



ارزیابی مدل فرآیندی GUEST در برآورد میزان فرسایش برای یک نمونه از خاک‌های منطقه خواجه تبریز*

سیامک ساعدی

دانشجوی سابق دوره دکتری خاکشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

ابراهیم پذیرا

دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه خاکشناسی.

حسن روحی پور

موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور.

محمد رضا نیشابوری

دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی.

بهرام ثقفیان

پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.

محمد ابراهیم صادقزاده

مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی.

چکیده

در دهه‌های اخیر، مطالعات فرسایش خاک به علت پی آمدهای نامطلوب زیست محیطی و اقتصادی، هدر رفت منابع خاک و اثرات سوء بر مدیریت پایدار اراضی، اهمیت قابل توجهی پیدا کرده است. در این راستا برای شبیه سازی و کمی کردن کلیه فرآیندهای فرسایش، مدل‌های با مبنای فرآیندی توسعه یافته‌اند. یکی از این مدل‌ها، مدل GUEST می‌باشد که بر اساس همزمانی دو فرآیند فرسایش و ترسیب بوده و از قدرت جریان به عنوان شدت عمل جریان سطحی در مقابل مقاومت برشی بستر خاک بهره می‌گیرد. در این تحقیق ضمن شناسایی و معرفی این مدل، پارامترهای مختلف آن، ارزیابی حساسیت عوامل دخیل در آن و نیز میزان دقت نتایج حاصل از مدل در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده انجام گرفته است. آزمایش‌ها بر روی خاک منتخب منطقه خواجه تبریز و در محل آزمایشگاه فرسایش ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری انجام گردید. تجهیزات مورد استفاده شامل دستگاه شبیه ساز باران با سیستم قطره چکان‌های دبی متغیر برای شبیه سازی بارش‌های با شدت‌های ۲۰، ۳۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌متر بر ساعت، سیستم تشتک و فلوم به ابعاد ۸۱ سانتیمتر مربع به عنوان بستر بارش، سینی پاشمان برای اندازه‌گیری رسوب

* بخشی از رساله دکتری نویسنده اول در گروه تخصصی خاکشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

ناشی از پاشمان باران و دستگاه الک مغروق به منظور تعیین پایداری خاک دانه‌ها بوده‌اند. شیب‌های ۳، ۷، ۱۵ و ۲۰ درصد برای اجرای آزمایش‌ها انتخاب شدند. بر مبنای نتایج اندازه‌گیری‌های حاصل، استفاده از مدل در آنالیز داده‌های رسوب و رواناب و آنالیز حساسیت، تغییرات زمانی غلظت رسوب در تمامی شدت‌های بارندگی روند یکنواخت و مشابه کاهشی از ابتدای آزمایش تا زمان حدود ۳۰ دقیقه داشته‌اند. شاخص حساسیت متوسط غلظت رسوب نسبت به متغیرهای ورودی، مؤثرترین عامل را پارامتر فرسایش پذیری و پس از آن عامل ترسیب پذیری تعیین نمود. تغییرات غلظت رسوب ناشی از پاشمان و شدت بارندگی از رابطه خطی با ضریب تبیین بالا تبعیت می‌نماید. تحلیل‌های آماری بر روی غلظت رسوب ناشی از رواناب و پاشمان، بیانگر معنی‌دار بودن مدل خطی برازش شده بین داده‌ها و تطبیق مطلوب نتایج برآوردی و مشاهده‌ای می‌باشد. شاخص‌های MAE، MBE و ضریب کارآیی محاسبه شده به ترتیب بیانگر درصد خطای کمتر مدل در برآورد رسوب ناشی از پاشمان نسبت به رواناب، تمایل کم برآورد مدل پاشمان و نیز ضریب کارآیی ۹۸ درصد برای برآورد پاشمان در مقایسه با ۶۰ درصد برای روان آب هستند.

واژه‌های کلیدی: فرسایش خاک، مدل فرآیندی، مدل GUEST، منطقه خواجه

مقدمه

فرسایش تشدیدی خاک و به تبع آن تلفات عناصر غذایی، ارتباط مهمی با کشاورزی پایدار و مدیریت پایدار اراضی دارد. مطالعات پیش‌بینی شدت فرسایش خاک به منظور برنامه‌ریزی در تعیین کاربری اراضی، بررسی خطرات فرسایش و ارزیابی اثرات تغییر کاربری‌ها حائز اهمیت می‌باشد (۳۹). دو نظریه متفاوت در تبیین مدل‌های فرآیندی در زمینه نحوه فرسایش آبی و ترسیب ذرات جدا شده وجود دارد که بسیاری از مدل‌های فرآیندی فرسایش بر اساس آنها توسعه یافته‌اند. در دیدگاه اول برآورد فرسایش بر اساس پتانسیل حمل رسوب بوده و بر این مبنای فرآیند ترسیب تنها زمانی رخ می‌دهد که بار رسوب از حداکثر ظرفیت حمل بیشتر^۱ باشد (۶). فوستر از اولین کسانی است که این نظریه را در مورد فرسایش آبی به ویژه برای فرسایش شیاری بیان نموده است و در حال حاضر اساس کار مدل فرآیندی WEPP^۲ است (۸، ۱۷ و ۲۴). در این زمینه برخی مدل‌های فیزیکی مشابه نظیر LISEM^۳ و EUROSEM^۴ نیز مورد استفاده بوده‌اند (۴ و ۲۲). دیدگاه دوم در مدل فرسایش و ترسیب بر اساس نظریه همزمانی این دو فرآیند می‌باشد (۱۱، ۱۲ و ۳۱). در مدل‌هایی که بر اساس این دیدگاه یا نظریه استوار هستند، فرآیند جدا شدن ذرات از بستر خاک و ترسیب به صورت دینامیک و همزمان در نظر گرفته می‌شوند (۲۸).

هوانگ و همکاران (۱۵)، هیلینگ و همکاران (۱۳) و میسرا و رز (۲۰) مطالعات و تحقیقات خود را بر پایه این دیدگاه که اساس مدل GUEST^۵ به شمار می‌رود، قرار داده‌اند. مدل GUEST توسط هیرسین و رز (۱۱)، رز و همکاران (۳۲) ابداع شده است و از نظریه قدرت جریان بهره می‌گیرد. قدرت جریان توسط باگنولد (۲) اولین بار به عنوان شدت عمل جریان سطحی در مقابل مقاومت برشی بستر خاک در حد فاصل سطح خاک و آب مطرح گردید. بین میزان فرسایش و قدرت جریان، رابطه همبستگی قوی وجود دارد که مؤید بکارگیری صحیح معادله قدرت جریان به عنوان عامل فرسایش در فرآیند فرسایش ناشی از عمل رواناب است (۱۸، ۲۵ و ۳۱).

