

## مقدمه

آگاهی از مقدار هدررفت خاک در زمین‌های کشاورزی می‌تواند به مدیریت بهتر و اجرای برنامه‌های بلند مدت تحت شرایط طبیعی کمک کند [۲]. بررسی‌های گسترده‌ای در زمینه‌ی علت و برآورد فرسایش خاک از سال‌ها پیش آغاز و نهایتاً منجر به ارائه‌ی معادله‌ی جهانی فرسایش خاک<sup>۳</sup> (USLE) گردید [۴۶]. این معادله که به‌طور گسترده در سراسر جهان برای تخمین سالانه‌ی فرسایش خاک استفاده می‌شود، به صورت زیر است:

$$A = RKLSCP \quad (1)$$

که در آن A هدررفت خاک ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ )، R عامل فرساینده‌ی باران ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$ )، K عامل فرسایش‌پذیری خاک ( $\text{mm}^{-1}$ )، L عامل طول شیب (بدون واحد)، S عامل درجه‌ی شیب (بدون واحد)، C عامل پوشش گیاهی (بدون واحد) و P عامل کارهای حفاظتی (بدون واحد) است. ویشمایر و اسمیت [۴۶] برای بررسی ویژگی‌های تعیین‌کننده‌ی فرسایش‌پذیری خاک، از کرت استاندارد استفاده کردند که عبارت از کرت فرسایشی در شیب نه درصد به عرض  $1/83$  و طول  $22/1$  متر تحت آیش دائم و شخم در جهت شیب بود. در مدل USLE، مقدار عامل طول شیب (L) بر اساس توانی (وابسته به درجه‌ی شیب، m) از نسبت طول زمین مورد نظر (L) به طول کرت استاندارد ( $22/1$  متر) قابل محاسبه است:

$$L = \left(\frac{L}{22.1}\right)^m \quad (2)$$

مدل USLE توسط پژوهشگران متعددی در سراسر دنیا مورد ارزیابی قرار گرفته است. ویلیامز و برنت [۴۵] در آمریکا نشان دادند که این مدل تنها قادر است ۴۷ درصد از تغییرات میزان تولید رسوب در رگبارها را ارزیابی نماید. همچنین عدم توانایی USLE در تخمین مقدار رسوب انتقالی طی رگبارها توسط کینل و ریس [۱۸] در حوزه آبخیز راکی کریک در استرالیا و صادقی و بهزادفر [۳۶] در حوزه آبخیز امامه در ایران تأیید شده است. پونگسای و همکاران [۳۰] با استقرار کرت‌های آزمایشی در پنج شیب مختلف (۹، ۱۶، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درصد) نشان دادند که مدل USLE، هدررفت خاک در تمامی شیب‌ها را بیش‌تر از مقدار واقعی برآورد می‌نماید. میگوئل و همکاران [۲۲] برای پیش‌بینی فرسایش خاک در یک حوزه‌ی آبخیز کوچک (۱۸۹۵ هکتاری) در جنوب برزیل از مدل USLE استفاده کردند و نتیجه گرفتند که پیش‌بینی هدررفت خاک با مدل USLE در حوزه‌های

## ارزیابی کارایی مدل‌های USLE، RUSLE، AUSLE و USLE-M در برآورد هدررفت خاک در ابعاد کرت در منطقه‌ی نیمه‌خشک

علی‌رضا واعظی<sup>۱</sup> و مژگان نوقان<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۲۳

## چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی قابلیت مدل‌های معادله‌ی جهانی فرسایش خاک (USLE) و نسخه‌های آن (RUSLE، USLE-M و AUSLE) در پیش‌بینی هدررفت خاک در مقیاس کرت در منطقه‌ی نیمه‌خشک زنجان بود. برای این منظور ۲۲ کرت با طول‌های یک تا ۲۲/۱ متر و عرض ثابت  $1/83$  متر در دامنه‌ای با شیب ۱۰ درصد احداث شد و تحت مدیریت کرت استاندارد به مدت ۱۴ ماه (از فروردین ۱۳۹۲ تا خرداد ۱۳۹۳) قرار گرفتند. بر اساس نتایج، با افزایش طول کرت از یک متر تا شش متر به دلیل افزایش حجم و ظرفیت انتقال رواناب سطحی، هدررفت خاک در واحد سطح افزایش یافت (از  $0/01$  تا  $0/07$  تن در هکتار در سال). میانگین هدررفت خاک برآورد شده برای ۲۲ کرت مورد بررسی با استفاده از مدل‌های USLE، RUSLE، USLE-M، AUSLE، به ترتیب  $80/2$ ،  $65/4$ ،  $4$  و  $113/5$  برابر بزرگ‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده بود. مدل USLE-M کم‌ترین خطا را در برآورد هدررفت داشت که این موضوع به دلیل در نظر گرفتن رواناب در کنار خصوصیات باران برای محاسبه عامل فرساینده‌ی است. این پژوهش نشان داد که انجام واسنجی‌های منطقه‌ای برای دوره آماری بلندمدت جهت استفاده از مدل‌های مذکور برای برآورد هدررفت خاک در ابعاد کرت ضروری است.

**کلیدواژه‌ها:** باران طبیعی، طول کرت، فرساینده‌ی باران، فرساینده‌ی رواناب، کرت استاندارد

۱- نویسنده مسئول و استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان. پست الکترونیک: vaezi.alireza@gmail.com  
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.

آبخیز کوچک دارای محدودیت‌هایی است. الیورز و همکاران [۲۶] مدل USLE را در برآورد فرسایش آبی در خاک‌های آلفی سول مورد ارزیابی قرار داده، نتیجه گرفتند که مدل USLE توانایی نمایان ساختن گرایش داده‌ها را دارد ولی برآوردها معمولاً کم‌تر از مقادیر واقعی است. به‌طور کلی تفاوت در ویژگی‌های اقلیمی از جمله شدت و مدت بارندگی‌ها و ویژگی‌های خاک از علل عدم کارایی مدل USLE در برآورد هدررفت خاک در سایر مناطق دنیاست [۲۷]. در این مدل برای تعیین عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)، باران‌های خاص مناطق شرق آمریکای مرکزی با شدت ۶۳/۵ میلی‌متر در ساعت به مدت دو ساعت مورد بررسی قرار گرفته است. درحالی‌که در مناطق نیمه‌خشک شبیه بسیاری از مناطق در ایران، چنین باران‌هایی غیرمحتمل است. بنابراین مقادیر فرسایش‌پذیری برآورد شده از مدل USLE در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک، مقدار آن را دور از مقدار واقعی نشان می‌دهد [۴۳]. هم‌چنین اصلاحاتی برای برآورد دقیق عامل فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از داده‌های توزیع اندازه ذرات خاک در سایر مناطق جهان نیز انجام گرفته است [۵].

به دلیل محدودیت‌هایی که عامل فرسایش‌پذیری باران (R) در مدل USLE برای برآورد فرسایش خاک داشت، معادله‌ی جهانی هدررفت خاک بازنگری شده (MUSLE) ارائه گردید که فرسایش‌پذیری در آن بر مبنای خصوصیات رواناب پایه‌گذاری شد [۴۴]. مطالعات انجام شده در سال‌های بعد منجر به توسعه‌ی معادله‌ی جهانی هدررفت خاک اصلاح شده (RUSLE) گردید [۳۲] که در آن در کنار تغییرات در محاسبه‌ی انرژی جنبشی باران، عامل فرسایش‌پذیری خاک نیز اصلاح گردید [۴۲]. این مدل بر اساس داده‌های غرب ایالات متحده‌ی آمریکا ارائه شد. بنابراین اصلاحات زیادی در عوامل فرسایشی مثل K برای بسط دادن این مدل به مناطق دیگر لازم است [۳۹]. اگر چه این مدل برای برآورد هدررفت خاک از کاربری‌های مختلف ارائه شده است لیکن بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از آن برای برآورد تولید رسوب در حوزه آبخیز نیز نتایج قابل قبولی به دنبال دارد [۹].

