

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۲۳، تابستان ۱۳۹۶

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۵/۱۳

تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۱۲/۲۰

صفحات: ۱۱۲ - ۱۰۱

## برآورد رسوب‌دهی حوضه آبخیز آلاذیزگه با استفاده از مدل WEPP در محیط GIS

دکتر فریا اسفندیاری درآباد<sup>۱</sup>، علی جسارتی<sup>۲</sup>

### چکیده

خاک، یکی از مهم‌ترین اجزای منابع طبیعی محسوب می‌شود. فرسایش خاک پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر است که به صورت تشدیدشونده منجر به تخریب خاک می‌شود. برآورد دقیق فرسایش آبی و ته‌نشست رسوبات برای ارزیابی پتانسیل هدررفت خاک و ظرفیت ذخیره سدها بسیار مهم است. مدل WEPP (پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی)، یک مدل رایانه‌ای است که می‌تواند فرسایش و رسوب‌دهی را بر روی دامنه‌ها در حوضه آبخیز و براساس هر واقعه بارش یا سال‌های متوالی برآورد کند. اطلاعات موردنیاز برای اجرای مدل WEPP به‌طورکلی در چهار لایه رایانه‌ای وارد می‌شود که شامل خاک، اقلیم، مدیریت اراضی و شیب است. در این پژوهش، میزان فرسایش و رسوب به‌وسیله سه روش دامنه، حوضه آبخیز و مسیر جریان برآورد گردید که میزان رسوب به ترتیب ۰/۶۲۳، ۰/۳۲۵ و ۰/۸۲۴ تن در هکتار در سال است. این نتایج، با مقدار مشاهده‌ای حاصل از ایستگاه هیدرومتری آلاذیزگه مقایسه شد. براین اساس، روش دامنه به عدد مشاهده‌ای (۰/۶۶۵ تن در هکتار در سال) ایستگاه هیدرومتری نزدیک‌تر بوده و برای برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز آلاذیزگه مناسب است.

کلید واژگان: رسوب‌دهی، مدل WEPP، فرسایش خاک، حوضه آبخیز آلاذیزگه.

## مقدمه

«خاک» طی فرایندهای پیچیده‌ای که تحت تأثیر پنج عامل اصلی اقلیم، توپوگرافی، سنگ مادر، پوشش گیاهی و زمان است، تشکیل می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۶۲). با توجه به اینکه آب و خاک مهم‌ترین عوامل در تأمین نیازهای بشری می‌باشند، کوچک‌ترین کم‌توجهی در حفظ و نگهداری این دو، خسارات جبران‌ناپذیری را وارد خواهد کرد. عمده‌ترین دلیل تخریب منابع آب و خاک، برهم‌خوردن تعادل طبیعی در یک منطقه است که علت اصلی آن دست‌کاری و دخالتی است که با توجه به حضور انسان و رفع نیازهای او از طبیعت رخ داده و روزبه‌روز به شدت آن افزوده می‌شود (احمدی، ۱۳۹۰: ۶۸۸؛ حسینعلی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۱۶). در مناطقی که فرسایش کنترل نمی‌شود، خاک‌ها به تدریج فرسایش یافته و حاصلخیزی خود را از دست می‌دهند (رفاهی، ۱۳۸۲: ۱۱). مدیریت پایدار خاک و استفاده از شیوه‌های صحیح مدیریتی برای حفاظت محیط‌زیست و کاهش آثار مخرب برون‌حوضه‌ای فرسایش خاک و تحقق کشاورزی پایدار، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (اسدی و همکاران، ۱۳۸۴: ۲۳۷-۲۳۵). اهمیت این موضوع سبب شده تا برای بررسی تأثیر شیوه‌های مدیریتی مختلف بر خصوصیات خاک، از مدل‌ها و فناوری‌های نوین استفاده شود (صادق‌زاده و یاراحمدی، ۱۳۹۲: ۹۸)؛ از جمله این مدل‌ها، مدل WEPP است. مدل WEPP یک مدل فرایندی و شبیه‌سازی پیوسته است که توزیع مکانی و زمانی رواناب، هدررفت خاک و رسوب‌گذاری را با استفاده از معادله روندیابی رسوب در طیف وسیعی از دوره‌های زمانی و مکانی پیش‌بینی می‌کند (کلارستانی و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۱۸). داده‌های اصلی در این مدل عبارت‌اند از: اقلیم، خاک، مدیریت و شیب.

لیو<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۹۷)، مدل WEPP را در ۱۵ آبخیز کوچک در ۶ منطقه از آمریکا اجرا کردند. در این پژوهش، میزان فرسایش برآوردشده در ۱۱ مکان در

محدوده اعتماد ۹۵ درصد قرار گرفت. در سال (۲۰۰۲) به‌ویژه<sup>۲</sup> و همکارانش سه مدل پیش‌بینی فرسایش WEPP، EPIC<sup>۳</sup> و ANSWERS<sup>۴</sup> را در یکی از حوضه‌های ایالت متحده بررسی کردند که نتایج حاصل از پژوهش نشان داد، مدل WEPP نسبت به دو مدل دیگر شبیه‌سازی بهتری انجام می‌دهد. در سال (۲۰۰۳) وو<sup>۵</sup> با توجه به اهمیت بار آلاینده‌گی و رسوب ورودی به رودخانه‌ها از مدل WEPP برای شبیه‌سازی این پدیده استفاده کرد. نتایج پژوهش نشان داد که این مدل با پایه فیزیکی از پتانسیل کافی جهت کمی کردن پاسخ‌های حوضه‌ها به شیوه‌های مدیریتی برخوردار است. الیوت<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۴) طی پژوهشی دقت مدل WEPP را در اراضی با کاربری‌های مختلف کشاورزی - جنگلی و راه‌ها در ایالات متحده آمریکا مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده هم‌خوانی معنی‌داری بین برآوردهای مدل و مقادیر حقیقی موجود بود. گرانستون و لوندیگوان<sup>۷</sup> در سال (۲۰۰۵) اقدام به بررسی مدل WEPP بر مبنای مشخصات دو حوضه آبریز در جنوب شرقی نروژ نمودند. آنالیز حساسیت انجام شده بر روی مدل WEPP در این پژوهش نشان داد، پارامترهای تنش برش هیدرولیکی مؤثر، هدایت هیدرولیکی مؤثر پایه، قابلیت فرسایش درون‌شیاری و قابلیت فرسایش شیاری مهم‌ترین پارامترهای خاک هستند که بر روی رواناب و فرسایش خاک مؤثر می‌باشند و وابسته به خصوصیات خاک هستند. راکلات<sup>۸</sup> و آلبرگل<sup>۹</sup> (۲۰۰۶)، در مطالعه مدل‌بندی فرسایش آبی و رواناب بر روی یک حوضه تحت کشت مدیترانه‌ای تونس با استفاده از مدل WEPP در مقایسه با نتایج مشاهده‌ای و اندازه‌گیری‌شده، تفاوت‌های معنی‌داری را ملاحظه کردند. در این