1. Sediment Transport Capacity
2. Water Erosion Prediction Project
3. Limburg Soil Erosion Model
4. European Soil Erosion Model
5. Griffith University Erosion System Template

در خاک‌های با شیب یکنواخت و فاقد پوشش گیاهی، مک ایساک و همکاران (۱۸) و نیرینگ و همکاران (۲۵) گزارش نمودند که قدرت جریان یک عامل مطلوب برای برآورد میزان انتقال رسوب از شیارهای تحت اثر تنش برشی می‌باشد. بررسی‌های مختلف نشان داده است که آنالیز حساسیت می‌تواند اطلاعات جامعی از پاسخ خروجی مدل به متغیرهای مورد استفاده در مدل، فراهم نماید. بنابراین آنالیز حساسیت مدل، می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های حفاظت خاک مفید باشد (۲۰).

بررسی‌های فرسایش آبی اغلب با استفاده از معادله جهانی تلفات خاک USLE^۱ (۳۸) و یا شکل تجدید نظر شده آن یعنی RUSLE^۲ (۲۹) که به طور موثری تغییرات تلفات خاک را تشریح می‌کنند انجام می‌شود، ولی به علت محدودیت‌های موجود در داده‌ها برای برون‌یابی مناسب نیست (۷). رفع نیازهای موجود در این راستا با توسعه تکنولوژی استفاده از GIS^۳ برای مدل‌های مورد استفاده در حوزه‌های آبخیز برای بهبود راهکارهایی با هدف توسعه مدیریت اراضی انجام شده است (۷ و ۲۳). نتایج مطالعات بسیاری از پژوهشگران نشان می‌دهد که روند پیش‌بینی فرسایش طی این دهه به سوی مدل‌هایی است که بیشتر بر فرآیندهای فیزیکی متمرکز شده‌اند. این نوع مدل‌ها از پتانسیل بیشتری برای برون‌یابی داده‌های مبنایی مورد استفاده برخوردار بوده (۳۱) و نحوه انتقال رسوب را با دقت بیشتری شبیه سازی می‌نمایند (۳). الیوت و لافلن (۵)، مک ایساک و همکاران (۱۸) و نیرینگ و همکاران (۲۵) در مطالعات خود در خاک‌های با شیب یکنواخت و فاقد پوشش گیاهی به این نتیجه رسیدند که برای تفکیک و انتقال رسوب در شیارها، قدرت جریان پیش‌بینی کننده مطلوبتری از تنش برشی می‌باشد. مطالعات آزمایشگاهی مدل GUEST توسط ساندر و همکاران (۳۳)، پارلانگ و همکاران (۲۶) تطابق مطلوب بین نتایج مدل و داده‌های آزمایشگاهی را نشان داده است هر چند آزمایشات انجام شده برای تشریح پایه‌های نظری مدل بسیار پیچیده بوده‌اند. ارزیابی حساسیت عوامل موثر در مدل توسط میسرا و رز (۲۰)، شیب زمین را موثرترین و پس از آن ترسیب پذیری و طول شیب را به ترتیب حساس‌ترین پارامترها بیان نمود.

با توجه به اینکه در کشور ما مدل GUEST به طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار نگرفته است، هدف از این تحقیق، شناسایی و معرفی این مدل، محاسبه و بررسی پارامترهای مختلف مدل از جمله فرسایش پذیری در خاک مطالعاتی، تعیین میزان حساسیت عوامل دخیل در مدل و نیز تعیین میزان دقت و مقایسه نتایج حاصل از کاربرد مدل در خاک مورد مطالعه در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. لازم به توضیح است کلیه آزمایش‌های به عمل آمده در این تحقیق بر روی نمونه‌های خاک دست خورده انجام شده و نتایج حاصل مستقیماً بازتاب نوع فرسایش پذیری این خاک‌ها نیست.

روش پژوهش

آزمایش‌ها در آزمایشگاه فرسایش ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک و آبخیز داری خواجه متعلق به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی با موقعیت جغرافیایی $38^{\circ}46'$ و $46^{\circ}40'$ طول شرقی و $38^{\circ}12'$ و $35^{\circ}12'$ عرض شمالی واقع در محدوده استان آذربایجان شرقی (۳۰ کیلومتری شمال شرق تبریز) به انجام رسیده است. خاک مورد آزمایش از منطقه و از عمق ۲۰-۳۰ سانتی متری انتخاب گردید. پس از خشک کردن خاک در معرض هوا و کوبیدن آنها، از الک شماره ۴ (۴/۷۵ میلی‌متر) عبور داده شد. خاک منطقه به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی تجزیه شد. به این منظور کلاس بافت خاک (۹)، جرم مخصوص حقیقی (۹)، درصد کربنات کلسیم (۱۰)، PH، گل اشباع (۳۶)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع (۱۰) و درصد کربن آلی خاک (۱۰) تعیین گردیدند.

برای شبیه سازی باران، از یک دستگاه شبیه ساز باران استفاده شد. دستگاه مورد استفاده بر اساس مدل والکر و همکاران (۳۷) در ایران طراحی شده و متعلق به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی است. از ویژگی‌های شبیه ساز

1 - Universal Soil Loss Equation
2 - Revised Universal Soil Loss Equation
3 - Geographic Information System

باران می‌توان به ارتفاع بارش قابل تنظیم تا سطح زمین: ۲ متر، سطح پوشش دهنده بارش: ۱ متر مربع، فاصله بین قطره چکان‌های مجاور: ۳۳ میلی متر و تغییرات شدت بارش: ۱۰۰ - ۲۰ میلی متر بر ساعت اشاره کرد. شکل شماتیک سیستم شبیه ساز و ضمايم آن در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): شمای دستگاه شبیه ساز مورد استفاده در آزمایش

برای تهیه بستر بارش و تعیین فرسایش ناشی از دو پدیده توام رواناب و پاشمان باران، یک تشتک فلزی به طول و عرض 90×90 سانتی متر و عمق ۱۰ سانتی متر که دارای یک فلوم شیب دار با لوله خروجی است، طراحی و ساخته شد. این تشتک بر روی چهار پایه فلزی به ارتفاع ۷۰ سانتی متر از سطح زمین تعبیه و به وسیله یک دستگاه جک که بر روی پایه‌ای در زیر آن قرار گرفته، برای انجام آزمایش در شیب‌های صفر الی ۳۰ درصد قابل تنظیم بوده است. در قسمت کف خروجی تشتک به سمت فلوم یک زهکش برای جمع آوری آب نفوذ یافته نیز در نظر گرفته شد. طرح سیستم تشتک و فلوم بر اساس مدل هیگنت و همکاران (۱۴) است. بر مبنای مدل ساوات و پوسن (۳۴)، یک سینی پاشمان $10 \times 35 \times 10$ سانتی متری زهکش دار سه بخشی با یک کشویی به عمق ۱۵ سانتی متر و ابعاد 15×20 سانتی متر به منظور جمع آوری فرسایش ناشی از پاشمان باران طراحی و ساخته شد. دستگاه الک مغروق عموماً برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها مورد استفاده است. در این تکنیک، از الک‌های استاندارد آزمایشگاهی برای غربال خاک درون آب استفاده می‌شود. در این تحقیق، دستگاه الک مرطوب برای تعیین عامل ترسیب پذیری در مدل GUEST مورد استفاده قرار گرفت، این دستگاه بر اساس روش سیستم واسنجی اندازه ذرات رسوب سفارش و تهیه گردید (۳۵). در ضمن الک‌های استاندارد آزمایشگاهی به شماره‌های ۱۰ (۲ میلی متر)، ۴۰ (۰/۴۲ میلی متر)، ۶۰ (۰/۲۵ میلی متر) و ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلی متر) به منظور آزمایش‌ها انتخاب شدند. پس از نصب قسمت‌های مختلف دستگاه تنظیم شدت‌های بارش شروع شد. برای بررسی شباهت بارندگی شبیه سازی شده به باران‌های طبیعی، قطر قطرات، سرعت حد و انرژی جنبشی بارش‌های دستگاه در شدت‌های مختلف اندازه‌گیری و محاسبه گردید. به منظور تعیین اندازه قطرات باران شبیه سازی شده از روش گلوله آردی (۱۶) استفاده شد.

