

## آنالیز حساسیت پارامترهای ادافیکی مدل وپ (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حاجی آباد)

• علی گلکاریان

دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول)

• رضا غلام زاده

دانشگاه فردوسی مشهد

• صادق تالی خشک

دانشگاه فردوسی مشهد

• محمد ایوب محمدی بلبان آباد

دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: دی ماه ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: آذر ماه ۱۳۹۳

Email: Golkarian@um.ac.ir

### چکیده

بر آورد میزان فرسایش، رسوب و روان آب در یک حوزه آبخیز از اهداف مهم محققین در مناطق فاقد آمار هست. همچنین آگاهی از حساسیت مدل های بر آورد کننده پارامترهای مذکور نسبت به فاکتورهای ورودی می تواند در مواردی که زمان یا منابع کافی جهت اندازه گیری تمامی پارامترها وجود ندارد، در انتخاب مؤثرترین پارامترها کمک کند. با توجه به کارایی مناسب مدل وپ و دامنه وسیع پارامترهای ورودی به آن در این تحقیق حساسیت پارامترهای ادافیکی مدل وپ مورد بررسی قرار گرفت. جهت اجرای این مدل، اطلاعاتی در مورد نوع خاک، مدیریت، خصوصیات توپوگرافی و اقلیمی و ویژگی های آبراهه های منطقه مورد مطالعه نیاز است. اطلاعات اقلیم از ایستگاه سینوپتیک بیرجند استخراج گردید. خصوصیات توپوگرافی از طریق نرم افزار ژئوپ و به کمک نقشه مدل رقومی ارتفاع و اطلاعات مربوط به مدیریت و ویژگی های کانال با برداشت صحرایی اندازه گیری و به مدل ارائه گردید. در نهایت پارامترهای ادافیکی منطقه شامل درصد رس، سیلت، سنگ و سنگریزه، شن، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و عمق خاک به مدل وارد شد. جهت تعیین حساسیت هر یک از عوامل ادافیکی با توجه به نوع خاک های منطقه، این عوامل به صورت مجزا تغییر داده شد و اثر آن روی میانگین رواناب، تولید رسوب و هدر رفت خاک محاسبه گردید. نتایج نشان داد که میزان سیلت و شن بیشترین اثر و تغییر ظرفیت تبادل کاتیونی و عمق خاک کمترین اثر را روی میزان روان آب، فرسایش و رسوب گذاشته است. همچنین افزایش رس، میزان رواناب و رسوب را افزایش داد ولی درصد شن، مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و عمق خاک تأثیر مشخصی روی میزان تولید رسوب و هدر رفت خاک نداشت.

کلمات کلیدی: فرسایش، خصوصیات خاک، رواناب، رسوب، مدل پیش بینی فرسایش آبی

Watershed Management Research (Pajouhesh &amp; Sazandegi) No 104 pp: 212-220

**Sensitivity Analysis of Soil Parameters of WEPP Model (Case Study: Haji Abad Watershed)**

By: A. Golkarian, Ferdowsi University of Mashhad (Corresponding Author). R. Gholamzade, Ferdowsi University of Mashhad. S. Tali, Ferdowsi University of Mashhad

Estimate of erosion, sediment and runoff in a watershed are an important target of researchers in areas without data. Also aware of the model sensitivity to the input factors can be used in cases where there is no time or resources to measure all the parameters, will help in selecting the most effective parameters. In this study because the high efficiency and a wide range of input parameters of the WEPP model the sensitivity of soil parameters WEPP model were investigated. In order to run this model, information on soil type, management, topographic and climatic characteristics and properties of waterways of the area studied is required. Climate data were extracted from the station Birjand. The topographical properties via GeoWEPP model and using DEM and factors of management and channel properties measured in the field and were entered into the model. Finally, the parameters of the soil contains clay, silt, gravel, sand, organic matter, cation exchange capacity and soil depth was entered into the model. Depending on the type of soil in the area, to determine the sensitivity, each soil factor was changed separately and the effect on the mean runoff, sediment yield and soil loss were calculated. The results showed that the amount of silt and sand have had the greatest and cation exchange capacity and soil depth the least impact on the amount of runoff, erosion and sediment. Also amount of runoff and sediment yield increased with increasing clay. But impact of sand, organic matter, cation exchange capacity and soil depth on the amount of sediment and soil loss was not clear.

Keywords: Water erosion prediction project, Erosion, Run-off, Sediment, Soil characteristics

این فایل‌ها شامل فایل اقلیم، خاک، مدیریت اراضی، شیب و کانال (آبراهه) است.

