فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال سی و دوم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۶، شماره پیاپی ۱۲۵

موسی عابدینی، دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل **Dr.M. Abedini**
سوسن طولابی، کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل **S.Tulabi**
Abedini@uma.ac.ir

مدل‌سازی فرسایش خاک و تولید رسوب با سه مدل WEPP، EPM و Fournier در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سولاچای– اردبیل)

دریافت مقاله: ۹۵/۱۲/۱۳ پذیرش نهایی: ۹۶/۵/۱

چکیده

آب‌وخاک، پایه و اساس حیات بشر به شمار می‌آیند. امروزه فرسایش خاک این منابع باارزش و در نتیجه حیات بشر را تهدید می‌کند؛ بنابراین ارزیابی فرسایش خاک و کنترل آن امری ضروری می‌باشد. برای بررسی کمّی و کیفی فرسایش خاک مدل‌های زیادی ارائه شده است که در این پژوهش هدف برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز سولاچای با استفاده از سه مدل WEPP، EPM و Fournier و تکنیک GIS می‌باشد. به‌طور کلی، روش کار در مدل WEPP[1] به این صورت بود که فایل مربوط به هریک از پارامترهای مدل ساخته و وارد نرم‌افزار GeoWEPP[2] شد. در مدل EPM[3] نیز ابتدا نقشه ضرایب تهیه و سپس با توجه به این ضرایب نقشه شدت فرسایش تهیه شد. در مدل Fournier نیز عوامل موردنیاز مدل محاسبه و در روابط مربوط به آن جایگذاری شد، درنهایت مقدار رسوب با سه مدل فوق برآورد گردید. مقدار رسوب مشاهده‌ای نیز با استفاده از گرادیان دبی و رسوب به دست آمد. مدل WEPP دارای سه روش دامنه، حوضه آبخیز و مسیرهای جریان می‌باشد که مقدار رسوب ویژه با هر یک از این سه روش به ترتیب ۰/۲۱۳، ۰/۱۷۸ و ۰/۷۸۵ و با مدل‌های EPM و Fournier نیز به ترتیب ۰/۰۳۳ و ۱/۰۲ تن در هکتار در سال برآورد گردید. همچنین مقدار رسوب مشاهده‌ای نیز ۰/۲۴۱ تن در هکتار در سال محاسبه شد. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که مدل WEPP نسبت به دو مدل دیگر از کارایی بهتری در برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز سولاچای برخوردار است.

واژگان کلیدی: فرسایش و رسوب، حوضه آبخیز سولاچای، مدل WEPP، مدل EPM، مدل Fournier.

مقدمه

انسان برای ادامه حیات خود به مواد غذایی نیاز دارد که در اثر وجود آب‌وخاک به دست می‌آید. عاملی که وجود آب‌وخاک را به خطر می‌اندازد فرسایش است که همواره برای از بین بردن آن‌ها عمل می‌کند (رفاهی، ۱۳۸۸: ۱۳). فرسایش[4]، عبارت است از کنده‌شدن و جابه‌جا شدن تدریجی خاکدانه‌ها و مواد موجود در سطح زمین در اثر عوامل مختلف چون آب، باد، نیروی ثقل و غیره (ضیائی، ۱۳۸۰: ۱۷۴). پدیده‌ی فرسایش و آثار سوء آن شاید در کوتاه‌مدت چندان چشمگیر و محسوس نباشد ولی در بلندمدت محسوس خواهد بود؛ زیرا فرسایش معمولاً کاهش محصول را در پی دارد. برای جلوگیری از آثار سوء آن یعنی کاهش محصول باید از زمین طوری استفاده نمود که در آن فرسایش به وجود نیاید. به‌هرحال فرسایش پدیده‌ای دائمی است و همیشه وجود خواهد داشت، ولی درصورتی‌که میزان آن کمتر از میزان خاک تشکیل‌شده باشد، بحرانی نیست. فرسایش نه تنها سبب

---

1. Water Erosion Prediction Project (پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی)

۲. نرم‌افزاری که برای اجرای مدل WEPP طراحی‌شده است و با استفاده از آن می‌توان فرسایش، رسوب و رواناب را به صورت سال‌های متوالی و یا برای یک رگبار برآورد نمود.

3. Erosion Potential Method (مدل پتانسیل فرسایش)

4. Erosion

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.18869/acadpub.geores.32.2.93]

فقیر شدن خاک و متروک شدن مزارع می‌گردد و از این راه خسارت زیاد و جبران‌ناپذیری به‌جا می‌گذارد، بلکه با رسوب مواد در آبراهه‌ها، مخازن، سدها، بنادر و کاهش ظرفیت آبگیری آن‌ها نیز زیان‌های فراوانی را سبب می‌گردد؛ بنابراین نباید مسئله حفاظت و حراست خاک را کوچک و کم‌اهمیت شمرد. امروزه حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش از ضروری‌ترین اقدامات هر کشور می‌باشد (رفاهی، ۱۳۸۸: ۱۰ و ۱۳). یکی از مواردی که از طریق آن می‌توان به مبارزه با فرسایش پرداخت، انجام مطالعات فرسایش خاک و ارزیابی کمّی و کیفی آن با استفاده از مدل‌های مختلف می‌باشد. با توجه به اینکه در این پژوهش برای برآورد فرسایش و رسوب از مدل‌های WEPP، EPM و Fournier استفاده می‌شود؛ لذا به بررسی پیشینه در داخل کشور و در مقیاس جهانی پیرامون مدل‌های فوق و در حوضه‌های مختلف می‌پردازیم.

محققان و نویسندگان خارجی پژوهش‌هایی به شرح زیر به انجام رسانده‌اند: فانتی و وزولی[1] (۲۰۰۷) برای محاسبه پتانسیل رسوب ورودی به دو دلتای برجیا و جورجیو ۲ در ایتالیا از روابط تجربی عددی و مدل EPM استفاده نمودند. نتایج پژوهش بیانگر دقیق بودن و برتری داشتن مدل EPM نسبت به روابط تجربی عددی در مناطق مورد مطالعه بود. پاندئی و همکاران[2] (۲۰۰۸) از مدل WEPP برای بررسی فرسایش و رسوب حوضه‌هایی در هند استفاده نمودند. نتایج نشان داد که رسوب برآورد شده با مقادیر ارائه‌شده به وسیله مدل، دارای همبستگی بسیار بالایی می‌باشد. میلوسکی[3] (۲۰۰۸) خطر فرسایش خاک حوضه آبخیز برجالنیکا ۵، در جمهوری مقدونیه را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، روش EPM و ابزار GIS بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که GIS ابزاری ارزشمند برای پیش‌بینی و تخمین خطر احتمالی فرسایش خاک می‌باشد. شن و همکاران[4] (۲۰۰۹) میزان فرسایش خاک حوضه آبخیز ژانگ‌جیاچونگ را با دو مدل WEPP و SWAT مورد بررسی قراردادند. نتایج نشان داد که مدل WEPP نسبت به مدل SWAT نتایج بهتری از برآورد فرسایش خاک به دست می‌دهد. تازیولی[5] (۲۰۰۹) از مدل EPM برای برآورد رسوب در یک حوضه آبخیز استفاده کرد. نتایج حاصل از پژوهش بیانگر مناسب بودن مدل برای منطقه مورد مطالعه بود. سینگ و همکاران[6] (۲۰۱۱) مقدار رسوب و رواناب یک حوضه آبخیز در هیمالیای شرقی هند با استفاده از مدل WEPP شبیه‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که مدل WEPP می‌تواند برای توسعه دادن شیوه‌های مدیریتی در شرایط بارندگی زیاد و شیب زیاد در هیمالیای شرقی مورد استفاده قرار گیرد. دفرشا و همکاران[7] (۲۰۱۲) به بررسی پتانسیل رسوب و جریان رواناب حوضه رودخانه مارا واقع در کنیا با مدل‌های WEPP و EROSION 3D پرداختند. نتایج پژوهش بیانگر مفید بودن هر دو مدل در مقیاس حوضه آبخیز بود.

