نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره3، جلد9، مرداد - شهریور 1394، ص. 438-429

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 9, Aug.-Sep. 2015, p. 429-438

بررسی تأثیر شیب و تراکم ناهمواری‌های یک خردحوضه با بافت سنگین بر رواناب و فرسایش با استفاده از مدل EUROSEM

بهزاد قربانی[1*] و مریم جعفری فشارکی[2]

تاریخ دریافت: 1393/10/24 تاریخ پذیرش: 1394/5/14

چکیده

فرسایش سریع خاک‌ها پدیده نامطلوبی است که موجب کاهش حاصلخیزی اراضی، کاهش ظرفیت منابع آب و آلودگی آب‌ها می‌شود. پژوهشگران مدل‌های مختلفی را برای پیش‌بینی فرسایش و رواناب پیشنهاد کرده‌اند که یکی از این مدل‌ها، مدل EUROSEM است که خطر فرسایش‌پذیری یک حوضه هیدرولوژیک را نسبت به مکان و زمان پیش‌بینی می‌کند. در این پژوهش با استفاده از این مدل و آزمایش‌های متعدد به بررسی تأثیر شیب و ناهمواری‌های یک خردحوزه آبخیز با بافت رسی که یک بافت سنگین است بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب پرداخته شده است. آزمایش‌ها برای سه ناهمواری با تراکم‌های متفاوت در جهت سه شیب متفاوت 5، 10 و 20 درصد و عمود بر آن‌ها با سه تکرار انجام شدند. نتایج این تحقیق نشان‌داد تراکم ناهمواری‌ها در کاهش رواناب و رسوب به‌ترتیب به‌مقدار 54 و 56 درصد نقش داشته است. نتیجه ارزیابی مدل نیز نشان داد که EUROSEM کلیه مؤلفه‌های آب‌نمود رواناب و رسوب‌نمود رسوب را با ضریب همبستگی (R^2) بیش از 97 در صد و خطای مربعات (RMSE) کم‌تر از 4 درصد را با موفقیت پیش‌بینی کرده است. ولی در پیش‌بینی زمان رسیدن به اوج رسوب با ضریب همبستگی 25 درصد و خطای 7/56 درصد نا موفق بوده است.

واژه های کلیدی: ، بافت سنگین، رواناب فرسایش، مدل یورسم، ناهمواری

مقدمه

فرسایش یکی از عوامل کاهش حاصخیزی خاک ها، کاهش ظرفیت منابع آب و آلودگی آب ها است. مطابق نظریه بنت، برای تشکیل 25 میلی‌متر خاک سطحی در شرایط مناسب 300 سال زمان لازم است (Bennett, 1935). مفهوم جلوگیری از فرسایش در واقع کاهش میزان تلفات خاک به حدی است که سرعت فرسایش تقریباً برابر سرعت طبیعی تلفات خاک گردد که البته این امر بستگی به انتخاب استراتژی‌های مناسب در حفاظت خاک و شناخت تمامی فرایندهای فرسایش دارد (امیرپور و همکاران، 1384 و رفاهی، 1389). شدت فرسایش به عوامل مختلفی بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به خصوصیات اقلیمی به‌خصوص مقدار و شدت بارندگی، سرعت باد و هم‌چنین شرایط خاک و توپوگرافی آن اشاره کرد. تحقیقات نشان می‌دهد که بالاترین میزان فرسایش خاک درکشورهای در حال توسعه می‌باشد. از آنجا که کشور ایران نیز جزء کشورهای در حال توسعه است، لزوم مطالعات جامع و منطقه ای در این زمینه امری لازم و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (رنج‌آور، 1388) .

پژوهشگران در سراسر جهان از دیر باز در پی آن بوده‌اند که با استفاده از روش‌های مختلف میزان فرسایش را در حوضه‌های آبخیز محاسبه نمایند. اولین تحقیقات علمی در زمینه فرسایش خاک در بین سال‌های (1877) و (1895) توسط ولنی دانشمند آلمانی انجام گرفت (Thornes, 1990). در سال‌های بعد نیز روش‌های مختلفی از جمله مدل‌های فیزیکی و روابط تجربی ابداع و در نقاط مختلف دنیا در معرض آزمایش قرارگرفتند که هریک دارای محاسن و معایبی بوده و هستند.

برای جلوگیری از فرسایش خاک در حوضه‌های مختلف، از روش‌های مختلف مکانیکی و بیولوژیکی مختلف استفاده می‌شود. یکی از این روش‌های مکانیکی استفاده از پشته‌ها برای افزایش ناهمواری سطح زمین است. این پشته‌ها می‌توانند در جهت خطوط تراز یا در جهت عمود بر آن ایجاد شوند. سطوح ناهموار و زبر نیز می‌تواند به کاهش سریع سرعت عامل فرسایش کمک کرده و فرسایش را تا حدی متوقف کند (قربانی، 1388) .

در برخی از مدل های پیش‌بینی رسوب نیز مانند RUSLE و WEEP با افزایش ناهمواری خاک، فرسایش کاهش می یابد. یکی از روش‌های منطقی برای ارزیابی تأثیر ناهمواری استفاده از پستی و

1- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد
2- دانشجوی سابق گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد
(*- نویسنده مسؤل: behzad.ghorbani55@gmail.com)

بلندی ها، برای به دام انداختن آب و رسوبات می باشد. این موانع سرعت جریان را کم می کنند و قدرت جداسازی و کندن ذرات توسط جریان و ظرفیت حمل آن ها را کاهش می دهند. علاوه بر این، سطوحی که دارای ناهمواری‌های بیش‌تری باشند با سرعت کم‌تر از بین می‌روند و نفوذ بالاتری نسبت به سطوح با ناهمواری‌های کم‌تر دارند(Cogo et al., 1984 and Govers, 1990) .