2. Samar J. Bhuyan

3. Erosion Productivity Impact Calculator

4. Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation

5. John Wu

6. Elliot

7. Gronsten H.A , Lundekvam H

8. Raclot

9. Albergel

1. Liu

است. صادق‌زاده و یاراحمدی (۱۳۹۲)، با استفاده از مدل WEPP در اراضی مارنی ایستگاه خواجه تبریز، نتیجه گرفته‌است که این مدل برای برآورد رسوب و فرسایش در حوضه‌های آبخیز کشور روش مناسبی می‌تواند باشد و نتایج به‌دست‌آمده با روش مسیر جریان به اعداد مشاهده‌ای نزدیک‌تر است.

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، به یافتن راه‌های مناسب برای نگهداری منابع طبیعی بیاورند.

با توجه به این مهم، پژوهش حاضر با هدف شبیه‌سازی فرسایش و رسوب با استفاده از مدل فرایندی WEPP در حوزه آبخیز آلاذیزگه انجام گرفته است. حوضه آبخیز آلاذیزگه یکی از زیرحوضه‌های قره‌سو و در شرق شهرستان اردبیل است و در آن پدیده فرسایش و رسوب‌گذاری قابل‌توجهی همانند سایر حوضه‌های آبخیز کشور مشهود می‌باشد که بر روی منابع خاک منطقه تأثیرگذار است. وجود توپوگرافی و اختلاف ارتفاع‌های مناطق مرتفع با مناطق کم‌ارتفاع‌تر به‌واسطه شیب‌های تند برخی قسمت‌ها و سطوح هموار و ملایم قسمت‌های دیگر، زمینه را برای فرسایش‌زایی خاک‌های این حوضه فراهم می‌کند؛ بنابراین، برآورد دقیق مقدار فرسایش و رسوب‌گذاری و شناسایی مناطق تولید این عوامل برای جلوگیری و مهار آن‌ها از لحاظ اقتصادی برای کشاورزان این منطقه حائز اهمیت است. برای بررسی فرسایش و رسوب‌دهی منطقه از مدل WEPP که از توانایی شبیه‌سازی و همچنین تعیین مکان‌های تجمع برخوردار است و مدل‌های تجربی دیگر این توانایی را ندارند- استفاده شد.

پژوهش، به تأثیرات فصلی و شکافدار بودن خاک‌های مورد مطالعه به‌عنوان نقاط ضعف مدل در شرایط مدیریت‌انه‌ای اشاره شده است. پانندی<sup>۱</sup> و همکارانش (۲۰۰۷) به بررسی مدل WEPP برای یک حوضه آبریز تپه‌ماهوری کوچک در هند اقدام کردند. نتایج نشان داد، رسوب تخمین‌زده شده به‌وسیله مدل WEPP نسبت به قابلیت فرسایش درون‌شیاری و هدایت هیدرولیکی مؤثر بسیار حساس است.

عامری‌خواه و خادم‌الرسول (۱۳۸۸)، از مدل WEPP برای بررسی کارایی بهترین گزینه‌های مدیریت آبخیز بر بهبود اراضی و کاهش فرسایش و بار رسوب استفاده کرده‌اند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که اجرای مدل، فرضیات محققان مبنی بر حساسیت این مدل در پاسخ به مدیریت‌های طراحی شده را تأیید می‌کند. لندی و همکاران (۲۰۱۱) در حوضه آبخیز هلاجان استان خوزستان به ارزیابی هدررفت خاک با استفاده از مدل WEPP و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. مقادیر برآوردی حاصل از مدل با داده‌های حاصل از مدل MPSIAC مقایسه شده است. نتایج نشان‌دهنده توانایی بالای مدل WEPP در حوضه‌های آبخیز پیچیده است. صادقلو و همکاران (۱۳۹۰)، مدل WEPP را در تلفیق با GIS برای شناسایی، پهنه‌بندی و ارزیابی عرصه‌های فرسایش و رسوب در حوضه صوفی‌چای مراغه مورد استفاده قرار دادند که نتایج حاکی از هم‌خوانی بالای مقادیر برآوردی با داده‌های موجود است.