لازم به توضیح است که در مدل مذکور غلظت رسوب ناشی از پاشمان قطرات باران^۱ (۲۰ و ۳۱)، قدرت جریان رواناب (۱۲)، رسوب ناشی از فرسایش ورقه‌ای (۱۲)، و عامل فرسایش پذیری B (۳۱) محاسبه گردیدند و در این راستا از نرم افزار GUEPS^۲ استفاده شد

1. Rainfall Detachment
2. Griffith University Erosion Prediction System

(۳۰). غلظت رسوب برآوردی بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب با استفاده از تخمین فرسایش پذیری خاک و بکارگیری آن در سایر تکرارهای آزمایشی و آنالیز مدل با استفاده از دیگر پارامترها، تخمین زده شده است. درصد‌های شیب (S) از طریق آزمایش‌های شبیه سازی با توجه به قابلیت تغییر شیب تشتک و فلوم به وسیله جک به صورت سینوس زاویه شیب اعمال می‌گردند. در آزمایش‌های انجام شده، سطح تحت بارش، فاقد پوشش سطحی بود. ترسیب پذیری مؤثر بر حسب متر بر ثانیه و ذرات خاک تحت پوشش لایه آب (خاکدانه‌ها و ذرات اولیه) تابعی از عمق آب بر حسب میلی متر می‌باشند که با آزمایش الک مغروق با استفاده از نرم افزار GUDPRO^۲ 3.1 (۳۹) تعیین شده است. GUEPS از فایل خروجی GUDPRO در مورد پارامترهای ذکر شده برای آنالیز بهره می‌گیرد.

تشتک و فلوم طراحی شده به عنوان در برگرفته بستر بارش دقیقاً در زیر سطح بارندگی دستگاه شبیه ساز در محل آزمایشگاه قرار گرفت. برای انجام آزمایش‌ها حدود ۱۰۰ کیلوگرم خاک به فلوم منتقل گشته و با استفاده از ماله کاملاً تراز شد، سپس با واسنجی و تنظیم اولین شدت بارش برای شبیه ساز یعنی ۲۰ میلی متر بر ساعت در معرض بارش مذکور قرار گرفت. چهار شیب متفاوت ۳، ۷، ۱۵ و ۲۰ درصد به عنوان تکرارهای آزمایش بر بستر خاک در فلوم اعمال گشتند. آزمایش‌ها برای شدت‌های ۳۵، ۵۰ و ۷۵ میلی متر بر ساعت نیز در شیب‌های منتخب به عنوان تکرار انجام گردید. در هر آزمایش، رواناب خارج شده از فلوم به طور پیوسته در فواصل زمانی ۱، ۵، ۱۵ و ۳۰ دقیقه پس از شروع برقراری رواناب جمع‌آوری شده و پس از توزین و ته نشینی کامل رسوب درون رواناب، حجم آب برای محاسبه روان آب و غلظت رسوب اندازه‌گیری گردید. رسوب حاصل در دستگاه خشک کن و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک و توزین شد. در ضمن نمونه‌های ۴۰ الی ۵۰ گرمی از رسوب، برای انجام آزمایش‌های پایداری خاکدانه‌ها و تعیین ترسیب پذیری به وسیله آزمایش الک مغروق، انتخاب شدند.

مدت آزمایش‌ها برای رسیدن به حالت پایدار حدود ۳۰ دقیقه بود، پس از اندازه‌گیری غلظت رسوب مشاهده‌ای در فواصل زمانی مختلف، متوسط مقدار آن محاسبه شد تا با استفاده از مقادیر فرسایش پذیری β برآورد شده در آزمایش‌های قبلی به وسیله مدل، داده‌های غلظت رسوب برآوردی به وسیله مدل GUEST تعیین و به منظور مقایسه‌های آماری مورد استفاده قرار گیرند. به منظور انجام آزمایش‌های فرسایش پاشمانی، خاک‌های مورد مطالعه با استفاده از سینی پاشمان که بر روی تشتک و فلوم قرار می‌گیرد، تحت اثر بارندگی شبیه ساز با شدت‌های مختلف (۷۵ - ۲۰ میلی متر بر ساعت) قرار گرفتند. آزمایش‌ها در شیب‌های ۳، ۷، ۱۵ و ۲۰ درصد انجام شد. سپس شدت رواناب و غلظت متوسط رسوب محاسبه شد. مدت آزمایش‌ها برای رسیدن به حالت ماندگار، حدود ۳۰ دقیقه بود. پس از اندازه‌گیری غلظت رسوب مشاهده‌ای در فواصل زمانی مختلف، متوسط مقدار آن محاسبه شد تا با استفاده از مقادیر فرسایش پذیری پاشمان برآورد شده در آزمایش‌های قبلی به وسیله مدل، داده‌های غلظت رسوب برآوردی به وسیله مدل GUEST تعیین و به منظور مقایسه‌های آماری مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به این که روش استاندارد برای آنالیز حساسیت مدل‌های فرآیندی در حالت ماندگار وجود ندارد، از روشی که در آن یک واحد تغییر در متغیرهای ورودی، تغییرات وسیعی در خروجی‌ها ایجاد می‌نمایند، استفاده می‌شود (۲۵). در روش مورد استفاده، ضریب تغییرات به عنوان نسبت انحراف استاندارد به میانگین مقدار متغیر خروجی یا ورودی تعریف می‌شود که یک شاخص تغییرات بدون بعد فراهم می‌نماید. شاخص حساسیت انتخاب شده (S) برای آنالیز حساسیت، نسبت ضریب تغییرات خروجی و ورودی به مقادیر میانگین است، بنابراین:

$$S = (s^\circ / \bar{O}) / (is / \bar{I}) \quad (1)$$

که در آن :

s° : انحراف استاندارد متغیر خروجی،

is : انحراف استاندارد متغیر ورودی،

\bar{O} : میانگین متغیر خروجی،

\bar{I} : میانگین متغیر ورودی.

