

## ارزیابی مدل WEPP در برآورد میزان فرسایش و رسوب در اراضی مارنی منطقه خواجه

محمدابراهیم صادق‌زاده ریحان\* - کارشناس ارشد، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی  
جمشید یاراحمدی - مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۷/۲۰      تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۳/۲۵

### چکیده

نقش فرسایش خاک، در تولید رسوب و پُر شدن مخازن سدها، از اهمیت جهانی برخوردار است. از آنجا که بسیاری از حوضه‌های آبخیز در اکثر کشورها، از جمله ایران، فاقد ایستگاه‌های رسوب‌سنجی هستند، بنابراین باید در چنین مناطقی برای برآورد فرسایش و رسوب از مدل‌سازی استفاده شود. منطقه مورد مطالعه، ایستگاه‌های حفاظت خاک مرکز تحقیقات کشاورزی آذربایجان شرقی است که از سازندهای مارنی تشکیل شده است. برای برآورد فرسایش و رسوب، منطقه مورد مطالعه به سه زیرحوضه تقسیم شد و هر زیرحوضه تحت مدیریت متفاوت حفاظت خاک قرار گرفت و در خروجی آنها، میزان فرسایش و رسوب به صورت مستقیم اندازه‌گیری شد. برای ارائه تصویر مناسبی از توزیع مکانی مقادیر تلفات خاک در سطح منطقه و همچنین بررسی تأثیر روش‌های مختلف مدیریتی در کاهش هدررفت خاک و نهشته‌گذاری آن، از مدل ویپ با به‌کارگیری برنامه ژئویپ استفاده شده است. نتایج این مدل در قالب نقشه‌های تلفات خاک و مکان‌های ترسیب در محیط GIS ارائه شده است. ارزیابی کارایی مدل مذکور از طریق مقایسه مقادیر کمی رسوب مشاهداتی با مقادیر برآوردی صورت گرفته است. نتایج شبیه‌سازی مدل در محل خروجی هر زیرحوضه، به ترتیب مقادیر ۲۳/۲، ۲۱/۳ و ۶/۵ تن در هکتار گزارش شده است؛ در حالی که مقادیر مشاهداتی در این مناطق، به ترتیب ۲۰/۲، ۱۸/۷ و ۴/۸ تن در هکتار بوده است. از سوی دیگر مکان‌های نهشته‌گذاری در سطح حوضه، مطابقت کاملاً مناسبی با محل‌های سازه‌های مکانیکی (کنتور باند و کنتور ترنج‌ها) نشان داد. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل WEPP کارایی خوبی در شبیه‌سازی فرسایش و رسوب دارد؛ به طوری که مقایسه آماری نتایج به‌دست‌آمده از این روش با نتایج آزمون t نرم‌افزار STATGRAPHICS بین داده‌های مشاهده‌ای، در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معناداری دیده نشد.

کلیدواژه‌ها: فرسایش، رسوب، مدیریت حوضه، ایستگاه خواجه، سازند مارن، ویپ.

## مقدمه

فرسایش فرایندی است که در آن، ذرات خاک به‌وسیله عوامل فرساینده از بستر اصلی خود جدا شده و به‌کمک یکی از عوامل انتقال‌دهنده به مکان دیگری حمل می‌شود. چنانچه عامل جداکننده ذرات باد و یخچال باشد، به‌ترتیب فرسایش بادی و یخچالی نامیده می‌شود. فرسایش آبی، به‌دلیل مدیریت نامناسب زمین، تخریب پوشش گیاهی و عدم کنترل جریان آب انجام می‌گیرد و سبب ایجاد رواناب سطحی و انتقال خاک می‌شود که از اثرات خارجی این پدیده، می‌توان رسوب در سدها و آبراهه‌ها، سیل و آلودگی آب را نام برد (امیدوار، ۱۳۸۹: ۲۸۸).

فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن، امروزه یکی از مهم‌ترین مشکلات محیطی به‌شمار می‌رود (ایکوان و همکاران، ۲۰۰۹). فرسایش خاک یک مشکل جهانی است که به‌طور جدی منابع آب و خاک را تهدید کرده و در اراضی کشاورزی، یک مشکل زیست محیطی جهانی شناخته می‌شود (گیانق دنج و همکاران، ۲۰۰۸). به‌طور کلی باید گفت که نوع بهره‌برداری از زمین و فرسایش رابطه نزدیکی با یکدیگر دارد (مولینا و همکاران، ۲۰۰۷) و چنانچه استفاده نامعقولی از زمین به‌عمل آید، میزان فرسایش به‌شدت افزایش می‌یابد (صادقی و همکاران، ۱۳۸۷).

نرخ سالانه فرسایش خاک در ایران ۳۳ تن در هکتار گزارش شده که ۶/۵ برابر حد مجاز و استانداردهای بین‌المللی است (حسینی و قربانی، ۱۳۸۴). به گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۰۵، خسارت ناشی از فرسایش خاک ایران در سال ۲۰۰۲ برابر با ۲۸۴۰ میلیون دلار برآورد شده که این رقم ۲/۵ درصد از کل درآمد ناخالص<sup>۱</sup> ایران در این سال است؛ این در حالی است که بانک جهانی در سال ۲۰۰۳، هزینه‌های سالانه فرسایش خاک را در کشور مالاوی ۴/۸ درصد و بورکینافاسو ۸/۸ درصد از کل درآمد ناخالصی این کشورها گزارش کرد. میزان فرسایش خاک در منطقه آسیا، آفریقا و آمریکای جنوبی، سالانه ۳۰-۴۰ تن در هکتار، آمریکا و اروپا ۱۳-۱۷ تن در هکتار و ایران ۳۰-۳۵ تن در هکتار است. میانگین فرسایش در ایران حدود ۴/۳ برابر متوسط فرسایش در جهان است (امیدوار، ۱۳۸۹: ۲۸۸).

مدیریت پایدار خاک و استفاده از شیوه‌های صحیح مدیریتی، برای حفاظت محیط زیست و کاهش آثار مخرب برون‌حوضه‌ای فرسایش خاک و تحقق کشاورزی پایدار، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (اسدی و همکاران، ۱۳۸۴: ۲۳۵-۲۳۷) و اهمیت این موضوع سبب شده است تا برای بررسی تأثیر شیوه‌های مدیریتی مختلف بر خصوصیات خاک، از مدل‌ها و فناوری‌های نوین استفاده شود.

در دهه‌های اخیر بررسی فرسایش تشدید شده، به‌دلیل پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی و اقتصادی، هدررفت منابع خاک و اثرات سوء بر کشاورزی پایدار و مدیریت اراضی، اهمیت بسیاری یافته است. مطالعات پیش‌بینی شدت فرسایش خاک، به‌منظور برنامه‌ریزی تعیین کاربری اراضی و حفاظت خاک، بررسی خطرات فرسایش و ارزیابی اثرات تغییر کاربری‌ها اهمیت شایانی دارد (کرک و نیسری، ۲۰۰۶ و رز و همکاران، ۱۹۹۷).