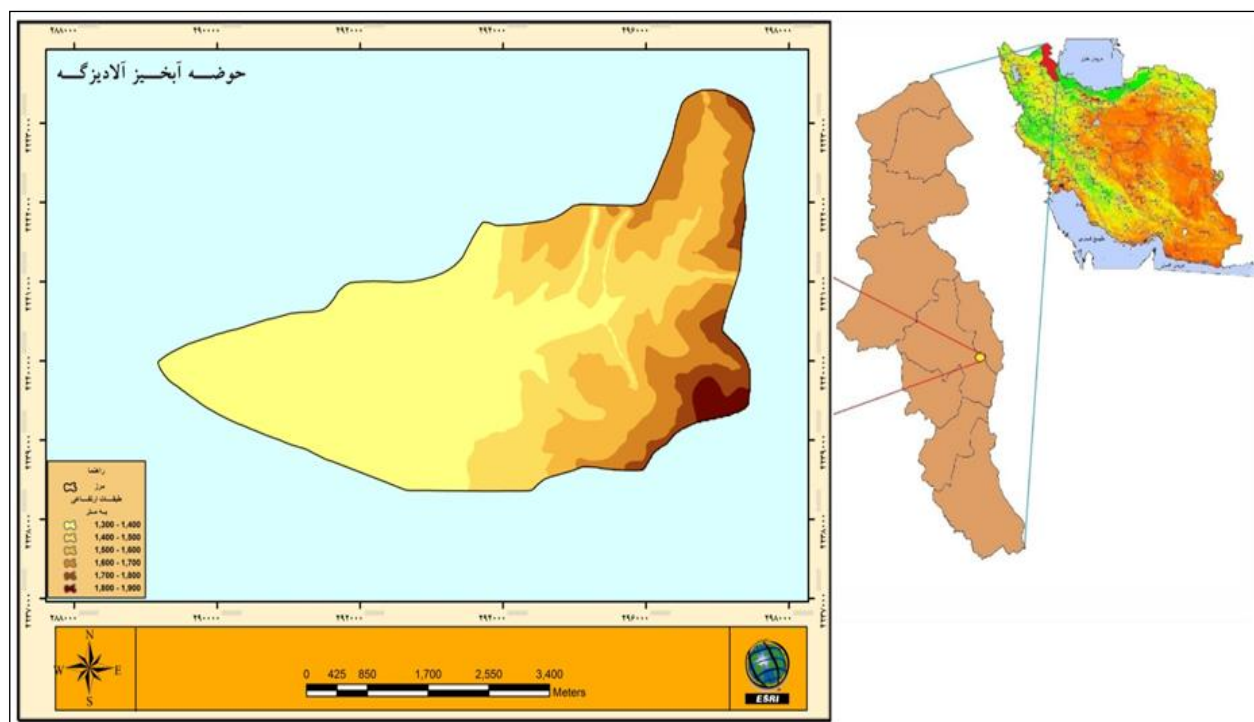
مقدادی و ثقفیان (۱۳۹۰)، از مدل WEPP و WEPP Geo برای تهیه نقشه فرسایش در حوضه کسلیان واقع در شمال ایران استفاده کرده‌اند. آنالیز حساسیت نتایج در حوضه مورد مطالعه نشان داد که رسوب‌دهی بیشتر به فرسایش بین‌شیاری و رواناب به هدایت هیدرولیکی مؤثر حساس‌تر است. اسمعیلی و همکاران (۱۳۹۱)، در حوضه آبخیز آتشفشان اردبیل، مدل WEPP را با ایستگاه رسوب‌سنجی موجود در حوضه مقایسه کردند و نشان دادند که نتایج به‌دست‌آمده قابل‌استناد

## مواد و روش‌ها

## ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز آلاذیزگه به مساحت ۲۰۰۹ هکتار، واقع در شرق شهرستان اردبیل، یکی از زیرحوضه‌های رودخانه قره‌سو در شمال غربی ایران است که در عرض

جغرافیایی "۴۸°۱۱'۸" تا "۴۸°۲۷'۴۳" شمالی و طول جغرافیایی "۳۸°۲۸'۵۹" تا "۳۸°۳۹'۴۳" شرقی واقع شده است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه و جدول (۱) برخی خصوصیات فیزیوگرافی حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان: ۱۳۹۲)

جدول ۱. مشخصات فیزیکی حوضه آبخیز آلاذیزگه

مشخصات فیزیکی	مساحت (ha)	محیط (km)	ضریب فشردگی	طول آبراهه اصلی (m)	ارتفاع بلندترین نقطه (m)	ارتفاع خروجی حوضه (m)	اختلاف ارتفاع (m)
حوضه آبخیز آلاذیزگه	۲۰۰۹	۲۴/۰۷	۱/۵۰	۱۰۱۸۱	۱۸۸۵	۱۳۳۵	۵۴۰

(منبع: نگارندگان: ۱۳۹۲)

میدانی، علمی و تحقیقاتی به مشاهده مستقیم عوارض و پدیده‌ها پرداخته شد.

۲- در بخشی از اجرای طرح، به منظور گردآوری اطلاعات و آمار مربوط به داده‌های مختلف به اداره‌ها و سازمان‌های مرتبط و مختلفی از جمله اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری، اداره کل هواشناسی، اداره

در اجرای این پژوهش مراحل مختلفی به کار گرفته شده است که در زیر به طور خلاصه به آن‌ها اشاره می‌شود:

۱- در بخش‌هایی از مراحل اجرای طرح به منظور آگاهی یافتن از وضعیت فرسایشی منطقه و همچنین برداشت نمونه‌های خاک حوضه، با استفاده از بازدید

حداکثر ماهانه و انحراف معیار دمای حداقل ماهانه است (لافلن و همکاران، ۱۹۹۱).

۳- لایه خاک: در مدل WEPP خصوصیات خاک حداکثر تا عمق ۱/۸ متر بررسی می‌شود. مدل WEPP به صورت درونی یک مجموعه جدید از لایه‌های خاک براساس داده‌های اصلی می‌سازد (احمدی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۶۴). پارامترهایی که باید در پنجره مربوط به خاک وارد شوند عبارت‌اند از: عمق افق‌های خاک، میزان رس و ماسه، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد سنگ و سنگ‌ریزه، آلبیدو، سطح اشباع اولیه خاک، فرسایش‌پذیری بین‌شیرازی، تنش برشی بحرانی و جریان هیدرولیکی مؤثر است. تعدادی از این پارامترها مانند درصد رس و شن، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد سنگ و سنگ‌ریزه از تشریح پروفیل و آزمایش‌های شیمیایی و فیزیکی خاک حاصل می‌شود و مابقی براساس دستورالعمل‌های موجود در مدل محاسبه می‌شود.