مدل WEPP در کاربری‌های مختلف و با مقیاس‌های متنوع بر روی دامنه، در داخل آبراهه و یا برای حوزه آبخیز در کشورهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. از مدل WEPP به منظور پیش‌بینی بار رسوبی و رواناب حاصل از حوزه‌های آبخیز کشاورزی استفاده شد (Kirmak, 2002) که مدل نتایج قابل قبولی را ارائه داد. نسخه دامنه‌ای مدل WEPP برای پیش‌بینی رواناب سطحی و فرسایش خاک در جنوب شرقی نروژ استفاده گردید که نتایج نشان داد مدل برای پیش‌بینی رواناب و فرسایش مناسب است (Grønsten and Lundekvam, 2006). با بررسی فرسایش بین شیاری در شرایط آزمایشگاهی و تحت باران مصنوعی حساسیت پذیری فرسایش با استفاده از مدل WEPP انجام گردید (Asadi et al, 2007). در این تحقیق سه نوع خاک با ویژگی‌های متفاوت درصد شن، لای و ماسه، مواد آلی، اسیدیته و هدایت الکتریکی با در نظر گرفتن تأثیر شیب بر میزان فرسایش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بافت و ساختمان خاک و شیب بر روی میزان فرسایش تأثیر گذاشته و فرسایش بین شیاری با افزایش شیب افزایش می‌یابد.

بامطالعه‌ای در جنوب اسپانیا، تأثیر پوشش گیاهی، خصوصیات و مواد آلی خاک را بر روی میزان رواناب و فرسایش، بررسی گردید (Gómez et al, 2009). این مطالعه در زمین‌هایی با پوشش

**مقدمه**

در مطالعات فرسایش خاک، ارزیابی خطر فرسایش و پهنه‌بندی اراضی با شدت‌های مختلف فرسایش، حائز اهمیت فراوان است، چراکه با شناسایی مناطق دارای توان بالقوه فرسایشی، می‌توان مدیریت صحیحی در استفاده از اراضی ارائه و باعث کاهش فرسایش شد. فرآیند فرسایش از فاکتورهای متعددی منتج می‌شود و مدل‌سازی آن‌ها به دلیل پیچیدگی این عوامل مشکل است. هدف از مدل یافتن تصویر و بازنمودی است که به‌سادگی نمایانگر حقایق و پدیده‌ها باشد (Esmeali and Abdollahi, 2010).

و پ یک مدل فیزیکی فرآیند یاب و شبه‌ساز پیوسته دامنه و حوزه آبخیز می‌باشد که قادر است تا توزیع مکانی و زمانی رواناب، فرسایش ویژه و میزان رسوب‌گذاری را برای یک دامنه در دوره‌های زمانی پیوسته و یا به صورت تک رگباری در مکان‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه پیش‌بینی کند. این مدل با پایه فیزیکی، هدر رفت خاک و رسوب‌گذاری را با استفاده از مکانیسم‌ها و فرآیندهای توزیعی زمانی و مکانی پیش‌بینی می‌کند (Nearing et al, 1989; Nearing et al, 1990). جهت اجرای این مدل نرم‌افزاری با همین نام تهیه و ارائه گردیده است. از زمان ارائه مدل و پ تاکنون نرم‌افزار و توانایی‌های مدل به‌طور پیوسته در حال به‌روزرسانی است و تحقیق حاضر با استفاده از نسخه ارائه‌شده مدل در سال ۲۰۱۲ انجام گردید. اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل بایستی در قالب فایل‌های مجزایی با چارچوب‌های تعیین‌شده در نرم‌افزار تهیه و به مدل معرفی شود.

پارامترهای ورودی روی رواناب تأثیر خاصی ندارد ولی در مورد میزان رسوب خروجی فرسایش بین شیاری بیشترین تأثیر را دارد. حساسیت پارامترهای فرسایش پذیری خاک برای فرسایش، در منطقه کوهستانی تونگیای دابی چین مورد مطالعه قرار گرفت (Zhang et al., 2013). در این مطالعه با استفاده از سنجش از دور و GIS و با توجه به پارامترهای بارندگی، خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی مدل اجرا شد. نتایج نشان داد که فرسایش پذیری خاک وابسته به نوع خاک و پوشش گیاهی می‌باشد.

از آنجایی که مدل وپ برای محاسبه سه خروجی اصلی خود شامل روان آب، فرسایش و رسوب نیازمند تعداد متعددی از داده‌های ورودی است، تعیین میزان حساسیت پارامترهای ورودی می‌تواند در دقت اجرای مدل و همچنین هزینه‌های اجرای آن (گزینش انتخابی و اندازه‌گیری پارامترهای مهم) تأثیر قابل توجهی داشته باشد. از این رو در این تحقیق میزان حساسیت پارامترهای اداپکی این مدل مورد مطالعه قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