برخی از پژوهش‌هایی که در داخل کشور به انجام رسیده است، به شرح زیر می‌باشد: رامشت و همکاران (۱۳۸۳) توان رسوب‌دهی حوضه آبخیز رودخانه بشار (واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد) را با استفاده از روش Fournier و با دو شیوه تحلیلی «آماری» و «نقطه‌ای-ترسیمی» مورد بررسی قراردادند. نتایج نشان داد که روش نقطه‌ای-ترسیمی نتیجه قابل‌قبول‌تری نسبت به روش آماری ارائه داده است. ارجمند راد (۱۳۸۵) فرسایش آبی حوضه آبخیز رامه گرمسار را با استفاده از سه روش ژئومورفولوژی، Fournier و MPSIAC بررسی نمودند و به این نتیجه رسیده‌اند که روش ژئومورفولوژی، روش مناسب‌تری برای برآورد فرسایش منطقه مورد مطالعه می‌باشد. احمدی و همکاران (۱۳۸۶) میزان فرسایش و رسوب حوضه آبخیز بارارید نیشابور را با سه روش موجود در مدل WEPP یعنی روش‌های دامنه، حوضه آبخیز و مسیرهای جریان برآورد نموده و میزان رسوب برآورد شده با این سه روش به ترتیب ۸/۲۵، ۴/۰۸ و ۱۴/۲۴ تن در هکتار در سال برآورد نمودند. مقدار رسوب مشاهده‌ای ۱۱/۲

1. Fantti & Vezzoli
2. Pandey et al.
3. Milevski
4. Shen et al.
5. Tazioli
6. Singh et al.
7. Defersha et al.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-11]

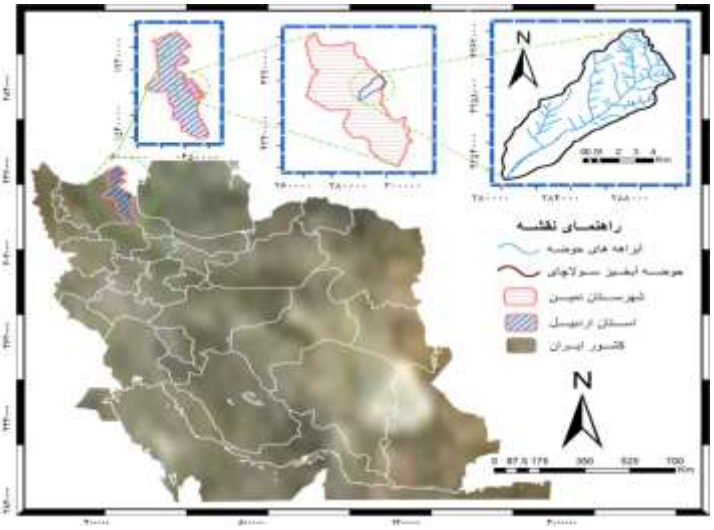
[DOI: 10.18869/acadpub.geores.32.2.93]

تن در هکتار در سال محاسبه‌شده بود، بنابراین به این نتیجه رسیدند که دو روش دامنه و مسیرهای جریان به عدد رسوب مشاهده‌ای نزدیک‌تر بوده و روش‌هایی مناسب برای برآورد فرسایش و رسوب منطقه مورد مطالعه می‌باشند. بهرامی و رحیمی (۱۳۸۷) حجم رسوب ناشی از فرسایش حوضه آبخیز رودخانه کرد شیخ را با استفاده از روش Fournier و ابزار GIS برآورد نمودند، در نتیجه مقدار رسوب ۲۰۷/۹۱ تن در کیلومترمربع در سال به دست آمد. صادق زاده ریحان (۱۳۸۹) فرسایش و رسوب اراضی مارنی منطقه خواجه تبریز را با استفاده از مدل WEPP شبیه‌سازی نمودند و به این نتیجه رسیدند که این مدل برای برآورد فرسایش و رسوب در منطقه مورد مطالعه مناسب می‌باشد. محسنی و همکاران (۱۳۹۰) میزان دقت و کارایی مدل‌های EPM، MPSIAC، ژئومورفولوژی و هیدرو فیزیکی را در برآورد فرسایش و رسوب حوضه کسیلیان استان مازندران ارزیابی نمودند و به این نتیجه رسیدند که مدل ژئومورفولوژی نسبت به سه مدل دیگر مناسب‌ترین مدل با دقت و کارایی قابل‌ملاحظه می‌باشد. عابدینی و همکاران (۱۳۹۲) میزان فرسایش و رسوب حوضه آبخیز مشگین‌چای اردبیل را با روش EPM برآورد نمودند. نتایج حاصل از پژوهش نشان‌دهنده فرسایش خیلی شدید در منطقه مورد مطالعه بود.

در حوضه آبخیز سولاچای، عواملی مانند توسعه بی‌رویه اراضی دیم، شخم‌زنی غیراصولی (در جهت شیب)، چرای بیش‌ازحد دام، بهره‌برداری بیش‌ازحد خاک جهت کشاورزی و ایجاد شبکه ارتباطی باعث افزایش و تشدید فرسایش خاک شده است؛ لذا انجام مطالعات فرسایش خاک و رسوب در منطقه مورد مطالعه ضرورت دارد. بررسی منابع نشان داد که تاکنون پژوهشی پیرامون برآورد و بررسی فرسایش خاک و تولید رسوب در منطقه مورد مطالعه انجام‌نشده است. هدف از این پژوهش، بررسی و برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب حوضه آبخیز سولاچای با استفاده از مدل‌های WEPP، EPM و Fournier و تکنیک GIS می‌باشد.