فولی نشان داد که در بارش‌های شدید هنگامی که رواناب تولید می‌شود، اثر ناهمواری ناچیز می‌شود، مگر اینکه اقدامات حفاظتی بیش‌تر انجام شود (Fully, 1996). درتحقیقی داربوکس و همکاران از یک روش مکانیکی استفاده کردند که در آن ناهمواری سطح زمین به پستی و بلندی هایی تقسیم‌بندی شدند و اثرات آن ها بر رواناب و تولید رسوب به صورت کمی و جداگانه اندازه‌گیری شدند (2004 , .Darboux et al). این مطالعه نشان داد که هیچ رابطه معنی‌داری بین ناهمواری سطح زمین، شدت جریان و فرسایش وجود ندارد و اثرات عمده بر رواناب و فرسایش بستگی به ترکیب غالب و مؤثر عوامل و عمل‌کرد آن‌ها دارد. در یک مطالعه آزمایشگاهی دیگر توسط جستر و همکاران، اثر باران روی ناهمواری سطح خاک و هم‌چنین اثر میکروتوپوگرافی و باران بر رواناب سطحی و هدر رفت خاک ارزیابی شد (Jester et al., 2001). در این مطالعه چهار شاخص برای اندازه‌گیری ناهمواری مشخص شد که از بین آن‌ها شاخص مربوط به شیب بهترین توصیف را در از بین رفتن ناهمواری ناشی از باران داشت. در این تحقیق مقادیر میانگین رواناب سطحی به‌دست آمده از سطح صاف به طور معنی‌داری بزرگ‌تر از این میزان برای سطوح زبر و متوسط بود. مقادیر تجمعی رواناب بعد از 90 میلی‌متر بارندگی نشان داد که وابستگی معنی‌داری بین ناهمواری و شدت بارش وجود دارد و شدت‌های بالاتر در آغاز بارندگی منجر به فروپاشی ناهمواری بیش-تری خواهد شد. تأثیر ناهمواری‌ها در از دست دادن خاک نیز مشابه بود، ولی معنی‌دار نبود. در مطالعه ورمانگ و همکاران نیز به تجزیه و تحلیل ناهمواری تصادفی سطح خاک بر رواناب و شدت فرسایش خاک پرداخته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که ناهمواری سطح خاک در تأخیر شروع رواناب مؤثر است؛ ولی در کاهش مقدار فرسایش خاک اثری ندارد (Wermang et al., 2010).

یکی از فاکتورهای مؤثر در میزان فرسایش و هدر رفت خاک شیب زمین است. در شیب های تند آب با سرعت بیش‌تری به طرف پایین جاری می شود و در نتیجه انرژی جنبشی و قدرت فرسایندگی آن بیش‌تر می شود. پس از بارندگی نیز بلافاصله رواناب به وجود نمی‌آید؛ زیرا مقداری از آب باران زمین را خیس می‌کند و مقداری از آن نیز به صورت ذخیره گودالی در می‌آید. ذخیره گودالی بر حسب شیب زمین متفاوت است، بدین معنی که میزان آن در اراضی کم شیب قابل ملاحظه است؛ ولی در شیب‌های تند مقدار آن ناچیز است. به عبارت دیگر تأثیر یک گودی به ابعاد معین در میزان رواناب ذخیره شده بر حسب درجه شیب متفاوت است. بنابراین می توان گفت که با افزایش شیب زمین اثر گودی‌های موجود در سطح زمین در ذخیره آب و کاهش رواناب، کاهش می‌یابد (رنج‌آور، 1388) .

در مطالعه‌ای که توسط جاپلات و بیزونایس انجام شد؛ مشخص گردید که میزان رواناب با افزایش درصد شیب افزایش می یابد (Chaplot and Le Bissonnais, 2000). در مطالعه‌ای دیگر که توسط کنگ و همکاران، در فلات لسی چین انجام شد، نتایج نشان داد که درصد شیب زمین اصلی ترین فاکتور تأثیرگذار بر رواناب و هدر رفت خاک می‌باشد (Kang et al., 2001). نتایج مطالعات باطنی و گریسمر درکالیفرنیا نیز نشان داد که افزایش درصد شیب زمین در محدوده بین 4 تا 16 درصد، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر هدر رفت خاک دارد (Battany and Grismer, 2000).

مدل EUROSEM تاکنون در نقاط مختلف جهان از جمله در ایران در حوزه‌های مختلف آبخیز از جمله کارون شمالی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج ارزیابی مدل نشان دهنده تخمین خوب مؤلفه-های آب‌نمود رواناب و رسوب‌نمود رسوب می‌باشد (امیرپور و همکاران، 1384، رفاهی 1389 و خلیل مقدم و همکاران، 1392). هرچند مدل دارای ظرفیت‌های بالایی از جمله شبیه‌سازی ناهمواری‌های یک حوزه می باشد، ولی هنوز این ظرفیت‌ها ارزیابی نشده‌اند. تاکنون در تحقیقاتی که انجام شده است اثرات مقدار و شدت بارندگی، شرایط خاک، پستی و بلندی و شیب مورد مطالعه قرار گرفته است، ولی به تغییرات زمانی و مکانی عوامل فوق توجه قابل ملاحظه‌ای نشده است. در حالی‌که توجه به تغییرات زمانی و مکانی بارش و پستی و بلندی‌ها (ناهمواری‌ها) یک ضرورت اجتناب ناپذیر است.