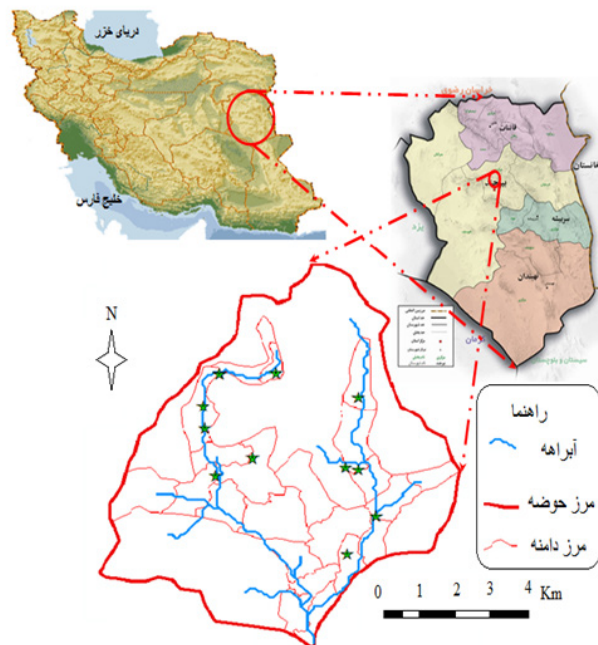
### معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز حاجی‌آباد با وسعت ۶۸۶۶ هکتار در قسمت شمالی بخش مرکزی بیرجند و در محدوده جغرافیایی ۱۳° و ۵۹° تا ۱۹° و ۵۹° طول شرقی و ۵۷° و ۳۲° تا ۰۴° و ۳۳° عرض شمالی واقع شده است. فاصله حوزه از شهر بیرجند حدود ۵ کیلومتر است و رواناب حاصل از این حوزه در محل خروجی بر روی باند فرودگاه وارد شده و سپس وارد شهر بیرجند می‌شود. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

درخت زیتون صورت گرفت که با توجه به نتایج، در خاک‌هایی با مواد آلی ۲، ۱/۴ و ۱٪ اندازه خاکدانه‌ها به ترتیب ۰/۴۵۲، ۰/۴۱۸ و ۰/۲۵۸ بود و با افزایش مواد آلی خاک میزان فرسایش کاهش یافت. مدل WEPP برای شبیه‌سازی و مدل‌سازی بار رسوبی و رواناب ناشی از حوزه‌های آبخیز کشاورزی کوچک در هند مناسب تشخیص داده شد (Pandey et al., 2009). مدل WEPP و HEC-HMS برای برآورد رواناب حوزه آبخیز با استفاده از ابزارهای سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد ارزیابی قرار گرفت (Verma et al., 2010). نتایج نشان داد که هر دو مدل برآورد قابل قبولی را ارائه می‌دهند، در حالی که مدل وپ با توجه به تعداد ورودی‌های بیشتر و در نظر گرفتن عوامل مختلف، نتایج بهتری ارائه می‌دهد.

با استفاده از مدل WEPP برآورد مقادیر فرسایش در دامنه‌های شمالی ایرلند و پیش‌بینی آن برای زمان‌های آتی صورت گرفت (Mullan et al., 2012). نتایج نشان داد که میزان فرسایش در آینده افزایش پیدا خواهد کرد و جهت کنترل میزان فرسایش به مدیریت و کاربری صحیح اراضی نیازمند می‌باشد. در جنوب غربی ویرجیانای آمریکا، تأثیر خصوصیات خاک بر روی میزان فرسایش و رواناب بررسی شد (Ritchey et al., 2012). نتایج نشان داد که ظرفیت تبادل کاتیونی روی میزان فرسایش و رسوب تأثیر چندانی ندارد و درصد سیلت بیشترین تأثیر را روی میزان فرسایش دارد.

بامطالعه در حوزه آبخیز هیلی در قسمت شرقی کوه‌های هیمالیا، با استفاده از مدل WEPP میزان رواناب و رسوب خروجی از حوزه برآورد گردید (Singh et al., 2012). ورودی‌های مدل شامل چهار فاکتور اقلیم، شیب، خاک و مدیریت بود. آنالیز حساسیت مدل نشان داد که حساسیت مدل برای برآورد میزان رواناب کمتر است و تغییر



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

### داده‌های خاک

جهت تکمیل اطلاعات موردنیاز این بخش اقدام به حفر پروفیل و برداشت ژنتیکی لایه‌های خاک حداکثر تا عمق ۱/۸ گردید (شکل ۲). برخی اطلاعات موردنیاز برای تکمیل فایل خاک شامل درصد سنگ و سنگریزه، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد ماده آلی، درصد رس، سیلت و شن، عمق خاک در افق‌های مختلف، چگالی حجمی خاک خشک، بافت خاک، فرسایش‌پذیری شیبی و بین شیبی می‌باشد. یکی از عوامل بسیار مهم در فرسایش درصد سیلت است که مدل میزان سیلت را بر اساس درصد رس و سیلت ورودی محاسبه می‌کند. در منطقه مورد مطالعه، با بررسی نقشه زمین‌شناسی، کاربری کنونی و نقشه منابع اراضی و حفر پروفیل در واحدهای مشابه اقدام به تهیه نقشه خاک‌شناسی و تکمیل ورودی‌های ادافیکی مدل گردید.

### تهیه داده‌های ورودی موردنیاز مدل

#### داده‌های اقلیمی

فایل اقلیم می‌تواند توسط دو زیر برنامه مختلف به نام‌های CLIGEN و BPCDG تهیه شود، که در این تحقیق از زیر برنامه CLIGEN استفاده گردید. جهت اجرای کامل کلیژن نیاز به طیف وسیعی از اطلاعات اقلیمی است که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: درجه حرارت متوسط روزانه، ارتفاع بارندگی روزانه، حداکثر مطلق دمای ماهانه، حداقل مطلق دمای ماهانه، متوسط بارندگی مرطوب‌ترین روز، احتمال یک روز مرطوب پس از یک روز خشک، احتمال یک روز خشک پس از یک روز مرطوب، تعداد روزهای آفتابی و حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای است. داده‌های مذکور از ایستگاه سینوپتیک بیرجند استخراج و به مدل وارد گردید.