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز سولاچای، با مساحت ۴۳/۸۵ کیلومترمربع در استان اردبیل، شرق شهرستان نمین و در بالادست روستای سولا واقع‌شده است. این حوضه در بین طول‌های جغرافیایی″۵۰′۲۹ °۴۸ تا″ ۴۷ ′۳۳ °۴۸ شرقی و عرض‌های جغرافیایی″۱۴′۲۳ °۳۸ تا″۴۳′۴۱ °۳۸ شمالی قرارگرفته و نقطه خروجی آن منتهی به ایستگاه هیدرومتری سولا می‌باشد. متوسط ارتفاع حوضه ۱۵۴۹/۶۳ متر از سطح دریای آزاد است. شیب متوسط حوضه، ۱۴/۹۱ درصد می‌باشد. میانگین بارندگی و درجه حرارت سالانه در آن به ترتیب ۳۳۷/۷۸ میلی‌متر و ۸/۴۲ درجه سانتی‌گراد است. شکل ۱، نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز سولاچای را در شهرستان نمین، استان اردبیل و کشور ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز سولاچای

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.18869/acadpub.geores.32.2.93]

مواد و روش پژوهش

داده‌ها و ابزار موردنیاز که در جریان پژوهش مورد استفاده قرار گرفت، عبارتند از: ۱- نقشه توپوگرافی مناطق اردبیل و حیران با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برای مشخص نمودن مرز محدوده مورد مطالعه، تهیه نقشه‌های موضوعی، نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، نقشه شیب و نقشه جهت شیب. ۲- نقشه زمین‌شناسی مناطق اردبیل و آستارا با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، جهت تهیه نقشه سازندهای حوضه و تعیین ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش در مدل EPM. ۳- نقشه واحدهای ارضی استان اردبیل با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، جهت تعیین وضعیت خاک‌شناسی حوضه و هم‌چنین ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش در مدل.EPM ۴- داده‌های هیدرولوژی (دبی و رسوب: طی یک دوره آماری ۱۳ ساله) از سازمان آب منطقه‌ای شهرستان اردبیل برای تهیه نمودار سنجه-رسوب و محاسبه رسوب مشاهده‌ای حوضه. ۵- داده‌های اقلیمی (دما و بارش) از اداره هواشناسی و سازمان آب منطقه‌ای شهرستان اردبیل برای محاسبه میانگین بارندگی پرباران‌ترین ماه سال و میانگین بارندگی سالانه در مدل Fournier (طی یک دوره آماری ۲۰ ساله) و محاسبه پارامترهای موردنیاز فایل اقلیم در مدل WEPP (طی یک دوره آماری ۱۰ ساله). ۶- نرم‌افزار ArcGIS برای رقومی سازی نقشه‌های استفاده‌شده و ارتباط با نرم‌افزار GeoWEPP. ۷- نرم‌افزار GeoWEPP برای ساختن فایل‌های موردنیاز مدل WEPP و ارتباط با نرم‌افزار ArcGIS. ۸- نرم‌افزار CLIGEN برای ساختن فایل اقلیم. ۹- نرم‌افزار Excel و SPSS جهت انجام تحلیل‌های آماری. ۱۰- نرم‌افزار Google Earth، جهت تهیه نقشه‌های سیمای فرسایش و کاربری اراضی منطقه. ۱۱- وسایل موردنیاز برای تشریح پروفیل خاک و برداشت خصوصیات پوشش گیاهی (مثل پلات، قیچی، متر، بیلچه و اسیدکلریدریک رقیق). ۱۲- دستگاه GPS، به‌منظور مشخص نمودن موقعیت دقیق خروجی حوضه، کنترل مختصات قسمت‌های مختلف حوضه و ثبت نقاط نمونه‌برداری خاک. ۱۴- مدل‌های WEPP، EPM و Fournier جهت برآورد فرسایش و رسوب منطقه مورد مطالعه.

هدف اصلی این پژوهش، برآورد فرسایش خاک و میزان رسوب‌دهی حوضه آبخیز سولاچای با سه مدل WEPP، EPM و Fournier و تکنیک GIS می‌باشد؛ لذا با توجه به ماهیت موضوع پژوهش، روش آن به صورت مورفومتری، کارهای میدانی، تجربی و آزمایشگاهی می‌باشد.

چنانچه ذکر شد برای برآورد فرسایش و رسوب منطقه مورد مطالعه از سه مدل WEPP، EPM و Fournier استفاده شد. روش اجرای مدل WEPP به این صورت بود که بعد از گردآوری و آماده‌سازی نقشه‌ها و اطلاعات و هم‌چنین کارهای صحرایی موردنیاز جهت اجرای مدل، در مرحله اول اقدام به ساختن فایل‌های موردنیاز مدل، در فرمت‌های موردنیاز نرم‌افزار GeoWEPP شد. سپس فایل‌های ساخته‌شده را وارد نرم‌افزار شده و نرم‌افزار برای منطقه مورد مطالعه اجرا شد. درنهایت مقدار فرسایش و رسوب تولیدشده محاسبه گردید. روش اجرای مدل EPM نیز به این صورت بود که بعد از گردآوری نقشه‌ها و اطلاعات و هم‌چنین کارهای صحرایی موردنیاز جهت اجرای مدل، در مرحله اول اقدام به تعیین ضرایب مدل و تهیه نقشه آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS گردید. سپس نقشه ضرایب در معادله مربوط به شدت فرسایش جایگذاری و در نتیجه نقشه شدت فرسایش تهیه و ازنظر کیفی طبقه‌بندی شد. در مرحله بعد متوسط فرسایش ویژه، دبی رسوب ویژه و رسوب کل با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و نقشه شدت فرسایش منطقه محاسبه گردید. روش اجرای مدل Fournier نیز به این صورت بود که عوامل موردنیاز مدل شامل: میانگین بارندگی پرباران‌ترین ماه سال، میانگین بارندگی سالانه، ارتفاع متوسط و شیب متوسط حوضه محاسبه و در روابط مربوط به آن جایگذاری شد، درنهایت مقدار رسوب ویژه محاسبه گردید.

یافته‌های پژوهش

برآورد فرسایش و رسوب با مدل WEPP

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.18869/acadpub.geores.32.2.93]

مدل WEPP، یک تکنولوژی جدید پیش‌بینی فرسایش است که برای اولین بار در سال ۱۹۸۵ توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا پایه‌گذاری شده است (رفاهی، ۱۳۸۸: ۳۵۳). این مدل دارای سه روش حوضه آبخیز، دامنه و مسیرهای جریان می‌باشد. میزان فرسایش خاک و تولید رسوب درروش حوضه آبخیز، در دامنه‌ها و آبراهه‌ها، درروش دامنه، در دامنه و درروش مسیرهای جریان نیز در دامنه برآورد می‌شود. درروش اخیر میزان فرسایش و رسوب‌گذاری در آبراهه‌ها برآورد نمی‌شود و آبراهه تنها انتقال‌دهنده رسوب ورودی می‌باشد.

عوامل موردنیاز مدل WEPP عبارتند از: توپوگرافی، خاک، اقلیم، مدیریت و آبراهه. برای عامل توپوگرافی دو عامل شیب و جهت شیب در نظر گرفته و برای ورود اطلاعات آن‌ها به داخل مدل از نرم‌افزار GeoWEPP استفاده می‌شود. عامل شیب در دو فایل وارد شد: یکی در فایل شیب که شیب دامنه و دیگری فایل آبراهه که شیب آبراهه در آن وارد شد. اطلاعات شیب به وسیله نقشه مدل رقومی ارتفاع (به فرمت GISASCII) و به صورت پروفیل طولی وارد نرم‌افزار شد؛ بنابراین برای این کار ابتدا مسیر آبراهه‌ها را مشخص و مقطع مناسبی برای هر دامنه درروی نقشه توپوگرافی انتخاب و سپس به کمک نرم‌افزار ArcGIS اقدام به‌رسم پروفیل مربوطه گردید. درنهایت اعداد به‌دست‌آمده در جدول موجود در فایل شیب وارد شد.