طبق تعریف معادله (۱) نشان می‌دهد وقتی $S = 1$ است، یک رابطه خطی مستقیم بین هر زوج از داده‌های ورودی و خروجی وجود دارد. مقادیر $S > 1$ یا $S < 1$ ، بیان‌کننده حساسیت کمتر یا بیشتر از رابطه خطی مستقیم بین ورودی‌ها و خروجی‌ها هستند. در همین راستا، به منظور ارزیابی فرآیند فرسایش در قالب تحقیقات پایه‌ای، با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی حاصل از آزمایش‌های انجام شده، منحنی‌های تغییرات غلظت رسوب - درصد شیب، غلظت رسوب - شدت رواناب، غلظت رسوب - ترسیب پذیری و غلظت رسوب ناشی از پاشمان - شدت بارندگی، ترسیم و پس از استخراج روابط رگرسیونی، مورد تجزیه، تحلیل و مقایسه قرار گرفتند. تغییرات اعمال شده در متغیرهای ورودی در محدوده‌ای از تغییرات، طبق جدول (۱) مورد آزمون قرار گرفتند.

جدول (۱): حدود تغییرات داده‌های ورودی مورد استفاده در آنالیز حساسیت مدل

حدود	متغیرهای ورودی
۳ - ۲۰	شیب (درصد)
۱۳/۹ - ۷۴/۸	شدت رواناب (میلیمتر بر ساعت)
۰/۰۰۱ - ۰/۰۸۴۴	ترسیب پذیری (متر بر ثانیه)
۰/۶۱ - ۰/۸۳	فرسایش پذیری β

به منظور ارزیابی مدل از دو شاخص آماری MAE^1 و MBE^2 به ترتیب برای تعیین دقت و انحراف مدل استفاده شده است:

$$MAE = \sum |E_s - E_o| / n \quad (1)$$

$$MBE = \sum (E_s - E_o) / n \quad (2)$$

که در آن‌ها: n : شاخص تعداد داده‌ها، n : تعداد داده‌ها، E_s : مقدار برآورد شده، E_o : مقدار مشاهده شده می‌باشند. تعیین کارایی مدل، با استفاده از ضریب کارایی E^3 ناش - ساتکلایف (۳۹) انجام شد. تعریف عام از ضریب مذکور عبارت است از:

$$E = 1 - \left(\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \right) \quad (3)$$

که در آن: n : شاخص تعداد داده‌ها، n : تعداد داده‌ها، y_i : مقدار مشاهده شده، \hat{y}_i : مقدار برآورد شده، \bar{y} : متوسط مقادیر مشاهده شده هستند. ضریب کارایی، بیانگر بخشی از تغییرات کلی در مقادیر داده‌های مشاهده‌ای است که می‌توانند به وسیله مدل مورد تحلیل قرار گیرند. گرچه E مشابه R^2 است ولی زمانی معادل هم می‌باشند که از مدل‌های رگرسیونی خطی استفاده شود.

نتایج و بحث

بر مبنای آزمایش‌های انجام شده، برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه مطابق جدول (۲) است.

جدول (۲): برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

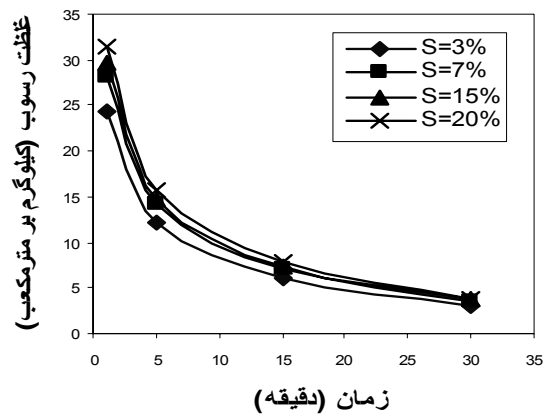
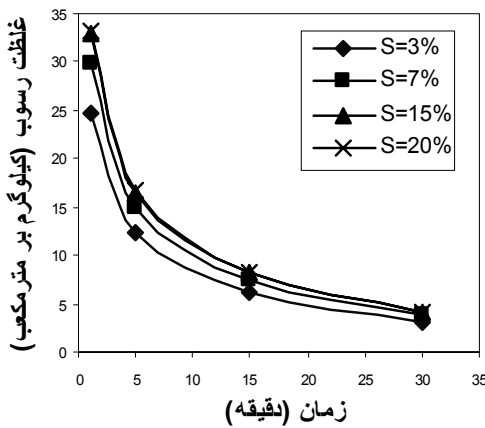
ECe (dSm ⁻¹)	pH	OM (%)	CaCO ₃ (%)	جرم مخصوص حقیقی (kgm ⁻³)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)
۳/۰۷	۷/۵۲	۰/۳۶	۱۸/۵	۲۳۹۰	۳۰	۴۴	۲۶

1. Mean Absolute Error
2. Mean Bias Error
3. Coefficient of Efficiency

قطر قطرات در شدت‌های بارندگی ۲۰، ۳۵، ۵۰ و ۷۵ میلی متر بر ساعت به روش گلوله آردی به ترتیب برابر ۲/۷، ۲/۹، ۳/۱ و ۳/۴ میلیمتر محاسبه شده است. سرعت حد قطرات باران در شدت‌های مذکور با استفاده از منحنی بیان کننده رابطه سرعت نهایی و قطر قطرات (۱۶)، به ترتیب معادل ۷/۶، ۷/۹، ۸/۱ و ۸/۴ متر بر ثانیه تعیین شدند و انرژی جنبشی ناشی از بارش‌ها نیز برای شدت‌های مربوط، مطابق روش ویشمایر و اسمیت (۳۸)، به ترتیب ۲۳/۲، ۲۵/۳، ۲۶/۶ و ۲۸/۲ ژول بر متر مربع در هر میلیمتر باران محاسبه شده است. نتایج نشان دهنده شباهت باران‌های شبیه سازی شده در این تحقیق به بارش‌های طبیعی طبق بررسی‌های هادسون (۱۶) و مطالعات ویشمایر و اسمیت (۳۸) می‌باشند. بنابراین بررسی و تفسیر نتایج مطالعات آزمایشگاهی حاضر در تحقیقات فرسایش مطلوب است.