شکل ۲- یک نمونه پروفیل حفر شده در سطح حوضه

سه بخش اول همانند قبل عمل می‌شود و برای تعیین نوع آبراهه بایستی از یکسری اطلاعات شامل شکل آبراهه، شیب، ضریب زبری، نوع بخش کنترلی در خروجی آبراهه (در صورت وجود) و شیب کناره استفاده نمود. اطلاعات آبراهه‌های منطقه از طریق برداشت صحرایی تکمیل گردید.

#### خصوصیات توپوگرافی

اطلاعات موردنیاز در این قسمت از مدل رقومی ارتفاع با دقت ۱۰ متر تهیه شد و شامل خصوصیات فیزیکی حوضه می‌باشد. برخی از این خصوصیات شامل: سطح حوزه آبخیز، سطح هر دامنه، طول، عرض و درصد شیب هر دامنه می‌شود. اطلاعات مربوط به فایل شیب از طریق نرم‌افزار GeoWEPP تهیه گردید. این نرم‌افزار در قالب یک اکستنشن در نرم‌افزار Arc GIS قابل اجرا است. برای این منظور پس از تهیه DEM شبکه زهکشی و دامنه‌ها با توجه به خصوصیات و شرایط منطقه رسم شد. پس از رسم شبکه آبراهه‌ای و دامنه‌های

#### داده‌های مربوط به مدیریت اراضی

اطلاعات موردنیاز برای این بخش در قالب سه دسته اصلی شامل: اطلاعاتی در مورد نحوه مدیریت و اعمال انجام‌شده بر روی زمین همانند کشت روی خطوط تراز، میزان و نحوه چرا، زهکشی و آبیاری، اطلاعاتی در مورد شرایط منطقه همانند تراکم حجمی خاک خشک، میزان تاج پوشش، جرم کل ریشه مرده و اطلاعاتی در مورد خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی گیاهان غالب همانند ضریب تاج پوشش، نسبت انرژی به بیوماس، شاخص سطح برگ، قطر ساقه گیاه در بلوغ و بردباری گیاه به خشکی می‌باشد. اطلاعات این بخش با تهیه واحدهای همگن مدیریتی در منطقه مورد مطالعه و برداشت اطلاعات موردنیاز در منطقه تکمیل گردید.

#### داده‌های مربوط به کانال یا آبراهه

پنجره مربوط به این فایل دارای چهار بخش خصوصیات خاک کف و کناره آبراهه، شیب آبراهه، مدیریت آبراهه و نوع آبراهه است.



(۳)

میانگین رواناب سالانه با افزایش درصد سنگ و سنگریزه رابطه‌ای خطی دارد، گرچه تغییرات آن مورد توجه نمی‌باشد (با افزایش ۲۸٪ سنگ و سنگریزه میزان رواناب ۰/۲۱ میلی‌متر افزایش می‌یابد). ضمن اینکه افزایش مقدار درصد سنگ و سنگریزه تا ۲۵٪ تأثیر چندانی روی هدر رفت خاک و تولید رسوب نمی‌گذارد ولی با گذشتن از مقدار ۲۵٪ تولید رسوب را تحت تأثیر قرار می‌دهد (میزان ۰/۰۱ تا ۰/۲۸ تن در هکتار به ترتیب در میزان سنگ و سنگریزه ۲۵٪ تا ۵۰٪).

تغییر در درصد مواد آلی فقط روی میزان رواناب تأثیر گذاشته و مقادیر هدر رفت خاک و تولید رسوب را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. به‌طور مشابه تغییر در درصد شن بیشترین تأثیر را روی میزان رواناب گذاشته و فقط در مقادیر بالای ۳۰٪ میزان تولید رسوب را به میزان بسیار اندک تحت تأثیر قرار داده است.