۴- لایه مدیریت: برای ساختن لایه مدیریت اراضی باید اطلاعات سه پنجره اصلی تکمیل شود. اولین پنجره، اطلاعات مربوط به مدیریت و اعمال انجام شده بر روی زمین است. برخی از این اعمال عبارت‌اند از: کشت روی خطوط تراز، چرا، زهکشی، آبیاری و ... اطلاعات مربوط به هر یک از این اعمال و زمان انجام آن‌ها بایستی در پنجره مربوطه وارد شود. دومین پنجره، اطلاعات مربوط به شرایط ابتدایی است. منظور از شرایط ابتدایی وضعیت پارامترهای ورودی در اول ژانویه است. برخی از این اطلاعات عبارت‌اند از: تراکم حجمی خاک خشک، تاج پوشش، جمع بارندگی، جرم کل ریشه مرده. سومین پنجره، اطلاعات مربوط به خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی گیاهان غالب است. برخی از این اطلاعات عبارت‌اند از: ضریب تاج پوشش، ضریب ارتفاع تاج پوشش، نسبت انرژی به بیومس، قطر ساقه گیاه در بلوغ، بردباری گیاه به خشکی.

در این بخش، مدل WEPP براساس یک تقویمی که تلفیق شده از تقویم عملیات زراعی و تقویم عملیات

کل آب منطقه‌ای، سازمان محیط‌زیست، سازمان جهاد کشاورزی و استانداری مراجعه شد.

۳- با انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه خاک و استفاده از مواد شیمیایی و دستورالعمل‌های موجود، اندازه‌گیری‌های مختلف برای به دست آوردن خصوصیات پارامترهای خاک (جدول ۲) انجام گرفت.

۴- از نقشه توپوگرافی حیران با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی آستارا با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، وسایل موردنیاز برای تشریح پروفیل خاک و برداشت خصوصیات پوشش گیاهی استفاده شد.

۵- از نرم‌افزار Arc GIS برای ارتباط با مدل WEPP و رقمی‌سازی نقشه‌های تهیه شده استفاده شد.

### عوامل مؤثر در مدل WEPP

۱- لایه شیب: در مدل WEPP عوامل توپوگرافی از طریق لایه شیب وارد می‌شود. از بین عوامل توپوگرافی، عامل شیب و جهت بایستی در پنجره مربوط وارد شود. در این پژوهش، برای ورود اطلاعات توپوگرافی به داخل مدل، از نرم‌افزار Geo WEPP استفاده شد. این نرم‌افزار اطلاعات شیب را به وسیله نقشه مدل رقمی ارتفاع (فرمت GISASCII) و به صورت پروفیل طولی وارد مدل WEPP می‌کند.

۲- لایه اقلیم: اطلاعات موردنیاز برای اجرای این لایه از داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های آلاذیزگه و آبیگلو (در فاصله ۲/۵ کیلومتری منطقه مورد مطالعه) به دست آمد. برای ساختن لایه اقلیم از نرم‌افزار CLIGEN استفاده می‌شود.

مهم‌ترین اطلاعات موردنیاز برای اجرای CLIGEN عبارت‌اند از: ۱- بارندگی روزانه، ۲- دما. مواردی که برای عامل بارندگی باید در مدل وارد شوند عبارت‌اند از: متوسط بارندگی ماهانه، انحراف بارندگی، ضریب چولگی بارندگی، احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز مرطوب و احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز خشک. مواردی که برای عامل دما بایستی در مدل وارد شود عبارت‌اند از: متوسط دماهای حداکثر ماهانه، متوسط دماهای حداقل ماهانه، انحراف معیار دمای

### یافته‌ها

در این بخش ابتدا نتایج ساخت هریک از لایه‌ها در مدل بررسی و سپس نتایج حاصل از مدل با داده‌های مشاهده‌ای در ایستگاه هیدرومتری حوضه مقایسه می‌شود. در نهایت، حوضه آبخیز آلاذیزگه از نظر میزان فرسایش و رسوب مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. لایه خاک: پس از نمونه برداری در قالب واحد کاری و ادغام واحدهای مشابه، کل حوضه آبخیز مورد مطالعه از نظر نوع خاک مطالعه و پارامترهای مورد نیاز از قبیل درصد شن و رس و غیره در پنجره مربوط وارد و به نام همان نمونه خاک ذخیره شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل عوامل خاک در جدول (۲) ارائه شده است.

مدیریتی است، کار می‌کند. در این تقویم ابتدا باید اطلاعات ورودی متعددی را در زمینه پوشش گیاهی، خاک، بقایای گیاهی و ... مربوط به تاریخ اول ژانویه (شرایط ابتدایی) سال شبیه‌سازی وارد کرد (استات<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۵: ۱۶).

هریک از عوامل فوق با توجه به نوع مدیریت و پوشش گیاهی غالب در لایه مربوط وارد و به نام آن مدیریت ذخیره شد. پس از ورود کلیه اطلاعات بالا و ترسیم شبکه آبراهه‌ها و دامنه‌های منتهی به هر آبراهه به وسیله نرم افزار، مدل ۴۵ زیرحوضه، ۶ نوع مدیریت، دو نوع خاک و ۶ نوع آبراهه را برای Run کردن تشخیص داد.

جدول ۲. عوامل اندازه‌گیری و محاسبه شده برای لایه خاک

شماره پروفیل	افق	عمق (mm)	٪ماسه	٪زس	٪ماده آلی	ظرفیت تبادل کاتیونی	٪سنگریزه
۱	A	۴۵۰	۱۵/۵	۳۹	۱/۵	۴۹/۱	۱
	B	۷۰۰	۱۷	۴۲/۵۶	۱/۱	۵۱/۴۱	۱/۵
	C	۱۳۰۰	۱۸/۵	۴۶/۱۲	۰/۷	۵۳/۷۰	۱/۸
۲	A	۷۰۰	۲۱/۰۵	۲۹/۹	۰/۱	۲۷/۱	۱/۹
	B	۱۰۰۰	۲۷/۴۵	۳۶/۲۷	۰/۰۶	۲۸/۰۹	۲/۲
	C	۱۴۵۰	۳۳/۸۰	۴۲/۶۴	۰/۰۲	۲۹/۰۸	۲/۵
۳	A	۹۰۰	۲۱/۲	۳۲	۰/۳۲	۲۸/۰۱	۱/۷
	B	۱۴۰۰	۲۵/۲۹	۳۶/۲۷	۰/۲	۲۸/۹۶	۱/۹
	C	۱۶۰۰	۲۹/۳۷	۴۰/۵۴	۰/۰۹	۲۹/۹۱	۲/۲