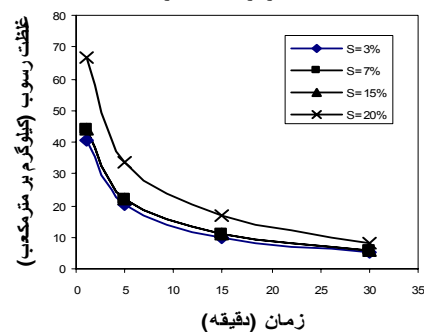
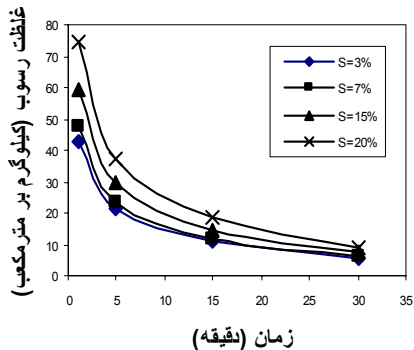
پارامترهای هیدرولوژیکی شامل شدت رواناب (میلیمتر بر ساعت)، عمق رواناب (متر)، سرعت جریان (متر بر ثانیه)، قدرت جریان (وات بر متر مربع)، دبی آب در واحد عرض (متر مکعب بر متر - ثانیه) و میزان رواناب در واحد سطح (متر بر ثانیه) می‌باشند که شدت رواناب از طریق آزمایش‌های انجام شده بر روی فلوم اندازه‌گیری شده و سایر پارامترها به روش محاسبه‌ای تعیین شده است. نتایج حاصل، بیانگر افزایش شدت رواناب به موازات افزایش شدت بارندگی و درصد شیب است. روند افزایش دبی جریان در واحد عرض و میزان رواناب در واحد سطح هم سو با شدت رواناب با افزایش شدت بارش و درصد شیب ملاحظه می‌شوند که با مطالعات رز (۳۰)، باگنولد (۲)، هیرسین و رز (۱۱) و رز (۳۱) تطبیق می‌نماید.

روند تغییرات زمانی غلظت رسوب در خاک منطقه خواجه برای تیمارهای مختلف در اشکال (۲)، (۳)، (۴) و (۵) ارائه شده است.



شکل (۳): تغییرات زمانی غلظت رسوب در شرایط شبیه‌سازی باران با شدت ۳۵ میلیمتر بر ساعت در شیب‌های مختلف

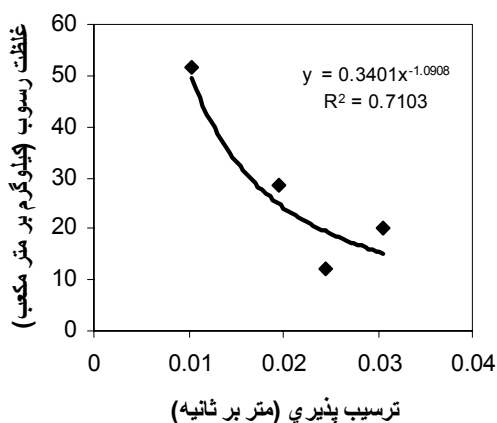
شکل (۲): تغییرات زمانی غلظت رسوب در شرایط شبیه‌سازی باران با شدت ۲۰ میلیمتر بر ساعت در شیب‌های مختلف



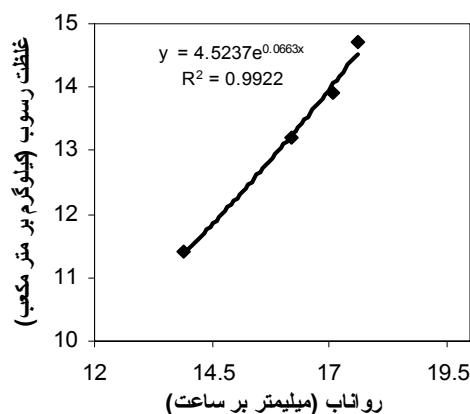
شکل (۵): تغییرات زمانی غلظت رسوب در شرایط شبیه‌سازی باران با شدت ۷۵ میلیمتر بر ساعت و در شیب‌های مختلف

شکل (۴): تغییرات زمانی غلظت رسوب در شرایط شبیه‌سازی باران با شدت ۵۰ میلیمتر بر ساعت در شیب‌های مختلف

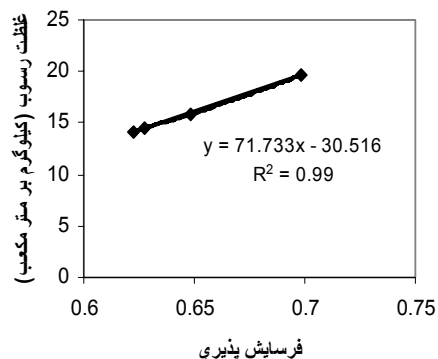
بر مبنای منحنی‌های فوق، تغییرات زمانی غلظت رسوب در تمامی شدت‌های بارندگی، روند یکنواخت و مشابه کاهشی از ابتدای آزمایش و پس از شروع رواناب داشته است که پس از زمان حدود ۳۰ دقیقه به غلظت رسوب نسبتاً ثابتی رسیده‌اند. برای شدت‌های ۵۰ و ۷۵ میلی‌متر بر ساعت، غلظت رسوب و تغییرات زمانی آن بین شیب‌های ۱۵ و ۲۰ درصد اختلاف نسبتاً قابل توجهی دارد. این نتایج با مطالعات رز و همکاران (۳۲)، میسرا و تیکسیرا (۲۱) و هیلینگ و همکاران (۱۳) روند مشابهی نشان می‌دهد. نتایج آنالیز حساسیت متوسط غلظت رسوب برای خاک خواجه نسبت به پارامترهای شدت رواناب، ترسیب پذیری، شیب و فرسایش پذیری β به ترتیب در اشکال ۶، ۷، ۸ و ۹ مشاهده می‌شوند.



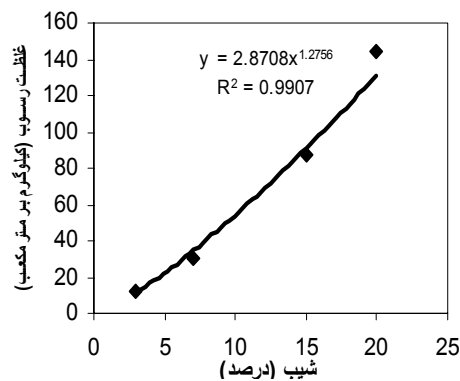
شکل (۷): حساسیت متوسط غلظت رسوب بر آوردی نسبت به پارامتر ترسیب پذیری



شکل (۶): حساسیت متوسط غلظت رسوب بر آوردی نسبت به شدت رواناب



شکل (۹): حساسیت متوسط غلظت رسوب بر آوردی نسبت به فرسایش پذیری



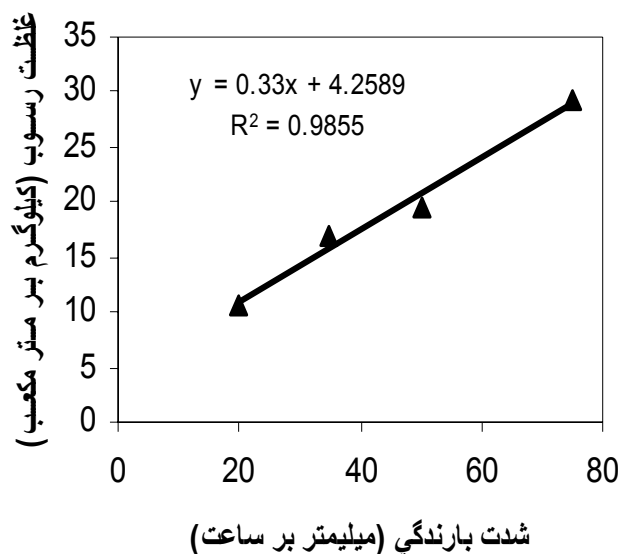
شکل (۸): حساسیت متوسط غلظت رسوب بر آوردی نسبت به درصد شیب

شاخص حساسیت (S) متوسط غلظت رسوب نسبت به متغیرهای ورودی برای خاک مورد مطالعه در جدول (۳) ملاحظه می‌شود.