با افزایش عمق خاک نیز میزان رواناب جاری شده به‌صورت نمایی افزایش پیدا کرد (۰/۰۴ میلی‌متر در ۵۰ سانتیمتر عمق تا ۰/۰۷۵ میلی‌متر در ۵۵۰ سانتیمتر عمق خاک)، گرچه این مقدار تغییر قابل ملاحظه نبود ولی می‌تواند یکی از نواقص موجود در مدل باشد، به دلیل اینکه با افزایش عمق خاک بدون تغییر پارامترهای دیگر فضای لازم جهت نفوذ آب فراهم می‌شود و به‌طور منطقی میزان رواناب باید کاهش یابد. این در حالی است که با افزایش عمق خاک میزان هدر رفت خاک و تولید رسوب تغییر اندکی دارند. تغییر در میزان ظرفیت تبادل کاتیونی خاک هیچ‌گونه تغییری در میزان هدر رفت خاک و تولید رسوب نداشت و فقط در مقادیر بین ۱ تا ۵ gr/meq به‌صورت ناچیزی میزان رواناب را افزایش داد. حساسیت میزان هدر رفت خاک برای تمامی پارامترهای ادافیکی کمترین میزان را دارا بوده و شیب تغییرات آن بسیار اندک و ناچیز می‌باشد. در مورد ذرات تشکیل‌دهنده خاک درصد سنگ و سنگریزه کمترین تأثیر را روی برآورد هدر رفت خاک گذاشته، درصد شن تأثیر متوسط و بیشترین تأثیر، مربوط به درصد رس است، که میزان حداکثر آن در مقادیر ۵۰ رس نزدیک به ۲/۹ میلی‌متر میانگین رواناب سالانه و نزدیک به ۳ تن در هکتار در مورد میانگین تولید رسوب سالانه می‌باشد. همچنین نتایج مربوط به آنالیز حساسیت مدل نسبت به میزان درصد سیلت خاک در شکل ۴ ارائه شده است.

با توجه به شکل ۴ مشخص است که میزان سیلت بیشترین تأثیر را نسبت به پارامترهای ادافیکی دیگر روی خروجی‌های مدل (میزان رواناب، هدر رفت خاک و تولید رسوب) دارد. با توجه به اینکه در مقادیر بالای ۲۰٪ سیلت، میزان رواناب و رسوب به‌صورت نمایی افزایش پیدا می‌کند، می‌توان به اهمیت این پارامتر در میان عوامل ورودی پی برد. در بین سه نوع ورودی سیلت به مدل، بیشترین تأثیر را حالتی نشان می‌دهد که میزان رس دو برابر شن باشد، این مورد تأثیر رس را روی میزان رواناب نشان می‌دهد. همچنین نتایج مربوط به مقایسه فاکتورهای ورودی، با استفاده از شاخص حساسیت (SI) در جدول ۱ ارائه شده است.

منتهی به آن توسط نرم‌افزار GeoWEPP کل حوضه به ۵۲۰ دامنه و ۲۱۶ آبراهه تقسیم گردید که برای تمام آن‌ها اطلاعات توپوگرافی مورد نظر توسط نرم‌افزار GeoWEPP تهیه و استخراج گردید. برای آنالیز حساسیت پارامترهای ادافیکی مدل WEPP اطلاعات مربوط به این پارامترها شامل درصد شن، رس، سیلت، سنگ، مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و عمق در محدوده معقول و ممکن بر اساس سوابق علمی (Liu et al, ۱۹۹۷; Baffaut et al, ۱۹۹۷; Nearing et al, ۱۹۸۹; Nearing et al, ۱۹۹۰; Tiscareno-Lopez et al, ۱۹۹۳; Lopez et al, ۱۹۹۴) به‌طور مجزا تغییر و به مدل وارد شد. پس از هر مرحله تغییر، اجرای مدل تأثیر آن بر ورودی‌های اصلی شامل روان آب، فرسایش و رسوب تعیین گردید.

### تحلیل حساسیت

طبقه‌بندی کیفی حساسیت مدل با استفاده از شاخص حساسیت انجام گردید این شاخص عبارت است از:

$$SI = \frac{[(O_2 - O_1) / \bar{O}]}{[(I_2 - I_1) / \bar{I}]} \quad (1)$$

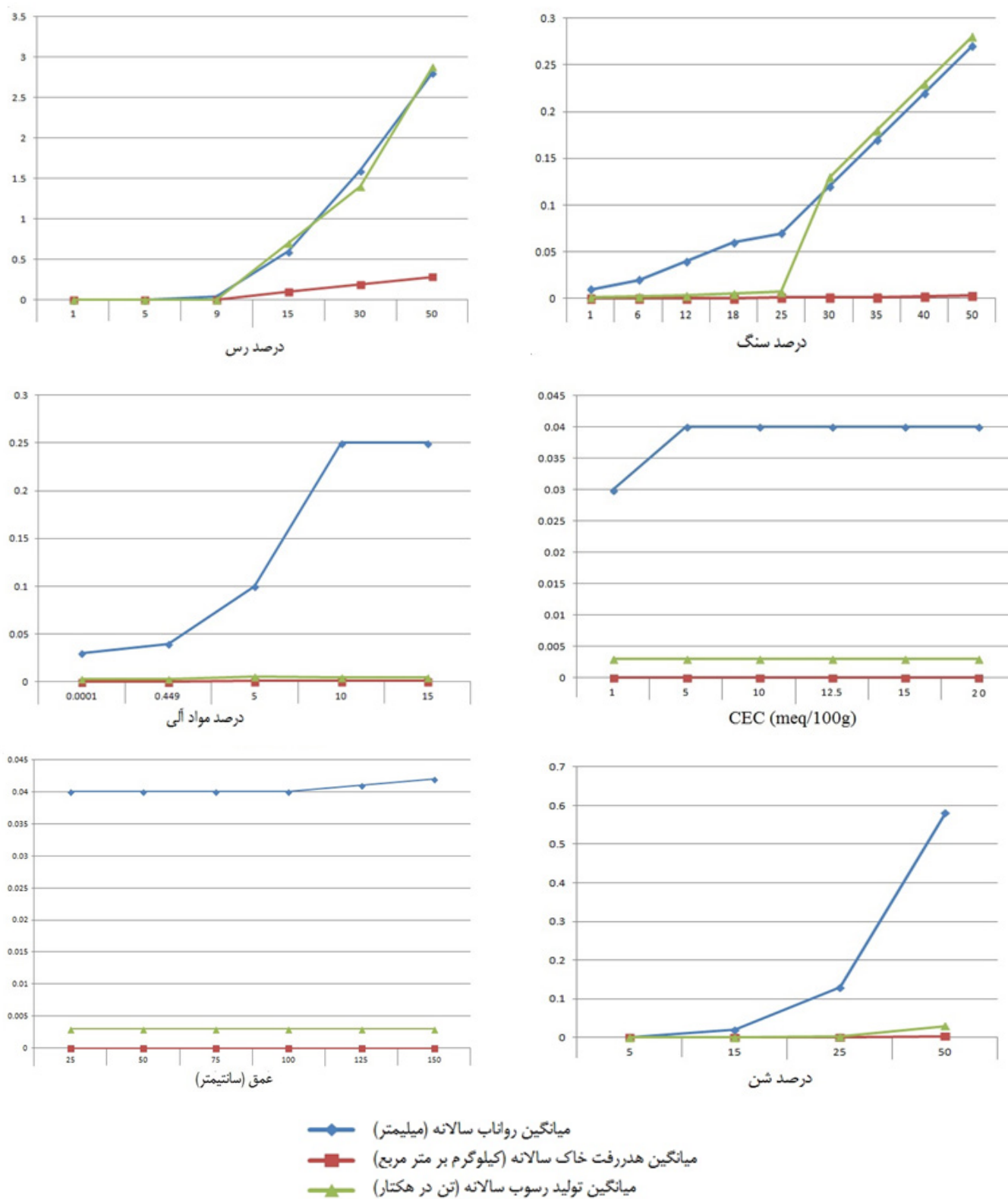
که در آن، SI شاخص حساسیت،  $O_2$  مقدار ثانویه پارامتر خروجی،  $O_1$  مقدار اولیه پارامتر خروجی،  $I_2$  مقدار ثانویه پارامتر ورودی،  $I_1$  مقدار اولیه پارامتر ورودی،  $\bar{O}$  متوسط مقادیر خروجی و  $\bar{I}$  متوسط مقادیر ورودی می‌باشد.

بر طبق این روش، حساسیت خروجی‌های مدل نسبت به پارامترهای ورودی به چهار گروه حساس، نیمه حساس، با حساسیت کم و غیر حساس تقسیم‌بندی می‌شود. اگر میزان این شاخص بیشتر از ۱ باشد، مدل به پارامتر ورودی حساس است. در صورتی که میزان آن بین ۰/۵-۱ باشد مدل به آن پارامتر ورودی نیمه حساس بوده، بین ۰-۰/۵ باشد حساسیت کم و در صورتی که صفر باشد، مدل به آن پارامتر غیر حساس است (Hamidpour et al, ۲۰۱۳; Ghorbani, ۲۰۰۹; Quinton and Rickson, ۱۹۹۴).

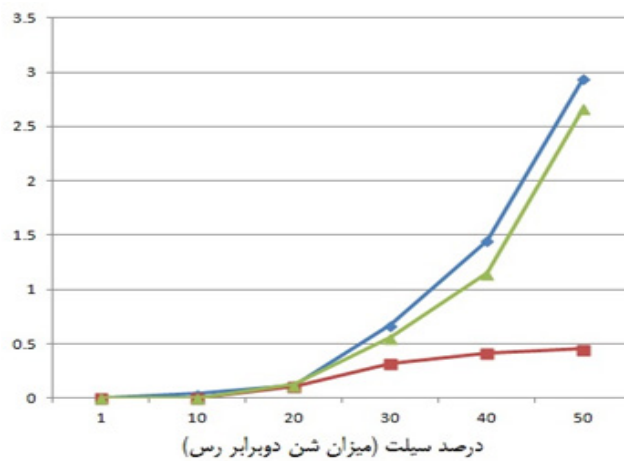
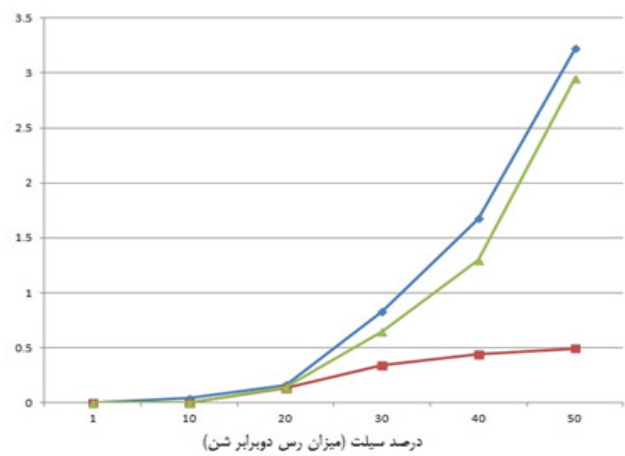
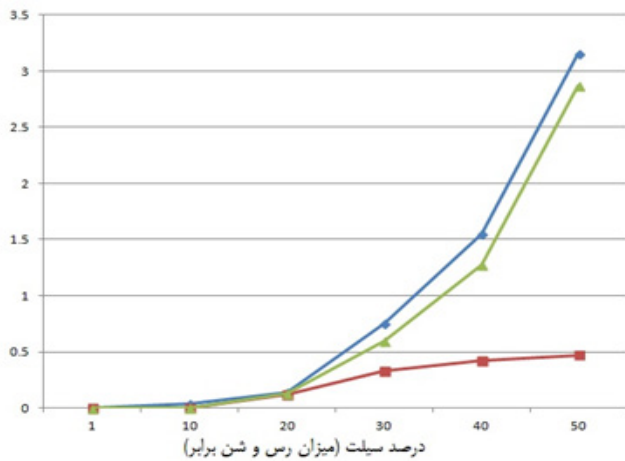
### نتایج

