فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ۱۳، شماره ۵۰، تابستان ۱۳۹۸، صفحات ۸۹-۹۸

Archive of SID

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

علی‌محمد رجبی[۱و*]، عادل یاوری[۲] و حمیدرضا سلوکی[۳]

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 به‌صورت لایه‌های رقومی 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 پل‌دوآب، 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 پل‌دوآب، 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

خاک به‌عنوان یکی از عوامل اصلی جهت تامین نیازهای اساسی در نظر گرفته می‌شود اما متاسفانه 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 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 به‌تبع آن کیفیت خاک کاهش یافته و منجر به از بین رفتن خاک حاصلخیز فوقانی می‌شود. اخیرا برنامه‌های سنجش از دور (RS) و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) توسعه یافته است.

* نویسنده مرتبط: amrajabi@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

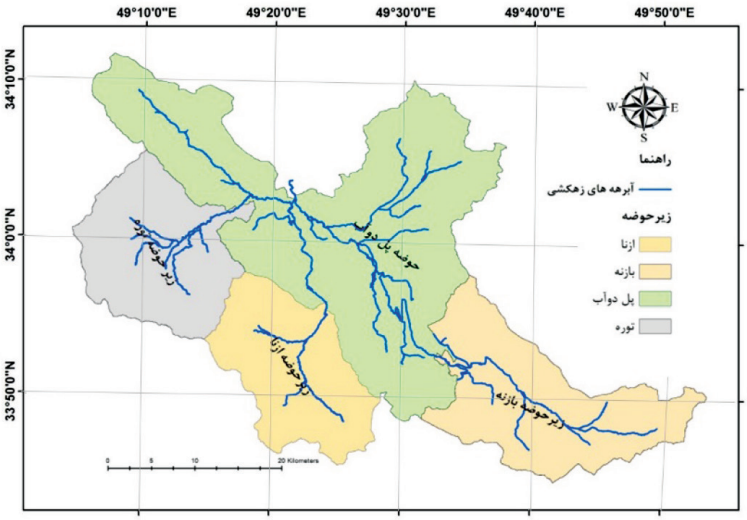
این سیستم‌ها به‌طور قابل‌توجهی در زمینه‌های مختلف از جمله توسعه و برنامه‌ریزی مدیریت منابع و مطالعات علمی و پروژه‌ها در جهان توسعه یافته است (Wang et al., 2003؛ Byrne et al., 2017). در دهه‌های گذشته سنجش از دور جهت برنامه‌های مختلف، از جمله، تبیین ساختار شهری، پوشش گیاهی و استخراج آب، ویژگی‌های زمین‌شناسی 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 Wischmeier and (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 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 لیائو 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 که۲۰٪ 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 et al., 2007؛ Ghahreman et al., 2006). 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 "۱۸/۳۵ '۰۴ °۴۹ تا "۱۶/۵۴ '۵۳ °۴۹ طول شرقی و "۱۸/۸۹ '۴۴ °۳۳ تا "۸/۴۴ '۱۲ °۳۴ 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

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. حوضه شازند و زیرحوضه‌های آن

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

شـــیب متوسط حوضه در گســـتره مورد مطالعه ۱۰/۵۸ درصد و چهار رودخانه مهم به نام‌های شراء، شازند، نهرمیان و بازنـــه به ترتیـــب دارای طـــول 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 ۱۰متر، و شـــیپ فایل‌های منطقه از سازمان‌نقشه‌برداری‌کشـــور؛ نقشـــه‌های زمین‌شناســـی، خاک‌شناســـی، پوشـــش‌گیاهی، کاربری‌اراضـــی و وضعیت فرســـایش منطقه از اداره کل منابع طبیعـــی و آبخیزداری استان مرکزی؛ آمار ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی از ســـازمان آب منطقه‌ای استان مرکزی و آمار ایستگاه‌های سینوپتیک از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد، سپس داده‌هـــا وارد محیط ArcMap 10.2 و ENVI 5.1 شـــد و تجزیـــه و تحلیل‌های جانبی در نرم‌افزار Excel و SMADA انجام گرفت. ســـپس بر اســـاس مـــدل EPM، پهنه‌بندی فرسایش و برآورد مقدار رسوب ســـالیانه در محیط نرم‌افزار ArcMap انجام شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