غالب مدل ها مقدار فرسایش و رواناب را بدون توجه به اختلاف خصوصیات مکانی نقاط مختلف یک حوضه آبخیز برآورد می کنند؛ این در حالی است که فرسایش در یک حوضه آبخیز فقط در برخی رگبارهای با شدت بالا ایجاد می‌شود. هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر شیب و ناهمواری‌های بستر یک حوضه خرد با بافت سنگین بر رواناب و فرسایش با استفاده از مدل EUROSEM که یک مدل دینامیکی تک رخداد فراگیر است، می‌باشد .

مواد و روش‌ها

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، نمونه‌ای از یک خاک با بافت سنگین رسی که نفوذپذیری آن کم و ریسک‌پذیری آن زیاد است، تهیه گردید و آزمایش ها با استفاده از یک دستگاه شبیه ساز باران روی این نمونه خاک انجام شدند. برای این منظور یک حوضه خرد روی یک سینی آزمایشگاهی که دارای نمونه خاک مورد نظر بود ساخته شد. آزمایش‌ها در دو سری انجام شدند که سری اول آن‌ها درسه ناهمواری، با سه تراکم متفاوت در جهت سه شیب طولی 5%،10% و20% با 3 تکرار انجام گرفت. آزمایش‌های سری دوم نیزدر

سه ناهمواری، با سه تراکم متفاوت در جهت عمود بر شیب با همان سه شیب مذکور با 3 تکرار انجام شدند که با احتساب سه نمونه شاهد در سه شیب طولی: 5%،10% و 20% بدون ناهمواری، مجموعاً 57 حالت مختلف مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول 1).

همان‌طور که گفته شد، دستگاه مورد استفاده در این تحقیق شامل یک سینی آزمایشگاهی و یک شبیه‌ساز باران بود. سینی آزمایشگاهی که با ابعاد 1 × 1/5 متر با عمق 20 سانتی‌متر با ورق گالوانیزه ساخته شده بود؛ روی چهار پایه‌ای با ارتفاع 1/5 متر قرار گرفت. سینی شیب‌پذیر بود تا بتوان آزمایش‌ها را بر روی شیب‌های 5%، 10% و 20% انجام داد. برای تولید باران روی حوضه خرد از یک دستگاه شبیه‌ساز باران استفاده شد (محمودآبادی و خدری، 1384). شبیه‌ساز باران مشابه دستگاهی بود که دالی و هیز برای اندازه‌گیری هدر رفت خاک به کار بردند (Duley and Hays, 1932). برای جلوگیری از ماندابی شدن خاک، کف سینی از یک صفحه مشبک انتخاب شد که آب نفوذی از آن به سهولت خارج شود. هم‌چنین در انتهای شیب طولی سینی، سه عدد لوله در قسمت لبه فوقانی سینی تعبیه شدند که به واسطه آن‌ها رواناب‌های خروجی جمع‌آوری و اندازه گیری شوند. برای ایجاد باران مصنوعی بر روی سینی دستگاه از 3 عدد میکروجت تنظیم شونده استفاده شد که بر روی لوله ای بالای سطح حوضه و به فاصله 3 متری آن نصب گردیدند. شدت بارش مورد نظر نیز با توجه به شدت بارش 1 ساعته شهرکرد با دوره بازگشت 25 سال و با استفاده از منحنی شدت- مدت- فراوانی این منطقه 30 میلی‌متر بر ساعت به دست آمد. هم‌چنین ضریب یکنواختی توزیع آب با استفاده از آب جمع‌آوری شده در قوطی‌هایی که با آرایش مربعی در چهارگوشه سینی و مرکز آن قرار داشتند، با استفاده از فرمول کریستیانسن به دست آمد. برای تأمین فشار لازم برای آبپاش ها از یک پمپ پنتاکس با دبی 10 تا 50 لیتر در دقیقه و فشار کاری 30 متر آب استفاده شد.

مدل یورسم (EUROSEM)

مدل EUROSEM، یک مدل فرسایش خاک اروپایی است که توسط 40 تن از دانشمندان اروپایی طراحی شده است. این مدل کامل شده مدل فرسایش موج جنبشی (KINEROS) است که یک مدل آمریکایی است. این مدل فرسایش از نوع دینامیکی گام به گام است که میزان فرسایش، رواناب و رسوب را در فرآیندهای شیاری و بین شیاری شبیه سازی می کند. مدل EUROSEM، یک مدل فرسایشی از نوع دینامیکی گام به گام است که میزان فرسایش، رواناب و رسوب را در فرآیندهای شیاری و بین شیاری شبیه‌سازی می‌کند. علاوه بر آن، یورسم یک مدل تک رخداد فراگیر است که قادر به برآورد رواناب و فرسایش در زمان‌های هرچند کوتاه یک دقیقه‌ای می‌باشد (امیرپور و همکاران، 1384). این مدل با استفاده از یک سری معادلات ریاضی مانند معادله سنت-ونانت و بقاء جرمی دینامیکی، متغیرهای آب‌نمود رواناب و رسوب‌نمود فرسایش را پیش‌بینی می کند. معادله پیوستگی مورد استفاده برای یک جریان غیر ماندگار غیر یکنواخت در این مدل به شرح زیر است:

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial q}{\partial x}=Q(x,t) \qquad (1)$$

و معادله دبی –عمق (q) در معادله فوق به صورت زیر بیان می‌شود:

$$q=\alpha h^{m} \qquad (2)$$

معادله موج جنبشی که بر پایه معادله پیوستگی و مومنتم فوق استوار هستند به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\alpha m h^{m-1}\frac{\partial h}{\partial x}=Q(x,t) \qquad (3)$$

که در آن: h = عمق جریان، t = زمان، q = دبی در واحد عرض جریان، α = ضریبی که بستگی به شیب و زبری بستر دارد، x = فاصله، m = ضریبی که بستگی به رژیم جریان و Q = رواناب جانبی است.