مطالعات بسیاری از پژوهشگران نشان می‌دهد که معمولاً، برآورد کمی میزان فرسایش با استفاده از اغلب مدل‌های تجربی در کشورهایی که شرایط اقلیمی آنها با شرایط اقلیمی منطقه‌ای که مدل‌ها در آنجا توسعه یافته‌اند، مشابه نبوده و با خطای زیادی همراه است. در منابع گزارش شده که میزان فرسایش برآورد شده این روش‌ها گاهی چهار تا پنج برابر بیشتر یا کمتر از میزان واقعی رسوب محاسبه شده است (روحی‌پور، ۱۳۸۰: ۶۴-۶۹). طی این دهه، روند پیش‌بینی فرسایش به سوی مدل‌هایی بوده است که بیشتر بر فرایندهای فیزیکی متمرکز شده‌اند. این نوع مدل‌ها، پتانسیل بیشتری برای برون‌یابی داده‌های مبنایی مورد استفاده داشته (رز و همکاران، ۱۹۹۷) و نحوه انتقال رسوب را با دقت بیشتری شبیه‌سازی می‌کنند (راکلات و ربرگل، ۲۰۰۶).

در سال ۱۹۹۷ رز و همکارانش اشاره کردند که یکی از دلایل توسعه مدل‌های با مبنای فیزیکی این است که عوامل و پارامترهای مورد استفاده در مدل‌های با مبنای فیزیکی، معانی فیزیکی مشخصی داشته و به نحوی با ویژگی‌های خاک و رواناب ارتباط دارند. شاخص‌های مورد استفاده، معمولاً با انجام حداقل آزمایش‌ها و بدون ایجاد کرت‌های استاندارد که در معادله جهانی فرسایش خاک مرسوم است، اندازه‌گیری می‌شوند. بنابراین با کاربرد این‌گونه مدل‌ها می‌توان، حتی برای یک واقعه و رگبارش منفرد نیز، میزان فرسایش و رسوب حاصله را برآورد کرد. دو نظریه متفاوت در تعیین مدل‌های فرایندی در زمینه نحوه فرسایش آبی و ترسیب ذرات جدا شده وجود دارد. دیدگاه اول براساس ظرفیت حمل رسوب است (مریت و همکاران، ۲۰۰۳)؛ یعنی ته‌نشست رسوب، تنها زمانی رخ می‌دهد که بار رسوب از گنجایش حمل بیشتر باشد. نظریه گنجایش حمل نقش اساسی در ابداع مدل‌های فرسایش و ته‌نشست، از جمله WEPP<sup>۱</sup> ایفا می‌کند (فوستر و همکاران، ۱۹۹۵). دیدگاه دوم در مدل فرسایش و ترسیب، بر اساس نظریه همزمانی این دو فرایند است. در مدل‌هایی که بر اساس این دیدگاه یا نظریه استوار هستند، فرایند جدا شدن ذرات از بستر خاک و ترسیب، پویا و همزمان در نظر گرفته می‌شود. در این رابطه محققان مطالعاتی انجام داده‌اند. در سال ۱۹۹۵ ثوابی و همکارانش مدل WEPP را همراه GIS<sup>۲</sup> اجرا کردند.

در سال ۲۰۰۰ سیمون و گوآریجن با استفاده از برنامه EDI<sup>۳</sup> و بهره‌گیری از GIS، به برآورد فرسایش به کمک مدل WEPP اقدام کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که EDI واسط مؤثری برای GIS در محاسبه شدت فرسایش و مرجعی برای هر دو مدل USLE<sup>۴</sup> و WEPP است.

در سال ۲۰۰۲ اسپارووک و همکاران در کشور برزیل پژوهشی انجام دادند که هدف اصلی آن، ایجاد یک چارچوب مفهومی از وضعیت فرسایش و رسوب با بهره‌گیری از مدل WEPP و GIS بود. نتایج این پژوهش بیانگر کارایی WEPP و نیز معناداری اثرات افزایش جنگل‌ها بر افزایش میزان نگاهداشت رسوبات و کاهش میزان فرسایش بود.

1. Water Erosion Prediction Project  
 2. Geographic Information System  
 3. Erosion Database Interface(EDI)  
 4. Universal Soil Loss Equation

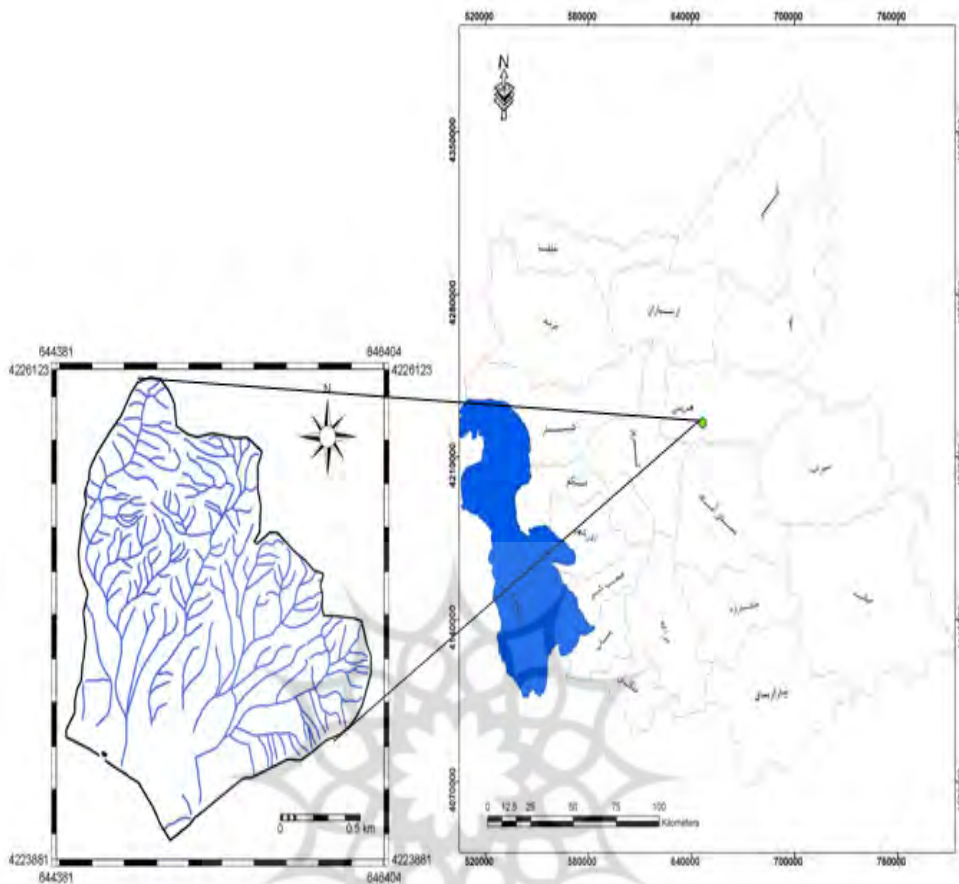
جفرسون (۲۰۰۳) در پژوهشی از مدل ویپ (WEPP) برای برآورد فرسایش و تأثیر شیوه‌های مدیریتی استفاده کرد. او نشان داد که اصولاً استفاده از مدل WEPP با روش GIS، به کاربران اجازه می‌دهد که در مدت زمان کمی، میزان آلودگی ناشی از وقوع فرسایش را از انواع مختلف روش‌های توسعه و مدیریت اراضی (مانند چراهای شدید) محاسبه کنند. در سال ۲۰۰۵، گوآریجن و همکاران با توجه به اهمیت بالای رواناب سطحی روی فرایندهای فرسایشی، از مدل ویپ و ابزار و روش‌های GIS، برای برآورد تأثیر رواناب روی فرایندهای فرسایشی استفاده کردند و نتایج مطلوبی گرفتند. نتایج آنها نشان داد که امکان بهره‌گیری از مدل ویپ برای شبیه‌سازی رواناب وجود دارد. همان‌گونه که اشاره شد، جلوگیری از فرسایش خاک یک امر ضروری است که باید در مدیریت حوضه‌های آبخیز به آن توجه زیادی شود و شاهد آن، به‌کارگیری و استفاده از مدل‌ها و روش‌های مختلف محققان است تا با تشخیص محدودیت‌ها و میزان آنها، راه‌های مناسب برای نگهداری منابع طبیعی بیندیشند.