برای عامل خاک مواردی مانند درصد رس، درصد ماسه، درصد سنگریزه، درصد مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، بافت خاک، جریان هیدرولیکی مؤثر، تنش برشی بحرانی، فرسایش‌پذیری شیاری، فرسایش‌پذیری بین‌شیاری، درصد سطح اشباع اولیه و درصد آلبیدو در نمونه‌های خاک مورد بررسی قرارگرفته است. تنش برشی بحرانی یک مقدار آستانه است که کمتر از آن جدایش شیاری اتفاق نمی‌افتد. این پارامتر نیز بسته به درصد ماسه، برای تخمین آن دو معادله ارائه شده است؛ بنابراین در خاک‌های زراعی با ۳۰٪ یا بیشتر ماسه از رابطه ۱ و در خاک‌های با کمتر از ۳۰٪ ماسه از رابطه ۲، برای محاسبه این پارامتر استفاده می‌شود.

$$TAUC = 2.67 + 0.065 * Clay – 0.058 * VFS \quad (۱)$$

که در آن، VFS: درصد ماسه (شن) خیلی ریز و Clay: درصد رس در خاک سطحی می‌باشد که نباید مقدار آن‌ها از ۴۰٪ تجاوز نماید. چنانچه مقدار آن‌ها از ۴۰٪ بیشتر شد، در معادلات همان ۴۰٪ در نظر گرفته می‌شود.

$$TAUC = 3.5 \quad (۲)$$

در خاک‌های مرتعی، تنش برشی بحرانی از طریق رابطه ۳، به دست می‌آید:

$$TAUC = 3.23 – 0.056* Sand – 0.244 * Orgmat + 0.9 * BDdry \quad (۳)$$

که در آن، Sand: درصد ماسه، Orgmat: درصد مواد آلی و BDdry: جرم مخصوص ظاهری خاک خشک برحسب کیلوگرم در مترمکعب می‌باشد. جریان هیدرولیکی مؤثر نیز بسته به درصد رس دو فرمول برای تخمین آن ارائه شده است؛ بنابراین در خاک‌های با ۴۰٪ رس یا کمتر از آن از رابطه ۴ و در خاک‌های با بیش از ۴۰٪ رس از رابطه ۵ برای محاسبه این پارامتر استفاده می‌شود.

$$Ke = - 0.265 + 0.0086 * Sand 1.8 + 11.46 * CEC^{(-0.75)} \quad (۴)$$

$$Ke = 0.0066^{(244 / Clay)} \quad (۵)$$

که در آن‌ها، Sand: درصد ماسه، Clay: درصد رس و CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی برحسب میلی‌اکی والان در ۱۰۰ گرم خاک می‌باشد (رفاهی، ۱۳۸۸: ۳۶۵). جداول ۱ و ۲، به ترتیب نتایج آزمایشات انجام‌شده و عوامل محاسبه‌شده برای فایل خاک در حوضه آبخیز سولاچای را نشان می‌دهند. اطلاعات مربوط به فایل اقلیم به علت این‌که منطقه فاقد ایستگاه هواشناسی بود، از ایستگاه تبخیرسنجی و باران‌سنجی نمین (که به لحاظ توپوگرافی و موقعیت جغرافیایی نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه بود)، با طول جغرافیایی ″۰۳ ′۲۸ °۴۸ شرقی و عرض جغرافیایی ″۵۱ ′۲۴ °۳۸ شمالی و ارتفاع متوسط ۱۴۰۵ متر از سطح دریا به دست آمد. پارامترهای موردنیاز برای فایل اقلیم عبارتند از: متوسط بارندگی ماهانه، انحراف معیار بارندگی، ضریب چولگی بارندگی، احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز مرطوب، احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز خشک، میانگین دمای حداقل، انحراف معیار

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.18869/acadpub.geores.32.2.93]

دمای حداقل، میانگین دمای حداکثر و انحراف معیار دمای حداکثر. جدول ۳، نتایج حاصل از محاسبات پارامترهای اقلیمی موردنیاز فایل اقلیم در حوضه آبخیز سولاچای را نشان می‌دهد.

جدول ۱- آزمایشات انجام‌شده برای فایل خاک در حوضه آبخیز سولاچای

زیر حوضه‌ها	عمق افق خاک (میلی‌متر)	ماسه (٪)	رس (٪)	مواد آلی (٪)	ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک)	سنگریزه (٪)
۱	۳۰۰	۴۴	۳۶/۳۰	۱	۳۶/۹۰	۱
	۵۰۰	۴۵/۲۶	۳۷/۸۹	۰/۹	۳۶/۷۹	۱/۳
	۳۵۰	۵۵/۸۰	۲۱/۳۱	۰/۹	۳۷/۹۴	۱
۲	۵۲۰	۵۷/۱۰	۲۲/۱۵	۰/۷	۳۷/۸۵	۱/۲
	۶۳۰	۵۹/۰۸	۲۳/۶۹	۰/۵۳	۳۷/۷۱	۱/۴
۳	۲۰۰	۴۹/۷۵	۳۸/۴۵	۰/۶	۲۴	۱
	۳۰۰	۵۱/۹۵	۳۹/۶۹	۰/۴۳	۲۳/۹۱	۱/۱
۴	۴۰۰	۴۲/۳۲	۱۰/۵۰	۰/۳	۱۵/۹۲	۱
	۶۰۰	۴۳/۵۵	۱۱/۴۹	۰/۱۶	۱۵/۶۵	۱/۲
۵	۱۵۰	۱۱/۲۴	۸۵/۲۰	۰/۱	۵۶/۳۰	۱/۵
	۲۰۰	۱۲/۹۱	۵۹/۴۷	۰/۰۳	۵۶/۱۹	۲/۴
۶	۲۰۰	۵۲/۰۷	۳۴/۲۳	۱	۲۷/۲۸	۱/۵

جدول ۲- عوامل محاسبه‌شده برای فایل خاک در حوضه آبخیز سولاچای

بافت	A	B	C	D	E	F	زیر حوضه‌ها
رسی شنی	۰/۵	۳/۶	۰/۰۰۲۱	۷۵۹۰۰۵۱	۴	۰/۷۳	۱
لوم رسی شنی	۰/۵	۳/۴	۰/۰۰۳۵	۵۱۶۷۶۷۰	۵/۷	۰/۴۳	۲
رسی شنی	۰/۸	۳/۹	۰/۰۰۲۱	۷۰۰۰۳۰۴	۳/۴۱	۰/۳۵	۳
لومی	۱/۲	۱/۰۹	۰/۰۰۱۷	۹۸۳۵۷۰۰	۳/۴۶	۰/۱۳	۴
رسی	۰	۳/۵	۰/۰۰۰۸	۲۷۷۵۴۱۸	۵/۸۲	۰/۰۲	۵
لوم رسی شنی	۰/۷	۴/۳	۰/۰۰۰۱۲	۴۵۶۰۶۳۴	۹/۸۹	۰/۸۱	۶

راهنمای جدول ۲: A: جریان هیدرولیکی مؤثر (mm/hr)، B: تنش برشی بحرانی (n/m^2)، C: فرسایش‌پذیری شیاری (s/m)، D: فرسایش-پذیری بین‌شیاری برحسب کیلوگرم در ثانیه در متر به توان ۴، E: سطح اشباع اولیه برحسب درصد و F: آلبیدو برحسب درصد.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.18869/acadpub.geores.32.2.93]

جدول ۳- عوامل محاسبه‌شده برای فایل اقلیم در حوضه آبخیز سولاچای (دوره آماری ۱۰ ساله، ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۸)