پارامترهای ورودی در این مدل شامل: خصوصیات اقلیمی، خصوصیات هندسی، خصوصیات خاک و خصوصیات پوششی می‌باشند که در غالب دو فایل اقلیمی و حوضه به مدل وارد می شوند. فایل های خروجی مدل شامل: فایل های دینامیکی، استاتیکی و معین هستند (Jester et al., 2001).

ناهمواری‌های سطح حوضه در مدل یورسم با نمادهای RFR (ناهمواری در خلاف جهت شیب) و SAR (ناهمواری در جهت شیب) بیان می‌شوند. این دو عامل به صورت نسبتی از فاصله مستقیم بین دو نقطه در روی زمین (X) به فاصله واقعی (Y) بین آن‌ها به صورت زیر تعریف می‌شوند (معادله 1):

$$RFR=(\frac{Y-X}{Y})\times 100 \qquad (4)$$

اندازه گیری (X) و (Y) در مزرعه با قرار دادن یک زنجیر با حلقه‌های 5 میلی‌متری روی سطح خاک و تعیین فاصله بین دو انتهای زنجیر انجام می‌شود (قربانی، 1388).

نتایج و بحث

برای اطلاع از کارآیی مدل سه عمل پارامترسنجی، واسنجی و اعتبارسنجی روی داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده صورت گرفت و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار EXCEL به ارزیابی اطلاعات به‌دست آمده پرداخته شد. برای ارزیابی آماری مدل نیز از پارامترهای ضریب همبستگی (R^2) و متوسط مجموع مربعات خطای حاصل (RMSE) استفاده شد. هم‌چنین به علت حجم زیاد داده‌ها از

آزمایش‌های تکراری میانگین گرفته شد و شبیه‌سازی با استفاده از 21 آزمایش انجام شد (جدول2). در ارزیابی مدل از یک سوم آزمایش‌ها برای واسنجی و از دو سوم آن‌ها برای اعتبارسنجی استفاده شد.

واسنجی مدل به معنای اصلاح در پارامترهای ورودی و حساس مدل می‌باشد؛ به صورتی که مقادیر پیش‌بینی شده بیش‌ترین هماهنگی را با داده‌های مشاهده شده داشته باشند. از میان پارامترهای ورودی، مدل به هدایت هیدرولیکی اشباع (k_s) و حرکت مویینگی خالص مؤثر خاک (G) برای شبیه‌سازی رواناب و به جداپذیری ذرات خاک توسط باران (EROD) برای شبیه‌سازی رسوب حساسیت بیش‌تری نشان می دهد؛ لذا برای واسنجی مدل از این سه پارامتر استفاده شد.

جدول 1- مشخصات ناهمواری‌های تحت آزمایش

جهت ناهمواری	درصد شیب طولی	فاصله شیارها (سانتی‌متر)	تعداد تکرارها
جهت شیب	5 ، 10 و20	7/5	3
		15	3
		30	3
خلاف جهت شیب	5، 10 و20	7/5	3
		15	3
		30	3
بدون ناهمواری	5، 10 و 20	-	3

جدول 2 - مشخصات آزمایش‌های انجام شده

آزمایش	وضعیت ناهمواری	درصد شیب	فاصله شیارها(سانتی‌متر)	RFR	SAR
1	جهت شیب	5	7/5	15/3	0
2		5	15	8/45	0
3		5	30	4/3	0
4		5	شاهد	0	0
5		10	7/5	15/3	0
6		10	15	8/45	0
7		10	30	4/3	0
8		10	شاهد	0	0
9		20	7/5	15/3	0
10		20	15	8/45	0
11		20	30	4/3	0
12		20	شاهد	0	0
13	عمود بر شیب	5	7/5	0	16
14		5	15	0	8/6
15		5	30	0	4
16		10	7/5	0	16
17		10	15	0	8/6
18		10	30	0	4
19		20	7/5	0	16
20		20	15	0	8/6
21		20	30	0	4

نتایج واسنجی متغیرهای آب‌نمود و رسوب‌نمود شامل حجم کل رواناب و رسوب، اوج شدت رواناب و رسوب، زمان شروع رواناب و رسوب و زمان رسیدن به اوج رواناب و رسوب به ترتیب در جداول 3 و 4 نشان داده شده‌اند. طبق جدول 3، ضریب همبستگی متغیرهای آب نمود مشاهده شده و پیش‌بینی شده بیش از 97 درصد و خطای موجود کمتر از 4 درصد است؛ لذا نتیجه می‌شود که مدل متغیرهای آب نمود واسنجی رواناب را با موفقیت شبیه‌سازی می‌کند.