با توجه به این مهم، پژوهش پیش رو با هدف شبیه‌سازی فرسایش و رسوب با استفاده از مدل فرایندی ویپ در اراضی مارنی خواجه انجام گرفته است. اراضی مارنی خواجه، از زیرحوضه‌های آبخیز آجی‌چای است که از سازندهای مارنی تشکیل شده و به فرسایش، به‌ویژه فرسایش آبی حساس است. همچنین با توجه به احداث سد شهید مدنی در این حوضه، برآورد دقیق فرسایش و رسوب در این منطقه، امری ضروری به نظر می‌رسید. بنابراین با توجه به توانایی مدل در شبیه‌سازی و همچنین تعیین مکان‌های تجمع - که مدل‌های تجربی دیگر این توانایی را ندارند - این منطقه برای بررسی فرسایش و رسوب، مورد آزمایش قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### ویژگی‌های کلی منطقه

ایستگاه تحقیقاتی خواجه در استان آذربایجان شرقی و در یکی از زیرحوضه‌های فرعی آبخیز آجی‌چای قرار دارد. ایستگاه خواجه در موقعیت جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. پهنه مذکور که در فاصله ۳۰ کیلومتری شمال شرق تبریز قرار دارد، از جنوب به رودخانه آجی‌چای و جاده ارتباطی اهر - تبریز و از سمت شرق، غرب و شمال به کوه‌های آیتاخلی محدود می‌شود. وسعت تقریبی منطقه ۲۵۰ هکتار بوده و ارتفاع متوسط آن ۱۵۵۰ متر است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه تحقیقاتی خواجه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه تحقیقاتی خواجه در استان آذربایجان شرقی

## روش پژوهش

در این پژوهش برای برآورد فرسایش و رسوب، از مدل فیزیکی ویپ استفاده شده است. از آنجاکه هدف این پژوهش، توزیع مکانی میزان تلفات خاک و شناسایی مناطق بحرانی همراه با ارائه مناطق انباشتگی رسوب تحت تأثیر عملیات مدیریتی است، بنابراین از مدل ترکیبی GIS و WEPP استفاده شده است که آن را مدل ژئوپپ (GeoWEPP) می‌گویند. برای این کار لایه‌های اطلاعاتی مختلفی متناسب با ورودی‌های مدل تهیه شده که در ادامه به‌اختصار بیان می‌شود.

## توپوگرافی

شبیه‌سازی وضعیت توپوگرافی منطقه با استفاده نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از طریق مدل TOPAZ موجود در برنامه ژئوپپ صورت گرفته است. برای این کار، ابتدا فرمت رقومی خطوط میزان با فاصله ۲۰ متری وارد نرم‌افزار شده و با به‌کارگیری مدل مذکور و استفاده از الگوریتم میان‌یابی<sup>۱</sup> مدل رقومی زمین (DEM)<sup>۱</sup> تهیه شد. در مرحله بعدی،

1. Interpolation

براساس ارتفاع پیکسل‌ها، نقشه جهت جریان آب<sup>۲</sup> و جریان تجمعی آن<sup>۳</sup>، شبکه هیدروگرافی منطقه تهیه شد. پس از تهیه شبکه هیدروگرافی، نوبت به واحدهای کاری یا هیل اسلوپ رسید. در این مدل، هیل اسلوپ یعنی مناطقی واقع در سمت چپ، سمت راست و بالادست آن آبراهه که در کل، واحد کاری تعریف می‌شود که در نهایت تحلیل‌های بعدی در سطح این واحدهای کاری انجام خواهند شد. گفتنی است که مدل رقومی ارتفاعی، با فرمت ASCII تهیه شده است که این کار با استفاده از امکانات موجود در برنامه ArcGIS 9.3 انجام گرفت.

### اقلیم

برای ساختن فایل اقلیم از نرم‌افزاری به نام کلیژن<sup>۴</sup> استفاده می‌شود. مهم‌ترین اطلاعات مورد نیاز برای اجرای کلیژن، بارندگی روزانه و درجه حرارت است. معیارهایی که برای عامل بارندگی در نظر گرفته می‌شود، متوسط بارندگی ماهانه، احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز مرطوب، احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز خشک و تعداد روزهای بارندگی است. معیارهای مورد استفاده برای محاسبه درجه حرارت نیز، متوسط دمای حداکثر ماهانه، متوسط دمای حداقل ماهانه، نقطه شبنم و مدت تابش خورشید است. تمام این موارد از داده‌های آماری ایستگاه هواشناسی کلیماتولوژی خواجه (۲۰۰۸-۲۰۰۱) دریافت شده و بعد از تبدیل آن به فرمت مورد نیاز برنامه کلیژن، مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۱). در هنگام اجرای برنامه، فایل ذخیره شده در مدل ویپ انتخاب و اجرا شد.