با ورود پارامترهای مورد نیاز، میانگین رواناب سالانه (میلی‌متر)، میانگین هدر رفت خاک سالانه (کیلوگرم بر مترمربع) و میانگین تولید رسوب سالانه (تن در هکتار) در منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید (شکل ۳).

نتایج نشان می‌دهد که تغییر مقدار رس تا میزان ۹٪ تأثیر چندانی روی رواناب، هدر رفت خاک و تولید رسوب ندارد و با گذشتن از این مقدار روند صعودی در مقادیر رواناب و رسوب مشاهده می‌شود (به ازای ۱۵٪ اضافه شدن رس میزان رواناب ۱ میلی‌متر و میانگین تولید رسوب سالانه ۰/۸ تن در هکتار افزایش پیدا می‌کند)، در حالی که شیب تغییرات هدر رفت خاک بسیار اندک می‌باشد (شکل



شکل ۳- نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای اداپتیکی مدل WEPP (به جز سیلت)



- میانگین رواناب سالانه (میلیمتر)
- میانگین هدررفت خاک سالانه (کیلوگرم بر متر مربع)
- ▲ میانگین تولید رسوب سالانه (تن در هکتار)

شکل ۴- نتایج آنالیز حساسیت میزان سیلت مدل WEPP

جدول ۱- نتایج شاخص حساسیت (SI) فاکتورهای ادافیکی مدل WEPP

فاکتور	رواناب	فاکتور	هدر رفت خاک	فاکتور	رسوب
سیلت (شن دو برابر رس)	۱/۷۴	درصد شن	۲/۱۱	درصد شن	۱/۸۶
سیلت (رس و شن برابر)	۱/۷۲	درصد سنگ	۱/۳۴	سیلت (شن دو برابر رس)	۱/۸۳
درصد شن	۱/۶۸	درصد رس	۱/۱۲	سیلت (رس و شن برابر)	۱/۸۱
سیلت (رس دو برابر شن)	۱/۶۷	سیلت (رس دو برابر شن)	۱/۰۹	سیلت (رس دو برابر شن)	۱/۸۰
درصد رس	۱/۲۵	سیلت (شن دو برابر رس)	۱/۰۸	درصد سنگ	۱/۴۷
درصد سنگ	۱/۱۷	سیلت (رس و شن برابر)	۱/۰۸	درصد رس	۱/۳۰
مواد آلی	۰/۶۷	مواد آلی	۰/۶۸	مواد آلی	۰/۱۸
CEC	۰/۱۱	عمق	۰	عمق	۰
عمق	۰/۰۳	CEC	۰	CEC	۰

پارامترهای ادافیکی داشته و تغییر میزان ظرفیت تبادل کاتیونی و عمق خاک کمترین اثر را روی خروجی دارد (Ritchey et al., ۲۰۱۲). از آنجایی که یکی از موضوعات قابل تامل در استفاده از مدل WEPP گستردگی تعداد و نوع داده‌های ورودی می‌باشد. بهتر است در مطالعات دیگری حساسیت سایر ورودی‌های مدل نیز مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان به کمک نتایج حاصله اجرای مدل را در کشور با هزینه و وقت کمتر و دقت بیشتر امکان پذیر نمود.

