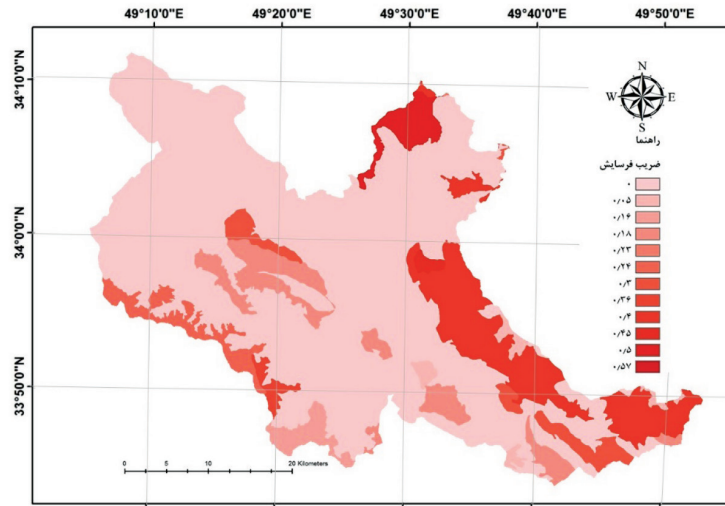


شکل ۳. نقشه امتیاز حساسیت خاک به فرسایش در مدل EPM در حوضه سازند سد ساوه

### ضریب فرسایش (f)

دست آوردن این لایه از روش BLM شده است. دامنه نمرات روش BLM بین ۰ تا ۱۰۰ می‌باشد. این اعداد برای کاربرد در مدل EPM، بین ۰ تا ۱۰ نرمالیزه می‌شوند (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، ۱۳۸۳).

برای به دست آوردن این ضریب بهترین روش تهیه نقشه ژئومورفولوژی منطقه است. لایه ضریب فرسایش در مدل EPM، وضعیت منطقه نسبت به حالت‌های مختلف فرسایش (خندقی، شیاری و ...) را نشان می‌دهد (شکل ۴). برای به



شکل ۴. نقشه ضریب فرسایش مدل EPM در حوضه سازند سدساوه

مورد مطالعه نشان داده شده است (شکل ۵).

### ضریب استفاده از زمین (Xa)

$$Xa = (f + I^{0.5})$$

(۲) برای به دست آوردن این عامل از رابطه (۲) استفاده شده

با قرار دادن چهار لایه I، f، aX و Y در رابطه (۱)؛ شدت

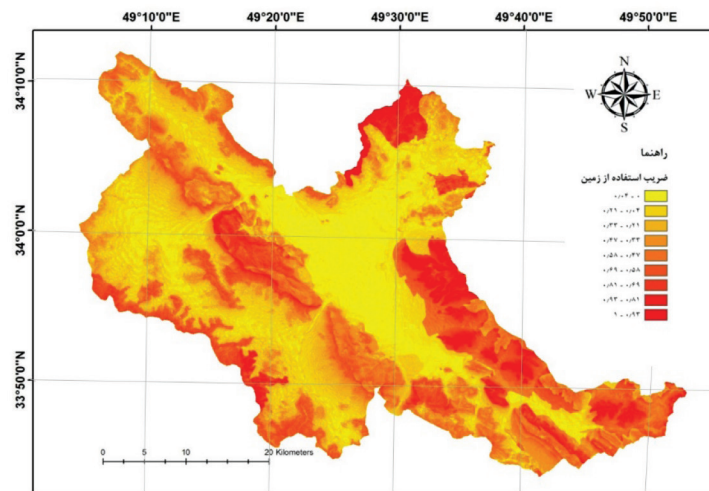
است. در این رابطه از لایه‌های ضریب فرسایش (f) و شیب

فرسایش خاک به دست آمده است (جدول ۳).