تعیین مرز کاری حوضه

مـــرز حوضه، زیرحوضه‌های مورد مطالعه و مســـیرهای زهکشی از الحاقیه ArcHydro و با استفاده از دو لایه شبکه زهکشی و DEM به دســـت 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 اســـت. سپس ســـایر مشخصات حوضه از جمله مرز حوضه، جهت جریـــان، جریان تجمعی آبراهه‌ها، خطوط اصلی زهکشی حوضه و پروفیل طولی رودخانه‌ها به دست می‌آید.

معرفی مدل EPM

این مدل در ســـال ۱۹۵۲ میلادی برای بررســـی شدت فرسایش خاک کشور یوگسلاوی سابق، در موسسه Jaroslav cerni مورد اســـتفاده قرار گرفـــت و موجب ابداع یک روش طبقه‌بندی به نـــام M.Q.C.E (Method of Quantitive Classification of Erosion) شـــد. ســـپس روشی برای محاســـبه میزان فرسایش نیز به دســـت آمد و مدلی به نام مدل EPM نام‌گذاری شـــد (احمدی، ۱۳۷۹). مدل EPM روش پیشرفته طبقه‌بندی کمی فرسایش M.Q.C.E است (احمدی، ۱۳۷۹).

www.SID.ir

Archive of SID

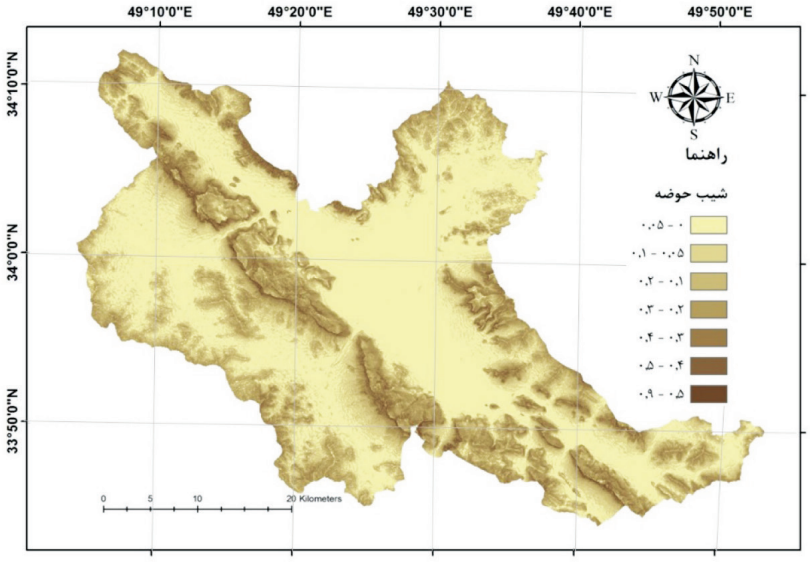
در این مدل عوامل موثر در فرسایش خاک شامل وضعیت توپوگرافی، سنگ‌شناسی، خاک و نحوه استفاده از اراضی و عوامل اقلیمی می‌باشند.

تعیین شدت فرسایش

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

$$Z = Xa.Y\ (f+I)^{0.5} \qquad (۱)$$

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



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)

