

## مقایسه و ارزیابی کارایی مدل‌های **RUSLE** و **RUSLE2** در برآورد هدررفت

### خاک در دامنه‌های مرتعی حوضه خامسان کردستان

ناصر خالقی پناه<sup>1</sup>، مهدی شرفا<sup>1</sup>، حسین اسدی، منوچهر گرجی و مسعود داوری

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان: [n.khaleghpanah@uok.ac.ir](mailto:n.khaleghpanah@uok.ac.ir)

استاد گروه مهندسی علوم خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران: [mshorafa@ut.ac.ir](mailto:mshorafa@ut.ac.ir)

دانشیار گروه مهندسی علوم خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران: [ho.asadi@ut.ac.ir](mailto:ho.asadi@ut.ac.ir)

استاد گروه مهندسی علوم خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران: [mgorji@ut.ac.ir](mailto:mgorji@ut.ac.ir)

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان: [m.davari@uok.ac.ir](mailto:m.davari@uok.ac.ir)

دریافت: 95/4/21 و پذیرش: 97/2/25

#### چکیده

مطالعه اخیر جهت ارزیابی مدل‌های **RUSLE** و **RUSLE2** در تخمین هدررفت خاک در دامنه‌های مرتعی دارای مقادیر قابل توجهی قطعات سنگی در حوضه خامسان با به‌کار بردن داده‌های بارندگی‌های طبیعی صورت گرفت. جهت نیل به این هدف، رواناب و رسوب حاصل از 24 رخداد منجر به رواناب در طول سه سال (1389 تا 1392) در 18 کرت با ابعاد 24 متر طول و 1/8 متر عرض اندازه‌گیری شد (شش دامنه - سه کرت در هر دامنه). همزمان داده‌های ورودی مورد نیاز دو مدل از جمله خصوصیات خاک، پوشش گیاهی و پوشش زمین در طول این مدت بررسی و ثبت گردید. هر دو مدل به‌ویژه مدل **RUSLE2** مقادیر میانگین سالانه هدررفت خاک را با وجود بیش برآورد نمودن، نسبتاً به خوبی تخمین زدند. نتایج نشان داد که دو مدل به‌ویژه مدل **RUSLE2** قادر هستند تا مقادیر هدررفت خاک تک رخدادها بخصوص بارندگی‌هایی که شاخص فرسایندهگی پایین‌تری دارند را به میزان نسبتاً قابل قبولی پیش‌بینی نمایند ( $R^2_{(RUSLE)}=0.25$ ,  $R^2_{(RUSLE2)}=0.53$ ;  $EF_{(RUSLE)}=0.23$ ,  $EF_{(RUSLE2)}=0.53$ ) واسنجی پارامتر فرسایش‌پذیری منجر به بهبود تخمین هدررفت خاک به میزان قابل توجهی در دو مدل شد ( $R^2_{(RUSLE)}=0.69$ ,  $R^2_{(RUSLE2)}=0.82$ ; ) مقایسه نتایج تخمین‌های دو مدل نشان داد که در تمامی حالات مورد بررسی، مدل **RUSLE2** نسبت به **RUSLE** کارایی بالاتری داشت. با توجه به خصوصیات دامنه‌های مورد بررسی، به نظر می‌رسد تغییراتی که در مدل **RUSLE2** نسبت به **RUSLE** اعمال شده، سبب برآوردهای بهتر مدل **RUSLE2** شده است. نتایج نشان داد به‌طور کلی در دامنه‌های با پوشش سنگی بالاتر و مقادیر آهک بیش‌تر، کارایی دو مدل بدون واسنجی نسبت به دامنه‌های دیگر پایین‌تر بود. این نتیجه نشان می‌دهد که تحقیقات بیش‌تری جهت بررسی تأثیر این عوامل بر برآورد هدررفت خاک در دو مدل به‌ویژه **RUSLE** مورد نیاز است.

واژه‌های کلیدی: تک رخداد، جزء سنگی، فرسایش‌پذیری خاک، واسنجی مدل، کارایی مدل

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، گروه مهندسی علوم خاک

## مقدمه

در سال‌های اخیر، مدل‌های تجربی و فرآیندی زیادی برای تخمین فرسایش خاک به کار گرفته شده‌اند. هنوز از مدل‌های تجربی به دلیل ساختار ساده و سهولت کاربرد آن‌ها، استفاده زیادی می‌شود. یکی از مدل‌هایی که به‌طور وسیعی در نقاط مختلف دنیا از جمله ایران زیاد مورد استفاده قرار گرفته مدل **RUSLE** می‌باشد. این مدل میانگین سالانه فرسایش خاک بر روی دامنه را به شکل زیر محاسبه می‌کند:

$$A = RKLSCP$$

که در آن A: میانگین هدررفت خاک ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ )

R: عامل فرساینده‌گی بارندگی و رواناب ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ), K: عامل فرسایش‌پذیری خاک ( $t \text{ ha h ha}^{-1}$ ), LS: عامل طول شیب و مقدار شیب (بدون بعد), C: عامل مدیریت و پوشش (بدون بعد) و P: عامل عملیات حفاظتی (بدون بعد) می‌باشد (رنارد و همکاران، 1991). در مدل **RUSLE** تأثیر شیب‌های کمپلکس می‌تواند به راحتی در نظر گرفته شده که منجر به تخمین بهتری از تأثیر توپوگرافی نسبت به مدل **USLE** می‌شود. پارامتر P هم در مدل **RUSLE** جهت اعمال اثرات کشت روی خطوط تراز، تراس‌بندی و کارهای مدیریتی در مرتع نسبت به مدل **USLE** بهبود یافته است (رنارد و همکاران، 1997). مزیت اصلی مدل **RUSLE** این است که این مدل به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته و طی سالیان متمادی مورد آزمون قرار گرفته و اعتبار و محدودیت‌های این مدل در حال حاضر شناخته شده است. از طرفی، محدودیت این مدل تجربی این است که فرآیندهای پایه‌ای هیدرولوژیکی و فرسایش را به‌طور مشخص نشان نمی‌دهد (رنارد و همکاران، 1997). یکی از نقاط ضعف این مدل این است که با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از غرب میانه ایالات متحده توسعه پیدا کرده و بنابراین، تغییرات زیادی در تخمین فرسایش خاک در قسمت‌های دیگر به‌ویژه در مناطق خشک دارد. به این ترتیب، اصلاحاتی در مورد عوامل فرسایشی مثل عامل K قبل از به‌کار بردن مدل در مناطق دیگر، بخصوص مناطق نیمه خشک مورد نیاز است (شامشاد و همکاران، 2008).

اسپانس و همکاران (2003) به ارزیابی مدل‌های **USLE** و **RUSLE** در تخمین هدررفت خاک مرتعی با استفاده از کرت‌های فرسایشی پرداختند. یافته‌های آنها نشان داد که اختلاف کمتری بین داده‌های مشاهده‌ای و تخمین‌های مدل **RUSLE** نسبت به **USLE** وجود داشت. حماد و همکاران (2004) کارایی مدل **RUSLE** را برای شرایط مدیرانه‌ای مورد بررسی قرار دادند. با توجه به

شرایط محلی منطقه مورد مطالعه تعدیل برخی عوامل مدل از جمله K و C بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده، کارایی مدل را در پیش بینی هدررفت خاک به میزان قابل توجهی افزایش داد. باگیو و همکاران (2017) فرسایش خاک را در زمان بارندگی‌های طبیعی در شیب‌های با طول متفاوت بر روی خاک لخت اندازه‌گیری کرده و نتایج آن را با مقادیر تخمینی مدل‌های **USLE** و **RUSLE** مقایسه کردند. نتایج نشان داد که مقادیر تخمینی بخصوص در مدل **USLE** کمتر از هدررفت خاک اندازه‌گیری شده بود. همچنین مقادیر پارامتر L محاسبه‌ای برای طول شیب‌های مختلف در دو مدل مورد بررسی، نتایج رضایت‌بخشی در ارتباط با مقادیر هدررفت خاک مشاهده‌ای نشان داد. واعظی و همکاران (1389) با استفاده از کرت‌های استاندارد به برآورد عامل فرسایش‌پذیری با استفاده از مدل **RUSLE** در بخشی از خاک‌های نیمه خشک شمال غربی ایران پرداختند. نتایج آنها نشان داد که پایداری خاکدانه و نفوذپذیری دو ویژگی مهم وابسته به خاک از نظر فرسایش‌پذیری هستند که تحت تأثیر ذرات معدنی، ماده آلی و آهن قرار می‌گیرند. همچنین آهن از جمله ویژگی‌هایی است که در کاهش فرسایش‌پذیری در خاک‌های نواحی نیمه خشک نقشی مهم دارد. رضایی و همکاران (1393) فرسایش خاک را با استفاده از مدل **RUSLE** و شناسایی مؤثرترین عامل آن در حوضه آبخیز گابریک هرمزگان برآورد کردند. نتایج آنها نشان داد عامل توپوگرافی بیش‌ترین تأثیر را در برآورد فرسایش سالیانه خاک توسط مدل **RUSLE** داشت. خورسند و همکاران (1395) به مقایسه برآورد هدررفت خاک سالانه مدل **RUSLE** با داده‌های به‌دست از میخ‌ها و کرت‌های فرسایش در حوضه آبخیز معرف خامسان پرداختند. یافته‌های آنها نشان داد تعمیم نتایج میخ‌ها و کرت‌ها فقط با لحاظ نسبت نمی‌تواند برآورد مناسبی برای فرسایش در سطح حوضه باشد.