جدول ۱. خلاصه‌ای از داده‌های مربوط به هواشناسی منطقه

دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اگوست	جولای	ژوئن	م	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	
۱۶/۲	۲۲/۷	۲۴/۲	۳/۱	۴/۵	۱۳/۶	۷/۶	۴۷/۶	۶۴/۳	۲۰/۳	۱۷/۵	۲۰/۷	بارندگی
۵	۵	۴	۱	۲	۳	۲	۸	۱۰	۵	۶	۴	تعداد روز بارندگی
۴/۶	۱۲/۲۸	۲۱/۸۴	۳۰/۴	۳۲/۳	۳۲/۲	۱۹/۹	۲۴/۴۶	۱۹/۵۴	۱۴/۸۶	۵/۴۶	۱/۰۲	متوسط حداکثر دما
-۱۰	-۵/۷۳	۲/۳۵	۶/۶	۱۲/۵۵	۱۳/۱۹	۹/۱۳	۵	۱/۰۷	-۴/۵۱	-۱۳/۱	-۱۶/۴	متوسط حداقل دما
-۸/۹	-۳/۷	۰/۲۷	۳	۵/۹	۶/۶	۶/۶	۳/۴۱	۰/۸۹	-۳/۸	-۵/۱	-۹/۸	نقطه شبنم
۱۱۵/۴	۱۶۵	۲۳۱/۷	۲۹۷/۳	۳۱۴/۴	۳۳۳/۵	۳۴۳/۴	۲۶۹/۵	۱۹۰/۸	۱۸۹/۸	۱۳۹	۱۰۶/۴	ساعات آفتابی
۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۳	۰/۳۲	۰/۳	۰/۴۴	۰/۵	۰/۴	۰/۴۱	۰/۳۵	احتمال مرطوب
۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱	احتمال خشک

1. Digital Elevation Model (DEM)
2. Flow direction
3. Flow accumulation
4. Cligen

## ویژگی‌های خاک

در مدل WEPP خصوصیات خاک حداکثر تا عمق ۱/۸ متری بررسی می‌شود. طریقه برداشت و مطالعه پروفیل خاک به صورت افق‌های ژنتیکی است. شاخص‌های مورد نیاز این مدل عبارتند از: عمق هر افق، میزان رس و شن، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد سنگ و سنگ‌ریزه، آلبیدو، سطح اشباع اولیه خاک، فرسایش‌پذیری شیاری و بین شیاری، تنش برشی بحرانی و جریان هیدرولیکی مؤثر. اندازه‌گیری بافت خاک به روش هیدرومتر چهار قرائتی (جی و آر، ۲۰۰۲)، اندازه‌گیری کربن آلی به روش ترسوزانی (نلسون و سامرس، ۱۹۹۶)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات آمونیوم و درصد سنگ و سنگ‌ریزه به وسیله توزین، انجام گرفت. سطح اشباع اولیه خاک، فرسایش‌پذیری بین شیاری، فرسایش‌پذیری شیاری، تنش برشی بحرانی و جریان هیدرولیکی مؤثر با انتخاب فیلد مربوطه، به وسیله مدل برآورد شد. با توجه به اینکه گستره مطالعاتی از اراضی مرتعی به شمار می‌رود، ضریب آلبیدو ۰/۲۵ در نظر گرفته شد که در هنگام اجرای مدل عدد فوق وارد شد. برای مثال پارامترهای مورد نیاز خاک برای پروفیل شماره یک در جدول ۲ ارائه شده است.

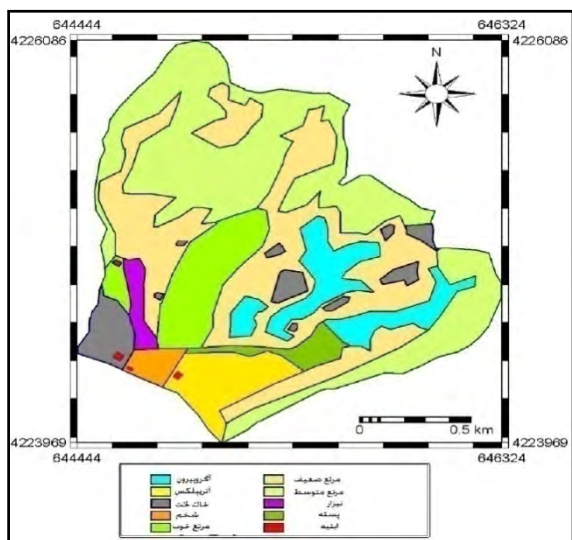
جدول ۲. نتایج آزمایش‌های پروفیل ۱

سطح اشباع اولیه		آلبیدو		بافت خاک	نام فایل
		۰/۲۵		لوم رسی	P1khajeh
درصد سنگ	ظرفیت تبادل کاتیونی (meq/100g)	درصد کربن آلی	درصد رس	درصد شن	عمق (سانتی‌متر)
۱	۱۹/۸	۰/۹۲	۳۹	۲۳	۱۶
۰	۱۸/۴	۰/۶۸	۳۳	۳۸	۳۳
۰	۱۶/۵	۰/۵۴	۳۸/۳	۱۲/۷	۶۱
۰	۱۹/۱	۰/۷۸	۴۲/۳	۹/۷	۱۰۰
۰	۱۶/۵	۰/۵۱	۴۳/۸	۱۰/۲	۱۴۰

## اطلاعات مدیریت

اطلاعات مربوط به مدیریت، اعمال انجام شده روی زمین است. برخی از این اطلاعات عبارتند از:

۱. کشت روی خطوط تراز، چرا، زهکشی، آبیاری و...؛
۲. شرایط ابتدایی - منظور از شرایط ابتدایی وضعیت پارامترهای ورودی در اول ژانویه است. برخی از این اطلاعات عبارتند از: تراکم حجمی خاک خشک، تاج پوشش، مجموع بارندگی، جرم کل ریشه‌های مرده...؛
۳. خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی گیاهان غالب - برخی از این اطلاعات عبارتند از ضریب تاج پوشش، ضریب ارتفاع تاج پوشش، نسبت انرژی به توده زنده گیاهی، قطر ساقه گیاه در زمان بلوغ، تحمل گیاه به خشکی. هریک از عوامل فوق با توجه به نوع مدیریت و پوشش گیاهی غالب، وارد فایل مربوطه شده و به نام آن مدیریت ذخیره می‌شود. همچنین در نرم‌افزار ژئوپپ برای دخالت‌دادن مدیریت، نقشه پوشش گیاهی نیز در محیط GIS تهیه و مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲).