اما بر اساس جدول 4، ضریب همبستگی غالب متغیرهای رسوب-نمود واسنجی از جمله زمان شروع رسوب، دبی اوج رسوب و حجم رسوبات مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده بیش از 97 درصد و میزان خطا 0/3 درصد است؛ ولی میزان همبستگی برای زمان رسیدن به اوج آب نمود 25 درصد و مقدار خطای آن 7/6 درصد است؛ لذا نتیجه می‌شود؛ مدل متغیرهای رسوب‌نمود که شامل زمان شروع فرسایش، دبی اوج فرسایش و حجم فرسایش هستند را با موفقیت شبیه‌سازی می‌کند؛ ولی زمان رسیدن به اوج فرسایش را به خوبی پیش‌بینی نمی‌کند.

همان طور که در جداول 3 و 4 مشاهده می شود با افزایش شیب بستر از 5 به 20 درصد، زمان شروع و زمان رسیدن به اوج رواناب و رسوب در جهت شیب یا عمود بر شیب کاهش و یا تغییر محسوسی ندارد؛ ولی دبی اوج و حجم رواناب و رسوب در هر دو حالت افزایش می‌یابد که نرخ افزایش دو عامل اخیر در جهت شیب بیش‌تر است.

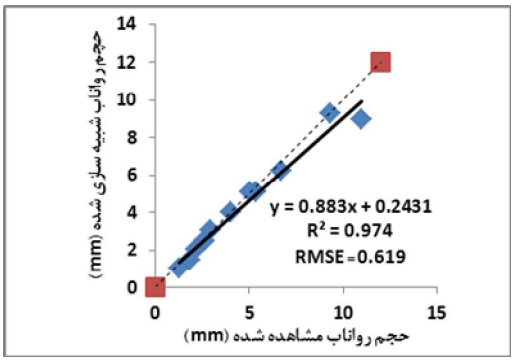
جدول 3- نتایج واسنجی متغیرهای آب‌نمود رواناب (برای شدت بارش 30 میلی‌متر بر ساعت)

آزمایش	زمان شروع (min)		زمان رسیدن به اوج (min)		دبی اوج (mm/hr)		کل رواناب(mm)	
	مشاهده	پیش‌بینی	مشاهده	پیش‌بینی	مشاهده	پیش‌بینی	مشاهده	پیش‌بینی
1	39	40	70	72	3/7	3/75	1/812	1/825
3	34	32	70	74	4/2	4/189	2/158	2/138
6	27	23	70	74	7/2	7/249	4/672	4/682
7	24	21	70	74	7/7	7/67	5/117	5/151
9	18/5	19	70	74	11/6	11/672	8/649	8/65
11	13	13	70	74	13/6	13/645	10/998	11/05
14	44	41	80	85	2/8	2/818	1/567	1/606
18	30	28	80	84	5/4	5/445	3/86	3/868
20	24	21	75	79	8/2	8/242	6/083	6/082
	R^2=0/9666 و RMSE =2/409		R^2=0/98 و RMSE =3/96		R^2=1 و RMSE =0/044		R^2=1 و RMSE =0/0261	

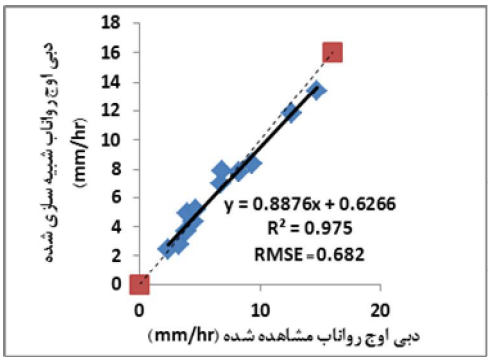
جدول 4- نتایج واسنجی متغیرهای رسوب (برای شدت بارش 30 میلی‌متر بر ساعت)

آزمایش	زمان شروع (min)		زمان رسیدن به اوج (min)		دبی اوج (gr/min)		حجم رسوب(ton/ha)	
	مشاهده	پیش‌بینی	مشاهده	پیش‌بینی	مشاهده	پیش‌بینی	مشاهده	پیش‌بینی
1	39	40	75	69	4/6	3/37	0/695	0/667
3	34	32	65	51	5/8	4/42	0/929	0/927
6	27	23	70	74	10/2	8/012	2/085	2/087
7	24	21	70	74	12/7	9/363	2/534	2/533
9	18/5	19	70	74	17/3	12/96	3/884	3/887
11	13	13	65	74	20/6	16/25	5/277	5/273
14	44	41	80	69	4	2/764	0/6367	0/6333
18	30	28	80	84	8/8	6/715	1/927	1/92
20	24	21	75	79	13/2	9/673	2/893	2/887
	R^2=0/9666 و RMSE =0/0716		R^2=0/2462 و RMSE =7/56		R^2=0/9961 و RMSE=0/289		R^2=1 و RMSE =0/01	