فوستر و همکاران (2003) نسخه دوم معادله جهانی فرسایش خاک تجدید نظر شده (**RUSLE2**) را از طریق ترکیب بهترین تکنولوژی‌های پیش‌بینی فرسایش بر پایه و اساس فیزیکی و تجربی به‌دست آوردند. نظریه‌های جدید در ارتباط با فرایندهای فرسایش خاک شامل کنده‌شدن، انتقال و رسوب ذرات خاک از طریق قطرات باران و رواناب سطحی جهت اشتقاق **RUSLE2** به‌کار رفته است. مدل **RUSLE2** در مقایسه با **USLE** و **RUSLE1** می‌تواند ترسیبی که در جریان سطحی در بخش‌های مختلف حوضه اتفاق می‌افتد را تخمین بزند (فوستر و همکاران، 2003). ساختار کلی معادله آن شبیه

USLE و RUSLE1 است. این معادله میانگین سالانه هدر رفت خاک را برای  $i$  مین روز محاسبه می‌کند:

$$a_i = r_i k_i l_i S c_i p_i$$

که در آن؛  $a_i$  میانگین سالانه هدررفت خاک برای  $i$

مین روز،  $r_i$  عامل فرساینده‌گی برای  $i$  مین روز،  $l_i$  عامل طول شیب برای  $i$  مین روز،  $S$  عامل درجه شیب،  $c_i$  عامل مدیریت-پوشش برای  $i$  مین روز،  $p_i$  عامل حفاظت برای  $i$  مین روز است. میانگین سالانه هدررفت خاک به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$A = (\sum_{i=1}^{365m} a_i) / m$$

که در آن؛  $A$  میانگین سالانه هدررفت خاک،  $m$

تعداد سال‌های مورد بررسی و  $365m$  تعداد روزها در دوره مورد بررسی است (فوستر، 2005). اگرچه به نظر می‌رسد که RUSLE2 نسبت به RUSLE1 کاملاً متفاوت است، اما شباهت‌های زیادی به RUSLE1 داشته و تعداد زیادی از داده‌های موجود در بانک داده دو مدل یکسان هستند. یک ویژگی برتر مدل RUSLE2 این است که مستقل از نوع کاربری است. با به‌کار بردن متغیرهای پایه‌ای جهت اعمال تأثیرات مدیریت پوشش، RUSLE2 می‌تواند برای هر کاربری به‌کار برده شود. این متغیرها شامل درصد تاج پوشش، ارتفاع سقوط قطره از روی پوشش گیاهی، پوشش گیاهی زنده که سطح زمین را پوشانده است، بقایای محصولات و مواد به‌کار برده شده، زبری سطح، بیوماس خاک، درجه تحکیم خاک و ارتفاع پشته می‌باشد. مدل RUSLE2 برای مزارع، مراتع، محل‌های ساخت و ساز، محل‌های دفن زباله، مکان‌های آموزش نظامی و جاهای دیگری که خاک معدنی در معرض نیروهای قطرات باران و جریان سطحی تولیدی مازاد بر نفوذ خاک قرار می‌گیرد به‌کار برده می‌شود (وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا- سرویس تحقیقات کشاورزی، 2008).

اسمایل و رابوچاندران (2008) مدل RUSLE2 را برای ارزیابی فرسایش خاک در هند به‌کار برده و فرسایش خاک را برای هر واحد دامنه تخمین زدند. نتایج نشان داد که مدل RUSLE2 یک ابزار قدرتمند برای کمی و کیفی کردن مقادیر فرسایش خاک برای مدیریت حفاظت خاک است. گبرمیخائیل و آلامیرو (2012) مدل RUSLE2 را در یک حوضه زوجی در اتیوپی مورد آزمون و ارزیابی قرار دادند. یافته‌های این مطالعه نشان داد که مدل RUSLE2 ابزاری مناسب برای پیش-بینی هدررفت خاک سالانه است. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که واسنجی پارامترهای ورودی مدل منجر به شبیه‌سازی موفقیت آمیز هدررفت خاک سالانه با استفاده از مدل RUSLE2 خواهد شد.

اگرچه مدل RUSLE عمدتاً جهت تخمین میانگین هدررفت خاک سالانه به‌کاررفته و توصیه شده که برای زمان‌های کوتاه‌تر کم‌تر استفاده شود، اما نیرینگ و همکاران (2005) مدل RUSLE را برای تکررخدادها از طریق تغییر پارامترهای ورودی مدل تا زمانی که مقادیر پیش‌بینی‌شده با مقادیر اندازه‌گیری‌شده برای هر رخداد برابر شود را به‌عنوان یک روش واسنجی، به‌کار برده‌اند. در حالی که مدل RUSLE2 نیز برای تخمین هدررفت خاک تک رخداد توصیه نشده اما می‌تواند با تعیین پارامترهای آن برای تکررخداد نیز به‌کار رود (وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا- سرویس تحقیقات کشاورزی، 2008). کینل کارایی دو مدل را در تخمین هدررفت خاک تکررخداد مورد آزمون قرار داده و نشان داد که در برخی حالات، تخمین هدررفت خاک رخداد نسبتاً قابل قبول بوده اما در حالت‌های دیگر به‌ویژه خاک‌هایی با ضریب رواناب کم، هدررفت کم خاک را بیش‌برآورد و هدررفت خاک زیاد را کم برآورد نمود. از این‌رو به این نتیجه رسید که یکی از دلایل عمده چنین نتیجه‌ای در حالت‌هایی که بیان گردید عدم در نظر گرفتن مستقیم رواناب در عامل فرساینده‌گی بارش-رواناب می‌باشد (کینل، 2010).

شرایط سطح خاک مانند پوشش گیاهی، زبری و پوشش قطعات سنگی تأثیر مهمی بر روی نرخ نفوذ، فرسایش و رواناب دارد (نواکپو و همکاران، 2016). مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی نشان داده که قطعات سنگی در خاک سطحی می‌تواند تأثیر زیادی بر خصوصیات خاک، کیفیت خاک و فرآیندهای هیدرولیکی، هیدرولوژیکی و فرسایشی داشته باشد (مایور و همکاران، 2009؛ زاوولا و همکاران، 2010؛ جوادی و همکاران، 1384). نیسن و همکاران (2001) دریافتند که کاهش سطح قطعات سنگی پوششی از 20 درصد پوشش به صفر درصد منجر به افزایش سه برابری هدررفت خاک می‌شود. در طول یک رخداد، قطعات سنگی روی سطح، خاک را از تأثیر قطرات باران و جداسازی خاک به‌خاطر پاشمان محافظت نموده، تخریب فیزیکی سطح خاک را کاهش داده، مقادیر نفوذ را افزایش می‌دهد (رنارد و همکاران، 1997؛ جوما و همکاران، 2012) و در نتیجه، سرعت جریان سطحی، کنده شدن و ظرفیت انتقال جریان سطحی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (گو و همکاران، 2010). هرریک و همکاران (2010) و زاوولا و همکاران (2010) خاطر نشان کردند که نیاز به تحقیقات بیش‌تری به شکل آزمایشات کنترل شده به منظور افزایش درک ما از تأثیر خاک‌های سنگریزه‌ای بر روی فرآیندهای هیدرولوژیکی و

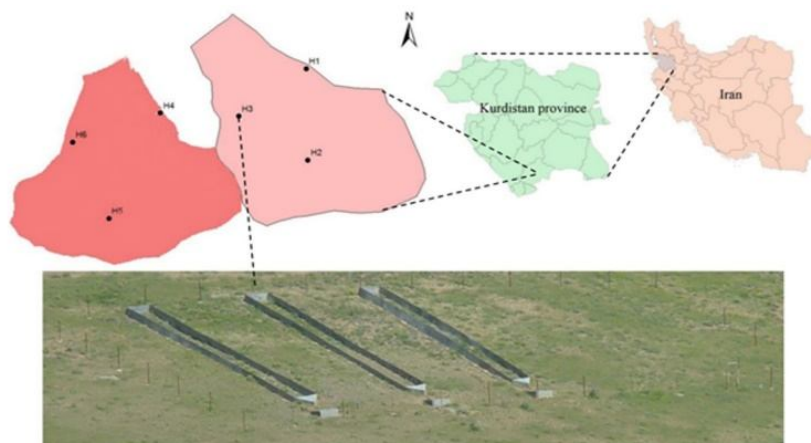
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در یک حوضه زوجی صورت گرفت. حوضه‌های زوجی در برگرنده حوضه‌های شاهد و نمونه می‌باشد که در حوضه نمونه اقدامات آبخیزداری و حفاظت خاک صورت می‌گیرد (گزارش مطالعات حوضه معرف و زوجی خامسان، 1391). حوضه معرف و زوجی خامسان در موقعیت جغرافیایی 47 درجه و 4 دقیقه و 4/8 ثانیه تا 47 درجه و 10 دقیقه و 36/3 ثانیه طول شرقی و 34 درجه و 57 دقیقه و 36/3 ثانیه تا 35 درجه و 1 دقیقه و 34/40 ثانیه عرض شمالی قرار دارد. میانگین بارندگی 5 ساله حوضه 428 میلی‌متر بود. در بین حوضه شاهد و نمونه یک باران نگار در ارتفاع میانه حوضه وجود داشته که بارندگی رخ داده در دو زیرحوضه را ثبت می‌کند. در این تحقیق، مطالعه بر روی کرت‌هایی صورت گرفت که قبلاً احداث گردیده بودند (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور). در هر کدام از زیرحوضه‌های شاهد و نمونه سه سری کرت در سه جهت مختلف در سه تکرار (شش سری کرت در سه تکرار، با مجموع 18 کرت) وجود دارد. دامنه‌های کرت‌های زیرحوضه نمونه از H1 تا H3 و زیرحوضه شاهد از H4 تا H6 نام‌گذاری شدند. دامنه‌های H1، H2 و H3 با سیم خاردارهایی از چرای دام‌ها محافظت شده، اما دامنه‌های H4، H5 و H6 بدون حفاظ بوده و از نظر عملیات چرا در طول فصول چرا، آزاد بودند (شکل 1).