### منابع مورد استفاده

1. Asadi, H., Refahi, H., Rouhipour, H. & Ghadiri, H. (2007). Evaluation of inter-rill erosion and Evaluation some of equations in laboratory conditions by rain simulator. *Journal of agricultural science of Iran*: (5)37 784-775.
2. Baffaut, C., Nearing, M., Ascough, J. & Liu, B. (1997). The WEPP watershed model. II. Sensitivity analysis and discretization on small watersheds.
3. Esmeali, a. & Abdollahi, K. (2010). Watershed management and soil conservation. Ardabil: Mohaghegh Ardabili University.
4. Gholamzade, R. (2012). Estimation of erosion and sediment yield using WEPP model in Sharif Abad Watershed of Birjand. In Department of Range and Watershed Management, Vol. M. Sc., 155 Zabol: University of Zabol.
5. Ghorbani, B. (2009). Prediction water losses under moving sprinkler irrigation using EUROSEM. In 1st international confrence of water Crisis Zabol. Iran.
6. Golkarian, A., Abrisham, E., Jafari, A. & Ahmadi, H. (2009). Estimating water erosion and sediment using WEPP model (Case study of Bar-Erieh Watershed, Neyshabur). *Pajouhesh & Sazandegi* (172-161): (75).
7. Gomez, J. A., Sobrinho, T. A., Giráldez, J. V. & Fereres, E. (2009). Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. *Soil and Tillage Research* 13-5: (1)102.
8. Grønsten, H. & Lundekvam, H. (2006). Prediction of surface runoff and soil loss in southeastern Norway using the WEPP Hillslope model. *Soil and Tillage Research* 199-186: (1)85.
9. Hamidpour, M., Jalalian, A., Afyuni, M. & Ghorbani, B. (2013). Sensitivity Analysis, Calibration and Validation of EUROSEM Model for Prediction of Runoff in the South Karoun Watershed. *JWSS - Isfahan University of Technology* 60-49: (62)16.

با توجه به جدول مشخص می‌شود که میزان سیلت به‌طور کلی بیشترین اثر را روی خروجی‌های مدل داشته است. در حالتی که میزان شن بیشترین اثر را روی هدر رفت خاک و تولید رسوب داشته است. در بین فاکتورها، عمق خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی کمترین اثر را روی خروجی‌ها داشته است.

### بحث و نتیجه‌گیری

از آنجایی که کارایی مدل WEPP در برآورد و شبیه‌سازی فرایندهای فرسایش، رسوب و روان آب در ایران طی مطالعاتی مورد تایید قرار گرفته است (Esmeali and Golkarian et al., ۲۰۰۹; Abdollahi, ۲۰۱۰; Gholamzade, ۲۰۱۲)، در این مطالعه آنالیز حساسیت این مدل به پارامترهای ادافیکی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج مشخص شد که میزان سیلت بیشترین تأثیر را روی میزان رواناب داشته و روی خروجی‌های دیگر مدل نیز دارای تأثیر بسزایی بود که این موضوع با نتایج (Ritchey et al., ۲۰۱۲) همخوانی دارد. میزان شن با توجه به تأثیری که روی هدر رفت خاک و تولید رسوب دارد در مرتبه بعدی حساسیت قرار دارد، این امر به دلیل ایجاد محیطی ناپیوسته و قابل حمل توسط ذرات شن می‌باشد. تغییر در میزان رس خاک در محدوده ۹ تا ۵۰ درصد، میزان رواناب و رسوب را به حد چشمگیری افزایش داد که دلیل این امر می‌تواند به خاطر کاهش نفوذپذیری خاک با افزایش میزان رس در خاک باشد. با توجه به ریز بودن ذرات رس، بین خاکدانه‌های خاک توسط این ذرات پر شده و میزان نفوذ آب کاهش پیدا کرده، مقدار رواناب و حمل رسوب افزایش می‌یابد (Refahi, ۲۰۰۰). در مقادیر کمتر، تأثیرپذیری رس روی نفوذپذیری کمتر بوده و بر روی رواناب و رسوب تأثیر خاصی ندارد (Singh et al., ۲۰۱۲; Tiscareno- Lopez et al., ۱۹۹۴).

با توجه به افزایش رواناب به‌صورت خطی در محدوده سنگ و سنگ‌ریزه ۲۵ تا ۵۰ و تولید رسوب در محدوده ۳۰ تا ۵۰، می‌توان دلیل آن را افزایش سطوح غیرقابل نفوذ سنگی دانست، درحالی که ضریب زبری و قابلیت نفوذ در این حالت افزایش یافته و بر میزان رواناب و رسوب اثر کاهنده دارد. با افزایش میزان شن و عمق خاک به‌صورت نمایی میزان رواناب افزایش می‌یابد، گرچه این تغییرات ناچیز بود و به اندازه میزان رس قابل ملاحظه نمی‌باشد. این امر با نتایج تحقیق (Singh et al., ۲۰۱۲) در تناقض است. به‌طور کلی میزان درصد شن، مواد آلی، CEC و عمق خاک تأثیر مشخصی روی میزان تولید رسوب و هدر رفت خاک ندارد. (Ritchey et al., ۲۰۱۲).

با افزایش عمق خاک میزان تولید رواناب افزایش پیدا کرد، گرچه این مقدار تغییر قابل ملاحظه نبود ولی می‌تواند یکی از نواقص موجود در مدل باشد، به دلیل اینکه با افزایش عمق خاک بدون تغییر پارامترهای دیگر فضای لازم جهت نفوذ آب فراهم می‌شود و به‌طور منطقی میزان رواناب باید کاهش یابد (Refahi, ۲۰۰۰; Mahdavi, ۲۰۰۲).

بررسی کلی این موضوع را مشخص کرد که این مدل نسبت به میزان سیلت، رس و شن خاک حساسیت بیشتری نسبت به سایر