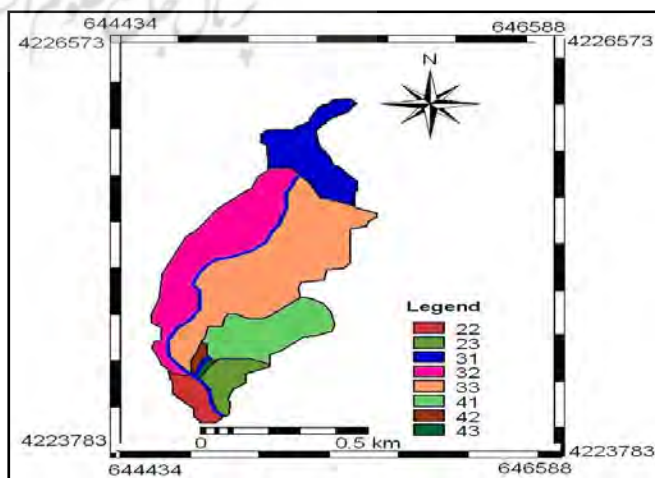


شکل ۲. نقشه پوشش گیاهی ایستگاه تحقیقاتی خواجه

## یافته‌های پژوهش

### تعیین واحدهای کاری

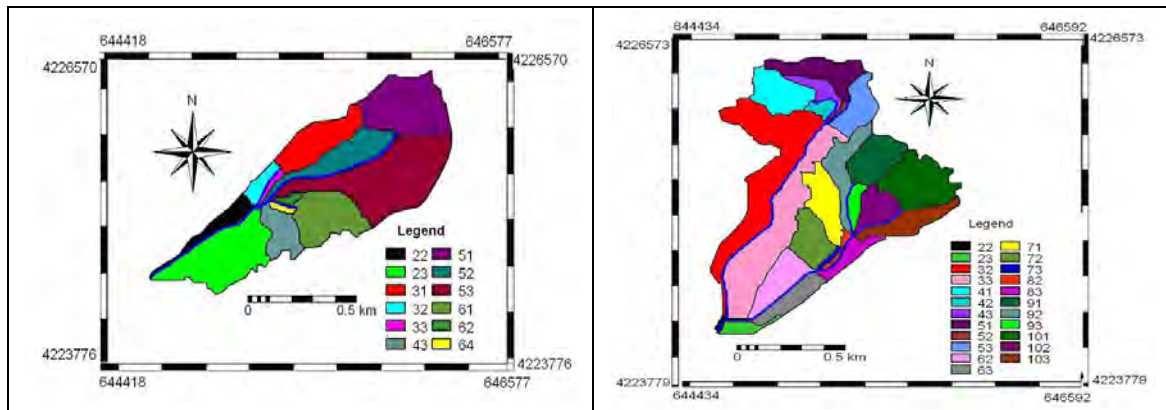
در مرحله نخست، مدل ژئوپپ براساس مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با استفاده از مدل توپاز شبکه هیدروگرافی منطقه تهیه شد تا براساس آن، در مرحله بعدی تعداد و موقعیت دامنه شیب برای هر یک از شبکه هیدروگرافی به تفکیک زیرحوضه‌ها تعیین شود. برای انجام آن، ابتدا محل هر یک از پارشال فلوم‌ها<sup>۱</sup> و اشل اندازه‌گیری، به‌عنوان خروجی<sup>۲</sup> زیرحوضه در محیط ژئوپپ تعیین شدند و در نهایت مدل، تعداد و موقعیت هر یک از هیل اسلپ‌ها را تا این محل مشخص کرد. اشکال ۳ تا ۵ تعداد و موقعیت مکانی هر یک از زیرحوضه‌ها و واحدهای کاری موجود در آنها را نشان داده است. اعداد درج شده در راهنمای نقشه‌ها برای هر کاربری، به‌صورت خودکار از طریق مدل ویپ تعیین می‌شود و تعریف آن بر اساس بالادست، سمت راست و سمت چپ دامنه آبراه است.



شکل ۳. موقعیت زیرحوضه اول در منطقه مورد مطالعه

1. Par shall flume  
2. Out Late





شکل ۵. موقعیت زیرحوضه سوم در محدوده مطالعاتی

شکل ۶. موقعیت زیرحوضه دوم در منطقه مورد مطالعه

در جدول ۳ نتایج شبیه‌سازی زیرحوضه اول به روش حوضه آبخیز<sup>۱</sup> با مدل ویپ آورده شده است. این مدل در هر دامنه شیب، مقدار رسوب، فرسایش و میزان رسوب‌های انباشته‌شده را به صورت جداگانه برآورد می‌کند. در این زیرحوضه، به‌وسعت ۴۱/۴ هکتار در هر سال، ۲۳/۲ تن در هر هکتار فرسایش ایجاد می‌شود. در خروجی این زیرحوضه برای اندازه‌گیری میزان رواناب و رسوب به صورت مشاهده‌ای، پارشال فلوم احداث شده بود و میزان فرسایش و رسوب مشاهده‌ای از پارشال فلوم ۲۰/۲ تن در هکتار بود.

جدول ۳. خلاصه نتایج شبیه‌سازی به روش حوضه آبخیز در زیرحوضه اول (پارشال فلوم)

ردیف	دامنه شیب	فرسایش خاک (تن در سال)	مقدار رسوب (تن در سال)	مساحت (هکتار)	فرسایش در واحد سطح	رسوب ویژه (تن در هکتار و سالانه)
۱	۲۳	۰	۰	۲/۱	۰	۰
۲	۲۲	۰	۰	۱/۴	۰	۰
۳	۳۱	۱۸/۹	۱۷/۳	۵/۴	۳/۵	۳/۲
۴	۳۲	۵۹/۶	۵۹/۴	۱۰/۱	۵/۹	۵/۹
۵	۳۳	۱۱۹/۱	۱۱۹/۷	۱۶/۱	۷/۴	۷/۴
۶	۴۱	۳۷/۱	۲۸/۹	۵/۸	۶/۴	۵
۷	۴۲	۰	۰	۰/۴	۰	۰
۸	۴۳	۰	۰	۰/۱	۰	۰
جمع		۲۳۵	۲۲۵/۳	۴۱/۴	۲۳/۲	۲۱/۵

جدول ۴ نتایج شبیه‌سازی به روش حوضه آبخیز با مدل ویپ را در زیرحوضه دوم نشان می‌دهد. در این جدول مقدار رسوب، فرسایش و میزان رسوب‌های انباشته‌شده برای هر دامنه شیب به صورت جداگانه آورده شده است. در روش حوضه

آبخیز با مدل ویپ، مقدار فرسایش خاک زیرحوضه دوم با پهنه ۹۴/۲ هکتار، سالانه ۲۱/۳ تن در هر هکتار به دست آمده است. میزان فرسایش خاک با روش مشاهده‌ای و نصب اشل که در قسمت سراب سازه‌های حفاظت خاک محاسبه شده بود، سالانه ۱۸/۷ تن در هکتار بوده است. در داخل این سازه‌ها هیچ‌گونه حفاظت خاک بیولوژیکی صورت نگرفته و فقط با احداث باندهایی فرسایش خاک بررسی می‌شده است. نزدیکی ارقام محاسبه‌شده در این زیرحوضه نیز، بیانگر دقت مدل ویپ در برآورد میزان فرسایش و رسوب است.