فرسایشی و برای بهبود پیش بینی‌های فرسایش خاک، می‌باشد. عامل فرسایش‌پذیری خاک در **RUSLE** و **RUSLE2** شامل اثر پوشش سنگی سطح خاک نمی‌شود، اما اثر قطعات سنگی در پروفیل خاک را در نظر می‌گیرد. پوشش سنگی بر روی سطح خاک به عنوان پوشش زمین عمل کرده و تأثیر کاهشی آن بر فرسایش مشابه با بستر گیاه، بقایای گیاهان زراعی و مالچ به کار برده شده در نظر گرفته می‌شود، جز اینکه سنگ قابل تجزیه نبوده و ماده آلی به خاک اضافه نمی‌کند. مدل‌های **RUSLE** و **RUSLE2** پوشش سنگی را با دیگر پوشش‌های زمین به شکل یک ارزش واحد، با توجه به همپوشانی گیاه و مواد به کار رفته بر پوشش سنگی ترکیب می‌کنند (فوستر، 2005).

در سال‌های اخیر در کشورما برخی پژوهشگران به واسنجهی برخی مدل‌های تجربی فرسایش خاک پرداخته‌اند ولی شاید کمبود امکانات باعث شده اغلب کاربران، این روش‌ها را بدون واسنجهی و اعمال ضرایب اصلاحی به کار گیرند. از این رو، ضرورت دستیابی به یک روش برآورد دقیق فرسایش در کوتاه‌ترین زمان و با صرف هزینه کم، که داده‌های آن از بررسی‌های خود منطقه به دست آمده باشد، ضروری است. از طرفی بیش‌تر تحقیقاتی که صورت گرفته در ارتباط با مدل‌های تجربی مثل **USLE** و **RUSLE** بوده و تحقیقات بسیار جزئی در ارتباط با مدل **RUSLE2** در کشور صورت گرفته است. لذا با توجه به کاربرد وسیع مدل **RUSLE** از یک طرف و تغییرات صورت گرفته در مدل **RUSLE2** جهت برآورد بهتر از سوی دیگر، هدف از این تحقیق بررسی کارایی دو مدل در برآورد هدررفت خاک در سطح کرت در دامنه‌های سنگریزه‌ای تحت پوشش مرتع حوضه خامسان بود.



شکل 1- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران، دامنه‌ها و کرت‌های فرسایشی در حوضه خامسان

نمونه‌برداری رواناب و رسوب

اواسط بارندگی و اواخر بارندگی) وجود داشت. خصوصیات رخداد‌های مورد بررسی در سال‌های 1389 تا 1392 در جدول (1) نشان داده شده است. روش نمونه‌برداری از مخازن به شکل به هم زدن کامل رواناب و رسوب داخل مخزن به مدت یک دقیقه و برداشتن یک نمونه 300 میلی لیتری از وسط مخزن بود. این عمل 10 بار تکرار شده و نهایتاً حدود سه لیتر از رواناب و رسوب جمع آوری گردید. زمانی که حجم رواناب کم بود و امکان برداشتن یک‌باره 300 میلی لیتر در هر برداشت وجود نداشت. حجم برداشت‌ها کمتر شده، اما در نهایت با افزایش دفعات نمونه‌برداری حدود سه لیتر از رواناب و رسوب جمع‌آوری گردید. این روش در زمان احداث کرت‌ها و با آزمایش روش‌های مختلف نمونه‌برداری و مقایسه آن با وزن کل رسوب داخل مخزن بدست آمد. نمونه‌های رواناب و رسوب جمع‌آوری شده پس از هر بارندگی، به آزمایشگاه منتقل شده، با استفاده از کاغذ صافی صاف گردیده و پس از خشک‌شدن در آون وزن شدند. در نهایت با استفاده از حجم کل رسوب و حجم نمونه برداشته شده وزن کل رسوب برای کرت‌ها تعیین شد.

نمونه‌برداری از رواناب و رسوب در کنار سایر مطالعات کرت‌های فرسایشی (در بخش بعدی به آن اشاره شده است) به مدت سه سال از 11 دی ماه 1389 تا 11 دی ماه 1392 انجام گرفت. برای تعیین حجم رواناب، ارتفاع رواناب جمع آوری شده در مخزن (مکعب مستطیل با حجم  $1/5$  مترمکعب) هر کرت اندازه‌گیری شده و با توجه به مشخص بودن طول و عرض هر مخزن، حجم رواناب تعیین گردید. روش نمونه‌برداری به شکل به هم زدن کامل رواناب و رسوب داخل مخازن و برداشتن نمونه از رواناب و رسوب بعد از هر بارندگی بود. سپس با استفاده از سوراخ تعبیه شده در قسمت تحتانی مخازن، کل رواناب و رسوب جمع شده در هر مخزن به‌طور کامل تخلیه شده، تا مخزن برای بارندگی بعدی آماده باشد. نمونه‌های جمع آوری شده از 18 کرت به آزمایشگاه منتقل شد. 24 بارندگی در طول این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. بیشتر بارندگی‌های رخ داده در دو ماه اول بهار و در دو ماه آخر سال رخ داد. در طول این بارندگی‌ها، در هر بارندگی چند اوج با درجات متفاوتی از شدت و در زمان‌های متخلفی از بارندگی (ابتدای بارندگی،

جدول 1- خصوصیات بارندگی‌های منجر به رواناب و رسوب در کرت‌های مورد بررسی در طی سال‌های 1389 تا 1392

RUSLE2 EI <sub>30</sub>	RUSLE EI <sub>30</sub>	I <sub>30</sub> (mmh <sup>-1</sup> )	ارتفاع بارندگی (mm)	تاریخ	RUSLE2 EI <sub>30</sub>	RUSLE EI <sub>30</sub>	I <sub>30</sub> (mmh <sup>-1</sup> )	ارتفاع بارندگی (mm)	تاریخ
(MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )					(MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )				
<b>1391</b>					<b>1389</b>				
5/88	5/21	4/2	12/10	11 فروردین	5/78	5/02	4/74	9/35	15 دی
6/79	6/12	3/36	18/03	24 فروردین	14/33	12/30	5/64	18/72	18 اسفند
11/75	9/96	8/16	9/38	6 آبان					
199/0	172/7	24/18	46/88	23 آبان					
4/20	3/89	3/16	12/83	29 آبان					
6/60	5/90	5/36	10/56	5 آذر	10/84	9/34	5/56	14/29	16 فروردین
14/16	12/51	4/24	27/75	1 دی	13/01	11/09	8/34	10/60	23 فروردین
<b>1392</b>					16/06	13/83	5/86	20/18	31 فروردین
26/77	22/43	10/58	15/04	16 فروردین	26/77	23/29	10/54	17/99	5 اردیبهشت
10/31	8/83	7/06	10/33	18 اردیبهشت	32/11	27/10	9/28	21/86	11 اردیبهشت
9/67	8/40	6/36	11/35	31 اردیبهشت	52/81	44/98	16/66	16/62	29 اردیبهشت
18/31	16/07	5/60	26/20	11 آبان	103/04	87/03	9/20	72/96	7 آبان
41/06	35/14	10/04	27/98	17 آبان	18/97	16/31	7/62	17/14	14 آبان
61/91	53/53	10/1	44/27	14 آذر	51/09	43/81	7/58	45/76	29 آبان

## مطالعات در عرصه و تجزیه‌های آزمایشگاهی

به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از هر کدام از دامنه‌های H1 تا H6 از بین کرت‌های مورد بررسی از دو افق سطحی و زیر سطحی نمونه‌های مرکب خاک تهیه شد. همچنین تعدادی نمونه دست نخورده با استفاده از استوانه فلزی نمونه‌برداری برای تعیین جرم مخصوص ظاهری تهیه گردید. به دلیل سنگریزه‌ای بودن خاک‌های مورد بررسی با شستشوی کامل خاک بر روی الک 2 میلی‌متر، جزء سنگی به‌طور کامل جدا شده و توزین شد. جهت تعیین توزیع اندازه ذرات و بافت خاک از روش هیدرومتر با قرائت 24 ساعته استفاده شد. پس از تعیین بافت نمونه‌ها با استفاده از سری الک، ذرات شن با قطرهای مختلف جدا گردیدند. جهت تعیین جرم ویژه ظاهری خاک، کربن آلی خاک، کربنات کلسیم معادل و توزیع اندازه خاکدانه‌ها به ترتیب از روش سیلندر، والکلی-بلاک، تیتراسیون و سری الک (الک تر و خشک) استفاده شد (اسپارکس و همکاران، 1996؛ دین و همکاران، 2002). نفوذپذیری خاک کرت‌های مورد مطالعه با استفاده از روش استوانه مضاعف در کنار کرت‌های فرسایشی در سه تکرار (در نقاط ابتدا، اواسط و انتهای کرت‌ها) اندازه‌گیری شد و مقدار نفوذ نهایی در هر کرت تعیین شد (دین و همکاران، 2002). در مدل **RUSLE** پارامتر  $C$  از چندین زیرعامل به‌دست آمد:

$$C = PLU \cdot CC \cdot SC \cdot SR \cdot SM$$

که در آن:  $PLU$  کاربری قبلی،  $CC$  تاج پوشش،  $SC$  پوشش سطحی،  $SR$  زبری سطح و  $SM$  رطوبت خاک می‌باشد. تمامی خصوصیات مورد نیاز جهت محاسبه این زیرعامل‌ها با استفاده از کتابچه راهنمای مدل (رنارد و همکاران، 1997) در عرصه تعیین و سپس این زیرعامل‌ها محاسبه گردیدند. از تفاوت‌های مدل **RUSLE** و **RUSLE2** اختلاف در فرمول محاسبه انرژی کل برای هر رخداد ( $E$ ) می‌باشد. از دیگر تفاوت‌های شاخص بین **RUSLE** و **RUSLE2** اضافه شدن تعدادی عوامل در محاسبه عامل  $C$  و  $m$  در فرمول محاسبه عامل  $L$  می‌باشد. در فرمول تعیین طول شیب، توان  $m$  از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$m = \frac{\beta}{(1 + \beta)}$$

که در آن:  $\beta$  نسبت فرسایش شیاری به فرسایش بین‌شیاری می‌باشد. در مدل **RUSLE2** عواملی مثل فرسایش‌پذیری، تحکیم خاک و پوشش بقایا در تعیین

نسبت فرسایش شیاری به بین‌شیاری در نظر گرفته می‌شود (فوستر، 2005).