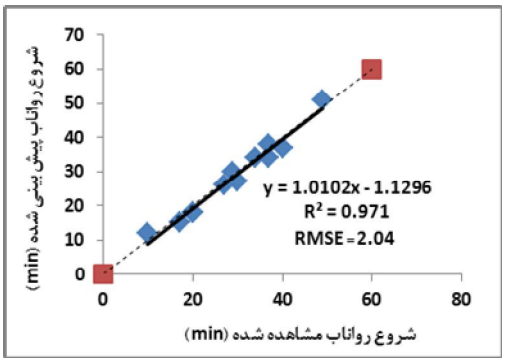
نتایج اعتبارسنجی مدل برای متغیرهای رواناب در اشکال 1، 2، 3 و 4 قابل ملاحظه است. نتایج اعتبارسنجی رواناب حاکی از آن است که مدل تمامی پارامترهای رواناب شامل کل رواناب، دبی اوج رواناب، زمان شروع رواناب و زمان رسیدن به اوج را با همبستگی بالای 97 درصد و حداقل خطای کمتر از 4/4 درصد به خوبی اعتبارسنجی کرده است. نتایج اعتبارسنجی مدل برای متغیرهای رسوب در اشکال 5، 6، 7 و8 نشان داده شده‌اند. بر اساس نمودارهای فوق در مورد پارامترهای رسوب این موفقیت به طور کامل در مورد زمان شروع رسوب (R^2=0/9706 و RMSE =2/04)، به صورت نسبی در مورد حجم کل رسوب (R^2=0/7545 و RMSE =0/85) و دبی اوج رسوب (R2=0/7657 و RMSE =5/14) به طور نسبی برقرار می‌باشد؛ اما در مورد زمان رسیدن به اوج رسوب (R^2=0/2303 و RMSE =8/51) همان‌گونه که مدل در واسنجی موفق نبود؛ در اعتبارسنجی نیز موفق نیست. مدل یورسم توسط محققان در کشورهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. کوینتن نشان داد که مدل به RFR های کوچک (ناهمواری کم) حساسیت کمی دارد (Quinton, 1994). قربانی (1388) طی تحقیقی نشان داد که هرچه میزان RFR افزایش می‌یابد، زمان شروع رواناب و زمان رسیدن به اوج رواناب به تأخیر می‌افتد و حجم رواناب کاهش می‌یابد. جلالیان و قربانی (1384) در تحقیقی روی علل تخریب مراتع منطقه کوه‌رنگ در استان چهار محال و بختیاری دریافتند که با احداث چالاب در شیب های ملایم ناهمواری سطح منطقه افزایش یافته و شدت رواناب و فرسایش کاهش و موجب ترمیم نسبی مراتع خواهد شد.



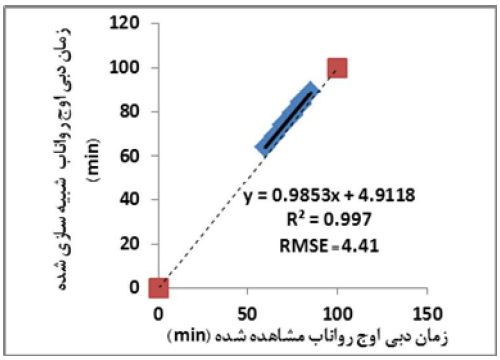
شکل 1- همبستگی حجم رواناب مشاهده‌ای با تخمینی در مرحله اعتبارسنجی



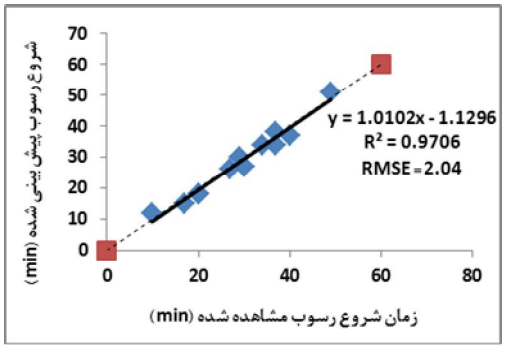
شکل 2 - همبستگی دبی اوج رواناب مشاهده‌ای با تخمینی در مرحله اعتبارسنجی



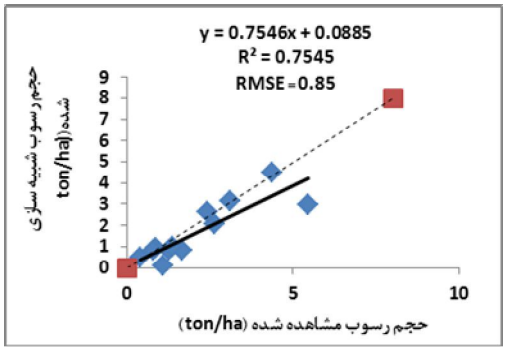
شکل 3- همبستگی زمان شروع رواناب مشاهده‌ای با تخمینی در مرحله اعتبارسنجی



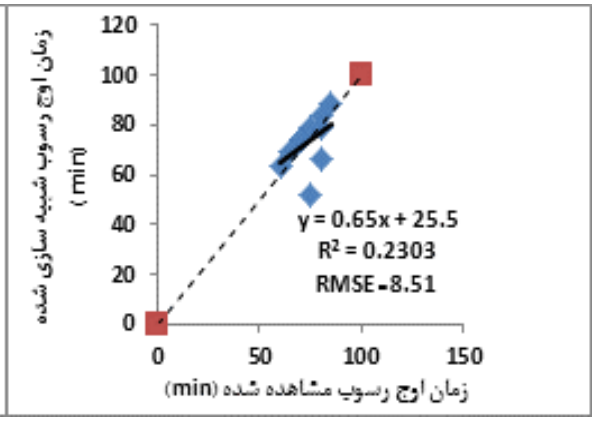
شکل 4- همبستگی زمان دبی اوج رواناب مشاهده‌ای با تخمینی در مرحله اعتبارسنجی