متوسط حوضه (i) استفاده شده است. این لایه در گستره

جدول ۳. شدت فرسایش در زیرحوضه‌های سازند سد ساوه

پارمتر آماری	پل دوآب	توره	ازنا	بازنه
حداقل	۰	۰	۰	۰
میانگین	۰/۱۹۹۴	۰/۱۴۵	۰/۰۶۸۹	۰/۰۶۲۹
حداکثر	۱/۳۹۹	۱/۳۹۹	۱/۳۹۹	۱/۳۹۹
طبقه‌بندی کیفی شدت فرسایش	کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم



شکل ۵. نقشه ضریب استفاده از زمین در مدل EPM

## دبی رسوب ویژه (GSP)

از طرف دیگر، ضریب رسوبدهی مطابق رابطه (۶) به دست می‌آید و در آن پارامترهای طول حوضه آبخیز (L)، طول محیط حوضه آبخیز (P) و اختلاف ارتفاع حوضه (D) برحسب کیلومتر دخالت دارد.

$$R_u = \frac{4 \times (P \times D)^{0.5}}{L + 10} \quad (6)$$

در این مطالعه، برای به دست آوردن طول حوضه (L) از الحاقیه ArcHydro و برای به دست آوردن محیط حوضه از ابزارهای محیط ArcMap استفاده شده است. بر این اساس طولانی‌ترین آبراهه اصلی و محیط حوضه محاسبه شده است. اختلاف ارتفاعات حوضه (Z) با استفاده از نقشه DEM به دست می‌آید. با قرار دادن پارامترهای به دست آمده در رابطه (۱۱)، درجه رسوبدهی هر یک از زیرحوضه‌های در گستره مورد مطالعه به دست می‌آید.

برای به دست آوردن رسوب سالیانه حوضه باید مقدار رسوب ویژه سالیانه را در مساحت هر زیر حوضه ضرب کرد (شکل ۶). بر این اساس رسوب رودخانه‌های حوضه شازند با استفاده از روش EPM تعیین خواهد شد (جدول ۴).

دبی رسوب ویژه (GSP) عبارت از مقدار رسوباتی است که رودخانه جابه‌جا می‌کند و واحد آن برحسب مترمکعب در سال در کیلومتر مربع می‌باشد. مقدار این عامل از رابطه (۳) به دست می‌آید و برای محاسبه آن نیاز است تا پارامترهای فرسایش ویژه برحسب مترمکعب در کیلومتر مربع ( $W_{sp}$ ) و ضریب رسوبدهی ( $R_u$ ) حوضه به دست آید. پس از محاسبه دبی رسوب ویژه با ضرب کردن این عامل در مساحت حوضه مقدار رسوبات سالیانه خروجی حوضه به دست می‌آید.

$$G_{sp} = W_{sp} \cdot R_u \quad (3)$$

فرسایش ویژه حوضه طبق رابطه (۴) به دست می‌آید، به این منظور لازم است تا نقشه پهنه‌بندی مقدار متوسط بارندگی سالیانه (H) برحسب میلی‌متر و ضریب درجه دما (T) به ازای نقاط ارتفاعی مختلف (Z) به دست آید.

$$W_{sp} = T \cdot H \cdot Z^{1.5} \cdot \pi \quad (4)$$

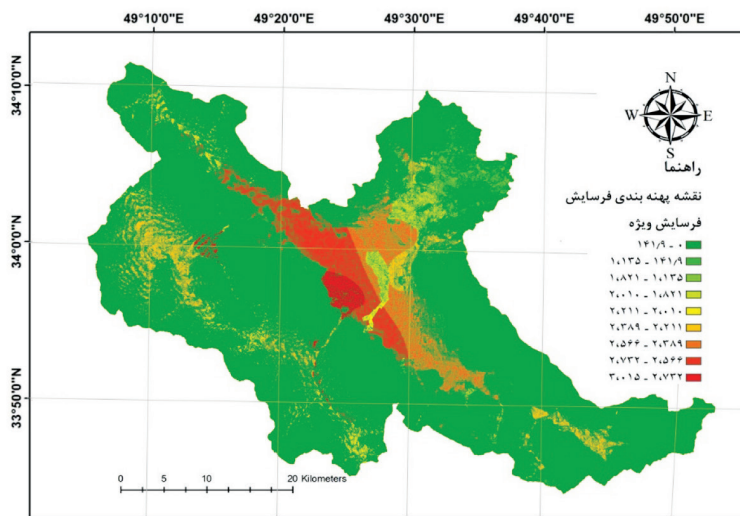
T ضریب درجه دما مطابق معادله (۵) به دست می‌آید:

$$T = [(t/10) + 0.1]^{0.5} \quad (5)$$

در معادله‌ی بالا، t، میانگین دمای سالیانه برحسب سانتی‌گراد می‌باشد.