جدول (۳): شاخص حساسیت (S) متوسط غلظت رسوب نسبت به متغیرهای ورودی

شدت رواناب (میلی‌متر بر ساعت)	ترسیب پذیری (متر بر ثانیه)	شیب (درصد)	فرسایش پذیری
۱/۰۴	۱/۴۹	۱/۲۷	۲/۲

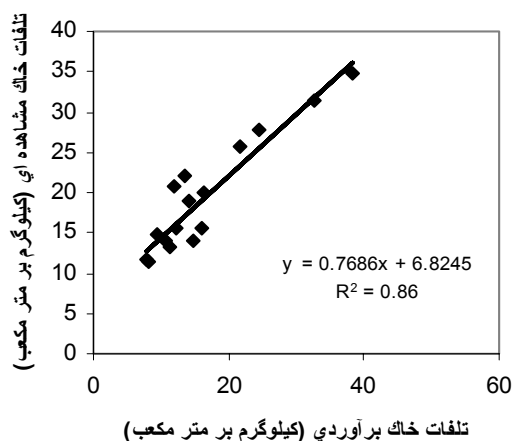
برای خاک منطقه، بررسی شاخص حساسیت متغیرهای مختلف بیانگر بیشترین اثر فرسایش پذیری خاک بر روی غلظت رسوب است (شکل ۹). پارامتر حساس بعدی ترسیب پذیری می‌باشد (شکل ۷). این دو پارامتر به ترتیب از رابطه خطی و توانی به عنوان رابطه مطلوب تبعیت می‌کنند. رابطه نمایی بین غلظت رسوب و شدت رواناب در این خاک نیز در شکل (۶) با محاسبه ضریب تشخیص نشان داده می‌شود. شکل (۸) رابطه مستقیم افزایشی غلظت رسوب با درصد شیب را با تابع توانی بیان می‌نماید. میسرا و رز (۲۰) در مطالعه آنالیز حساسیت مدل مذکور حساسترین عوامل را به ترتیب ترسیب پذیری و شیب معرفی نمودند که با توجه به عدم بررسی حساسیت عامل فرسایش پذیری توسط نامبردگان نتیجه تحقیق حاضر با نتایج ایشان همخوانی دارد. تغییرات شدت بارندگی و میانگین غلظت رسوب در شیب‌های ۳، ۷، ۱۵ و ۲۰ درصد برای خاک مورد مطالعه در شکل (۱۰) ملاحظه می‌شود.



شکل (۱۰): تغییرات میانگین غلظت رسوب با شدت بارندگی

همانطور که در شکل (۱۰) ملاحظه می‌شود، افزایش غلظت رسوب با شدت بارندگی در خاک منطقه صورت خطی است که ناشی از خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوت و وضعیت پایداری خاکدانه‌ها می‌باشد. اسدی و همکاران (۱) در ارزیابی مدل GUEST برای فرآیندهای ناشی از بارندگی افزایش خطی تلفات خاک را با افزایش شدت بارندگی برای یک نمونه خاک شنی تایید نموده‌اند. نتایج تحلیل آماری از نظر تطابق مقادیر میانگین غلظت رسوب مشاهده‌ای با مقادیر میانگین غلظت رسوب برآورد شده توسط مدل به شکل دو فرآیند رواناب و پاشمان باران در خاک مورد مطالعه به شرح زیر است.

پس از انجام آزمون نرمال بودن داده‌ها (شاپیروویلیک)، به منظور انجام مقایسه میانگین و اطمینان از برقراری توزیع نرمال برای داده‌های میانگین غلظت رسوب مشاهده‌ای و برآوردی به وسیله مدل ($p = 0/0687$ و $p = 0/2850$)، نتایج مقایسه میانگین غلظت رسوب بین داده‌های مشاهده شده و برآوردی ($p = 0/6114$) بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌های ذکر شده است. شکل (۱۱)، رابطه خطی بین نتایج میانگین غلظت رسوب مشاهده‌ای و برآوردی حاصل از رواناب را به وسیله مدل و نیز ضریب تشخیص را نشان می‌دهد. جدول (۴)، تجزیه واریانس رابطه خطی مذکور را بین نتایج فوق بیان می‌نماید.



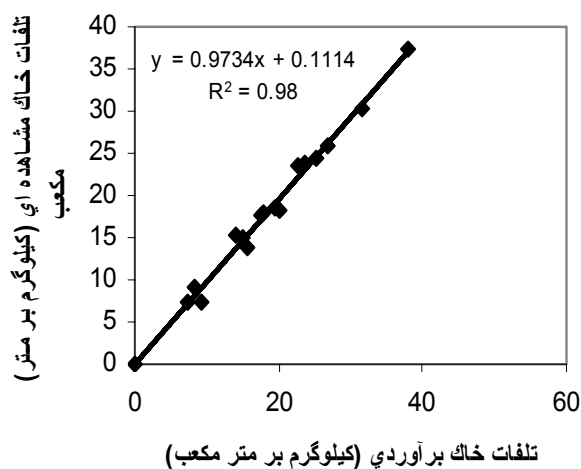
شکل (۱۱): تلفات خاک مشاهده‌ای ناشی از رواناب در مقابل برآورد شده

جدول (۴): تجزیه واریانس رابطه خطی بین داده‌های رسوب مشاهده‌ای و برآوردی ناشی از رواناب

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
مدل	۱	۹۹۳/۴۴	۹۹۳/۴۴	۱۰۷/۸۶**
خطا	۱۵	۱۳۸/۱۴	۹/۲۱	
کل	۱۶	۱۱۳۱/۵۸		

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

پس از انجام آزمون نرمال بودن داده‌ها (شاپیروویلیک) به منظور انجام مقایسه میانگین و اطمینان از برقراری توزیع نرمال برای داده‌های میانگین غلظت رسوب مشاهده‌ای و برآوردی به وسیله مدل ($p = ۰/۰۵۴۰$ و $p = ۰/۲۸۵۱$)، نتایج مقایسه میانگین غلظت رسوب بین داده‌های مشاهده شده و برآوردی ($p = ۰/۷۳۵۸$) بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌های ذکر شده است. شکل (۱۲) رابطه خطی بین نتایج میانگین غلظت رسوب مشاهده‌ای و برآوردی حاصل از پاشمان را به وسیله مدل و نیز ضریب تشخیص را نشان می‌دهد. جدول (۵)، تجزیه واریانس رابطه خطی مذکور را بین نتایج فوق تشریح می‌نماید. نتایج مذکور با نتایج مطالعات یو و رز (۳۹) مطابقت می‌نماید.