$$\beta = \left[ \frac{k_r}{k_i} \right] \left[ \frac{c_{pr}}{c_{pi}} \right] \left[ \frac{\exp(-0.05f_g)}{\exp(-0.025f_g)} \right] \left[ \frac{(\sin\theta/0.0896)}{[3(\sin\theta)^{0.8} + 0.56]} \right]$$

که در آن:  $\left[ \frac{k_r}{k_i} \right]$  نسبت فرسایش‌پذیری شیاری به بین‌شیاری،  $\left[ \frac{c_{pr}}{c_{pi}} \right]$  نسبت اثرات زیرسطحی برای فرسایش شیاری و بین‌شیاری،  $\left[ \frac{\exp(-0.05f_g)}{\exp(-0.025f_g)} \right]$  نسبت تأثیر پوشش زمینی برای فرسایش شیاری و بین‌شیاری و  $\left[ \frac{(\sin\theta/0.0896)}{[3(\sin\theta)^{0.8} + 0.56]} \right]$  نسبت اثرات شیب برای فرسایش شیاری و بین‌شیاری می‌باشد. پارامتر  $k$  واسنجی نشده در مدل **RUSLE2** از معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$k_i = \frac{(k_t k_o + k_s + k_p)}{100}$$

که در آن:  $k_t$  زیرعامل بافت خاک،  $k_o$  زیرعامل ماده آلی خاک،  $k_s$  زیرعامل ساختمان خاک و  $k_p$  زیرعامل نفوذپذیری نیمرخ خاک می‌باشد. مدل **RUSLE2** معادله زیر را جهت محاسبه عامل  $C$  به‌کار می‌برد:

$$c_i = C_c G_c S_r R_h S_b S_c A_m$$

که در آن:  $C_c$  زیرعامل تاج پوشش،  $G_c$  زیرعامل پوشش زمین،  $S_r$  زیرعامل زبری خاک،  $R_h$  زیرعامل ارتفاع پشته،  $S_b$  زیرعامل بیوماس خاک،  $S_c$  زیرعامل تحکیم خاک و  $A_m$  زیرعامل رطوبت پیشین خاک می‌باشد (تمامی زیرعامل‌ها بدون بعد می‌باشند). هر کدام از این زیرعامل‌ها از طریق روابط خاصی که در کتابچه راهنمای مدل آمده محاسبه شده و تعدادی از آنها از طریق چندین فرمول بدست می‌آیند. لذا، بطور کلی جهت محاسبه زیرعامل‌های پارامتر  $C$ ، پارامترهای مورد نیاز محاسبه هر کدام از زیرفاکتورها، با روش‌های مشخص در عرصه تعیین شدند. جهت اندازه‌گیری درصد تاج پوشش، درصد پوشش زمین و درصد پوشش سنگی سطح از پلات‌های 1 متر مربعی استفاده شد. به این صورت که از بالای پلات‌های مورد بررسی اقدام به تصویربرداری از پلات‌ها نموده و تصاویر تهیه شده در نرم افزار فوتوشاپ با تقسیم پلات به 100 قسمت مساوی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و درصد پارامترهای مذکور تعیین گردید. در طول این تحقیق پارامترهای مورد نیاز مدل‌ها در سطح کرت‌ها بررسی و تعیین شدند.

با توجه به خصوصیات بارندگی‌های مورد مطالعه و نتایج پیش‌بینی مدل‌های مورد بررسی، دو مدل در 4 حالت (حالت اول: 24 رخداد، حالت دوم: 23 رخداد،

بافت خاک دامنه‌های مورد مطالعه جزو کلاس سنگین بود. حجم سنگریزه (بزرگ‌تر از 2 میلی متر) در خاک سطحی 24 تا 40 درصد حجمی بود. دامنه‌های مورد مطالعه شیب‌دار بوده (31 تا 42 درصد) که با مقادیر قابل توجهی از سنگریزه پوشیده شده‌اند (میانگین 25 تا 41 درصد) که بخشی از آن در سطح خاک قرار داشته و بخشی نیز در داخل خاک فرو رفته‌اند.

نتایج هدررفت خاک اندازه‌گیری شده در کرت‌ها در رخدادهای مورد بررسی در شکل (2) نشان داده شده است. از آنجا که خصوصیات دامنه‌های با جهت‌های شیب متفاوت در هر کدام از زیرحوضه‌ها از لحاظ شیب، درصد پوشش سنگی، درصد پوشش گیاهی (تاج پوشش یا به صورت پوشش سطح زمین) کربنات کلسیم معادل و سایر پارامترهایی که بر تولید رواناب و رسوب تأثیر به سزایی دارند متفاوت می‌باشد، لذا نمی‌توان بطور مشخص تأثیر جهت شیب بر هدررفت خاک را بیان نمود. از طرفی، با توجه به تغییرپذیری خصوصیات خاک و شیب متفاوت دامنه‌های مورد بررسی نمی‌توان بطور مشخص دلیل بیشتر یا کمتر بودن هدررفت خاک در هر دامنه نسبت به دامنه‌های دیگر را نشان داد. به‌طور کلی نتایج نشان داد میانگین هدررفت خاک در 24 رخدادهای زیرحوضه شاهد (H4، H5 و H6) به ترتیب نسبت به دامنه‌های تقریباً هم‌جهت با آنها در زیرحوضه نمونه (H1، H2 و H3) بیشتر بوده است. بیشترین هدررفت تجمعی خاک در در طول این مدت مربوط به دامنه H4 بوده که می‌توان بخشی از آن را به هدایت هیدرولیکی اشباع کمتر، شیب زیاد، پوشش گیاهی کمتر (تاج پوشش یا به صورت پوشش سطح زمین) و همچنین وجود مقادیر بالای سیلت در خاک سطحی نسبت داد. کمترین هدررفت خاک (تجمعی) نیز مربوط به دامنه H2 بوده که علی‌رغم شیب بالای دامنه، سطح کرت به دلیل استقرار پوشش گیاهی در بخش‌هایی از کرت به شکل پلکان‌های منقطع در آمده و وجود این عوارض سبب کاهش موضعی شیب در بخش‌هایی از کرت و به تبع آن کاهش هدررفت خاک شده است. همچنین بخش دیگری از کم بودن هدررفت خاک در این دامنه را می‌توان به پوشش گیاهی نسبتاً زیادتر و وجود جزء سنگی کمتر چه در سطح خاک و چه در داخل نیمرخ خاک نسبت به دامنه‌های دیگر نسبت داد.

#### ارزیابی و مقایسه دو مدل در برآورد هدررفت خاک

نتایج ارزیابی مدل‌های RUSLE و RUSLE2 در چهارحالت مورد بررسی به ترتیب در جداول (3) و (4) نشان داده شده است. همچنین، همبستگی بین مقادیر هدررفت خاک مشاهده‌ای و تخمینی توسط مدل‌های

حالت سوم: 16 رخدادهای بدون واسنجی و حالت چهارم: 16 رخدادهای با واسنجی) مورد ارزیابی قرار گرفتند. با توجه به این که سعی شد تا بارندگی‌های ملایم، متوسط و شدید با بیشترین شدت در اوایل، اواسط و اواخر بارندگی، تا حد امکان در هر دو سری داده برای واسنجی و اعتبارسنجی وجود داشته باشد، هشت رخدادهای در طی سال‌های 1389 تا 1392 برای واسنجی و مابقی (16 رخدادهای) برای اعتبارسنجی به‌کار برده شد.

علاوه بر محاسبات صورت گرفته بر حسب تک-رخدادهای، به جهت مقایسه کارایی دو مدل در حالت تک رخدادهای و میانگین سالیانه، مقادیر میانگین سه ساله هدررفت خاک توسط مدل‌های RUSLE و RUSLE2 نیز محاسبه شده و با مقادیر میانگین مشاهده‌ای سه ساله مقایسه گردید.

#### ارزیابی مدل‌های مورد بررسی

جهت تعیین کارایی دو مدل در تخمین هدررفت خاک از تعدادی پارامترهای آماری از جمله  $R^2$  (مقدار ایتیم  $= 1$ )، EF یا کارایی مدل<sup>1</sup> (اگر مثبت باشد مشخص می‌کند که مدل، پیش‌بینی‌کننده بهتری از میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است، مقدار ایتیم  $= 1$ ) و CRM یا ضریب جرم باقیمانده<sup>2</sup> (اگر مثبت باشد نشان‌دهنده کم برآورد کردن است) استفاده شد:

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}}$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n O_i}$$

که در آن:  $S_i$  مقدار شبیه‌سازی شده،  $O_i$  مقدار مشاهده شده،  $\bar{O}$  میانگین مقادیر مشاهده شده و  $n$  تعداد مشاهدات می‌باشد (رزنموند و همکاران، 2005).

#### نتایج و بحث

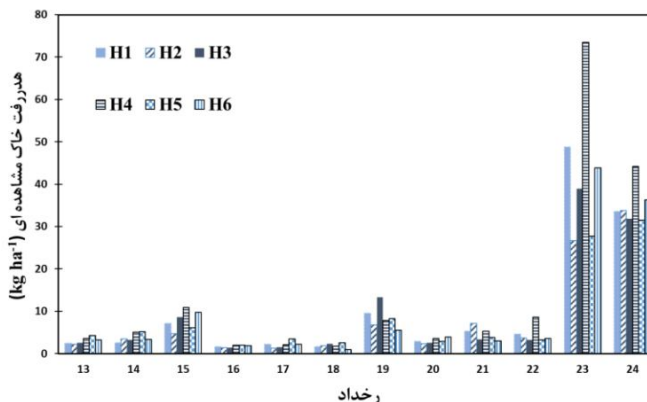
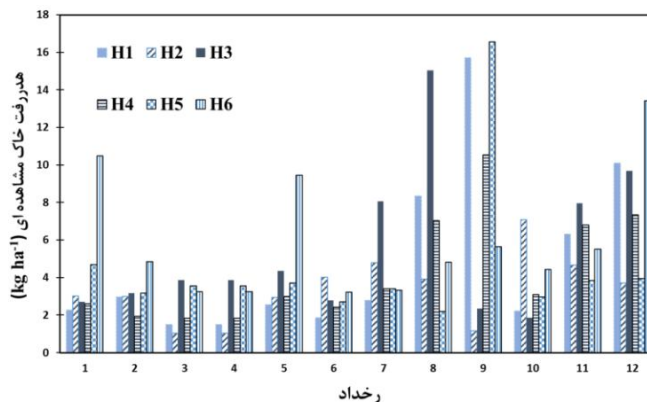
خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دامنه‌های مورد بررسی در جدول (2) آمده است. خاک‌های منطقه مورد مطالعه در رده‌های خاک انتی‌سول و اینسپتی‌سول قرار دارند. عمق خاک سطحی در اغلب دامنه‌های مورد بررسی در محدوده 20 تا 25 سانتی‌متر بود. خاک‌های افق سطحی دامنه‌های مورد مطالعه محتوی دامنه وسیعی از کربنات کلسیم معادل خاک (5/5 تا 28 درصد) بودند.