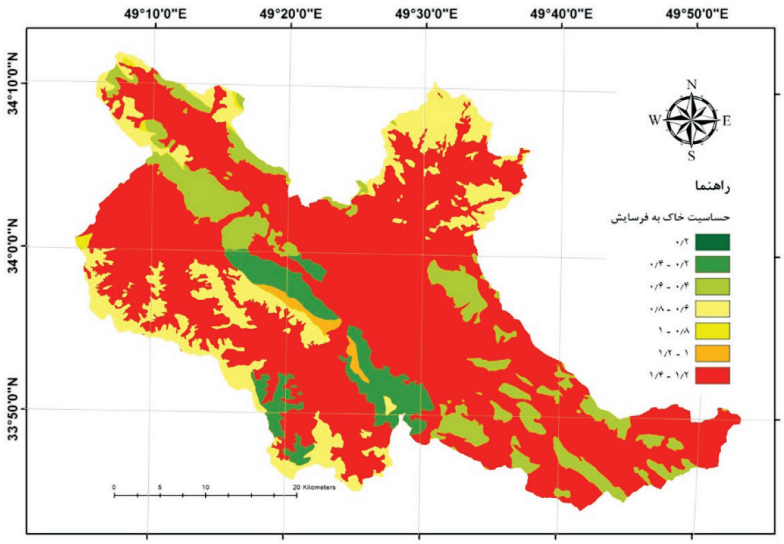
برای به دست آوردن این لایه لازم است تا مطالعات زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی انجام گیرد. لایه‌های خاک موجود در کل حوضه سد ساوه با توجه به گروه هیدرولوژی خاک و سازند زمین‌شناسی نسبت به فرسایش رتبه‌بندی شدند (جدول ۲) و بر اساس مشاهدات صحرایی و تجربیات کارشناس زمین‌شناسی در طرح ملی فرسایش استان مرکزی کد حساسیت (عددی بین ۰-۱۰) دریافت کردند (شکل ۳).

www.SID.ir

Archive of SID

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

سازند زمین‌شناسی	سازند خاک‌شناسی	گروه هیدرولوژی	کد حساسیت
شیل و ماسه‌سنگ ژوراسیک	شنی لومی‌کم عمق، شنی‌کم‌عمق	C	۴
اسلیت آهکی	رسی‌لومی‌شنی نیمه‌عمیق، شنی‌لومی کم‌عمق، شنی کم‌عمق	D	۲
اسلیت و سنگ‌آهک	شنی کم‌عمق، شنی لومی کم‌عمق	C	۳
پادگانه‌های آبرفتی جوان	شنی‌لومی نیمه عمیق، رسی‌لومی‌عمیق، شنی‌عمیق	B	۴
پادگانه‌های آبرفتی قدیمی	رسی‌لومی شنی نیمه‌عمیق	B	۶
سنگ‌آهک	شنی کم‌عمق، شنی لومی کم‌عمق	C	۱
سنگ‌آهک اوربتولین‌دار	شنی لومی کم‌عمق، شنی کم‌عمق	C	۲
سنگ‌آهک اوربتولین‌دار	شنی‌لومی کم‌عمق، شنی کم‌عمق	D	۶
سنگ‌آهک خاکستری	شنی‌لومی کم‌عمق، شنی کم‌عمق	C	۲
سنگ‌آهک دولومیتی	شنی‌لومی کم‌عمق، شنی کم‌عمق	D	۱
سنگ‌آهک مارنی سبز	شنی کم‌عمق، شنی‌لومی کم‌عمق، رسی لومی شنی نیمه عمیق	D	۲
شیل-اسلیت-شیست	شنی‌لومی کم‌عمق	D	۴
شیل-دولومیت ماسه‌ای	شنی کم‌عمق، شنی لومی کم‌عمق	D	۵
فیلیت	شنی‌لومی کم‌عمق	C	۳
گرانیت و گرانودیوزیت	شنی‌لومی کم‌عمق، شنی کم‌عمق	C	۱
مارن خاکستری و سنگ‌آهک	شنی کم‌عمق	D	۴
مارن مابین لایه‌های آهک	شنی کم‌عمق، شنی لومی کم‌عمق	D	۶
مارن و شیل کرتاسه میانی	شنی‌لومی کم‌عمق، شنی کم‌عمق	D	۷