جدول ۴. نتایج شبیه‌سازی به‌روش حوضه آبخیز در زیرحوضه دوم یا میانی

ردیف	دامنه شیب	فرسایش خاک (تن در سال)	مقدار رسوب (تن در سال)	مساحت (هکتار)	فرسایش در واحد سطح	رسوب ویژه (تن در هکتار و سالانه)
۱	۲۳	۰	۰	۱/۲	۰	۰
۲	۲۲	۰	۰	۰/۲	۰	۰
۳	۳۲	۲/۸	۲/۸	۱۵/۹	۰/۲	۰/۲
۴	۳۳	۰	۰	۱۴/۸	۰	۰
۵	۴۱	۳۶/۱	۳۶/۱	۵/۲	۷	۷
۶	۴۳	۳/۴	۳/۴	۱/۷	۲	۲
۷	۴۲	۰	۰	۰/۹	۰	۰
۸	۵۱	۲۷/۳	۲/۷	۵/۱	۵/۴	۰/۵
۹	۵۳	۰	۰	۴	۰	۰
۱۰	۵۲	۰	۰	۰/۲	۰	۰
۱۱	۶۲	۰	۰	۴/۴	۰	۰
۱۲	۶۳	۰	۰	۳/۱	۰	۰
۱۳	۷۱	۰	۰	۵	۰	۰
۱۴	۷۲	۰	۰	۴/۲	۰	۰
۱۵	۷۳	۰	۰	۰/۲	۰	۰
۱۶	۸۲	۰	۰	۰/۵	۰	۰
۱۷	۸۳	۰	۰	۲	۰	۰
۱۸	۹۲	۲۳/۱	۲۳/۱	۴/۳	۵/۴	۵/۴
۱۹	۹۱	۴/۸	۳	۵	۱	۰/۶
۲۰	۹۳	۰	۰	۱/۲	۰	۰
۲۱	۱۰۱	۲/۱	۱/۸	۸	۰/۳	۰/۲
۲۲	۱۰۲	۰/۱	۰/۱	۳/۲	۰	۰
۲۳	۱۰۳	۰	۰	۳/۹	۰	۰
جمع		۹۹/۷	۷۳	۹۴/۲	۲۱/۳	۱۵/۹

در زیرحوضه سوم به‌منظور عملیات حفاظت از خاک، کنتورباندها و کنتورترنج‌های احداث شده در دامنه و دشت، کاشت نهال و بوته‌های مرتعی در بین سازه‌ها و همچنین چاله‌ها و بانکت‌های کوچک احداث شده، مانع ایجاد رواناب و رسوب به پایین دست شده است. برای اندازه‌گیری و مقایسه فرسایش در این زیرحوضه، اشل‌های اندازه‌گیری رسوب در

قسمت سراب کنتورها تعبیه شده است. پس از اندازه‌گیری رسوب‌های اطراف اشل در این زیرحوضه، میزان فرسایش سالانه ۴/۸ تن در هکتار محاسبه شده است. نتایج فرسایش و رسوب در دوازده دامنه شیب این زیرحوضه در جدول ۵ مشاهده می‌شود. گستره این زیرحوضه ۵۳/۹ هکتار است که سالانه از هر هکتار آن ۶/۵ تن خاک از بین می‌رود.

جدول ۵. نتایج شبیه‌سازی در زیرحوضه سوم یا کنتور

ردیف	دامنه شیب	فرسایش خاک (تن در سال)	مقدار رسوب (تن در سال)	مساحت (هکتار)	فرسایش در واحد سطح	رسوب ویژه (تن در هکتار و سالEانه)
۱	۲۲	۰	۰	۲/۲	۰	۰
۲	۲۳	۰/۱	۰/۱	۹/۱	۰	۰
۳	۳۱	۰	۰	۵	۰	۰
۴	۳۲	۰	۰	۱/۱	۰	۰
۵	۳۳	۰	۰	۰/۳	۰	۰
۶	۴۳	۰	۰	۳	۰	۰
۷	۵۱	۰	۰	۸/۴	۱/۲	۱/۲
۸	۵۲	۹/۸	۹/۸	۴/۷	۰	۰
۹	۵۳	۰/۱	۰/۱	۱۳/۷	۴/۲	۴/۲
۱۰	۶۱	۵۷	۵۷	۵/۷	۱/۱	۱/۱
۱۱	۶۲	۶/۳	۶/۳	۰/۴	۰	۰
۱۲	۶۴	۰	۰	۰/۳	۰	۰
	جمع	۷۳/۳	۷۳/۳	۵۴	۶/۵	۶/۵

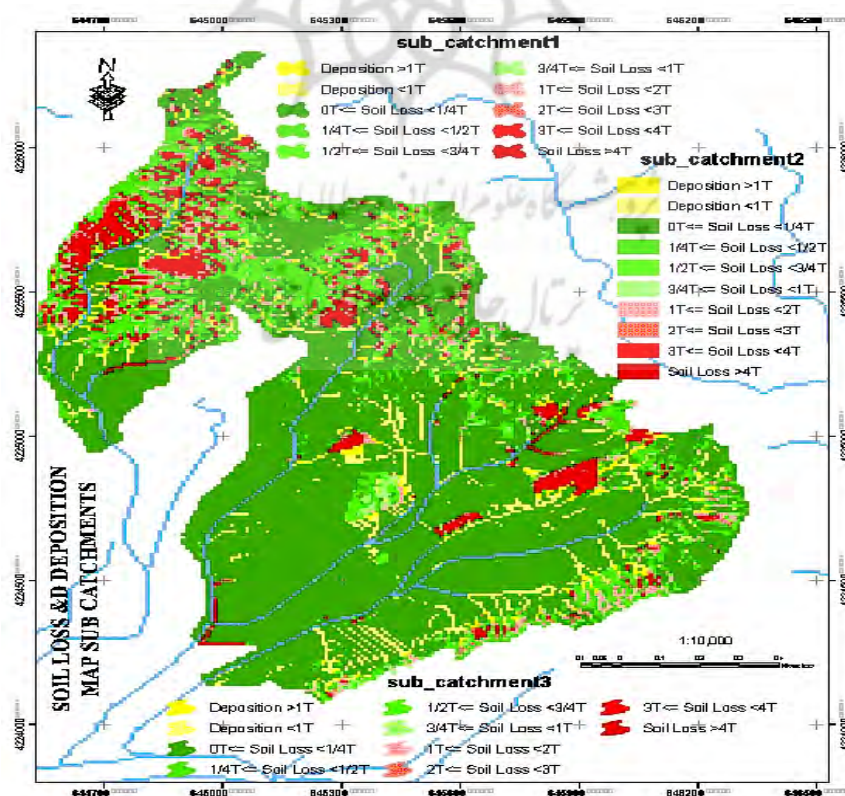
نتایج جداول ۳، ۴ و ۵ نشان داد در زیرحوضه اول که هیچ‌گونه عملیات حفاظت خاک در آن صورت نگرفته بود با وجود وسعت کم، در مجموع رسوب زیادی به وجود آمده است که در محاسبات مشاهده‌ای و برآورد با مدل، نتایج کمابیش مشابهی داشت. در زیرحوضه‌های دوم و سوم با وجود وسعت زیاد، به دلیل مبارزه مکانیکی و بیولوژیکی با فرسایش، در مجموع فرسایش کمتری انجام گرفته و رسوب‌ها در پشت سازه‌ها انباشته شده بودند که مدل ویپ مکان تجمعی آن را مطابق با محل‌های واقعی روی زمین نشان داد.