شکل (۱۲): تلفات خاک مشاهده‌ای ناشی از پاشمان در مقابل برآورد شده

جدول (۵): تجزیه واریانس رابطه خطی بین داده‌های رسوب مشاهده‌ای و برآوردی ناشی از پاشمان

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع
۱۳۷۰/۶۹**	۱۳۳۷/۳۷	۱۳۳۷/۳۷	۱	مدل
	۰/۹۸	۱۴/۶۳	۱۵	خطا
		۱۳۵۲	۱۶	کل

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

نتایج ارزیابی مدل در برآورد رسوب ناشی از پاشمان باران و رواناب نسبت به مقادیر مشاهده‌ای رسوب برای خاک مورد مطالعه، با محاسبه شاخص‌های MAE، MBE و ضریب کارایی ناش - ساتکلیف (E) به شرح جدول (۶) می‌باشد.

جدول (۶): شاخص‌های MAE، MBE و ضریب کارایی (E) در

شرایط برآورد رسوب ناشی از رواناب و پاشمان

خاک	MAE	MBE	E
خواجه (رواناب)	۳/۷۶	-۲/۵۴	۰/۶۰
خواجه (پاشمان)	۱	۰/۵۲	۰/۹۸

برای خاک منطقه خواجه (رواناب)، میانگین داده‌های رسوب مشاهده‌ای برابر ۱۹/۴ کیلوگرم بر متر مکعب است و با محاسبه درصد نسبت شاخص MAE به میانگین فوق، درصد خطای مدل معادل ۱۹/۳ محاسبه شد. مقدار شاخص MBE، نشان می‌دهد مدل تمایل به بیش برآورد برابر ۲/۵۴ داده‌های رسوب دارد. ضریب کارایی ۰/۶۰ برای مدل در این خاک، بیانگر این نکته است که ۶۰ درصد از کل تغییرات در مقادیر مشاهده‌ای می‌تواند به وسیله مدل توصیف شود. برای خاک منطقه خواجه (پاشمان) میانگین داده‌های رسوب مشاهده‌ای برابر ۱۹/۱ کیلوگرم بر متر مکعب است و با محاسبه درصد نسبت شاخص MAE به میانگین فوق، درصد خطای مدل معادل ۵/۲ محاسبه شد. مقدار شاخص MBE، نشان می‌دهد مدل تمایل به کم برآورد برابر ۰/۵۲ داده‌های رسوب دارد. ضریب کارایی ۰/۹۸ برای مدل در این خاک، بیانگر این نکته است که ۹۸ درصد از کل تغییرات در مقادیر مشاهده‌ای می‌تواند به وسیله مدل توصیف شود. نتایج حاصل بیانگر دقت بیشتر و خطای کمتر مدل در تطبیق برآورد مقادیر رسوب ناشی از پاشمان توسط مدل با مقادیر مشاهده‌ای در مقایسه با برآورد مقادیر رسوب ناشی از رواناب در خاک مورد مطالعه است. مطالعات یو و رز (۳۹) در چین کارایی مدل پاشمان را در برآورد غلظت رسوب بیش از مدل رواناب و در کشور مالزی عکس این نتیجه را نشان داده است. در همین راستا اسدی و همکاران (۱) در مطالعه مدل GUEST به این نتیجه رسیدند که میانگین غلظت رسوب برآوردی تطابق نسبتاً خوبی با میانگین غلظت رسوب اندازه‌گیری شده دارد.

منابع و مآخذ:

- اسدی - حسین، روحی پور - حسن و حسینقلی رفاهی. ۱۳۸۴. ارزیابی یک مدل فرآیندی فرسایش خاک برای فرآیندهای ناشی از اثر بارندگی. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، ۶ الی ۹ شهریور، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، صفحات ۲۳۵-۲۳۷.
- Bagnold, R.A. 1977. Bedload transport by natural rivers. *Water Resour. Res.* 13: 303-311.
- Bingner, R.L. 1990. Comparison of the components used in several sediment yield models. *Trans. ASAE* 33: 1229-1238.

4. DeRoo, A.P.J., C.G.Wesseling and C.J. Ritsema. 1996. LISEM: A single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I. Theory, input and output. *Hydrol. Processes* 10: 1107-1117.
5. Elliot, W.J. and Laflen, J.M. 1993. A process based rill erosion model. *Trans. ASAE* 36: 65-72.
6. Foster, G.R. 1982. Modeling the erosion process. pp. 297-360, In: C.T. Haan (ed.). *Hydrologic modeling of small watershed*. ASAE Monogr. No. 5.
7. Foster, G.R. 1991. Advanced in wind and water erosion prediction. *J. Soil Water Conserv.* 46: 65-72.
8. Foster, G.R., Flangan D.C., Nearing, M.A., Lane, L.J., Risse, L.M. and Finkner, S.C. 1995. Hill slope erosion component. pp. 11.1-11.13. In: D.C. Flangan and M.A. Nearing (eds.). *USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation*. NSERL Rep. No. 10. USDA-ARS Nat. Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN.
9. Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. In : A.Klute (ed.). *Methods of soil analysis*. Part I, ASA and SSS, Madison, WI.
10. Gupta, P.K. 2000. *Soil, plant, water and fertilizer analysis*. Agrobios (India).
11. Harisin, P.B. and Rose, C.W. 1991. Rainfall detachment and deposition: sediment transport in the absence of flow-driven processes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 320-324.
12. Harisine, P.B. and Rose, C.W. 1992. Modelling water erosion due to overland flow using physical principles. I. Sheet flow. *Water Resour. Res.* 28: 237-244.
13. Heilig, A., DeBruyn, D., Walter, M.T., Rose, C.W., Parlange, J.Y., Steenhuis, T.S., Sander, G.C., Hairsine, P.B., Hogarth, W.L. and Walker, L.P. 2001. Testing a mechanistic soil erosion model with a simple experiment. *J. Hydrol.* 224: 9-16.
14. Hignett, C.T., Gusli, S., Cass, A. and Best, W. 1995. An automated laboratory rainfall simulation system with controlled rainfall intensity, raindrop energy and soil drainage. *Soil Technol.* 8: 31-42.
15. Huang, C., Wells, L.K. and Norton, L.D. 1999. Sediment transport capacity and erosion processes: Model concepts and reality. *Earth Surface Processes Landforms*, 24: 503-516.
16. Hudson, N.W. 1964. The flour pellet method for measuring the size of raindrops. *Research Bulletin 4*, Department of Conservation, Salsbury, Zimbabwe.
17. Laflen, J.M., Elliot, W.J., Flanagan, D.C., Meyer, C.R. and Nearing, M.A. 1997. WEPP-Predicting water erosion using a process-based model. *J. Soil Water Conserv.* 52: 96-102.
18. McIsaac, G.F., Mitchell, J.K., Hummel, J.W. and Elliot, W.J. 1992. An evaluation of unit stream power theory for estimating soil deachment and sediment discharge from tilled soils. *Trans. ASAE.* 35: 535-544.
19. Misra, R.K. and Rose, C.W. 1995. An examination of the relationship between erodibility parameters and soil strength. *Aust. J. Soil Res.* 33: 715-732.
20. Misra, R.K. and Rose, C.W. 1996. Application and sensitivity analysis of process-based erosion model GUEST. *Eur. J. Soil Sci.* 47: 593-604.
21. Misra, R.K. and Teixeira, P.C. 2001. The sensitivity of erosion and erodibility of forest soils to structure and strength. *Soil and Tillage Res.* 59: 81-93.
22. Morgan, R.P.C., Quenton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D. and Styczen, M.E. 1998. The European soil erosion model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface processes Landforms*, 23: 527-544.
23. Napier, T.I. and Johnson, E.J. 1998. Impacts of voluntary conservation initiatives in the Derby Creek watershed of Ohio. *J. Soil Water Conserv.* 53: 78-84.
24. Nearing, M.A., Foster, G.R., Lane, L.J. and Finkner, S.C. 1989. A process based erosion model for USDA water erosion prediction project technology. *Trans ASAE*, 32: 1587-1593.
25. Nearing, M.A., Norton, L.D., Bulgakov, D.A., Larionov, G.A., West, L.T. and Dontsova, K.M. 1997. Hydraulics and erosion in eroding rills. *Water Resoure. Res.* 33: 865- 876.