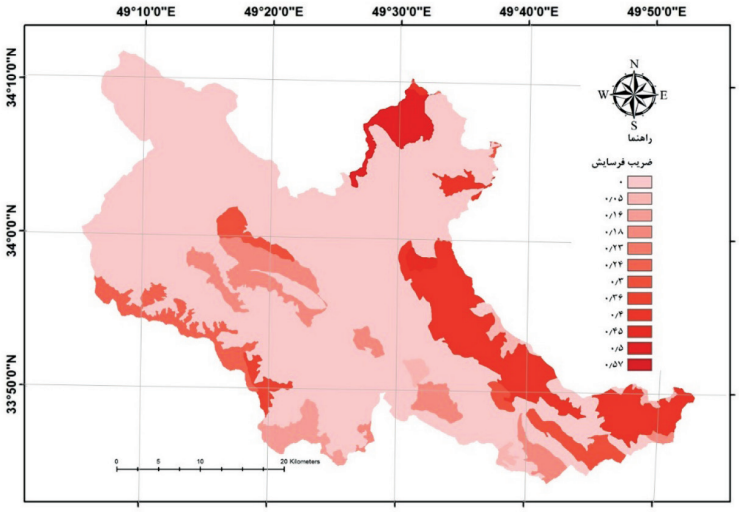
شکل ۳. نقشه امتیاز حساسیت خاک به فرسایش مدل EPM در حوضه شازند سد ساوه

ضریب فرسایش (f)

برای به دست آوردن این ضریب بهترین روش تهیه نقشه ژئومرفولوژی منطقه اســـت. لایه ضریب فرســـایش در مدل EPM، وضعیت منطقه نسبت به حالت‌های مختلف فرسایش (خندقی، شیاری و ...) را نشان می‌دهد (شکل ۴). برای به دست آوردن این لایه از روش BLM شده است. دامنه نمرات روش BLM بین۰ تا ۱۰۰ می‌باشد. این اعداد برای کاربرد در مدل EPM، بین ۰ تا ۱ نرمالیزه می‌شوند (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، ۱۳۸۳).

www.SID.ir

Archive of SID



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

ضریب استفاده از زمین (Xa)

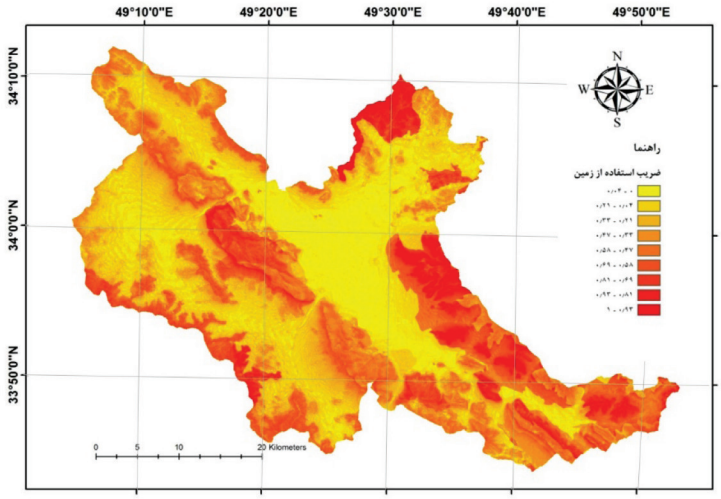
برای به دست آوردن این عامل از رابطه (۲) استفاده شده اســت. در این رابطه از لایه‌های ضریب فرسایش (f) و شیب متوســط حوضه (i) استفاده شده است. این لایه در گستره مورد مطالعه نشان داده شده است (شکل ۵).

$$Xa = (f+ I^{0.5}) \quad (۲)$$

با قرار دادن چهار لایه aX، f، I و Y در رابطه (۱)؛ شدت فرسایش خاک به‌دست‌آمده است (جدول ۳).