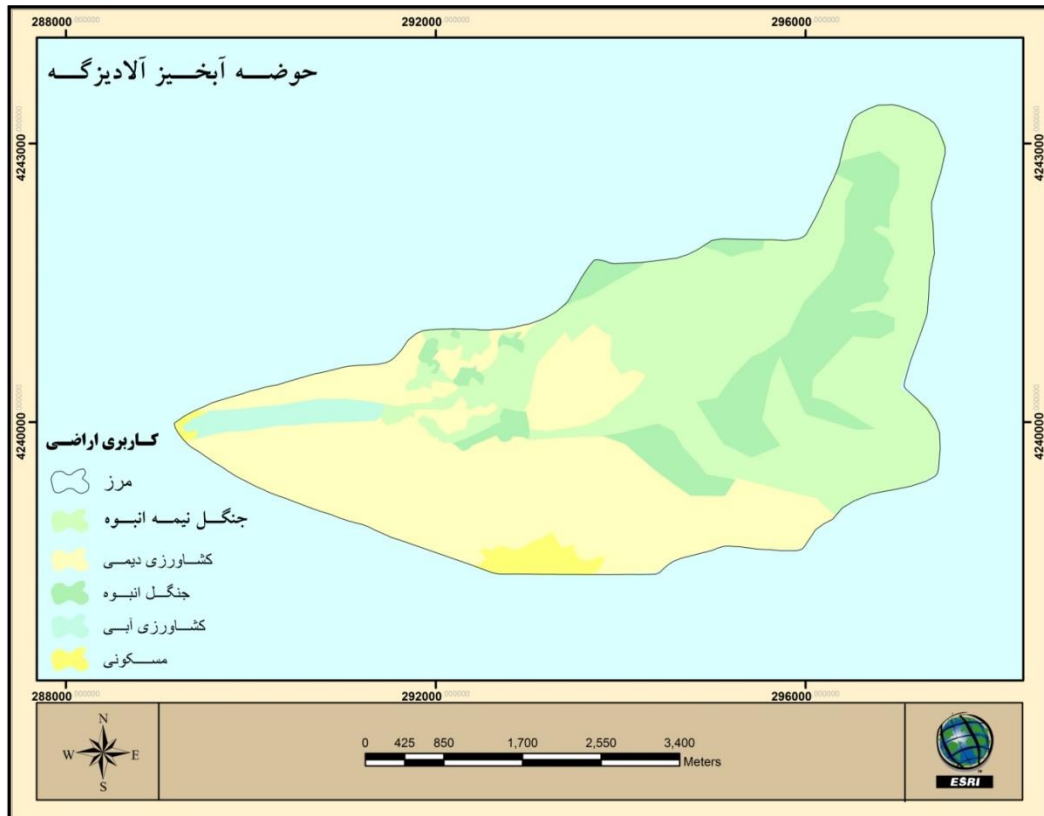
ادامه جدول ۲

شماره پروفیل	افق	بافت خاک	آلبدو	سطح اشباع اولیه	فرسایش پذیری بین شیلیاری	فرسایش پذیری شیلیاری	تنش برشی بحرانی	جریان هیدرولیکی
۱	A	Silty Clay	۱,۳۶	۶,۰۱	۳۸۴۸۸۰۰	۰,۰۰۲۶	۵,۱۱۴	۳,۱۵۶
۲	A	Clay Loam	۲,۵	۵,۰۱	۴۰۵۴۴۳۵	۰,۰۰۰۲	۴,۲۶۵	۰,۶۸۶
۳	A	Clay	۷,۵	۵,۰۴	۳۸۴۸۸۰۰	۰,۰۰۶۶	۴,۶۳۳	۱,۳۴۷

(منبع: نگارندگان: ۱۳۹۲)

و به صورت سالیانه انجام می‌شود. شکل (۲) نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. پس از نمونه برداری از منطقه و با توجه به کاربری اراضی، تعداد ۶ نوع مدیریت در منطقه شناسایی شد.

لایه مدیریت: در منطقه مورد مطالعه سه نوع کاربری جنگلی، کشاورزی و مسکونی وجود دارد. حدود ۸۸۸ هکتار از اراضی به انواع کشاورزی اختصاص دارد که بیشتر اراضی به کشت محصولات زراعی اختصاص دارد



شکل ۲. نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان: ۱۳۹۲)

۲/۵ کیلومتری ایستگاه آلاذیزگه بود، استفاده شد و کل منطقه با استفاده از اطلاعات این دو ایستگاه بررسی شد. اطلاعات ورودی به مدل در جدول ۳ و ۴ آمده است.

لایه اقلیم: اطلاعات مربوط به این لایه از داده‌های اقلیمی ده سال (۲۰۰۸-۱۹۹۹) ایستگاه آلاذیزگه به دست آمد. مدل WEPP قادر است از اطلاعات چند ایستگاه مجاور به طور همزمان استفاده کند که برای این منظور از اطلاعات ایستگاه آبیگلو نیز که در فاصله

جدول ۳. عوامل محاسبه شده برای بارندگی منطقه از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۸

Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	
۱/۴۷	۲/۵۲	۱/۷۸	۱/۱۹	۰/۳۴	۰/۵	۰/۴۶	۲/۲۹	۱/۸	۱/۳۴	۰/۹۹	۰/۷۱	میانگین بارندگی (اینچ)
۰/۵۳	۰/۸۵	۱/۱	۰/۴۶	۰/۰۵	۱/۵	۰/۴۲	-۰/۰۲	۰/۶۷	۰/۵۸	۱/۳۶	۰/۹۴	ضریب چولگی بارش ماهانه
۱/۰۹	۱/۵۲	۱/۳۱	۰/۷۴	۰/۲۲	۰/۴۷	۰/۳۴	۱/۲۴	۱/۱۴	۰/۷۶	۰/۸	۰/۵	انحراف معیار بارش ماهانه
۰/۳۶	۰/۴۷	۰/۴۵	۰/۵۹	۰/۱۸	۰/۲	۰/۱۸	۰/۴۳	۰/۳۹	۰/۲۶	۰/۲۲	۰/۱۴	احتمال مرطوب
۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۱	احتمال خشک