1. Model Efficiency

2. Coefficient of Residual Mass

سه ساله هدررفت خاک تخمینی توسط مدل‌های **RUSLE** و **RUSLE2** و مقایسه آنها با مقادیر میانگین مشاهده‌ای سه ساله هدررفت خاک کرت‌ها در شکل (5) نمایش داده شده است.

**RUSLE** و **RUSLE2** در تمامی کرت‌های مورد بررسی در حالت دوم (23 رخداد بدون واسنجی) و حالت چهارم (16 رخداد با واسنجی) به ترتیب در اشکال (3) و (4) نشان داده شده است. علاوه بر این نتایج، مقادیر میانگین



شکل 2- مقادیر هدررفت خاک اندازه‌گیری شده در تمامی دامنه‌ها در 24 رخداد مورد مطالعه

جدول 2- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دامنه‌های مورد بررسی

H6	H5	H4	H3	H2	H1	دامنه
لوم رسی	لوم رسی	لوم رسی سیلتی	لوم رسی سیلتی	لوم رسی	لوم رسی	بافت خاک
15/67	6/3	4/28	3/82	11/96	4/74	متوسط قطر ذرات خاک ( $\mu\text{m}$ ) کوچکتر از 2 میلی‌متر ( $D_{50}$ )
1/54	1/39	1/17	1/40	1/27	1/46	جرم مخصوص ظاهری ( $\text{gcm}^{-3}$ )
2/73	2/58	2/70	2/68	2/69	2/70	جرم مخصوص حقیقی ( $\text{gcm}^{-3}$ )
1/00	1/24	1/16	1/09	1/48	0/92	کربن آلی (%)
20/0	5/50	28/00	21/51	14/47	25/11	کربنات کلسیم معادل (%)
31	32	41	32	42	31	شیب (%)
E	N	NW	E	N	W	جهت شیب
40	24	28	34	25	39	جزء سنگی (v/v)
7/15	3/01	2/23	7/00	3/34	6/74	هدایت هیدرولیکی اشباع ( $\text{cmh}^{-1}$ )
41	30	40	38	25	28	پوشش سنگی (%)

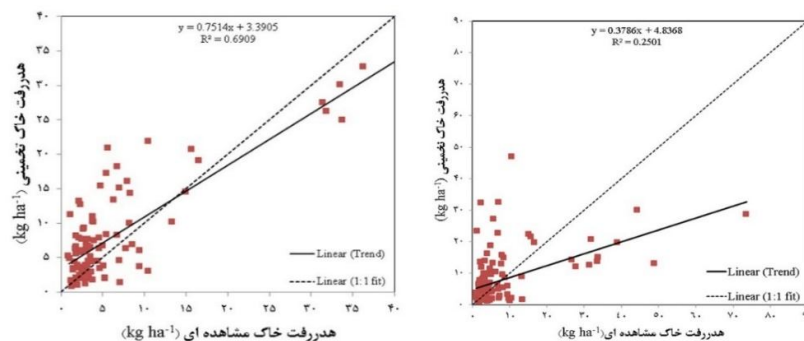


جدول 3- شاخص‌های آماری ارزیابی کارایی مدل RUSLE در برآورد مقادیر هدررفت خاک در کرت‌های مورد مطالعه

H6	H5	H4	H3	H2	H1	دامنه
						RUSLE بدون واسنجی - 24 رخداد
0/08	0/14	0/11	0/12	0/06	0/13	R <sup>2</sup>
-0/56	-0/33	-0/83	-1/02	-1/00	-0/06	EF
-0/15	-0/01	-0/70	-0/44	-0/04	0/05	CRM
						RUSLE بدون واسنجی - 23 رخداد (با حذف یک رخداد با EI <sub>30</sub> برابر با 173 MJmmha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
0/19	0/42	0/27	0/29	0/20	0/39	R <sup>2</sup>
0/15	0/39	0/19	0/18	0/12	0/34	EF
0/08	0/20	-0/36	-0/15	-0/09	0/24	CRM
						RUSLE بدون واسنجی - 16 رخداد
0/13	0/36	0/27	0/24	0/1	0/47	R <sup>2</sup>
-0/17	0/35	-0/69	-0/32	-0/19	0/47	EF
-0/23	0/08	-0/92	-0/49	-0/26	0/01	CRM
						RUSLE با واسنجی - 16 رخداد
0/55	0/75	0/72	0/70	0/68	0/83	R <sup>2</sup>
0/37	0/71	0/67	0/62	0/67	0/77	EF
-0/39	-0/24	-0/32	-0/34	-0/12	-0/29	CRM

معنی داری بالا بوده و به همین خاطر EI<sub>30</sub> محاسبه شده به میزان قابل توجهی افزایش یافته و همین امر سبب شده تا مقدار هدررفت خاک برای این رخداد خیلی بیشتر از مقادیر واقعی تخمین زده شود. بررسی نتایج نشان داد با توجه به خصوصیات منطقه مورد مطالعه، با افزایش پارامتر فرساینده‌گی، هدررفت خاک با همان نسبت افزایش پیدا نمی‌کند. به همین دلیل، دو مدل در منطقه مورد مطالعه ممکن است مقادیر هدررفت خاک در بارندگی‌های شدید را بیش‌برآورد کنند. همان‌طور که قبلاً ذکر گردید، پارامترهای مقدار جزء سنگی و آهک خاک (واعظی و همکاران، 2008) از عواملی هستند که فرسایش‌پذیری خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

نتایج نشان داد که دو مدل به‌خصوص مدل RUSLE، بدون واسنجی نتوانستند مقادیر هدررفت خاک را در 24 رخداد به خوبی تخمین بزنند و کارایی مدل در این حالت پایین بود (حالت اول: 24 بارندگی بدون واسنجی، بیش برآورد نمودن هدررفت خاک (CRM < 0) در تمامی دامنه‌های مورد بررسی در دو مدل بجز H1 در مدل RUSLE). نتایج آماری (جدول 3 و 4) و اشکال (3) و (4) نشان می‌دهد که با حذف یکی از رخدادها (رخداد 23 آبان 1391 که بالاترین مقدار عامل فرساینده‌گی را داشت) کارایی دو مدل به میزان قابل توجهی تحت تأثیر قرار گرفت (حالت دوم: 23 رخداد و بدون واسنجی). در ساعت‌های آخر بارندگی مذکور، شدت بارندگی به میزان



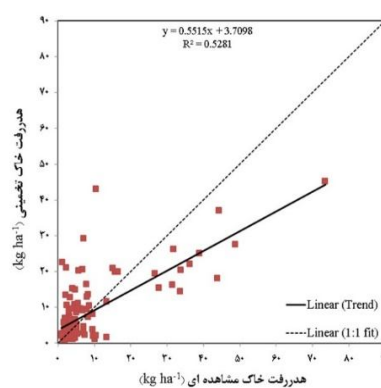
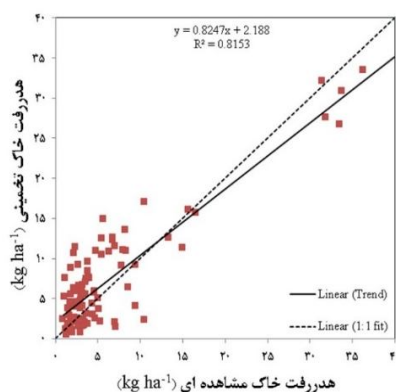
شکل 3- رگرسیون خطی بین مقادیر هدررفت خاک مشاهده‌ای و تخمینی توسط مدل RUSLE در تمامی کرت‌های مورد بررسی - سمت راست (23 رخداد بدون واسنجی)، سمت چپ (16 رخداد با واسنجی)

پوشش گیاهی به شکل پلکان‌های متقطع در آمده و به نظر می‌رسد علی‌رغم شیب بالای این دامنه، این عوارض بوجود آمده سبب کاهش موضعی شیب شده و همین عامل سبب کاهش هدررفت خاک و افزایش خطا در تخمین دو مدل شده است. سیسیلیو و همکاران (2004) مقادیر فرسایش پیش‌بینی شده توسط دو مدل WEPP و **RUSLE** را در پنج دامنه مورد بررسی قرار دادند. هر دو مدل به شکل موفقیت‌آمیزی هدررفت خاک را شبیه‌سازی کردند، اگرچه مدل **RUSLE** هدررفت خاک را بهتر برآورد نمود.