جدول ۴. دبی رسوب سالیانه رودخانه‌های حوضه شازند بر اساس مدل EPM برحسب تن در سال

رودخانه شرا	رودخانه شازند	رودخانه نهرمیان	رودخانه بازنه
۲۸۸۱۰۳/۸۱	۲۰۵۸۳/۷۶	۴۳۰۷۹/۲	۱۸۹۶۳/۸۳



شکل ۶. نقشه فرسایش ویژه (WSP) مدل EPM در حوضه شازند سد ساوه

## برآورد رسوب رودخانه با استفاده

### از روش هیدرومتری

(علیزاده، ۱۳۹۱). در این مطالعه به منظور تعیین دبی متوسط رسوب در منطقه مورد بررسی ابتدا منحنی همبستگی دبی آب و دبی رسوب بر اساس نتایج حاصل از نمونه برداری‌ها رسم شده است. سپس مناسب‌ترین معادله سنج رسوب، (جدول ۵) متناسب با منحنی‌های سنج یک‌خطی و حد وسط در چهار ایستگاه هیدرومتری حوضه شازند مورد استفاده قرار گرفت (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۱).

به‌منظور محاسبه دبی رسوب و یا مقدار مواد معلق که در درازمدت (مثلاً یک سال) از رودخانه عبور می‌کند، از روش‌های گوناگونی استفاده می‌شود. روش ترسیمی منحنی تداوم مواد رسوبی ساده‌ترین و درعین حال عملی‌ترین روشی است که در پروژه‌های کوچک آبی می‌توان از آن استفاده کرد

جدول ۵. معادلات سنج رسوب سالیانه در هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۱)

نوع منحنی سنجه	یک‌خطی	حد وسط
ایستگاه هیدرومتری	معادله سنجه	معادله سنجه
پل دوآب	$Q_s = 847/7 Q_w^{4.3/1}$	$R^2$
ازنا (شازند)	$Q_s = 383/11 Q_w^{4.7/1}$	$Q_s = 853/16 Q_w^{4.3/1}$
توره (نهرمیان)	$Q_s = 749/7 Q_w^{4.6/1}$	$Q_s = 748/18 Q_w^{6.8/1}$
بازنه	$Q_s = 328/7 Q_w^{6.3/1}$	$Q_s = 942/14 Q_w^{4.3/1}$
		$Q_s = 301/8 Q_w^{4.3/1}$

در ادامه، منحنی تداوم سالیانه آب رودخانه با استفاده از دبی‌های موجود رسم شده و با توجه به مقدار دبی ماهانه حاصل از ایستگاه‌های هیدرومتری و معادلات سنجه،

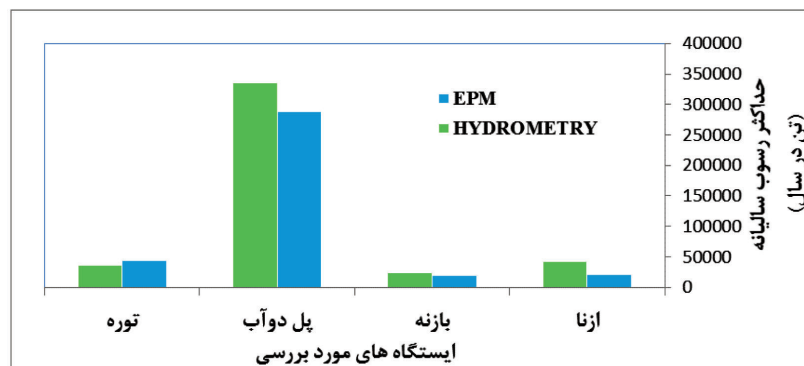
جدول ۶. حداکثر رسوب سالیانه ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه شازند سد ساوه برحسب تن در سال