(منبع: داده‌های اقلیم اداره آب منطقه‌ای استان اردبیل: ۱۳۹۲)

جدول ۴. عوامل محاسبه شده برای دمای منطقه از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۸

Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	
۳۷/۴۱	۳۷/۲	۴۵/۸۴	۵۰/۹	۵۲/۷۷	۵۱/۳	۴۴/۸	۴۰/۷۷	۳۵/۱	۲۸/۳۶	۲۰/۷	۲۰/۵۷	میانگین دمای حداقل (فارنهایت)
۹/۸۸	۴/۹۴	۵/۴۸	۲/۳	۱/۷۱	۱/۳۱	۲/۴۳	۲/۳۶	۳/۲۲	۲/۴۶	۶/۷۷	۹/۷۵	انحراف معیار دمای حداقل
۴۰/۱۷	۵۱/۲۶	۶۲/۴۹	۶۹/۱۲	۷۴/۸۸	۷۰/۲۵	۶۷/۳۵	۶۰/۳۱	۵۴/۳۷	۴۷/۳۴	۳۹/۱۶	۳۸/۲۱	میانگین دمای حداکثر (فارنهایت)
۴/۴۵	۸/۴۱	۷/۱۸	۲/۴۲	۱/۸۵	۱/۲۸	۲/۳	۴/۵۷	۵/۵	۴/۹۷	۵/۸۷	۶/۸۹	انحراف معیار دمای حداکثر

(منبع: داده‌های اقلیم اداره آب منطقه‌ای استان اردبیل: ۱۳۹۲)

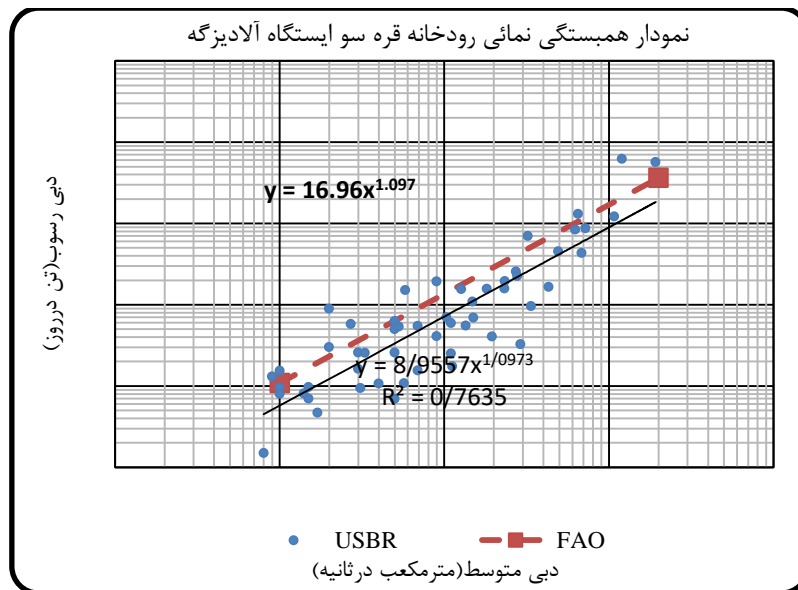
از آنجایی که مدل WEPP در منطقه مورد مطالعه برای ۱۰ سال شبیه‌سازی شده است؛ آمار رسوب نیز برای ده سال (۱۳۷۵ تا ۱۳۸۴) استخراج شد (جدول ۵) و با به‌دست آوردن منحنی سنج رسوب (شکل ۳) میزان رسوب تحویلی در محل ایستگاه آلودیزگه در سال‌های مختلف به‌دست آمد.

لایه شیب: پس از رسم شبکه آبراه‌های و دامنه‌های منتهی به آن به‌وسیله نرم‌افزار GeoWEPP، کل حوضه به ۶ نوع آبراهه و ۴۵ زیرحوضه تقسیم شد که برای تمام آن‌ها اطلاعات شیب به‌صورت پروفیل طولی تهیه شد.

جدول ۵. میزان رسوب تحویلی در محل ایستگاه آلودیزگه

دبی متوسط سالانه (مترمکعب در ثانیه)	میزان رسوب (t/ha/year)	سال آبی	
۱۹۴۱/۴۹	۰/۵۲۸۲۳۴	۱۳۷۶	۱۳۷۵
۵۹۶/۴۴۲۳	۱/۲۳۸۶۸	۱۳۷۷	۱۳۷۶
۱۷۷۱/۲۴۸	۰/۶۴۷۱۵۲	۱۳۷۸	۱۳۷۷
۱۰۶۱/۲۲۲	۰/۸۰۵۳۵۷	۱۳۷۹	۱۳۷۸
۲۰۵۶/۹۵	۰/۸۶۵۵۱۴	۱۳۸۰	۱۳۷۹
۹۰۹/۰۰۰۴	۰/۴۵۲۴۶۴	۱۳۸۱	۱۳۸۰
۶۹۴/۵۷۷۱	۰/۳۴۵۷۳۳	۱۳۸۲	۱۳۸۱
۱۱۸۵/۰۶	۰/۵۸۹۸۷۶	۱۳۸۳	۱۳۸۲
۱۲۱۸/۷۱۱	۰/۶۰۶۶۲۶	۱۳۸۴	۱۳۸۳
۱۱۵۶/۶۷۴	۰/۵۷۵۷۴۶	۱۳۸۵	۱۳۸۴
۰/۶۶۵ تن در هکتار در سال		میانگین رسوب ویژه	

(منبع: داده‌های اداره آب منطقه‌ای استان اردبیل: ۱۳۹۲)