جدول ۳. شدت فرسایش در زیرحوضه‌های شازند سد ساوه

پارمتر آماری	پل دوآب	توره	ازنا	بازنه
حداقل	۰	۰	۰	۰
میانگین	./۱۹۹۴	./۱۴۵	./۰۶۸۹	./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

www.SID.ir

Archive of SID

دبی رسوب ویژه (GSP)

دبی رســـوب ویژه (GSP) عبارت از مقدار رسوباتی است که رودخانه جابه‌جا می‌کند و واحد آن برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع می‌باشد. مقدار این عامل از رابطه (۳) به دســـت می‌آید و برای محاسبه آن نیاز است تا پارامترهای فرســـایش ویژه برحسب مترمکعب در کیلومترمربع (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.

$$G_{sp} = W_{sp} . R_u \qquad (۳)$$

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

$$W_{SP} = T.H.Z^{1.5}.\pi \qquad (۴)$$

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

$$T = [(t/10)+ 0. 1]^{0.5} \qquad (۵)$$

در معادله‌ی بالا t، میانگین دمای سالیانه برحسب سانتی گراد می‌باشد.

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

$$R_u = \frac{4\times(P\times D)^{0.5}}{L+10} \qquad (۶)$$

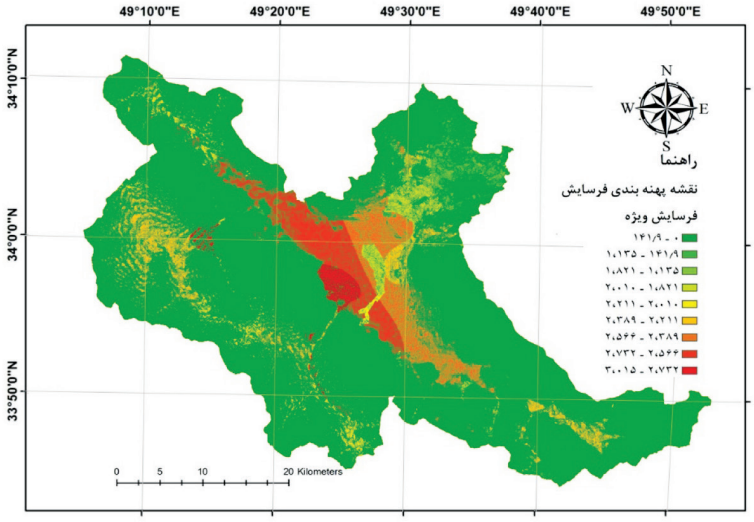
در این مطالعه، برای به دست آوردن طول حوضه (L) از الحاقیه ArcHydro و برای به دست آوردن محیط حوضه از ابزارهای محیط ArcMap استفاده شده است. بر این اساس طولانی‌ترین آبراهه اصلی و محیط حوضه محاسبه شده است.

اختلاف ارتفاعات حوضه (Z) با استفاده از نقشه DEM به دســـت می‌آید. با قرار دادن پارامترهای به‌دســـت‌آمده در رابطه (۱۱)، درجه رســـوب‌دهی هر یک از زیرحوضه‌های در گستره مورد مطالعه به دست می‌آید.

برای به دســـت آوردن رسوب سالیانه حوضه باید مقدار رســـوب 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).

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

رودخانه شراء	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

www.SID.ir

Archive of SID

برآورد رسوب رودخانه با استفاده از روش هیدرومتری

به‌منظور محاسبه دبی رسوب و یا مقدار مواد معلقی که در درازمدت (مثلا یک‌سال) از رودخانه عبور می‌کند، از روش‌های گوناگونی استفاده می‌شود. روش ترسیمی منحنی تدوام مواد رسوبی ساده‌ترین و درعین‌حال عملی‌ترین روشی است که در پروژه‌های کوچک آبی می‌توان از آن استفاده کرد (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 نمونه‌برداری‌ها رسم شده است. سپس مناسب‌ترین معادله سنجه رسوب، (جدول ۵) متناسب با منحنی‌های سنجه یک‌خطی و حد وسط در چهار ایستگاه هیدرومتری حوضه شازند مورد استفاده قرار گرفت (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۱).