حوضه پل دوآب (سال ۱۳۸۱)	حوضه ازنا (سال ۱۳۸۴)	حوضه توره (سال ۱۳۸۱)	حوضه بازنه (سال ۱۳۸۱)
۳۳۵۲۸۵/۴۲	۴۲۷۸۱/۶۸۹	۳۶۴۵۹/۰۹	۲۳۹۳۷/۴۱۸

## مقایسه مدل EPM و روش هیدرومتری

و ۴۲۷۸۱/۶۹ تن در سال پیش‌بینی می‌شود. مقایسه این داده‌ها نشان می‌دهد روش‌های مورد بررسی به ترتیب ۸۶، ۸۲، ۴۸ و ۷۹ درصد هم‌خوانی نشان می‌دهد. مقادیر حداکثر رسوب سالیانه با استفاده از دو روش EPM و هیدرومتری مقایسه شده‌اند (شکل ۷).

نتایج حاصل از مدل EPM در ایستگاه‌های پل دوآب، بازنه، توره و شازند به ترتیب برابر با ۲۸۸۱۰۳/۸۱، ۲۰۵۸۳/۷۶ و ۴۳۰۷۹/۲، ۱۸۹۶۳/۸۳ به ترتیب معادل با ۳۳۵۲۸۵/۴۲، ۲۳۹۳۷/۴۲، ۳۶۴۵۹/۰۹



شکل ۷. مقایسه مدل EPM و روش هیدرومتری در برآورد حداکثر رسوب سالیانه



## نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که فرسایش خاک یک منطقه به عوامل متعددی بستگی دارد و مانند بسیاری از پدیده‌ها نمی‌توان بر اساس معادله‌ای مطلق و به روش‌های عددی تجزیه و تحلیل کرد، لذا استفاده از روابط تجربی غیرقابل اجتناب است. همچنین از آنجاکه در مدل‌های جعبه سیاه، اتفاقات درون مدل را نمی‌توان تشخیص داد، لذا این‌گونه مدل‌ها برای برآورد رسوب توصیه نمی‌شوند. لذا در حال حاضر تنها مدل‌های تجربی قادر به پهنه‌بندی فرسایش هستند و این نکته باعث برتری کامل مدل‌های تجربی بر سایر مدل‌ها شده است. در این مطالعه به منظور بررسی میزان فرسایش و برآورد مقدار رسوب در حوضه آبریز شانزند در محدوده سد ساوه، پس از امتیازدهی و تلفیق عوامل موثر به صورت لایه‌های رقومی در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.2، با استفاده از مدل تجربی EPM نقشه میزان فرسایش حوضه موردنظر تهیه شد. مقایسه نتایج ایستگاه‌های هیدرومتری با مدل EPM نشان‌دهنده هم‌خوانی ۷۴ درصدی رسوب خروجی این دو مدل است. همچنین مقایسه پهنه‌بندی فرسایش به روش EPM با تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد در مناطقی کوهستانی، برخلاف پهنه‌های کشاورزی (در محدوده شهر ازن)، به دلیل وجود سازندهای با مقاومت بالا شدت فرسایش کمی دارند. همچنین شدت فرسایش در مناطق مسکونی و شهرک‌های صنعتی در شرایط متوسطی قرار دارد. مناطقی که در دامنه کوه‌ها (عمدتاً در زیرحوضه بازنه و توره) قرار دارند، دارای شدت فرسایش متوسط می‌باشند.

## سپاسگزاری

از سازمان نقشه‌برداری کشور به جهت همکاری در تهیه اطلاعات تشکر می‌شود.