بررسی نتایج به‌دست آمده در حالت بدون واسنجی برای دو مدل نشان می‌دهد که به‌طور کلی در دامنه‌هایی که مقادیر پوشش سنگی و آهک بالاتر بوده کارایی دو مدل به‌ویژه مدل **RUSLE** نسبت به دامنه‌هایی با مقادیر کمتر پوشش سنگی و آهک، پایین‌تر بوده است. البته این نتیجه در مورد دامنه H2 صدق نمی‌کند، از آنجا که درصد آهک و پوشش جزء سنگی آن نسبت به دامنه‌های دیگر کمتر بوده اما کارایی دو مدل بدون واسنجی در آن کمتر می‌باشد. همانطور که قبلاً نیز ذکر گردید سطح کورت در این دامنه به دلیل شکل استقرار

جدول 4- شاخص‌های آماری ارزیابی کارایی مدل **RUSLE2** در برآورد مقادیر هدررفت خاک در کرت‌های مورد مطالعه

H6	H5	H4	H3	H2	H1	دامنه
0/21	0/23	0/28	0/30	0/16	0/38	R <sup>2</sup>
-0/03	-0/13	-0/28	-0/25	-0/61	0/34	EF
-0/04	-0/08	-0/72	-0/32	-0/45	-0/01	CRM
RUSLE2 بدون واسنجی - 23 رخداد (با حذف یک رخداد با EI <sub>30</sub> برابر با 199 MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )						
0/41	0/57	0/56	0/64	0/41	0/74	R <sup>2</sup>
0/40	0/56	0/50	0/64	0/36	0/65	EF
0/13	0/12	-0/4300	-0/09	-0/19	0/17	CRM
RUSLE2 بدون واسنجی - 16 رخداد						
0/39	0/50	0/45	0/61	0/26	0/56	R <sup>2</sup>
0/35	0/50	-0/29	0/4	0/0765	0/56	EF
-0/13	0/01	-0/92	-0/34	-0/34	0/02	CRM
RUSLE2 با واسنجی - 16 رخداد						
0/72	0/83	0/88	0/81	0/79	0/90	R <sup>2</sup>
0/68	0/76	0/85	0/80	0/78	0/86	EF
-0/18	-0/25	-0/17	-0/12	-0/01	-0/16	CRM



شکل 4- رگرسیون خطی بین مقادیر هدررفت خاک مشاهده‌ای و تخمینی توسط مدل **RUSLE2** در تمامی کرت‌های مورد بررسی - سمت راست (23 رخداد بدون واسنجی)، سمت چپ (16 رخداد با واسنجی)

RUSLE به میزان 0/3 تا 1/36 و در مدل RUSLE2 به میزان 0/26 تا 1/14 افزایش پیدا کرد). حماد و همکاران (2004) نیز نشان دادند که تعدیل پارامترهای مدل RUSLE. کارایی مدل را بعد از واسنجی سه برابر افزایش می‌دهد. در تحقیقی استولپی (2005) نشان داد مقادیر فرسایش خاک برآورد شده در کرت‌های گندم، جو و کلزا با شیوه‌های مدیریتی رایج، حفاظتی و بدون خاکورزی توسط مدل‌های WEPP و USLE واسنجی شده توافق و سازش کلی با مقادیر اندازه‌گیری شده داشت.

نتایج نشان داد که بطور کلی هر دو مدل هدررفت خاک را بیش‌برآورد کرده‌اند (پارامتر CRM در جداول 3 و 4). از طرفی میانگین سه ساله هدررفت خاک تخمینی توسط دو مدل محاسبه و در شکل (5) نشان داده شده است. هر دو مدل مقادیر میانگین هدررفت خاک را بیشتر از مقادیر واقعی تخمین زدند. اگرچه با توجه به خطاهای استاندارد، مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل RUSLE در دامنه‌های 1 و 5 و مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل RUSLE2 در دامنه‌های 1، 5 و 6 اختلاف معنی‌داری با مقادیر واقعی نداشت. در دامنه H4 که مقادیر پوشش سنگی قابل توجه و آهک بالایی داشت (به ترتیب 40 و 28 درصد) اختلاف مقادیر تخمینی توسط دو مدل با مقادیر مشاهده‌ای از بقیه دامنه‌ها بیشتر بود. این نتیجه بر تأثیر مقادیر بالای پوشش جزء سنگی و آهک بر پیش‌بینی‌های دو مدل تأکید دارد. به‌طور کلی در پیش‌بینی‌های بلند مدت هدررفت خاک، تمایل به این وجود دارد که مقادیر کم هدررفت خاک سالیانه بیش برآورد شده و مقادیر بالای هدررفت خاک، کم برآورد گردد (رایس و همکاران، 1993؛ تیواری و همکاران، 2000).

نتایج نشان می‌دهد که اگرچه مدل RUSLE2 طراحی شده تا مقادیر میانگین هدررفت خاک سالیانه خاک را تخمین بزند، با این وجود مدل قادر است تا مقادیر هدررفت خاک تکراردها به‌ویژه رخدادهایی با شاخص فرسایش‌پذیری پایین‌تر را نیز به میزان نسبتاً قابل قبولی پیش‌بینی نماید. همچنین یافته‌های تحقیق نشان داد که در تمامی حالات مورد بررسی مدل RUSLE2 نسبت به RUSLE کارایی بهتر و نتایج بهتری ارائه داده است. در بعضی حالات کارایی مدل RUSLE2 نسبت به RUSLE ( $EF_{(RUSLE2)} - EF_{(RUSLE)}$ ) نزدیک به 0/8 افزایش پیدا کرد. مقایسه اشکال (3) و (4) نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن 23 رخداد و بدون واسنجی، ضریب همبستگی تخمین‌های مدل RUSLE2 با مقادیر مشاهده‌ای دو برابر مدل RUSLE می‌باشد. به نظر می‌رسد با تغییراتی که در مدل RUSLE2 نسبت به RUSLE به‌خصوص عامل‌های

میانگین مقادیر پارامتر فرسایش‌پذیری در دو مدل از 0/02 تا 0/032 تن ساعت برمگاژول میلی‌متر در نوسان بود. جهت انطباق شرایط منطقه مورد مطالعه با عامل فرسایش‌پذیری، 16 بارندگی در طول سال‌های 1387 تا 1392 (8 بارندگی از 24 بارندگی سال‌های 1389 تا 1392 و 8 بارندگی از بارندگی سال‌های 1387 تا 1389) برای واسنجی پارامتر K انتخاب گردید. با توجه به تفاوت خاک‌هایی که پارامتر K از مطالعه آنها توسط سازندگان دو مدل اشتقاق پیدا کرده و خاک‌های مورد مطالعه در این تحقیق از جمله وجود مقادیر قابل توجهی آهک در نیم‌رخ خاک و تأثیری که طی مطالعات مختلف مشخص شده که بر پارامتر K می‌گذارد (واعظی و همکاران، 2008؛ واعظی و همکاران، 1389). این پارامتر جهت واسنجی انتخاب گردید. اگرچه پارامترهای دیگر مدل‌های RUSLE و RUSLE2 از جمله پارامتر C نیز ممکن است با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه نیاز به واسنجی داشته باشند، اما با توجه به اینکه واسنجی همزمان این پارامترها در این تحقیق امکان‌پذیر نبود، لذا پارامتر K که یکی از مهمترین پارامترهای دو مدل بوده جهت واسنجی انتخاب گردید. از طرفی هدف از انتخاب یک پارامتر جهت واسنجی این بود که آیا مدل‌های مورد بررسی صرفاً با واسنجی یک پارامتر (K) می‌توانند هدررفت خاک را نسبت به حالت بدون واسنجی بهتر پیش‌بینی کنند یا خیر؟ از این‌رو، براساس پارامتر فرسایش‌پذیری محاسبه شده برای رخدادهای مورد بررسی، پارامتر K در دو مدل برای ماه‌های مختلف واسنجی گردید. به این صورت که با توجه به مقادیر هدررفت خاک اندازه‌گیری شده و پارامترهای هرکدام از مدل‌های مورد بررسی، مقدار K برای هر رخداد محاسبه گردید. سپس تغییرات این پارامتر در طول سال گردید و بر اساس تغییرات این پارامتر در طول سال مقادیر پارامتر K برای هر ماه واسنجی شده و در نهایت برای مدل RUSLE برای دوره‌های 15 روزه و برای مدل RUSLE2 در هر روز سال تعیین گردید. سپس 16 بارندگی باقیمانده در طی سال‌های 1389 تا 1392 برای اعتبارسنجی مدل‌های RUSLE و RUSLE2 واسنجی شده مورد استفاده قرار گرفت.

بر طبق جداول (3 و 4)، با توجه به پارامترهای آماری تخمین هدررفت خاک قبل از واسنجی (حالت سوم: 16 رخداد بدون واسنجی) و بعد از واسنجی (حالت چهارم: 16 رخداد با واسنجی)، واسنجی پارامتر K با وجود بیش‌برآورد نمودن در تمامی دامنه‌های مورد بررسی منجر به بهبود تخمین هدررفت خاک شد (کارایی مدل در حالت واسنجی نسبت به حالت بدون واسنجی در مدل-

C و L اعمال شده، این تغییرات با توجه به خصوصیات دامنه‌های مورد بررسی موجب بهبود برآوردهای مدل RUSLE2 نسبت به RUSLE شده است.

با توجه به سنگی بودن دامنه‌های مورد بررسی، بخشی از این بهبودها را می‌توان به در نظر گرفتن بیشتر تأثیرات جزء سنگی در داخل و سطح خاک بر تولید رواناب و رسوب در مدل RUSLE2 بواسطه عامل‌های C و L نسبت داد. نکته‌ای که در اینجا حائز اهمیت است این است که کرت‌های مورد بررسی تحت کاربری مرتع بوده و کمتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرند. این امکان وجود دارد با توجه به کاربرد مدل RUSLE2 در شرایط مختلف، در کاربری‌های زراعی و فعالیت‌های مختلف مؤثر بر فرسایش و رسوب، کارایی RUSLE2 بسیار بیشتر از RUSLE باشد.