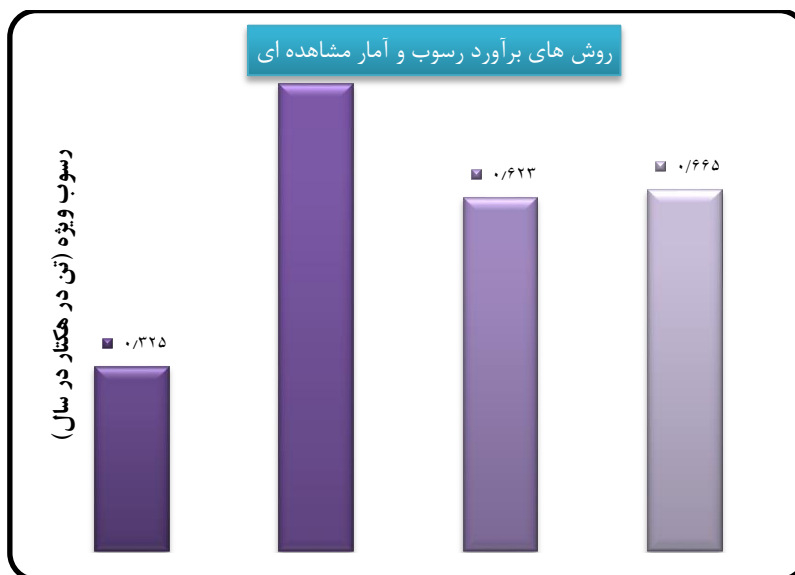
شکل ۳. منحنی سنجه رسوب حوضه آبخیز آلاذیزگه (منبع: نگارندگان: ۱۳۹۲)

پس از مشخص شدن مشخصات هیل اسلپ‌ها، نرم‌افزار WEPP و شبیه‌سازی فرسایش و رسوب اجرا شد و میزان فرسایش و رسوب به سه روش حوضه آبخیز، مسیره‌های جریان و دامنه برآورد شد که نتایج در جدول (۶) و شکل (۴) آمده است.

جدول ۶. مقادیر فرسایش، رسوب و رواناب حاصل از سه روش مدل WEPP در مقایسه با مقادیر مشاهده‌ای رسوب در ایستگاه آلاذیزگه

مقدار مشاهده‌ای	روش‌های مدل WEPP			پارامتر
	دامنه	مسیره‌های جریان	حوضه آبخیز	
۰/۶۶۵	۰/۶۲۳	۰/۸۲۴	۰/۳۲۵	رسوب ویژه (t/ha/year)
۱۲۵۹/۱۳۷	۱۲۵۱/۶	۱۶۵۵/۴۱	۶۲۵/۹۲	رسوب کل (t/year)
	۰/۶۶۷	۱/۰۰۶۱	۰/۳۹۳	فرسایش ویژه (t/ha/year)
	۱۳۴۰	۲۰۲۱/۲۵	۷۹۱/۴۲	فرسایش کل (t/year)

(منبع: نگارندگان: ۱۳۹۲)



شکل ۴. نمودار مقایسه‌ای رسوب ویژه حاصل از روش‌های مختلف برآورد رسوب در مدل WEPP با مقدار مشاهده‌ای

(منبع: نگارندگان: ۱۳۹۲)

ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری آلاذیزگه (۰/۶۶۵ تن در هکتار در سال) دارد. براین اساس، از بین سه روش مسیر جریان، دامنه و حوضه آبخیز، روش دامنه برای برآورد فرسایش و رسوب در این حوضه از دقت بالایی برخوردار است و می‌توان نتیجه گرفت که چنانچه ورودی‌های مدل به‌خوبی تهیه شود، امکان برآورد دقیق مقادیر فرسایش و رسوب به‌وسیله این مدل وجود دارد.

نتایج به‌دست‌آمده از اجرای مدل در منطقه مورد مطالعه با نتایج به‌دست‌آمده، از مطالعات اسمعلی و همکاران (۱۳۹۱) که در منطقه‌ای مشابه انجام شده، هم‌خوانی دارد. اجرای مدل در هر دو منطقه نشان می‌دهد که مدل قابلیت بالایی را در برآورد رسوب‌دهی خاک در مناطق کوهستانی داراست. همچنین، دقت نتایج حاصل از اجرای مدل در منطقه با نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش‌های صادق‌لو و همکاران (۱۳۹۰)، لندی و همکاران (۲۰۱۱) و عامری‌خواه و خادم‌الرسول (۱۳۸۸) هم‌خوانی دارد و در همه این پژوهش‌ها مدل توانایی و دقت لازم برای برآورد رسوب‌دهی خاک را داراست.

صادق‌زاده و یاراحمدی (۱۳۹۲)، در اراضی مارنی خواجه تبریز از این مدل برای برآورد رسوب و فرسایش

## نتیجه‌گیری

برای بررسی صحت پیش‌بینی‌های انجام شده به کمک مدل WEPP، یکی از مناسب‌ترین روش‌ها این است که به کمک آمار مشاهده‌ای، محدوده‌ای قابل قبول برای اعداد پیش‌بینی شده تعیین شود. چنانچه عدد برآورد شده در این محدوده قرار گرفت، صحت پیش‌بینی در محدوده اطمینان تعیین شده است. این امر نیازمند وجود چندین ایستگاه هیدرومتری در محدوده مطالعاتی است. در منطقه مورد مطالعه تنها یک ایستگاه هیدرومتری آن هم در خروجی آبراهه اصلی وجود دارد؛ بنابراین به‌علت کمبود ایستگاه نمی‌توان از نظر آماری محدوده اطمینانی را تعریف کرد، از این رو در این پژوهش تنها ارقام پیش‌بینی شده با آمار مشاهده‌ای مقایسه شد. همان‌طور که از جدول (۶) استنباط می‌شود، متوسط رسوب کل حاصل از اندازه‌گیری با روش دامنه در کل حوضه برابر با ۱۲۵۱/۶ تن در سال است که با مقدار رسوب کل مشاهده‌ای ۱۳۵۶٫۸۱ تن در هکتار در حوضه مورد مطالعه اختلاف چندانی ندارد. همچنین، براساس اطلاعات شکل (۴)، مقدار رسوب ویژه شبیه‌سازی شده به‌وسیله روش دامنه مدل WEPP که معادل ۰/۶۲۳ تن در هکتار در سال است، قرابت زیادی به مقدار

صادق زاده، محمدابراهیم؛ یاراحمدی، جمشید، ۱۳۹۲، ارزیابی مدل WEPP در برآورد میزان فرسایش و رسوب در اراضی ماری منطقه خواجه تبریز، فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۱، صص ۹۷-۱۱۲.