## منابع

- بزرگزاده، ع.، ۱۳۸۸. مقایسه برآورد میزان فرسایش و رسوب‌زایی در زیرحوضه سزار (حوضه آبریز سد ساوه) با استفاده از مدل‌های تجربی ای‌پی‌ام و ام‌پسیاک با کمک دانش فازی، زمین‌شناسی (فصل‌نامه انجمن زمین‌شناسی ایران)، ۱۲، ۵۱-۶۱.
- بهرامی، ع.، مردیان، م. و دلاوری کامیاب، ا.، ۱۳۹۱. تعیین مناسب‌ترین معادلات سنجه رسوب سالانه در ایستگاه هیدرومتری حوضه آبخیز پل دوآب شانزند، سومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران (اراک).
- سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۱۳۸۳. وزارت جهاد کشاورزی. طرح ملی مطالعات فرسایش استان مرکزی.
- راستگو، س.، قهرمان، ب.، ثنائی‌نژاد، ح.، داوری، ک. و خدانشناس، س. ر.، ۱۳۸۵. برآورد فرسایش رسوب حوضه آبخیز تنگ‌کنشت با مدل‌های تجربی -MPSI AC و EPM به کمک GIS، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۰۴-۹۱.
- قضاوی، ر.، ولی، ع.، مقامی، ی.، عبدی، ژ. و شرفی، س.، ۱۳۹۱. مقایسه مدل‌های EPM، MPSIAC و PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از GIS، مجله جغرافیا و توسعه، ۱۲۶، ۲۷-۱۱۷.
- محسنی، ب.، قدوسی، ج.، احمدی، ح. و طهماسبی، ر.، ۱۳۹۰. ارزیابی دقت و کارایی مدل‌های EPM، MPSIAC، ژئومورفولوژی و هیدروفیزیکی در برآورد فرسایش و رسوب، مجله جغرافیا و توسعه، ۲۲، ۱۰۷-۱۲۷.
- Byrne, D., Horsburgh, K., Zachry, B. and Cipollini, P., 2017. Using remotely sensed data to modify wind forcing in operational storm surge forecasting. Nat Hazards. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2964-6>.
- Elirehema, Y., 2001. Soil water erosion modeling in selected watersheds in Southern Spain. IFA, ITC, Enschede.
- Hui, L., Xiaoling, C., Jae Lim, K., Xiaobin, C. and Sagon, M., 2010. Assessment of soil erosion and sediment yield in Liao watershed,

- Jiangxi Province, China, using USLE, GIS, and RS. *Earth Science*, 21, 941-953.
- Manoj Kumar, J. and Debjyoti, D., 2010. Estimation of sediment yield and areas of soil erosion and deposition for watershed prioritization using GIS and remote sensing. *Water Resource Management*, 24, 2091-2112.
  - Modallaldoust, S., 2007. Estimation of sediment and erosion with use of MPSIAC and EPM models in GIS environment. Degree Msc University of Mazandaran, 95.
  - Peijun, D., Pei, L., Junshi, X., Li, F., Sicong, L., Kun, T. and Liang, C., 2014. Remote sensing image interpretation for urban environment analysis. methods, system and examples. *Remote Sensing*, 6, 9458-9474.
  - Prasannakumar, V., Vijith, H., Geetha, N. and Shiny, R., 2011. Regional scale erosion assessment of a sub-tropical highland segment in the Western Ghats of Kerala, South India. *Water Resource Management*, 25, 3715.
  - Rastgoo Ghahreman, S., Senayeenejad, H., Daavari, K. and Khodashenas, S., 2006. Estimating soil erosion and sediment yield in Tang Konasht watershed with MPSIAC, EPM and GIS. *Agriculture and Natural Resources Journal*, 91-104.
  - Şahin, Ş. and Kurum, E., 2002. Erosion risk analysis by GIS in environmental impact assessments: a case study-Seyhan Köprü Dam construction. *Journal of Environmental Management*, 66, 3, 239-247.
  - Tangestani, M. H., 2006. Comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield assessment in a semi-arid environment: Afzar Catchment, Fars Province, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 585-597.
  - Wang, G., Gertner, G., Fang, S. and Anderson, A.B., 2003. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. *Photogram Engineering Remote Sensing*, 69, 889-898.
  - Wischmeier, W., H. and Smith, D., D., 1978. Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning. *Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning Agriculture handbook*, 537, Washington DC.
  - Zhang, W., Zhou, J., Feng, G., Weindorf, D.C., Hu, G. and Shen, J., 2015. Characteristics of water erosion and conservation practice in arid regions of Central Asia: Xinjiang Province, China as an example. *International Soil and Water Conservation Research*, 97-111.