بر طبق جداول (3 و 4) بدون واسنجی مدل‌های RUSLE و RUSLE2، اختلاف کارایی آنها بیشتر از حالت واسنجی این مدل‌ها می‌باشد. در واقع با واسنجی، شرایطی که در مدل RUSLE نسبت به RUSLE2 در نظر گرفته شده، تا حدودی تعدیل می‌شود. مقایسه تخمین مقادیر میانگین سه ساله هدررفت خاک در دامنه‌های مورد بررسی نشان داد که بین تخمین‌های دو مدل اختلاف وجود داشته اما بجز دامنه‌های 4 و 6، در بقیه دامنه‌ها اختلاف معنی‌داری بین دو مدل مشاهده نمی‌شود (شکل 5). یکی از دلایل این عدم اختلاف می‌تواند به تغییرپذیری کمتر شرایط دامنه‌های مورد بررسی نسبت داده شود. زیرا از آنجا که عامل‌های مدل RUSLE2 برای هر روز محاسبه شده و از روی آن مقادیر سالانه محاسبه شده هرچه تغییرپذیری شرایط محل مورد بررسی بیشتر باشد تأثیر این تغییرات در اختلاف تخمین‌های دو مدل بیشتر مشهود خواهد بود. فوستر و همکاران (2003) نیز اظهار داشته‌اند که محاسبه مقادیر روزانه عامل‌های مدل منجر به اختلاف 20 درصدی بین تخمین‌های مدل RUSLE2 نسبت به USLE و RUSLE می‌شود.

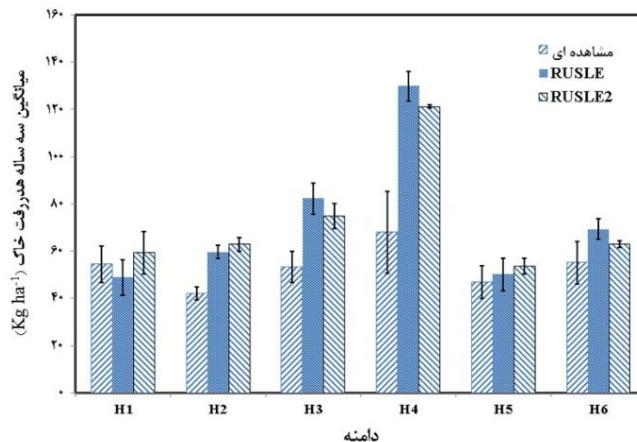
#### تأثیر خصوصیات بارندگی بر برآوردهای دو مدل

علاوه بر تأثیر خصوصیات حوضه بر تخمین‌های مدل‌ها، خصوصیات بارندگی‌های مورد بررسی نیز به نظر می‌رسد تأثیر بسزایی بر تولید رواناب و رسوب و تخمین‌های مدل‌های مورد بررسی داشته باشد. در واقع تغییرات شدت بارندگی در داخل بارندگی و نحوه توزیع این شدت تأثیر قابل توجهی بر روی تولید رواناب و رسوب دارد. فرآیندهای فرسایش خاک در طول هر رخداد به میزان خیلی زیادی تحت تأثیر تغییرات بارندگی درون هر رخداد قرار می‌گیرد (پارسونس و استون،

2006). رخدادهایی که اوج شدت در انتهای رخداد قرار داشته باشد، نرخ اوج رواناب بالاتر و هدررفت خاک بیشتری خواهند داشت. بررسی بارندگی‌های رخ داده در طول سه سال نشان داد که در طول این بارندگی‌ها چند اوج شدت با درجات مختلفی از شدت وجود دارد. همچنین در بارندگی‌های مختلف نحوه توزیع این اوج‌ها متفاوت بوده و این عامل خود می‌تواند تأثیر بسزایی بر میزان رواناب و رسوب تولیدی هر رخداد (علاوه بر خصوصیات کرت‌های مورد بررسی) داشته باشد. در مدل‌های RUSLE و RUSLE2 خصوصیات هر بارندگی صرفاً در قالب دو پارامتر E و I<sub>30</sub> در مدل لحاظ می‌شود و اینکه اوج شدت بارندگی در چه زمانی از بارندگی اتفاق بیفتد یا اوج‌های دیگر در طول بارندگی (در صورت وجود) در نظر گرفته نمی‌شود. کینل (2010) نشان داد در نظر گرفتن تأثیر مستقیم رواناب در عامل فرساینده بارندگی - رواناب زمانی که رواناب، اندازه گیری شده یا به شکل قابل قبولی تخمین زده شود می‌تواند ظرفیت مدل را جهت پیش بینی هدررفت خاک رخدادها افزایش دهد. RUSLE2 شاخص EI<sub>30</sub> را به عنوان مبنایی برای تعیین فرساینده‌گی بارش برای مجموعه‌ای از رخداد‌های منجر به رواناب در یک مکان بکار می‌برد، با این حال کینل (2014) و (2015) گزارش کرد که وقتی رواناب مشخص بوده و یا به خوبی پیش‌بینی شده باشد، شاخص QR<sub>EI30</sub> (QR نسبت رواناب است) ممکن است برای مدل‌سازی فرسایش رخداد به کار برده شود.

#### مقایسه برآوردهای دو مدل در حالت قرق و چرای آزاد

مقایسه کلی (جدول 5) برآوردهای دو مدل نشان داد به‌طورکلی تخمین هدررفت خاک در کرت‌های تحت قرق (زیرحوضه نمونه) تا حدودی بهتر از کرت‌های بدون قرق (زیرحوضه شاهد) صورت گرفته است. گنجاندن برخی خصوصیات مراتع از جمله عملیات چرا به‌خاطر پیچیدگی و عدم در نظر گرفتن تمامی تأثیرات آن در مدل‌ها از جمله مدل‌های RUSLE و RUSLE2 مشکل است. به‌ویژه اینکه ما در مورد چگونگی تأثیر حیوانات بر فشرده‌گی خاک، تأثیر آنها بر روی پایداری خاکدانه، خصوصیات هیدرولیکی خاک و مقاومت خاک اطلاعات کمتری داریم. همچنین در برخی حالات، چرا ممکن است در طول چندین سال صورت گرفته و منجر به اثرات ترکیبی شده که ما این تأثیرات را نیز نمی‌دانیم (ماتی و همکاران، 2006). از اینرو، به نظر می‌رسد در دامنه‌های قرق‌شده به دلیل پایداری بیشتر شرایط و تغییرات کمتر سطح خاک، تخمین هدررفت خاک توسط دو مدل تا حدودی بهتر صورت گرفته است.



شکل 5- مقایسه مقادیر میانگین سه ساله هدررفت خاک مشاهده‌ای و تخمینی توسط مدل‌های RUSLE و RUSLE2 بدون واسنجی (خطوط بسته مشخص کننده خطای استاندارد میانگین‌های باشد)

جدول 5- مقایسه شاخص‌های آماری ارزیابی کارایی دو مدل در برآورد مقادیر هدررفت خاک در کرت‌های زیرحوضه نمونه (قرق) و شاهد (بدون قرق)

شاهد (بدون قرق)	نمونه (قرق)	زیرحوضه	شاهد (بدون قرق)	نمونه (قرق)	زیرحوضه
		RUSLE2 بدون واسنجی			RUSLE بدون واسنجی
0/50	0/59	R <sup>2</sup>	0/26	0/27	R <sup>2</sup>
0/48	0/58	EF	0/20	0/24	EF
		RUSLE2 با واسنجی			RUSLE با واسنجی
0/80	0/83	R <sup>2</sup>	0/66	0/73	R <sup>2</sup>
0/77	0/83	EF	0/59	0/68	EF

تغییراتی که در مدل RUSLE2 نسبت به RUSLE بخصوص در تعیین عامل‌های C و L اعمال گردیده، این تغییرات با توجه به خصوصیات دامنه‌های مورد بررسی موجب بهبود برآوردهای مدل RUSLE2 نسبت به RUSLE شده است. نتایج بدست آمده نشان داد بطور کلی در دامنه‌هایی که پوشش سنگی و مقادیر آهک بیشتری داشتند کارایی دو مدل در برآورد هدررفت خاک در حالت بدون واسنجی نسبت به دامنه‌های دیگر (با مقادیر پوشش سنگی و آهک کمتر) پایین‌تر بود. این نتیجه نشان می‌دهد که تحقیقات بیشتری جهت بررسی تأثیر این عوامل بر روی ورودیها و در نهایت خروجی‌های دو مدل به‌ویژه RUSLE مورد نیاز است.

### نتیجه‌گیری کلی

مدل‌های RUSLE و به‌ویژه RUSLE2 مقادیر میانگین سالانه هدررفت خاک را با وجود بیش‌برآورد نمودن، نسبتاً به خوبی تخمین زدند. اگرچه دو مدل بخصوص مدل RUSLE براساس پیش‌بینی بلند مدت سالانه هدررفت خاک طراحی شده‌اند، اما هر دو مدل به‌ویژه RUSLE2 قادر هستند تا مقادیر هدررفت خاک تک-رخدادهایی که شاخص فرساینده‌گی پایین‌تری دارند را نیز با دقت قابل قبولی پیش‌بینی نمایند. واسنجی پارامتر K منجر به بهبود تخمین هدررفت خاک به میزان قابل توجهی شد. مقایسه نتایج دو مدل نشان داد که در تمامی حالات مورد بررسی مدل RUSLE2 نسبت به RUSLE، کارایی بیشتر و نتایج بهتری ارائه داد. به‌نظر می‌رسد با