پارامترها	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
A	۰/۹۳	۰/۸۵	۱/۲۴	۱/۶۶	۱/۴۴	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۱۷	۰/۴۹	۱/۰۸	۱/۲۳	۰/۹۵
B	۰/۷۴	۰/۴	۰/۷۹	۰/۷۶	۰/۹۶	۰/۳۶	۰/۵۲	۰/۱	۰/۵۲	۰/۹۸	۰/۶۹	۰/۵۴
C	۰/۹۶	۰/۳۱	۱/۲۵	۰/۶۹	۱/۱۸	۱/۲	۱/۶۹	۰/۰۷۵	۱/۳	۰/۷۱	۰/۱۵	۰/۵۲
D	۰/۳	۰/۲۲	۰/۴۲	۰/۵۴	۰/۴۹	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۳۳	۰/۲۳	۰/۴۳	۰/۳۵	۰/۳۶
E	۰/۱۵	۰/۲۱	۰/۲	۰/۲۹	۰/۲۳	۰/۱۱	۰/۱	۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۷
F	۲۲/۰۱	۲۳/۶۸	۳۰/۳۲	۳۵/۹	۴۲/۹	۴۸/۵	۵۴/۵۳	۵۶/۴۶	۵۳/۴۷	۴۷/۷۳	۳۷/۲۵	۲۷/۸۹
G	۶/۸۲	۴/۷۳	۳/۷۷	۳/۷۳	۲/۳۳	۱/۳	۱/۴	۱/۴۹	۱/۸۴	۲/۶۳	۲/۵۵	۴/۶۷
H	۴۱/۸۴	۴۳/۸۴	۵۲/۲۶	۵۹/۰۱	۶۵/۷۳	۷۲/۷۵	۷۵/۱۴	۷۸/۲	۷۴/۵۷	۶۹/۷۱	۵۸/۱۹	۴۷/۲۸
Q	۵/۷	۴/۰۸	۵/۳۵	۵/۲۸	۳/۴۶	۲/۷۱	۲/۲۸	۲/۴۲	۱/۷۵	۳/۸۴	۳/۹۹	۶/۳۳

راهنمای جدول ۳: A: متوسط بارندگی ماهانه به اینچ، B: انحراف معیار بارندگی (ماهانه)، C: ضریب چولگی بارندگی (ماهانه)، D: احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز مرطوب، E: احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز خشک، F: میانگین دمای حداقل (فارنهایت)، G: انحراف معیار دمای حداقل، H: میانگین دمای حداکثر (فارنهایت) و Q: انحراف معیار دمای حداکثر.

فایل مدیریت و پوشش گیاهی نیز شامل مجموعه‌ای از شیوه‌های مدیریتی و خصوصیات گیاه و روش‌های خاک‌ورزی مورد استفاده در منطقه می‌باشد. برای ساختن این فایل اطلاعات مربوط به سه پنجره مدیریت و اعمال انجام‌شده بر روی زمین، شرایط ابتدایی و خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی گیاهان غالب تکمیل شد. اعمال انجام‌شده بر روی زمین شامل مواردی از قبیل کشت روی خطوط تراز، چرا، زهکشی، آبیاری و ... می‌باشد که اطلاعات مربوط به هریک از این اعمال و زمان انجام آن‌ها در پنجره مربوط به آن وارد شد. منظور از شرایط ابتدایی، وضعیت پارامترهای ورودی در اول ژانویه است که برخی از این اطلاعات عبارتند از: تراکم حجمی خاک خشک، تاج‌پوشش، جمع بارندگی، جرم کل ریشه مرده. خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی گیاهان غالب مواردی از قبیل ضریب تاج‌پوشش، ضریب ارتفاع تاج‌پوشش، نسبت انرژی به بیوماس، قطر ساقه گیاه در بلوغ و بردباری گیاه به خشکی می‌باشد.

فایل آبراهه شامل اطلاعاتی از قبیل خاک آبراهه، شیب آبراهه، مدیریت آبراهه و نوع آبراهه است. سه بخش اول همانند قبل عمل شد و برای تعیین نوع آبراهه یکسری اطلاعات شامل شکل آبراهه، شیب اصطکاک، نوع بخش کنترلی در خروجی آبراهه (در صورت وجود) و شیب کناره در پنجره مربوط به آن وارد شد.

پس از تهیه و ورود اطلاعات فایل‌های فوق در نرم‌افزار، شبکه آبراهه‌ها و دامنه‌های منتهی به هر آبراهه به وسیله نرم‌افزار GeoWEPP تهیه شد و مدل WEPP از طریق این نرم‌افزار اجرا شد. درنهایت مقدار فرسایش و رسوب به دست آمد. جدول ۴، نتایج حاصل از برآورد فرسایش و رسوب با مدل WEPP در حوضه آبخیز سولاچای را نشان می‌دهد.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.18869/acadpub.geores.32.2.93]

جدول ٤- برآورد فرسایش و رسوب با مدل WEPP در حوضه آبخیز سولاچای

پارامتر (واحد)	روش‌های موجود در مدل WEPP		
	حوضه آبخیز	مسیرهای جریان	دامنه
رسوب ویژه (t/ha/year)	۰/۱۷۸	۰/۷۸۵	۰/۲۱۳
رسوب کل (t/ year)	۶۹۲/۵۸	۳۰۵۴/۳۵	۸۲۸/۷۶
فرسایش ویژه (t/ha/year)	۰/۲۳	۱/۰۰۸۹	۰/۲۵۳
فرسایش کل (t /year)	۸۹۴/۹	۳۹۲۵/۵	۹۸۴/۳۹

برآورد فرسایش و رسوب با مدل EPM

مدل EPM، برای اولین بار در سال ۱۹۵۲ برای بررسی شدت فرسایش خاک در کشور یوگسلاوی سابق، در مؤسسه Jaroslav cerni مورد استفاده قرارگرفته است (احمدی، ۱۳۹۰: ۵۴۵). برآورد مقدار رسوب تولیدشده با استفاده از مدل فوق، طی دو مرحله شامل: ۱. تعیین ضریب شدت فرسایش و طبقه‌بندی کیفی آن ۲. محاسبه رسوب حمل شده صورت گرفت.

جهت تعیین ضریب شدت فرسایش حوضه، نقشه ضرایب فرسایش حوضه، استفاده از زمین و حساسیت سنگ و خاک و هم‌چنین شیب متوسط حوضه تعیین و با محاسبه وزنی مقدار متوسط ضرایب به دست آمد. جدول ۵، متوسط ضرایب مدل EPM در حوضه آبخیز سولاچای را نشان می‌دهد. پس از تعیین ضرایب چهارگانه و جایگذاری نقشه ضرایب در رابطه ۶، نقشه ضریب شدت فرسایش به دست آمد. شکل ۲، نقشه ضریب شدت فرسایش حوضه آبخیز سولاچای و طبقه‌بندی کیفی آن با مدل EPM را نشان می‌دهد.