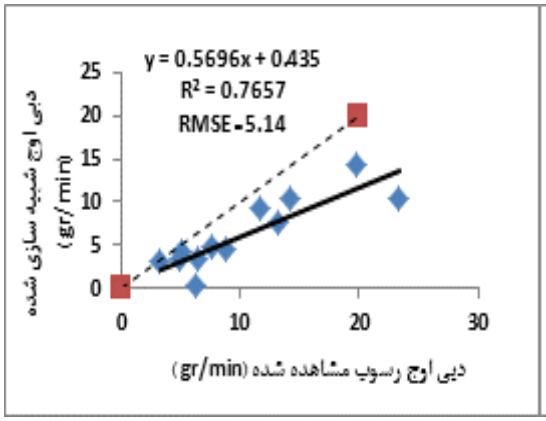
شکل 5 - همبستگی زمان شروع رسوب مشاهده‌ای با تخمینی در مرحله اعتبارسنجی



شکل 6 - همبستگی کل رسوب مشاهده‌ای با تخمینی در مرحله اعتبارسنجی



شکل 7- همبستگی دبی اوج رسوب مشاهده‌ای با تخمینی در مرحله اعتبارسنجی



شکل 8- همبستگی زمان رسیدن به اوج رسوب مشاهده‌ای با تخمینی در مرحله اعتبارسنجی

نتیجه‌گیری

-نتایج این پژوهش نشان داد که فاکتور ناهمواری یک عامل تأثیرگذار در برآورد میزان رواناب و رسوب می‌باشد و با افزایش آن میزان رواناب تا 54 درصد و رسوب تا 56 درصد کاهش می‌یابد. علت عمده این کاهش ممانعت ناهمواری از حرکت سریع رواناب و دادن زمان بیش‌تر برای نفوذ و هم‌چنین کاهش زمان شروع رواناب است. هم‌چنین از مقایسه تأثیر انواع ناهمواری‌ها بر کاهش رواناب و رسوب مشخص شد که ناهمواری در جهت عمود بر شیب از ناهمواری در جهت شیب مؤثرتر و اثر این عامل در شیب‌های تند محسوس‌تر است.

-با افزایش شیب بستر حوزه آبخیز از 5 به 20 درصد، زمان شروع و زمان تا اوج رواناب و رسوب برای ناهمواری‌ها در جهت شیب یا عمود بر شیب کاهش یافته و یا تغییر محسوسی ندارد؛ ولی دبی اوج و حجم رواناب و رسوب در هر دو حالت (ناهمواری‌ها در جهت شیب یا عمود بر شیب) افزایش می یابد که نرخ افزایش دو عامل اخیر در جهت شیب بیش‌تر است. علت کاهش زمان شروع رواناب و زمان تا اوج رواناب و رسوب و افزایش دبی اوج رسوب و حجم رواناب و رسوب افزایش سرعت جریان رواناب سطحی در شیب‌های تند است.

- نتایج ارزیابی EUROSEM نشان داد که کلیه مؤلفه‌های آب-نمود رواناب را با ضریب تبیین (R^2) بیش از 97 در صد و خطای مربعات (RMSE) کم‌تر از 4 درصد با موفقیت عمل کرده است. مدل در مورد پیش‌بینی مؤلفه‌های رسوب‌نمود مثل زمان شروع رسوب، دبی اوج و شدت جریان جرمی رسوب با ضریب همبستگی (R^2) بیش از 97 در صد و خطای (RMSE) کم‌تر از 0/289 درصد نیز موفق عمل کرده است، اما در زمان رسیدن به اوج با ضریب همبستگی 25 درصد و خطای 7/56 درصد نا موفق بوده است.

نمادها

تعریف	واحد	علامت	تعریف	واحد	علامت
متوسط مربعات خطا	---	RMSE	انرژی فرسایش پذیری	g/j	ERO
ناهمواری در جهت شیب	%	RFR	خاصیت مویینگی خاک	mm	G
فاصله مستقیم	m	X	هدایت هیدرولیکی اشباع	mm/h	K_s
فاصله واقعی	m	Y	ناهمواری عمود بر شیب	%	SAR
			ضریب همبستگی	%	R

منابع

امیرپور،م.، جلالیان،ا. قربانی،ب. .1384. بررسی تأثیر برخی از خواص فیزیکی خاک روی رواناب، فرسایش و رسوب در منطقه سولیگان از توابع استان چهار محال و بختیاری با استفادخ از مدل EUROSEM، دومین کنگره ملی آبخیز و مدیریت منابع آب و خاک، کرمان، ایران.

جلالیان،ا و قربانی،ب. .1384. گزارش بررسی علل تحریب مراتع در استان چهار محال و بختیاری، دانشگاه صنعتی اصفهان، 1382.

خلیل مقدم،ب.، قربانی،ب و قربانی،ش. .1392. بررسی رابطه بین استفاده از اراضی با بار رسوبی به منظور ارزیابی دقت مدل EUROSEM در بخشی از زیر حوضه آب خیز کارون شمالی ، مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، 3 .1: 15-28 .

رفاهی ح. 1389. فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ ششم، دانشگاه تهران، ایران.

رنج‌آور ا. 1388. ضرورت توجه بیش‌تر به تحقیقات فرسایش خاک و مقدمه‌ای بر حفاظت خاک در ایستگاه‌های سنگانه کلات، ایران، در: koaj.ir/upload_images/images/sangan_0_46612.pdf

زنگی‌آبادی،م.، رنج‌آور،ا.، رفاهی،ح و بی‌همتا،م. 1388. ارزیابی مهم-ترین عوامل مؤثر بر فرایند فرسایش خاک در مراتع نیمه خشک کلات، مجله آب و خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، 24 (4).

قربانی،ب. 1388. شبیه‌سازی سازه‌های مکانیکی حفاظت آب و خاک در حوزه‌های آبخیز با استفاده از مدلEUROSEM مجله علوم خاک و آب، انجمن خاک ایران، 23,1: 79-89.