## فهرست منابع:

1. جوادی، پ، ح. روحی‌پور و ع.ا. محبوبی. 1384. نقش پوشش سنگریزه ای روی میزان فرسایش و رواناب با استفاده از فلوم و شبیه سازی باران. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، 12(3)، صفحه 287 تا 310.
2. خورسند، م، ع. خالدی درویشان و م. غلامعلی فرد. 1395. مقایسه نتایج برآورد هدررفت سالانه مدل **RUSLE** با داده‌های به‌دست آمده از میخ‌ها و کرت‌های فرسایش در حوضه آبخیز معرف خامسان. اکوهیدرولوژی، 3(4)، صفحه 669 تا 680.
3. رضائی، پ، پ. فریدی، م. قربانی و م. کاظمی. 1393. برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل **RUSLE** و شناسایی مؤثرترین عامل آن در حوضه آبخیز گابریک - جنوب خاوری استان هرمزگان. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره 1، تابستان 1393، صفحه 97 تا 113.
4. گزارش مطالعات حوضه معرف و زوجی خامسان. 1391. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان.
5. واعظی، ع.ر، ح.ع. بهرامی، ح.ر. صادقی و م.ح. مهدیان. 1389. برآورد عامل فرسایش‌پذیری (K) با استفاده از مدل **RUSLE** در بخشی از خاک‌های ناحیه نیمه خشک در شمال غربی ایران. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، 17(3)، صفحه 105 تا 124.
6. Bagio, B., I. Bertol, N.H. Wolschick, D. Schneiders, and M.A.d.N.d. Santos. 2017. Water Erosion in Different Slope Lengths on Bare Soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41.
7. Biswas, S.S., and P. Pani. 2015. Estimation of soil erosion using **RUSLE** and GIS techniques: a case study of Barakar River basin, Jharkhand, India. *Model. Earth Syst. Environ.* 1(42):1-13.
8. Cecílio, R.A., R.G. Rodriguez, L.G.N. Baena, F.G. Oliveira, F.F. Pruski, A.M. Stephan, and J.M.A. Silva. 2004. Analysis of the **RUSLE** and **WEPP** models for a small watershed located in Viçosa, Minas Gerais State, Brazil. 13th International Soil Conservation Organization Conference, Brisbane, Paper No. 658.
9. Dane, H., G. Topp, and A. Warren. 2002. *Methods of Soil Analysis Part-4 Physical Methods: SSSA Book Series-5*. Soil Sci. Soc. Am. 866 page.
10. Foster, G.R. 2005. Draft science documentation: Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (**RUSLE2**). USDA-ARS, Washington, DC.
11. Foster, G.R., T.E. Toy, and K.G. Renard. 2003. Comparison of the **USLE**, **RUSLE1.06c**, and **RUSLE2** for application to highly disturbed lands, in: First Interagency Conference on Research in Watersheds. pp. 154–160.
12. Gebremichael, A., and T. Alamirew. 2012. Testing and Validation of the Revised Universal Soil Loss Equation (**RUSLE2**) at the Twin Catchments of Gununo, Wolaita. MSc thesis, Haramaya University.
13. Guo, T., Q. Wang, D. Li, and J. Zhuang. 2010. Effect of surface stone cover on sediment and solute transport on the slope of fallow land in the semi-arid loess region of northwestern China. *J. Soils Sediments* 10:1200–1208.
14. Hammad, A.A., H. Lundekvam, and T. Børresen. 2004. Adaptation of **RUSLE** in the eastern part of the Mediterranean region. *Environ. Manage.* 4:829–841.
15. Herrick, J.E., J.W. Van Zee, J. Belnap, J.R. Johansen, and M. Remmenga. 2010. Fine gravel controls hydrologic and erodibility responses to trampling disturbance for coarse-textured soils with weak cyanobacterial crusts. *Catena* 83:119–126.
16. Ismail, J., and S. Ravichandran. 2008. **RUSLE2** Model Application for Soil Erosion Assessment Using Remote Sensing and GIS. *Water Resour. Manag.* 22:83–102.

17. Jomaa, S., D. A. Barry, B.C.P. Heng, A. Brovelli, G.C. Sander, and J.Y. Parlange. 2012. Influence of rock fragment coverage on soil erosion and hydrological response: Laboratory flume experiments and modeling. *Water Resour. Res.*48(5):1-21.
18. Kinnell, P.I. A. 2010. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: A review. *J. Hydrol.*385:384–397.
19. Kinnell, P.I. A. 2014. Modelling event soil losses using the  $Q_R EI_{30}$  index within RUSLE2. *Hydrol. Process.*28:2761–2771.
20. Kinnell, P.I.A. 2015. Accounting for the influence of runoff on event soil erodibilities associated with the  $EI_{30}$  index in RUSLE2. *Hydrol. Process.*29:1397–1405.
21. Mati, B.M., R.P.C. Morgan, and J.N. Quinton. 2006. Soil erosion modelling with EUROSEM at Embori and Mukogodo catchments, Kenya. *Earth Surf. Process. Landforms* 31:579–588.
22. Mayor, A.G., S. Bautista, and J. Bellot. 2009. Factors and interactions controlling infiltration, runoff, and soil loss at the microscale in a patchy Mediterranean semiarid landscape. *Earth Surf. Process. Landforms* 34:1702–1711.
23. Nearing, M. a., V. Jetten, C. Baffaut, O. Cerdan, a. Couturier, M. Hernandez, Y. Le Bissonnais, M.H. Nichols, J.P. Nunes, C.S. Renschler, V. Souchère, and K. Van Oost. 2005. Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. *Catena* 61:131–154.
24. Nouwakpo, S.K., C.J. Williams, O.Z. Al-Hamdan, M.A. Weltz, F. Pierson, and M. Nearing. 2016. A review of concentrated flow erosion processes on rangelands: Fundamental understanding and knowledge gaps. *Int. Soil Water Conserv. Res.*4:75-86.
25. Nyssen, J., M. Haile, J. Poesen, J. Deckers, and J. Moeyersons. 2001. Removal of rock fragments and its effect on soil loss and crop yield, Tigray, Ethiopia. *Soil Use Manag.*17:179–187.
26. Parsons, A.J., and P.M. Stone. 2006. Effects of intra-storm variations in rainfall intensity on interrill runoff and erosion. *Catena* 67:68–78.
27. Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.C. Yoder. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Agriculture Handbook, No.703, US Department of Agriculture Research Service, Washington, DC, USA, p. 348.
28. Renard, K.G., G.R. Foster, G.A., Weesies, and J.P. Porter. 1991. RUSLE: Revised universal soil loss equation. *J. Soil Water Conserv.*46:30–33.
29. Risse, L.M., M.A. Nearing, J.M. Laflen, and A.D. Nicks. 1993. Error assessment in the universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:825–833.
30. Rosenmund, A., R. Confalonieri, P.P. Roggero, M. Toderi, and M. Acutis. 2005. Evaluation of the EUROSEM model for simulating erosion in hilly areas of central Italy. *Riv. Ital. di Agrometeorol.*10:15–23.
31. Shamshad, a., M.N. Azhari, M.H. Isa, W.M.A. Wan Hussin, and B.P. Parida. 2008. Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE  $EI_{30}$  index and preparation of erosivity maps for Pulau Penang in Peninsular Malaysia. *Catena* 72:423–432.
32. Spaeth Jr, K.E., F.B., Pierson Jr, M.A. Weltz, and W.H. Blackburn. 2003. Evaluation of USLE and RUSLE estimated soil loss on rangeland. *J. Range Manage.* 54: 234-246.
33. Sparks, D.L., A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston, and M.E. Sumner. 1996. Methods of soil analysis. Part 3-Chemical methods. *Soil Sci. Soc. Am. Inc.*
34. Stolpe, N.B. 2006. A comparison of the RUSLE, EPIC and WEPP erosion models as calibrated to climate and soil of south-central Chile. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B. Soil & Plant* 37–41.

35. Tiwari, A., L. Risse, and M. Nearing. 2000. Evaluation of WEPP and its comparison with USLE and RUSLE. *Trans. ASAE* 43:1129-1135.
36. USDA-ARS., 2008. Draft Science Documentation: Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE2). USDA-Agricultural Research Service, Washington, D.C. 444 page.
37. Vaezi, A.R., S.H.R. Sadeghi, H.A. Bahrami, and M.H. Mahdian. 2008. Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. *Geomorphology* 97:414–423.
38. Zavala, L.M., A. Jordan, N. Bellinfante, and J. GIL. 2010. Relationships between rock fragment cover and soil hydrological response in a Mediterranean environment. *Soil Sci. Plant Nutr.* 56:95–104.



## Comparison and Evaluation of RUSLE and RUSLE2 Models in Soil Loss Estimation at Rangeland Hillslopes of Khamesan Watershed, Kurdistan

**N. Khaleghpanah, M. Shorafa<sup>1</sup>, H. Asadi, M. Gorji, and M. Davari**

Assistant professor, University of Kurdistan; Email: n.khaleghpanah@uok.ac.ir

Full Professor, University of Tehran; E-mail: mshorafa@ut.ac.ir

Associate professor, University of Tehran; E-mail: ho.asadi@ut.ac.ir

Full Professor, University of Tehran; E-mail: mgorji@ut.ac.ir

Assistant professor, University of Kurdistan; E-mail: m.davari@uok.ac.ir

Received: July, 2016 and Accepted: May, 2018

### Abstract

This study was carried out to evaluate the RUSLE and RUSLE2 models for predicting soil loss in stony rangeland hillslopes of Khamesan Watershed using event data obtained from natural rainfall. For this purpose, total runoff and soil loss were measured during three years (2011-13) in 18 plots, 24 m long by 1.8 m wide (six hillslopes with three replicates). The input data for both models were measured and monitored including soil characteristics, plant cover, ground cover, etc. Twenty-four rainfall events were examined during the study period. Two models, particularly RUSLE2, estimated average annual soil loss relatively well, despite the overestimation. The results showed that both models, especially RUSLE2, was able to estimate single events soil loss relatively acceptable, especially in rainfalls with lower erosivity index ( $R^2_{(RUSLE)}=0.25$ ,  $R^2_{(RUSLE2)}=0.53$ ;  $EF_{(RUSLE)}=0.23$ ,  $EF_{(RUSLE2)}=0.53$ ). Calibration of the erodibility factor in two models led to considerable improvement of model efficiency ( $R^2_{(RUSLE)}=0.69$ ,  $R^2_{(RUSLE2)}=0.82$ ;  $EF_{(RUSLE)}=0.63$ ,  $EF_{(RUSLE2)}=0.80$ ). Comparison of the estimations of the two models showed that, in all studied situations, RUSLE2 model had higher efficiency than RUSLE. It seems that with respect to characteristics of the studied hillslopes (sonnies), the improvements of RUSLE2 model relative to RUSLE have led to better estimates by this model. Generally, the results showed that in hillslopes with higher rock fragments cover and lime content, efficiency of non-calibrated form of the two models was lower than other hillslopes. This result shows that more research is needed to examine the effect of these parameters on estimation of soil loss by the two models, especially for RUSLE.

**Keywords:** Single event, Rock fragment, Soil erodibility, Model calibration, Model efficiency

---

<sup>1</sup> Corresponding author: Soil Science Department, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University, Karaj.