$$Z = Y.\ X_a\ (\psi + I^{0.5}) \qquad (۶)$$

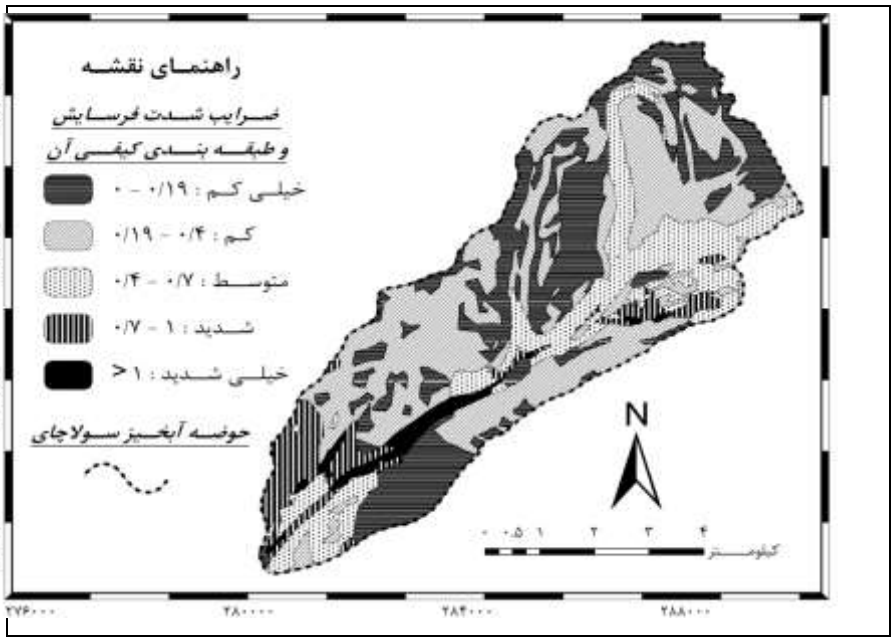
جدول ۵- متوسط ضرایب مدل EPM در حوضه آبخیز سولاچای

پارامترها	متوسط ضریب فرسایش	متوسط ضریب استفاده از زمین	متوسط ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش	شیب متوسط (درصد)	متوسط ضریب شدت فرسایش
ضرایب	۰/۶	۰/۵	۰/۵	۱۴/۹۶	۰/۳۴

منبع: (نگارندگان)

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.18869/acadpub.geores.32.2.93]



شکل ۲- نقشه ضریب شدت فرسایش حوضه آبخیز سولاچای و طبقه‌بندی کیفی آن با مدل EPM

در مرحله بعد متوسط سالانه فرسایش ویژه، دبی رسوب ویژه و رسوب کل حوضه برآورد شد. جهت برآورد متوسط سالانه فرسایش ویژه، از رابطه ۷، استفاده شد که در آن W_{SP}: مقدار فرسایش برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع، H: متوسط بارندگی سالیانه حوضه برحسب میلی‌متر، T: ضریب درجه حرارت که از رابطه ۸، به دست می‌آید و در این رابطه t: متوسط درجه حرارت سالیانه حوضه برحسب درجه سانتی‌گراد، Z: ضریب شدت فرسایش و Pi: ۳/۱۴ می‌باشد (احمدی، ۱۳۹۰: ۵۴۹).

$$W_{SP} = T. H .Z^{1.5}. P \quad (۷)$$

$$T = (t/10 + 0.1)^{0.5} \quad (۸)$$

مقدار W_{SP} محاسبه‌شده در رابطه فوق بیان‌کننده مقدار خاکی است که از بستر خود جداشده و انتقال‌یافته است، اما همه این مواد فرسایش یافته به خروجی حوضه نمی‌رسد و آن مقدار خاک فرسایش یافته که به رسوب خروجی تبدیل خواهد شد بستگی به متغیرهای مختلفی دارد که درواقع بر ضریب رسوب‌دهی حوضه تأثیر می‌گذارد (قنبر زاده، غلامرضایی، ۱۳۸۸: ۱۹۷).

ضریب رسوب‌دهی حوضه یا ضریب نگهداشت مواد فرسایش یافته، معین می‌نماید که چه میزان مواد رسوبی از نقطه خروجی خارج می‌شود و مقدار آن از رابطه ۹، حاصل شد که در آن R_u: ضریب رسوب‌دهی حوضه، L: طول حوضه به کیلومتر، P: محیط حوضه به کیلومتر و D: اختلاف ارتفاع برحسب کیلومتر می‌باشد که از رابطه ۱۰، به دست آمد. در این رابطه D_{av}: ارتفاع متوسط حوضه آبخیز و $D_{\circ}$: ارتفاع نقطه خروجی رودخانه می‌باشد (رفاهی، ۱۳۸۸: ۳۱۲).

$$R_u = 4(P * D)^{0.5} / L + 10 \quad (۹)$$

$$D = D_{av} - D_{\circ} \quad (۱۰)$$

دبی رسوب ویژه حوضه آبخیز از رابطه ۱۱، به دست آمد که در آن G_{sp}: رسوب ویژه برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع، W_{sp}: فرسایش ویژه برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع و R_u: ضریب رسوب‌دهی حوضه آبخیز می‌باشد.

$$G_{sp} = W_{sp}. R_u \quad (۱۱)$$

مقدار رسوب کل حوضه از رابطه ۱۲، به دست آمد که در آن G_S: رسوب کل برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع، G_{SP}: رسوب ویژه برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع و A: مساحت حوضه آبخیز برحسب کیلومترمربع می‌باشد (احمدی، ۱۳۹۰: ۵۵۱، ۵۵۰).

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.18869/acadpub.geores.32.2.93]

$$G_S = G_{SP}. A \quad (۱۲)$$

جدول ۶، عوامل محاسبه‌شده برای برآورد فرسایش و رسوب و جدول ۷، نتایج حاصل از برآورد فرسایش و رسوب با مدل EPM در حوضه آبخیز سولاچای را نشان می‌دهد.

جدول ٦- عوامل محاسبه‌شده برای برآورد فرسایش و رسوب با مدل EPM در حوضه آبخیز سولاچای

عوامل	مقادیر	عوامل	مقادیر
متوسط بارندگی سالانه (H) میلی‌متر	۳۳۷/۷۸	ارتفاع متوسط حوضه آبخیز (D_{av}) به متر	۱۵۴۹/۶۳
متوسط دمای سالانه (t) °C	۸/۴۲	ارتفاع نقطه خروجی رودخانه (D) به متر	۱۳۲۹
ضریب درجه حرارت (T)	۰/۹۱	اختلاف ارتفاع (D) به کیلومتر	۰/۲۲
متوسط ضریب شدت فرسایش (Z)	۰/۳۴	مساحت حوضه آبخیز (A) به کیلومترمربع	۴۳/۸۵
طول حوضه (L) به کیلومتر	۱۳/۳۵	ضریب رسوب‌دهی حوضه (R_u)	۰/۴۵
محیط حوضه (P) به کیلومتر	۳۲/۹۸		

منبع: (نگارندگان)

جدول ۷- برآورد فرسایش و رسوب با مدل EPM در حوضه آبخیز سولاچای

متوسط سالانه فرسایش ویژه (WSP)	متوسط دبی رسوب ویژه (Gsp)	رسوب کل حوضه (GS)	پارامترها واحدها
۲۱۷/۳۵	۹۷/۴۲	۴۲۷۱/۸۴	(m3/km2/year)
۷/۴۳	۳/۳۳	۱۴۶/۱۲	(ton/km2/year)
۳۲۶/۰۲	۱۴۶/۱۳	۶۴۰۷/۸۰	(ton/year)
۰/۰۷۴	۰/۰۳۳	۱/۴۶	(ton/ha/year)

منبع: (نگارندگان)

برآورد فرسایش و رسوب با مدل Fournier

فورنیه در سال ۱۹۶۰ این مدل را در ۷۸ حوضه آبخیز مناطق خشک و نیمه‌خشک کشورهای تونس و الجزایر آزمایش نمود و برای برآورد رسوب رابطه ۱۳ را پیشنهاد کرده است:

$$\text{Log } Q_s = 2.65 \log P_w^2 / P_a + 0.46 \log H (\tan S) - 1.56 \quad (۱۳)$$

که در آن، Q_s: رسوب ویژه برحسب تن در کیلومترمربع در سال، P_w: میانگین بارندگی پرباران‌ترین ماه هرسال به میلی‌متر در طی دوره آماری، P_a: میانگین بارندگی سالانه به میلی‌متر در طی دوره آماری، H: ارتفاع متوسط حوضه برحسب متر و S: شیب متوسط حوضه برحسب درجه می‌باشد (رفاهی، ۱۳۸۸: ۳۱۴). جدول ۸، عوامل محاسبه‌شده برای مدل Fournier و جدول ۹، نتایج حاصل از برآورد رسوب با مدل Fournier در حوضه آبخیز سولاچای را نشان می‌دهد.