لال ر. .1383. روش تحقیق در فرسایش خاک، چاپ اول، ترجمه: محمدزاده، ا.، ناشر: جهاد دانشگاهی دانشگاه ارومیه، ایران صص 688.

محمودآبادی،م و خدری،م. 1384. بررسی شدت و یکنواختی بارندگی برای شبیه‌سازی باران و فرسایش، موسسه تحقیقات حفاظت و مدیریت آبخیز، خلاصه مقالات نهمین کنگره خاک ایران، تهران، 587-589.

Battany,M.C and Grismer,M.E. 2000. Rainfall runoff and erosion in Napa Valley vineyards: effect off slope, cover and surface roughness. Hydrological Processes 14, 1289-1304.

Bennett,H.H. 1935. Capital, Caught by Dust Storm, Turns to West's Topsoil Problem. ***Washington* Post**.

Chaplot,V and Le Bissonnais,Y. .2000. Field measurements of interrill erosion under different slopes and plot sizes. Eearth Surface Processes and Landforms. 25: 145-153.

Cogo,N.P., Moldenhauer,W.C. and Foster,G.R. 1984. Soil loss reductions from conservation tillage practices. Soil Science. Society. America Journal.48, 368–373.

Darboux,F., Reichert,J.M and Huang,C. 2004. Soil roughness effect on runoff and sediment production. ISCO 2004 - 13th International Soil Conservation Organisation Conference – Brisbane, July 2004.

Duley,F.L and Hays,O.E. 1932. The effect of the degree of slope on runoff and soil erosion. Journal Of Agriculture.Resarch.45:349-360.

Fully,A. 1996. Soil surface roughness and infiltration in the savanna ecosystem and its impact on erosion. Geografisk Tidsskrift, Bind 96. www.tidsskrift.dk.

Ghorbani,B. 1997. A mathematical model to predict surface runoff under sprinkler irrigation conditions, Phd. Thesis, Silsoe college, Cranfield University, UK.

Govers,G. 1990. Emperical relationships on the transporting capacity of overland flow. International Assocition of Hydrological Science Publication 189: 289-398.

Jester,W., Klik,A., Hauer,G., Hebel,B and Truman,C.C. 2001. Rainfall and surface roughness effects on soil loss and surface runoff. ASAE International Symposium, Soil erosion research for the 21st century.

Kang,S., Zhang,L., Song,X., Zhang,S., Liu,X., Liang,Y

Thornes,J.B. 1990. The interaction of erosional and vegetational dynamics in land degradation. Pp. 44-53. In: Thornes J. B. (ED.) Vegetation and Erosion.Wiley Chichester.

Wermang,J., Norton,L., Da Silva,A. and Huang,C. 2010. Surface Roughness effects on Runoff and Soil Erosion Rates Under Simulated Rainfall. United states department of agriculture research service.

and Zheng,S. 2001. Runoff and sediment loss responses to rainfall and land use in two agricultural catchments on the Loess Plateau of China. Hydrological Processes 15, 977-988.

Quinton,J.N. 1994. The validation of physically–based erosion models particular reference to EUROSEM. In: Rickson R. (Ed.), Conserving Soil Resources: European Perspective, CAB International, Wallingford, pp. 300-313.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 9, Aug.-Sep. 2015, p. 429-438

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره3، جلد9، مرداد - شهریور 1394، ص. 438-429

Evaluation of Slope Impact and Unevenness Density of a Micro-catchment on Runoff and Erosion Using EUROSEM

B. Ghorbani[1*] and M. Jafari Fesharaki[2]

Recived: Jan.14, 2015 Accepted: Aug.13, 2015

Abstract

Rapid soil erosion is an undesirable phenomenon that reduces soil fertility and water resources capacity and causes water pollution. Investigators have suggested variety of models for prediction of runoff and erosion from which EUROSEM is a distributed single event model that can predict erosion risk from a hydrologic wathershed with respect to space and time. Due to spatial and temporal variations of rainfall magnitude and intensity, soil physical characteristics and topography of watershed area, consideration of these required variables can not be ignored. In this study, the impact of slope and unevenness density of a micro-catchment with heavy clay loam soil texture on runoff and erosion was evaluated using EUROSEM. In the first series, the experiments were performed for three unevennesses with three different densities and three replications in the direction of slopes of 5, 10 and 20 percent. In the second series, the experiments were performed with the same densities and slopes, but in the opposite direction of slopes. Totally, seventy seven tests including witnesses were accomplished. The results showed that density of unevennesses were effective to reduce runoff and erosion, especially when they were set up in the opposite direction of slopes, by 54 percent and erosion by 56 percent. The EUROSEM evaluation also showed that the model was able to assess all hydrograph parameters with regression coefficients (R2) more than 97 percent at the level of 95 percent and RMSE less than 4 percent successfully. Modle also is able to predict some of sedigraph parameters such as time to start sediment, time to peak of sediment and mass flow of sediment with regression coefficients (R2) more than 97 percent at the level of 95 percent and RMSE less than 0.289 percent successfully, but time to peak sediment was not successfully predicted, due to low R2 = 25 percent and high RMSE = 7.56 .

Keywords: Erosion, EUROSEM, Heavy soil textures, Roughness, Runoff

1-Associate professor, Water Engineering Department, Shahrekord University, Shahrekord
2-Formerly MSc student, Water Engineering Department, Shahrekord University, Shahrekord
(* Corresponding Author Email: behzad.ghorbani55@gmail.com)