پس از مدل بازنگری شده‌ی معادله‌ی جهانی فرسایش خاک، مدل USLE-M<sup>۳</sup> ارائه شد که یک نسخه‌ی اصلاح شده در عامل فرسایش‌پذیری باران بر اساس رخداد است [۱۸ و ۱۹]. در این مدل، رواناب به‌عنوان عامل مهم فرسایش‌دهی خاک در کنار باران برای محاسبه‌ی فرسایش‌پذیری یک رگبار مورد استفاده قرار می‌گیرد. عدم توانایی مدل USLE-M توسط کاینل [۱۷] در استرالیا، صادقی و همکاران [۳۷] در ایستگاه منابع طبیعی خسیجیان اراک، غلامی [۱۰] در حوزه‌ی آبخیز قشلاق استان کردستان و کارگر [۱۵] در حوزه‌ی آبخیز جاشلوبار استان سمنان تأیید شده است. تحقیقات واعظی و همکاران [۴۱] نیز نشان داد که اگرچه رواناب بالاترین همبستگی را

با شاخص فرسایش‌پذیری مدل USLE-M دارد، شاخص فرسایش‌پذیری (R) مدل USLE مناسب‌ترین شاخص برای پیش‌بینی هدررفت خاک در منطقه‌ی نیمه‌خشک است.

پژوهش‌های بعدی در زمینه‌ی مدل USLE منجر به ارائه مدل سازگار شده‌ی معادله‌ی جهانی فرسایش خاک<sup>۴</sup> (AUSLE) شد که اساس آن نیز مدل USLE بوده اما اختلاف اساسی در نحوه‌ی برآورد عامل توپوگرافی (LS) داشت [۲۳]. صادقی و همکاران [۳۵] در اراک نشان دادند که مقادیر برآوردی از مدل AUSLE اختلاف معنی‌داری با مقادیر مشاهده‌ای رسوب دارد. رحمتی و همکاران [۳۱] نشان دادند مدل‌هایی که برای محاسبه‌ی عامل فرسایش‌پذیری فقط از خصوصیات رگبار استفاده می‌نمایند (USLE و AUSLE) کارایی لازم را در برآورد مقدار فرسایش در مقیاس رگبار ندارند. موهانزیا و همکاران [۲۳] در استرالیا نشان دادند در شرایطی که اطلاعات دقیقی از حوزه‌ی آبخیز در دسترس نیست، مدل AUSLE نتایج قابل اعتمادی ارائه می‌دهد. اگرچه پیش‌تر پژوهش‌هایی در مورد عامل فرسایش‌پذیری خاک در منطقه خشک کشور انجام گرفته است [۴۳] لیکن هنوز اطلاعات در مورد دقت و کارایی مدل USLE و نسخه‌های آن در برآورد هدررفت خاک در ابعاد کرت در منطقه‌ی نیمه‌خشک کامل نیست. از این‌رو این پژوهش بر اساس اندازه‌گیری‌های صحرایی رواناب و هدررفت خاک به‌منظور بررسی قابلیت مدل USLE و نسخه‌های آن در پیش‌بینی هدررفت خاک در مقیاس کرت در منطقه‌ی نیمه‌خشک انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

### منطقه‌ی مورد مطالعه

این پژوهش در دامنه‌ای با شیب ۱۰ درصد در محدوده دانشگاه زنجان، و در ۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی در سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۳ انجام گرفت. متوسط بارندگی منطقه در دوره آماری ۳۳ ساله (۱۳۸۵-۱۳۵۲) حدود ۳۰۹ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۱۱ درجه سانتی‌گراد و اقلیم آن براساس روش دومارتن دارای اقلیم نیمه‌خشک است. خاک کشتزار مطابق با نقشه طبقه‌بندی خاک‌های ایران در رده Calcixerept قرار دارد و با محتوای ماده آلی اندک است [۱۱]. میانگین ارتفاع منطقه حدود ۱۵۰۰ متر از سطح دریا است [۱۴].