جدول ۸- عوامل محاسبه‌شده برای مدل Fournier در حوضه آبخیز سولاچای

عوامل مدل Fournier (واحد)	میانگین بارندگی پرباران‌ترین ماه سال (میلی‌متر)	میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر)	ارتفاع متوسط حوضه (متر)	شیب متوسط حوضه (درجه)
مقادیر	۷۹/۱۵	۳۳۷/۷۸	۱۵۴۹/۶۳	۸/۳۱

منبع: (نگارندگان)

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.18869/acadpub.geores.32.2.93]

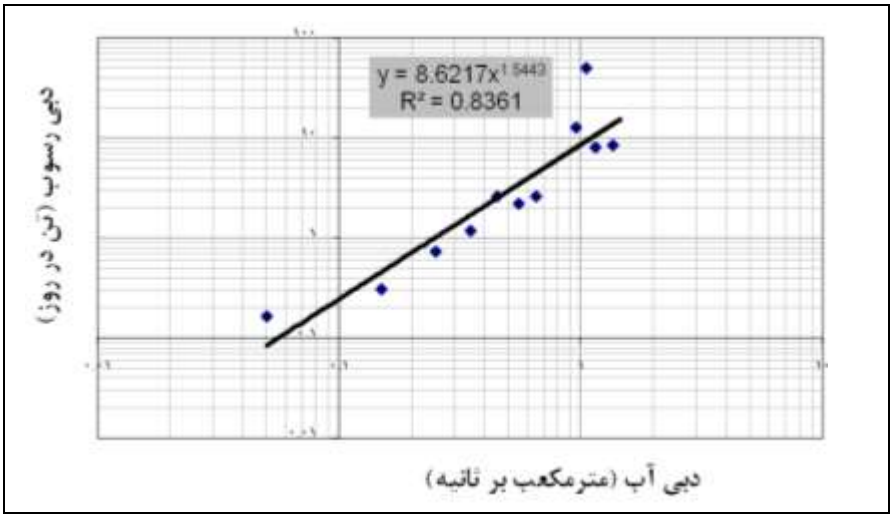
جدول ۹- برآورد رسوب با مدل Fournier در حوضه آبخیز سولاچای

پارامترها	واحدها	برآورد رسوب با مدل Fournier
رسوب ویژه (Q_s)	($ton/km^2/year$)	۱۰۲/۳۳
	(ton/ha/year)	۱/۰۲
رسوب کل	(ton/year)	۴۴۸۷/۱۷

منبع: (نگارندگان)

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش برآورد و ارزیابی میزان فرسایش خاک و تولید رسوب سالانه حوضه آبخیز سولاچای با استفاده از مدل‌های WEPP، EPM و Fournier می‌باشد؛ بنابراین فرسایش و رسوب منطقه مورد مطالعه برآورد گردید. برای بررسی صحت پیش‌بینی‌های انجام‌شده به وسیله مدل‌های فوق یکی از مناسب‌ترین روش‌ها این است که به کمک آمار مشاهده‌ای یک محدوده قابل‌قبول برای اعداد پیش‌بینی‌شده تعیین شود. چنانچه عدد برآورد شده در این محدوده قرار گرفت، صحت پیش‌بینی در محدوده اطمینان تعیین‌شده می‌باشد. برای صحت‌سنجی رسوب از آمار نمونه‌برداری بار معلق ایستگاه هیدرومتری سولا که تنها ایستگاه موجود در منطقه بود (طی دوره آماری ۱۳ ساله)، استفاده شد. اطلاعات ایستگاه هیدرومتری سولا شامل دو فایل اطلاعات دبی شامل برداشت‌های روزانه صورت‌گرفته از دبی رودخانه برحسب مترمکعب بر ثانیه و اطلاعات رسوب مربوط به برداشت‌های موردی بار معلق برحسب میلی‌گرم بر لیتر بود. برای محاسبه رسوب تولیدشده رودخانه (رسوب مشاهده‌ای) باید رسوب معلق و رسوب بستر موجود در رودخانه محاسبه شوند. برای ترسیم نمودار دبی و رسوب از روش متوسط دسته‌ها با ضریب FAO اصلاح‌شده استفاده گردید. در این روش ابتدا دبی‌های موردی برداشت‌شده به دسته‌های مختلف تقسیم‌شده و سپس در هر دسته متوسط دبی و رسوب محاسبه شد. شکل ۳، نمودار سنجه-رسوب حوضه آبخیز سولاچای را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمودار سنجه-رسوب حوضه آبخیز سولاچای

با توجه به نمودار سنجه-رسوب (شکل ۳) رابطه میان دبی و رسوب در حوضه آبخیز سولاچای به صورت رابطه ۱۴، محاسبه گردید:

$$Q_s = 8.6217*Q_w^{1.5443} \quad (۱۴)$$

که در آن Q_s: رسوب برحسب تن در روز و Q_w: دبی برحسب مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. با استفاده از رابطه ۹ و اطلاعات روزانه برداشت‌شده دبی، رسوب معلق تولیدی (مشاهده‌ای) در روزهای مختلف محاسبه گردید؛ بنابراین در جدول ۱۰، مقدار

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.18869/acadpub.geores.32.2.93]

رسوب مشاهده‌ای برآورد شده برای منطقه مورد مطالعه و هم‌چنین نتایج مدل‌های استفاده‌شده در جریان پژوهش، جهت مقایسه با رسوب مشاهده‌ای ارائه شده است.