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

نوع منحنی سنجه	یک‌خطی		حد وسط	
ایستگاه هیدرومتری	معادله سنجه	R^2	معادله سنجه	R^2
پل دوآب	$Q_s = ۸۴۷/۷\ Q_w^{۱/۴۰۳}$	./۸۶۳	$Q_s = ۸۵۳/۱۶\ Q_w^{۱/۴۳۳}$	./۹۴۰
ازنا (شازند)	$Q_s = ۳۸۳/۱۱\ Q_w^{۱/۴۴۷}$	./۸۵۶	$Q_s = ۷۴۸/۱۸\ Q_w^{۱/۶۰۸}$	./۹۷۰
توره (نهرمیان)	$Q_s = ۷۴۹/۷\ Q_w^{۱/۴۴۶}$	./۷۲۳	$Q_s = ۹۴۲/۱۴\ Q_w^{۱/۴۰۳}$	./۹۷۲
بازنه	$Q_s = ۳۲۸/۷\ Q_w^{۱/۶۳۸}$	./۸۳۰	$Q_s = ۳۰۱/۸\ Q_w^{۱/۴۰۳}$	./۹۴۶

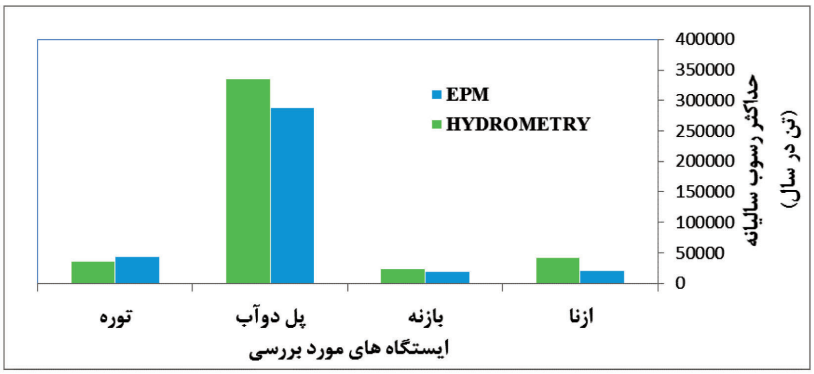
در ادامه، منحنی تدوام سالیانه آب رودخانه با استفاده از دبی‌های موجود رسم شده و با توجه به مقدار دبی ماهانه حاصل از ایستگاه‌های هیدرومتری و معادلات سنجه، حداکثر رسوب سالیانه رودخانه‌های مورد نظر در ایستگاه‌های هیدرومتری برآورد شد (جدول ۶).

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

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



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

www.SID.ir

Archive of SID

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 ازآنجاکه در مدل‌های جعبه سیاه، اتفاقات درون مدل را نمی‌توان تشخص 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 به‌منظور بررسی میزان فرسایش و برآورد مقدار رسوب در حوضه آبریز شازند در محدوده سد ساوه، پس از امتیازدهی و تلفیق عوامل موثر به‌صورت لایه‌های رقومی در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.2، با استفاده از مدل تجربی EPM نقشه میزان فرسایش حوضه موردنظر تهیه شد. مقایسه نتایج ایستگاه‌های هیدورمتری 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 ازنا)، 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

- احمدی، ح.، ۱۳۷۹. ژئومرفولوژی کاربردی (فرسایش آبی). جلد اول. انتشارات دانشگاه تهران، ۶۸۸.
- علیزاده، ا.، ۱۳۹۱. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۹۴۲.
- خدابخش، س.، محمدی، ا.، رفیعی، ب. و 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 شازند، 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.، ثنایی‌نژاد، ح.، داوری،ک. و خداشناس، س. ر.، ۱۳۸۵. برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز تنگ‌کنشت با مدل‌های تجربی MPSIAC- 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، ۱۲۷-۱۰۷.
- 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,

www.SID.ir

Archive of SID

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 Managment, 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 Managment, 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.

www.SID.ir