### ایجاد کرت‌های فرسایشی

تعداد ۲۲ کرت آزمایشی با عرض ثابت ۱/۸۳ متر و طول‌های متغیر از یک تا ۲۲/۱ متر در راستای شیب احداث شدند. کرت با طول ۲۲/۱ متر منطبق بر شرایط کرت استاندارد [۴۶] طراحی شد. سایر کرت‌ها نیز مطابق شرایط کرت استاندارد، در راستای شیب شخم خورده، پوشش گیاهی و بقایای سطح آن حذف شدند و در شرایط آیش مورد مطالعه قرار گرفتند. برای جلوگیری از خروج رواناب از داخل کرت‌ها، عرض بالا و پایین کرت‌ها با استفاده از ورق‌های آهن گالوانیزه بسته شد. طول

1- Modified USLE

2- Revised USLE

3- USLE Modification

4- Adopted USLE

کرت‌ها با استفاده از پشته خاکی بسته شد [۴۱]. کرت‌ها با فاصله یک متر از یکدیگر احداث و در انتهای هر یک از کرت‌ها، لوله و مخزن رواناب و رسوب جای‌گذاری شد (شکل ۱).



شکل ۱- کرت‌های فرسایشی با طول‌های مختلف در راستای شیب ۱۰ درصد جهت مطالعه هدررفت خاک تحت باران‌های طبیعی  
Fig 1. Erosion plots with different lengths installed on 10% slope to study soil loss under natural rainfalls

#### اندازه‌گیری صحرایی هدررفت خاک

مقدار رواناب و هدررفت خاک تحت باران‌های طبیعی طی دوره‌ی چهارده ماهه از ۱۳۹۲/۱/۳۱ تا ۱۳۹۳/۳/۳۱ اندازه‌گیری شد. پس از هر رخداد باران، حجم مخلوط رواناب و رسوب جمع شده داخل مخازن واقع در انتهای کرت‌ها اندازه‌گیری شد. رسوب موجود در هر نمونه با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ جدا شد [۴۳] و رسوب باقی مانده بر روی کاغذ صافی پس از خشک شدن در آون (۱۰۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت) وزن شد.

#### برآورد هدررفت خاک با مدل USLE و نسخه‌های آن

هدررفت خاک بر اساس مدل‌های USLE [۴۴]، USLE-M [۱۷]، RUSLE [۳۲] و AUSLE [۲۳] برآورد شد. برای این منظور ابتدا فرسایندهای باران در مدل‌های مختلف برآورد گردید. در این راستا، داده‌های بارندگی (شدت و مدت باران) از سامانه‌ی باران‌نگاری واقع در ایستگاه هواشناسی دانشگاه زنجان اخذ شد. در مدل USLE عامل فرسایندهای (R) به صورت زیر محاسبه گردید:

$$R = \frac{EI_{30}}{100} \quad (۳)$$

$$KE = 11.8 + 8.73 \log_{10} I \quad (۴)$$

که در آن: R عامل فرسایندهای باران ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$ )، KE انرژی جنبشی در واحد سطح ( $\text{J m}^{-2}$ )، انرژی جنبشی در واحد سطح و عمق باران ( $\text{J m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ ) و I شدت بارندگی (mm)

( $\text{h}^{-1}$ ) است.

مقدار فرسایندهای باران در مدل RUSLE با استفاده از شاخص  $EI_{30}$  به دست آمد:

$$KE = e_r \Delta V_r \quad (۵)$$

که در آن:  $e_r$  انرژی جنبشی رگبار در واحد عمق و مدت باران ( $\text{J m}^{-2} \text{ mm}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) و  $\Delta V_r$  تداوم رگبار (h) است. مقدار  $e_r$  بر اساس شدت رگبار از رابطه‌ی زیر تعیین شد:

$$e_r = 0.29[1 - 0.72 \exp(-0.05 i_r)] \quad (۶)$$

که در آن:  $i_r$  شدت رگبار ( $\text{mm h}^{-1}$ ) برای r امین فاصله‌ی زمانی با شدت ثابت است. همچنین مقدار فرسایندهای باران در مدل USLE-M با استفاده از رابطه‌ی زیر به دست آمد:

$$R = Q_R EI_{30} \quad (۷)$$

که در آن:  $Q_R$  ضریب رواناب در هر رخداد ( $\text{mm mm}^{-1}$ )، E انرژی جنبشی باران ( $\text{J m}^{-2}$ ) و  $I_{30}$  حداکثر شدت نیم ساعته باران ( $\text{mm h}^{-1}$ ) است. مقدار فرسایش‌پذیری خاک (K) بر اساس مدل USLE و USLE-M، از طریق رابطه رگرسیونی مربوط به نمودار بر حسب  $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  برآورد شد. همچنین مقدار K در مدل RUSLE از رابطه‌ی زیر محاسبه شد:

$$Dg = \exp 0.01 (\sum_{i=1}^n \text{filn} Mi) \quad (۸)$$

$$= 0.0034 + 0.0405 \exp \left[ 0.5 \left( \frac{\log Dg + 1.659}{0.7101} \right)^2 \right]$$

که در آن:  $D_g$  میانگین قطر هندسی ذرات خاک (mm) و fi فراوانی ذرات خاک (درصد) و M متوسط قطر ذرات خاک (mm) است. همچنین عامل شیب (LS) در مدل‌های USLE، RUSLE و USLE-M از رابطه‌ی زیر به دست آمد:

$$LS = \left( \frac{\lambda}{22.1} \right)^m (0.064 + 0.045s + 0.0065s^2) \quad (۹)$$

که در آن:  $\lambda$  طول شیب (متر) و m توان وابسته به درجه‌ی شیب و s درصد شیب دامنه بود. در مدل AUSLE نیز مقدار LS از رابطه‌ی زیر محاسبه شد [۶]:

$$LS = \left( \frac{AS}{22.13} \right)^{0.4} \left( \frac{\sin \alpha}{0.0896} \right)^{1.4} \quad (۱۰)$$

که در آن: AS مساحت کرت ( $\text{m}^2$ ) و  $\alpha$  شیب (درجه) است. مقدار عامل پوشش گیاهی (C) و عامل عملیات حفاظت خاک (P) به دلیل این که زمین تحت آیش و شخم در جهت شیب بود، برابر یک در نظر گرفته شد [۴۶].

#### تعیین ویژگی‌های خاک

به منظور تعیین ویژگی‌های خاک دامنه، ۶۶ نمونه خاک از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری سطح زمین هر کرت انجام شد. همچنین چگالی ظاهری خاک (B.D) با روش سیلندر فلزی [۱۲] و نفوذپذیری خاک به روش استوانه‌ی مضاعف [۳] در سه تکرار اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات از روش هیدرومتری استفاده شد [۶]. درصد سنگریزه با استفاده از الک‌های ۲ و ۸ میلی‌متر به روش وزنی تعیین گردید [۱۹]. برای تعیین میانگین قطر خاک‌دانه‌ها از سری الک‌های ۱۰، ۸، ۶، ۴/۷۵، ۲، ۱/۱۸، ۰/۶، ۰/۲ و ۰/۱۵ میلی‌متری

استفاده و میانگین وزنی قطر خاکدانه محاسبه شد [۲۶]. برای تعیین پایداری خاکدانه‌ها، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب در روش الکتر [۱۶] به مدت یک دقیقه [۱۱] تعیین شد. واکنش خاک به‌وسیله دستگاه pH سنج [۴۰] و برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی به‌وسیله دستگاه EC سنج اندازه‌گیری شد [۳۳]. برای اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) از روش باور استفاده شد [۳۴]. غلظت سدیم نمونه و درصد سدیم تبادلی خاک (ESP) با دستگاه فلیم‌فتمتر تعیین شد. کربن آلی به روش والکی - بلک [۳۵] اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کربنات کلسیم معادل ( $\text{CaCO}_3$ ) از روش خنثی‌سازی [۲۸] با اسیدکلریدریک استفاده شد و برای اندازه‌گیری گچ ( $\text{CaCO}_3, 2\text{H}_2\text{O}$ ) از روش استون [۲۹] استفاده شد.