جدول ۱۰- مقایسه آمار مشاهده‌ای رسوب با مقادیر برآورد شده با مدل‌های WEPP، EPM و Fournier در حوضه آبخیز سولاچای

نوع پارامتر	روش‌های موجود در مدل WEPP			مدل EPM	مدل Fournier	رسوب مشاهده‌ای
	حوضه آبخیز	مسیرهای جریان	دامنه			
رسوب ویژه (t/ha/year)	۰/۱۷۸	۰/۷۸۵	۰/۲۱۳	۰/۰۳۳	۱/۰۲	۰/۲۴۱
رسوب کل (t/ year)	۶۹۲/۵۸	۳۰۵۴/۳۵	۸۲۸/۷۶	۶۴۰۷/۸۰	۴۴۸۷/۱۷	۱۰۲۳

منبع: (نگارندگان)

همان‌طور که در جدول ۱۰، مشاهده می‌کنید مقدار رسوب مشاهده‌ای ۰/۲۴۱ و مقدار رسوب ویژه برآورد شده به وسیله روش‌های موجود در مدل WEPP، یعنی حوضه آبخیز، مسیرهای جریان و دامنه به ترتیب برابر با ۰/۱۷۸، ۰/۷۸۵ و ۰/۲۱۳ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج حاصل از مقایسه روش‌های موجود در مدل WEPP با رسوب مشاهده‌ای بیانگر این است که از میان این سه روش، روش‌های دامنه و حوضه آبخیز به مقدار رسوب مشاهده‌ای نزدیک‌تر بوده و نسبت به روش مسیرهای جریان نتایج قابل‌قبول‌تری را ارائه داده‌اند؛ اما روش مسیرهای جریان به دلیل اختلاف زیاد با رسوب مشاهده‌ای، روشی مناسب برای برآورد میزان فرسایش و رسوب منطقه مورد مطالعه نمی‌باشد. مقدار رسوب ویژه برآورد شده با استفاده از دو مدل EPM و Fournier نیز به ترتیب ۰/۰۳۳ و ۱/۰۲ تن در هکتار در سال برآورد گردید که این مقادیر اختلاف زیادی با رسوب مشاهده‌ای دارند و این بیانگر عدم کارایی دو مدل ذکر شده می‌باشد. درمجموع نتیجه می‌گیریم که مدل WEPP نسبت به مدل‌های EPM و Fournier از کارایی بالاتری در برآورد فرسایش خاک و میزان رسوب‌دهی حوضه آبخیز سولاچای برخوردار است. اگر مقدار رسوب برآورد شده در حوضه آبخیز سولاچای را با رسوب برآورد شده در دیگر حوضه‌های آبخیز کشور مقایسه نماییم، به این نتیجه می‌رسیم که مقدار فرسایش و رسوب منطقه مورد مطالعه بسیار ناچیز می‌باشد که دلایل آن را می‌توان شیب کم، ارتفاع کم، پوشش گیاهی غنی، بارندگی کم و ... در منطقه مورد مطالعه دانست.

منابع و مأخذ

۱. احمدی، حسن (۱۳۹۰)، ژئومورفولوژی کاربردی (فرسایش آبی)، جلد اول، تهران، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ هفتم.

۲. احمدی، حسن، جعفری، محمد، گلکاریان، علی، ابریشم، الهام‌السادات، لافلن، جان (۱۳۶۸)، برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل WEPP (مطالعه موردی در حوضه باراریه نیشابور)، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۵، صص ۱۷۲-۱۶۲.

۳. ارجمند راد، مهدی (۱۳۸۵)، بررسی فرسایش آبی با استفاده از سه روش ژئومورفولوژی، FOURNIER و MPSIAC در حوضه آبخیز رامه گرمسار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات.

۴. بهرامی، محمد، رحیمی، علی (۱۳۸۷)، برآورد حجم رسوب ناشی از فرسایش در حوضه آبریز رودخانه کرد شیخ به روش‌های تجربی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، سال چهارم، شماره ۲، صص ۸۹-۸۲

۵. رامشت، محمدحسین، کیارسی علیجانی، فرینوش، گندمکار، اصغر (۱۳۸۳)، تخمین توان رسوب‌دهی سیستم‌های آبی با روش فورنیه و بالابردن کارایی آن در سیستم‌های «نقطه‌ای-ترسیمی»، نشریه رشد آموزش جغرافیا، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش‌وپرورش، شماره ۶۷، صص ۳۴-۳۹.

۶. رفاهی، حسینقلی (۱۳۸۸)، فرسایش آبی و کنترل آن، تهران، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ ششم.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.18869/acadpub.geores.32.2.93]

۷. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۸۲)، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ اردبیل (۱)، سری K 753، برگ 5666 I.

۸. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۸۲)، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ حیران، سری K 753، برگ 5766 IV.

۹. سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۶)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اردبیل.

۱۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۶)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آستارا.

۱۱. صادق زاده ریحان، محمدابراهیم (۱۳۸۹)، مطالعه روند فرسایش و رسوب با استفاده از شبیه‌سازی مدل فرآیندی WEPP در اراضی مارنی خواجه تبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.

۱۲. ضیائی، حجت‌الله (۱۳۸۰)، اصول مهندسی آبخیزداری، مشهد، دانشگاه امام رضا (ع). چاپ اول.

۱۳. عابدینی، موسی، شبرنگ، شنو، اسمعلی، اباذر (۱۳۹۲)، بررسی میزان فرسایش خاک و رسوب‌دهی در حوضه آبخیز مشکین‌چای به روش EPM، فصلنامه جغرافیا و توسعه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، سال یازدهم، شماره ۳۰، صص ۸۷-۱۰۰.

۱۴. قنبرزاده، هادی، غلامرضائی، محمدرضا (۱۳۸۶)، برآورد پتانسیل فرسایش و رسوب با استفاده از مدل EPM در حوضه آبریز اره‌کمر فریمان به کمک GIS، مجله علوم جغرافیایی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، شماره ۷ و ۸، صص ۲۰۶- ۱۸۷.

۱۵. محسنی، بهروز، قدوسی، جمال، احمدی، حسن، طهماسبی، رمضان (۱۳۹۰)، ارزیابی دقت و کارآیی مدل‌های EPM، MPSIAC، ژئومورفولوژی و هیدرو فیزیکی در برآورد فرسایش و رسوب (حوضه معرف کسیلیان استان مازندران)، مجله جغرافیا و توسعه، ویژه‌نامه مخاطرات محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، شماره ۲۲، صص ۱۲۷- ۱۰۷.

16. Defersha, M. B., Melesse, A. M., Mcclain, M. E. (2012), Watershed scale application of WEPP and EROSION 3D models for assessment of potential sediment source areas and runoff flux in the Mara River Basin, Kenya. Catena, 95, pp. 63-72.

17. Fanetti, D., Vezzoli, L. (2007), Sediment input and evolution of lacustrine deltas The Breggia and Greggio rivers case (Lake Como Italy). Quaternary International, No. 173-174, pp. 113-124.

18. Milevski, I. (2008), Estimation of soil erosion risk in the upper part of Bregalnica watershed-republic of Macedonia, Based on digital elevation model and satellite imagery. 5th International Conference on Geographic Information Systems (ICGIS-), pp. 351-358.

19. Pandey, A., Chowdary, V. M., Mal, B. C., Billib, M. (2009), Runoff and sediment yield modeling from a small agricultural watershed in India using the WEPP model, Journal of Hydrology, 348, pp. 305-319.

20. Shen, Z. Y., Gong, Y. W., Li, Y. H., Hong, Q., Xu, L., Liu, R. M. (2009), A comparison of WEPP and SWAT for modeling soil erosion of the Zhangjiachong Watershed in the Three Gorges Reservior Area. Agricultural Water Management, 96, pp. 1435-1442.

21. Singh, R. K., Panda, R. K., Satapathy, k. k., Ngachan, S. V. (2011), Simulation of runoff and sediment yield from a hilly watershed in the eastern Himalaya India using the WEPP model, Journal of Hydrology, 405, pp. 261-276.

22. Tazioli, A. (2009), Evaluation of erosion in equipped basins, preliminary results of a comparison between the Gavrilovic model and direct measurements of sediment transport. Environ Geol, Vol. 56, pp. 825-831.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.18869/acadpub.geores.32.2.93]