صادقلو، مهدی، ساعدی، سیامک؛ یاراحمدی، جمشید (۱۳۹۰). کاربرد GIS و مدل WEPP در شناسایی، پهنه‌بندی و ارزیابی عرصه‌های فرسایش و رسوب و تنه‌نشست‌های آن در حوزه صوفی‌چای. پنجمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.

عامری خواه، هادی؛ خادم‌الرسول، عطاله (۱۳۸۸). بررسی کارایی بهترین گزینه‌های مدیریت آبخیز بر بهبود اراضی و کاهش فرسایش و باررسوب با استفاده از مدل WEPP، هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهیدچمران اهواز.

کلارستافی، عطالله؛ احمدی، حسن؛ جعفری، محمد؛ جعفریان جلودار، زینب؛ قدوسی، جمال؛ گلکاریان، علی (۱۳۸۸). ارزیابی کارایی مدل دامنه WEPP در پیش‌بینی رواناب و رسوب کرت‌های مرتعی. مجله علمی-پژوهشی مرتع، سال سوم، شماره دوم، صص ۳۳۲-۳۱۷.

مقدادی، امین‌رضا؛ ثقفیان، بهرام (۱۳۹۰). تهیه نقشه فرسایش با استفاده از مدل GeoWEPP. سومین همایش ملی مهندسی عمران، خمینی‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر.

Bhuyan, S.J; Kalita P.K; Janssen K.A; Barnes P.L. (2002). Soil loss predictions with three erosion simulation models. *Environmental Modeling & Software*. 17: 137-146

Elliot, W.J. (2004). WEPP internet interfaces for forest erosion prediction. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. 40: 2. 299-309.

Gronsten, H.A; Lundekvam, H. (2006). Prediction of surface runoff and soil loss in southeastern Norway using the WEPP Hillslope model. *Soil & Tillage Research*. 85: 186-199

Joan, Wu. (2003). WEPP: A Process - Based watershed Runoff and Erosion Model for TMDL development. Department of Biological Systems Engineering. Washington State University. Washington 99164 - 6120 (509) 335-5996.

Lafren, J.M; Lane, L.J; Foster, G.R. (1991). A new generation of erosion prediction technology. *Journal of soil and water conservation*. 46: 34-38.

خاک استفاده کرده‌است و نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اعداد به‌دست‌آمده از مسیر روش جریان به اعداد مشاهده‌ای در ایستگاه نزدیک‌تر است که با یافته‌های پژوهش حاضر که در آن اعداد به‌دست‌آمده از روش دامنه به مقدار مشاهده‌ای نزدیک‌تر است، تفاوت دارد. البته علت این تفاوت را شاید بتوان در ویژگی‌های خاک مناطق مورد مطالعه که از نوع متفاوت از یکدیگرند دانست. به‌هرحال، با توجه به پژوهش‌های صورت‌گرفته می‌توان بیان کرد که در بیش از ۸۵ درصد مطالعات، مدل WEPP توانایی بالایی در برآورد و شبیه‌سازی فرسایش و رسوب‌دهی دارد.

#### منابع

احمدی، حسن؛ جعفری، محمد؛ گلکاریان، علی؛ ابریشم، الهام‌السادات؛ لافرن، جان (۱۳۸۶). برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل WEPP (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بارایه نیشابور). مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۷۵، صص ۱۷۲-۱۶۱.

احمدی، حسن (۱۳۹۰). ژئومورفولوژی کاربردی، فرسایش آبی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

اسدی، حسین؛ روحی پور، حسن؛ رفاهی، حسینقلی؛ قدیری، حسین (۱۳۸۴)، بررسی اثر شیب دار بر فرسایش بین شیاری در شرایط آزمایشگاهی، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.

اسمعیلی، اباذر؛ جنایی نمین، علی؛ سعادت، حسین (۱۳۹۱)، ارزیابی کارایی روش دامنه مدل WEPP در پیش‌بینی رسوب حوضه آبخیز آتشفشان، مجموعه مقالات همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، لرستان، دانشگاه لرستان.

حسینعلی‌زاده، محسن؛ احمدی، حسن؛ فیض‌نیا، سادات؛ فیروزه، ریواز؛ ناصری، محمد (۱۳۹۲). تعیین و مقایسه پراکنش مکانی میزان فرسایش خاک به دو روش پیش‌گویی و شبیه‌سازی زمین‌آماري (مطالعه موردی: زیرحوضه‌های زوجی کچیک استان گلستان). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، جلد بیستم، شماره پنجم، صص ۱۳۰-۱۱۵.

رفاهی، حسینقلی (۱۳۸۲)، فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.

- a small agricultural watershed in India using the WEPP model. *Journal of Hydrology*. 348: 305- 319
- Raclot, D; Albergel, J. (2006). Runoff and water erosion modeling using on a Mediterranean cultivated catchment. *Physics and chemistry of the Earth*. 31: 1038- 1047.
- Stott, D.E; Alberts, E.E; M.A. Weltz. (1995). Residue decomposition and management, Technical documentation of USDA- water erosion prediction project (WEPP), Chapter 9: 16 pp .
- 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. (In Persian).
- Liu, B.Y; Nearing, M. A; Baffaut, C; Ascough, J.C. (1997). The WEPP watershed model. III. Comparisons to Measured Data from Small Watersheds. *T. Am. Soc. Agric. Engr.* 40:4. 945-952.
- Pandey, A; Chowdary, V.M; Mal, B.C; Billib, M. (2009). Runoff and sediment yield modeling from