### شبیه‌سازی فرسایش و رسوب

با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی مانند نقشه‌های خاک، پوشش زمین (مدیریت)، اطلاعات اقلیمی و تنظیمات مربوطه و وارد کردن این اطلاعات در محیط نرم‌افزاری ژئوپ، شبیه‌سازی فرسایش و رسوب انجام گرفت. فرایند شبیه‌سازی در سطح منطقه و به تفکیک هر یک از زیرحوضه‌ها در قالب هیل اسلپ‌ها صورت گرفته است. این فرایند، شبیه‌سازی مدل ژئوپ به روش حوضه آبخیز بوده که در آن برای هر یک از واحدهای کاری، اطلاعات فیزیوگرافی و اقلیمی تنها در یک کلاس کاربری غالب، مورد استفاده مدل قرار گرفته و شبیه‌سازی در بازه زمانی مجاز (دوره بازگشت پنج‌ساله) صورت

می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی فرسایش و رسوب در سطح هریک از زیرحوضه‌ها و در قالب هر کدام از هیل اسلوب‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است. مقادیر کمی پارامترهای مرتبط با فرسایش و رسوب در سطح هر یک از زیرحوضه‌ها، در جداول ۳ تا ۵ ارائه شده است. مطابق اطلاعات موجود در شکل ۶، مناطقی که با رنگ زرد مشخص شده‌اند، مربوط به محل‌های انباشت رسوب بوده و مناطق قرمز رنگ نیز، تلفات خاک را نشان داده است که از دید هدررفت خاک، در مناطق بحرانی قرار دارند. همان‌طور که انتظار می‌رفت، مناطق بحرانی فرسایش خاک با مناطق پرشیب منطقه همخوانی دارند و این مناطق با توجه به نقشه پوشش سطح زمین، از نظر پوشش گیاهی در کلاس مراتع فقیر با برون‌زدهای سازندهای مارنی و آهکی قرار گرفته است. در مقابل مناطق انباشتگی رسوب، به‌خصوص در سطح زیرحوضه شماره ۳، تطابق کاملاً خوبی را با محل سازه‌های مکانیکی حفاظت خاک، مانند کنتوربانند و کنتورترنج و بانکت‌های هلالی بین سازه‌ها نشان می‌دهد، درحالی‌که این انباشتگی رسوب در زیرحوضه اول، به‌دلیل وجود موانع طبیعی مانند شرایط توپوگرافیکی، پوشش گون و بوته‌های چندساله بوده است. در منطقه دوم نیز که تنها به‌صورت سازه‌های مکانیکی کار شده بود، انباشتگی رسوب در پشت این سازه‌ها مطابق با نقشه یاد شده است.

به‌طور کلی با توجه به شرایط منطقه که در بعضی قسمت‌های آن عملیات حفاظت خاک انجام شده، فرسایش کمی دیده شد. نتایج به‌دست آمده از مدل هم این ادعا را تأیید کرد و نشان داد که این مدل برای استفاده و برآورد فرسایش و رسوب در حوضه‌های آبخیز کشور، می‌تواند مناسب باشد.



شکل ۶. نقشه فرسایش به تفکیک هر زیرحوضه

## بحث و نتیجه گیری

از آنجایی که منطقه مورد مطالعه، یک ایستگاه حفاظت خاک و آبخیزداری بوده که سطح عمده آن، از سازندهای فرسایش پذیر ماری شکل گرفته و در بالادست سد شهید مدنی واقع شده است، بنابراین لزوم برآورد هرچه دقیق تر مقادیر تلفات خاک در ارتباط با عمر مفید سد شهید مدنی کاملاً احساس می شد و چون مقادیر رسوب های بازدید شده در سه نقطه منطقه، به عنوان خروجی هر یک از زیرحوضه های مورد نظر از طریق پارشال فلوم و اشل اندازه گیری رواناب در دسترس بود، این امکان وجود داشت تا مدل فرایندی ویپ را برای ارزیابی منطقه مورد استفاده قرار داده و خروجی آن را با آمار مشاهداتی رسوب، مقایسه کرد. نتایج این مدل نشان داد که کارایی مدل در زمینه برآورد مقادیر تلفات خاک و ارائه توزیع مکانی هدررفت خاک همراه با نقاط بحرانی، از سطح قابل قبولی (با احتمال ۹۵ درصد) برخوردار است. از سوی دیگر این مدل، تنها مدل شبیه سازی است که می تواند امکان نشان دادن محل های انباشتگی رسوب در سطح حوضه را فراهم کند. در این پژوهش، محل های انباشتگی رسوب کاملاً منطبق با محل های سازه های مکانیکی حفاظت خاک قرار داشت و به همین دلیل تأثیر این گونه عملیات بر حفاظت خاک، کاملاً قابل استناد بوده و از سوی دیگر تأکیدی بر کارایی و قابلیت هرچه بیشتر مدل یاد شده است. صادقلو و همکاران (۱۳۸۹)، نتایج مشابهی را در حوضه آبخیز صوفی چای با استفاده از روش جهت جریان و مدل فرایندی ویپ به دست آورده اند. گلکاریان و همکاران (۱۳۸۶: ۱۶۱-۱۷۲) نیز، در بارایه نیشابور با به کارگیری مدل فرایندی ویپ نتیجه مطلوبی گرفتند. اسمعیلی و همکاران (۱۳۹۱) در حوضه آبخیز آتشفشان اردبیل، مدل ویپ را با ایستگاه رسوب سنجی موجود در حوضه مقایسه کردند و نشان دادند که نتایج به دست آمده قابل استناد است. در سال ۲۰۰۷ یوکسل و همکاران با استفاده از مدل ویپ، میزان فرسایش خاک را با کاربری مختلف برآورد کرده و نتیجه گرفتند که این مدل می تواند با خطای کمتری میزان فرسایش خاک را برآورد کند. ورما و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی که با ترکیب مدل ویپ و جی.آی.اس برای برآورد فرسایش و مکان های تجمع رسوب انجام داده اند، نتیجه گرفتند که با این روش توزیع مکان های تجمع رسوب به راحتی انجام می گیرد. لاندی و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه خود دریافتند که مدل ویپ با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، برای برآورد فرسایش خاک در اکثر حوضه های آبخیز کارایی مناسبی دارد. نتایج این پژوهش با یافته های محققانی که بیان شد، همخوانی دارد.

## پیشنهادها

پیشنهاد می شود این مدل در چند حوضه دیگر که دارای ایستگاه رسوب سنجی است، مورد بررسی قرار گیرد و نتایج آن با پژوهش های اشاره شده مقایسه شده و جمع بندی نهایی آن را همچون سندی برای توسعه این مدل در ایران به کار گرفت.

## سپاس گذاری

طرح حاضر با حمایت مکانی و علمی سازمان آموزش و تحقیقات کشاورزی و همکاری صمیمانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی انجام گرفته است که در اینجا از کلیه همکارانی که به نوعی در این زمینه مجربان این طرح را یاری داده اند، صمیمانه قدردانی می شود.