26. Parlange, J.-Y., Hogarth, W.L., Rose, C.W., Sander, G.C., Hairsine, P. and Lisle, I. 1999. Addendum to Unsteady soil erosion model. *J. Hydrol.* 217: 149-156.
27. Proffitt, A.P.B., Rose, C.W. and Hairsine, P.B. 1991. Rainfall detachment and deposition: experiments with low slopes and significant water depth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 325-332.
28. Proffitt, A.P.B., Hairsine, P.B. and Rose, C.W. 1993. Modelling soil erosion by overland flow: Application over a range of hydraulic conditions. *Trans. ASAE*, 36: 1743-1753.
29. Renard, K.G., Foster, G.R., Yoder, D.C. and McCool, D.K. 1994. RUSLE revisited - status, questions, answers, and the future. *J. Soil Water Conserv.* 49: 213-220.
30. Rose, C.W., Williams, J.R., Sander, G.C. and Barry, D.A. 1983. A mathematical model of soil erosion and deposition processes: I. Theory for a plane land element. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 991-995.
31. Rose, C.W. 1993. Erosion and sedimentation. In: M. Bonnell, M.M. Hufschmidt and J.S. Gladwell. (eds.). *Hydrology and Water Management in the Humid tropics Hydrological Research Issues and strategies for Water Management*. UNESCO.
32. Rose, C.W., Hogarth, W.L., Sander, G., Lisle, I., Hairsine, P. and Parlange, J.Y. 1994. Modeling processes of soil erosion by water. *Trends Hydrol.* 1: 443-451.
33. Sander, G.C., Hairsine, P.B., Rose, C.W., Cassidy, D., Parlange, J.-Y., Hogarth, W.L. and Lisle, I.G. 1996. Unsteady soil erosion model, analytical solutions and comparison with experimental results. *J. Hydrol.* 178: 351-367.
34. Savat, J. and Poesen, J. 1981. Detachment and transportation of loose sediments by raindrop splash. Part I: The calculation of absolute data on detachability and transportability *Catena*, 8:1-17.
35. Sediment Grain Size Intercalibration committee. 1994. *Sediment Grain Size: Interlaboratory Intercalibration Experiment*. Tech Rep. 276, Southern California Coastal Water Research Project, Westminster.
36. U.S Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Agric. Handbook, No 60, US. Gov. Print office, Washington, DC.
37. Walker, P.H., Hutka, J., Moss, A.J. and Kinnell, P.A. 1977. Use of versatile experimental system for soil erosion studies. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41: 610-612.
38. Wichmeier, W.H. and Smith, D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses*, United States Department of Agriculture, Agricultural Handbook 537.
39. Yu, B. and Rose, C.W. 1999. Application of a physically based soil erosion model, GUEST, in the absence of data on runoff rates. I. Theory and methodology. *Aust. J. Soil Res.*, 37: 1-11.

Evaluation of process-based soil erosion model, GUEST, for one sample of soils of Khajeh (Tabriz) region

S. Saedi

Ph.D student of Soil Science, Science and research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

E. Pazira

Soil science department, Science and research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

H.Roohipoor

Research Institute of Forests and Rangelands

M.R. Neishaboori

Soil Science Department, Agriculture Faculty, Tabriz University, Tabriz, Iran

B. Saghafian

Soil Conservation and Watershed Management Research Center, Tehran, Iran

M.E. Sadeghzadeh

Agriculture and Natural Resources Research Center of East Azarbaiejan, Tabriz, Iran

Abstract

In recent decades, the soil erosion studies have been found to be of great importance due to environmental and economic aspects as soil resource loss has a significant impact on sustainable land management. In this respect, process-based models for simulation and quantification of erosion processes have been developed. The GUEST model incorporates the simultaneous erosion and deposition processes as well as an assessment of the rate of surface flow action upon shear stress considers. Experiments undertaken on selected soils of Khajeh (Tabriz) region have been undertaken. Rainfall simulation has been used using a variable discharge dropper system for the simulation of rainfall rates (20, 35, 50 and 75 mmh⁻¹). Basin and flume system 81 cm² in area were used during the simulations along with splash tray for the measurement of rainfall splash sediment and wet sieving to evaluate aggregate stability. Slopes of 3, 7, 15 and 20 % were selected for simulations. Using the model, sediment and runoff data was analyzed and a sensitivity analysis undertaken. The results indicate, at all rainfall rates, the changes in sediment concentration and time are similar and the similar decreasing trend be found to about 30 minutes. Sensitivity index of average sediment concentration indicate erodibility and depositability are the most effective factors respectively. The changes of sediment concentration as result of splash and rainfall rates followed by linear relation and have an accepted R². Statistic analysis for sediment concentration as result of runoff and splash indicates significantly fitting linear model and implies desirable agreement between estimated and observed data. MAE and MBE indexes indicate less percentage of error in estimate of splash sediment regard the runoff and underestimate of the splash model. Estimation of the efficiency coefficient for splash, calculated 98 % comparison to 60 % for runoff.

Key Words : GUEST Model, Khajeh Region, Process-Based model, Soil Erosion.