## منابع

- Asadi, H., Rohipour, H. and Refahi, H., 2005, **A Process Model for Evaluating Soil Erosion Caused by Rainfall Processes**, Proceedings of the Third National Conference on Erosion and Sedimentation, August 28, Soil Conservation and Watershed Management Research Center, Tehran, PP. 237-235. (*in Persian*)
- Croke, J. and Nethery, M., 2006, **Modelling Runoff and Soil Erosion in Logged Forests: Scope and Application of Some Existing Models**, Catena, Vol. 67, No. 1, PP. 35-49.
- Ekwue, E.I., Bharat, C., and Samaroo, K., 2009, **Effect of Soil Type, Peat and Farmyard Manure Addition, Slope and Their Interactions on Wash Erosion by Overland Flow of Some Trinidadian Soils**, Biosystems Engineering, Vol. 102, No. 2, PP. 236-243.
- Esmaili, A., Jannabi Naming, A., Saadati, H., 2012, **Evaluation of the Efficiency Range of the WEPP Model to Predict Sediment Catchment Fire**, in Eighth National Conference on Science and Watershed Engineering, University of Lorestan, May, 16. (*in Persian*)
- Foster, G.R., Flanagan, D.C., Nearing, M.A., Lane, L.J., Risse, L.M. and Finkner, S.C. 1995, **USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation**, NSERL Report No. 10, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana.
- Gee, G.W. and Or, D., 2002, **Particle Size Analysis**, in: Dane JH and Topp GC Methods of Soil Analysis, Physical Methods, Part 4, ASA and SSSA, Madison, WI.
- Golkarian, A., Ahmadi, H., Jafari, M., Abrisham, A., Laflen, J., 2007, **Estimating Water Erosion and Sediment Using WEPP Model (Case Study of Bar-Erieh Watershed, Eyshabur)**, Journal of Pajohesh and Sazandagi, Vol. 2, No.75, PP. 161-172. (*in Persian*)
- Hoseini, S., and Gorbani, M., 2005, **Economics of Soil Erosion**, Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad. (*in Persian*)
- Jefferson, A., 2003, **Assessing the Transferability of a Water Erosion Model**, Soil Conservation District Dear Creek Watershed Association, USA.
- Landi, A., Barzegar, J., Sayadi, L. and khademalrasoul, A., 2011, **Assessment of Soil Loss Using WEPP Model and Geographical Information System**, Journal of Spatial Hydrology, Vol.11, No.1, PP. 40-51.
- Martinez-Mena, M., Lopez, J., Almagro, M., Boix-Fayos, V., and Albaladejo, J., 2008, **Effect of Water Erosion and Cultivation on the Soil Carbon Stock in A Semiarid Area of South-East Spain**, Soil and Tillage Research, Vol. 99, No. 1, PP. 119-129.
- Merrit, W.S., Letcher, R.A. and Jakeman, A.J. 2003, **A Review of Erosion and Sediment Transport Models**, Environmental Modelling and Software, Vol. 18, No. 8-9, PP. 761-799.
- Molina, A., Govers, G., Vanacker, V., Poesen, J., Zeelmaekers, E., and Cisneros, F., 2007, **Runoff Generation in a Degraded Andean Ecosystem: Interaction of Vegetation Cover and Land Use**, Catena, Vol. 71, No. 2, PP. 357-370.

- Nelson, D. W. and Sommers, L. E., 1996, **Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter**, in: D.L. Arks (Ed).
- Omidvar, K., 2010, **Introduction to Soil Conservation and Watershed**, Second Edition, Yazd University Press, Yazd. (*in Persian*)
- Qiang Deng, Z., De Lima, Joao, L.M.P., and Shin Jung, H. 2008. **Sedimenttransport Rate-Based Model For Rainfall-Induced Soil Erosion**, Catena, Vol. 76, No. 1, PP. 54-62.
- Quirijn, J., Sparovek, G., Flanagan, D., and Schnug, E., 2005, **Runoff Mapping Using WEPP Erosion Model and GIS Tools**. Computers and Geosciences.
- Raclot, D. and Albergel, J., 2006, **Runoff and Water Erosion Modelling Using WEPP on a Mediterranean Cultivated Catchment**. Physics and Chemistry of the Earth, Pats A/B/C/, Vol. 31, No. 17, PP. 1038-1047.
- Rohipour, H., 2001, **GUSET Model Selection Procedure to Estimate the Erosion Rate**, Proceedings of the National Conference on Land Management - Erosion and Sustainable Development. 2 To 4 February, Arak. (*in Persian*)
- Rose, C.W., Coughlan, K.J., Ciesiolka, L.A.A. and Fentie, B., 1997, **a New Soil Conservation Methodology and Application to Cropping Systems in Tropical Steeplands**, Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
- Sadegi, S., Hedayatizadeh, S., Nadri, H. and Hoseinalizadeh, M., 2008, **Comparison of Runoff and Sediment of Quaternary Formations in Birjandrangrland**, Journal of Range Management, Vol. 2, No. 4, PP. 463-449. (*in Persian*)
- Sadeglo, M., Saeedi, S. and Yarahmadi, J., 2011, **Application of WEPP Model and GIS in the Identification, Evaluation Mapping Areas Where Erosion and Deposition Thnshsthaysufichay**, Proceedings of the Fifth International Conference on Environmental Engineering, Tehran University, August, 24. (*in Persian*)
- Savabi, M.R., R.W. Skaggs, and C.A. Onstad., 1995, **Subsurface hydrology**. Flanagan and M.A. Nearing, eds. NSERL Rpt. No. 10. W. Lafayette, IN.
- Simone, B., and Quirijn, J., 2000, **Erosion Database Interface [EDI]: A Computer Program for Georefrenced Application of Erosion Prediction Models**, Computers Geosciences, University of Sao Paulo Brazil.
- Sparovek, G., Simone, B., Ranieri, L., Gassner, A., Clerice, I., Schnug, E, Ferrriers, R. and Joubert, A., 2002, **A Conceptual Framework for the Definition of the Optimal Width Ofriparian Forests**, Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 90, No. 2, PP.169-175.
- Verma, A. K., Jha, M. K. and Mahana, R. K., 2010, **Evaluation of HEC-HMS and WEPP For Simulating Watershed Runoff Using Remote Sensing and Geographical Information System**, Paddy and Water Environment, Vol. 8, No. 2, PP. 131-144.
- World Bank, 2003, **A Review of the Valuation of Environmental Costs and Benefits in World Bank Projects**, Environmental Economics Series.

World Bank, 2005, **Islamic Republic of Iran Cost: Assessment of Environmental Degradation, Rural Development**, Water and Environment Department Middle East and North African Region.

Yuksel, A., Akay, A. E., Reis, M. and Gundogan, R., 2007, **Using the WEPP Model to Predict Sediment Yield in a Sample Watershed in Kahramanmaras Region**, International Congress River Basin Management, No. 2, PP. 11-22.