#### تجزیه و تحلیل داده‌ها

رابطه‌ی بین هدررفت خاک اندازه‌گیری شده و طول کرت با استفاده از توابع ریاضی تعیین شد و بالاترین ضریب تبیین ( $R^2$ ) انتخاب شد. برای بررسی تفاوت هدررفت خاک بین کرت‌ها، از مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن استفاده شد. برای مقایسه‌ی هدررفت خاک برآورد شده با مقادیر اندازه‌گیری شده، از آزمون تی (t) جفتی استفاده شد و از ضریب تبیین ( $R^2$ ) برای تعیین اعتبار رابطه خطی ریاضی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآوردی استفاده شد و خط یک به یک نیز برای ارزیابی مدل‌ها از نظر قدرت تخمین به‌کار گرفته شد.

#### نتایج

##### ویژگی‌های خاک دامنه

با توجه به درصد شن و سیلت و رس، خاک دامنه دارای بافت لوم

شنی بود. میزان ماده‌ی آلی خاک دامنه  $1/43$  درصد بود. با توجه به این که میانگین آهک خاک دامنه  $14/61$  درصد بود، خاک در گروه خاک‌های آهکی قرار گرفت. خاک دامنه سنگریزه‌ای ( $18/9$  درصد) بود و از این‌سو دارای چگالی ظاهری نسبتاً بالایی ( $1/52$  گرم بر سانتی‌متر مکعب) بود. میانگین هدایت الکتریکی  $2/57$  دسی زیمنس بر متر بود و خاک در گروه خاک‌های غیرشور قرار داشت [۸]. خاک دامنه دارای نفوذپذیری  $10/02$  سانتی‌متر بر ساعت بود (جدول ۱).

##### تغییرات هدررفت خاک در طول کرت

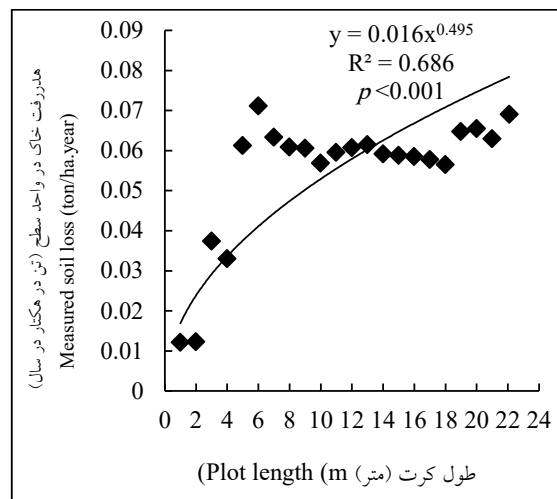
طی دوره‌ی ۱۴ ماهه، ۸۵ رخداد باران به وقوع پیوست که از آن، ۳۲ رخداد منجر به تولید رواناب و هدررفت خاک در کرت‌ها شدند. میانگین شدت و مدت باران‌ها غالباً پایین بود (به ترتیب  $1/53$  میلی‌متر بر ساعت و  $98/23$  دقیقه). فرسایندگی باران‌ها به‌طور میانگین  $533$  ژول میلی‌متر بر متر مربع ساعت بود. میزان هدررفت خاک از کرت یک متر ( $0/01$  تن در هکتار در سال) تا کرت شش متر ( $0/07$  تن در هکتار در سال) به شدت افزایش یافت و پس از آن تغییرات جدی مشاهده نشد (شکل ۲).

نتایج نشان داد که هدررفت خاک در مدل‌های USLE، RUSLE، AUSLE و USLE-M با افزایش طول کرت به‌صورت یک تابع توانی معنی‌دار افزایش می‌یابد (شکل ۳). الگوی تغییرات هدررفت خاک برآوردی با طول کرت در مدل‌های مختلف متفاوت است. نتایج در مورد تغییرات هدررفت خاک با طول کرت، برخلاف مفاهیم بیان شده برای طول کرت در مدل‌های USLE، RUSLE، AUSLE و حتی AUSLE بود که در آن‌ها با افزایش طول کرت، هدررفت خاک به‌طور توانی افزایش می‌یابد.

##### جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دامنه

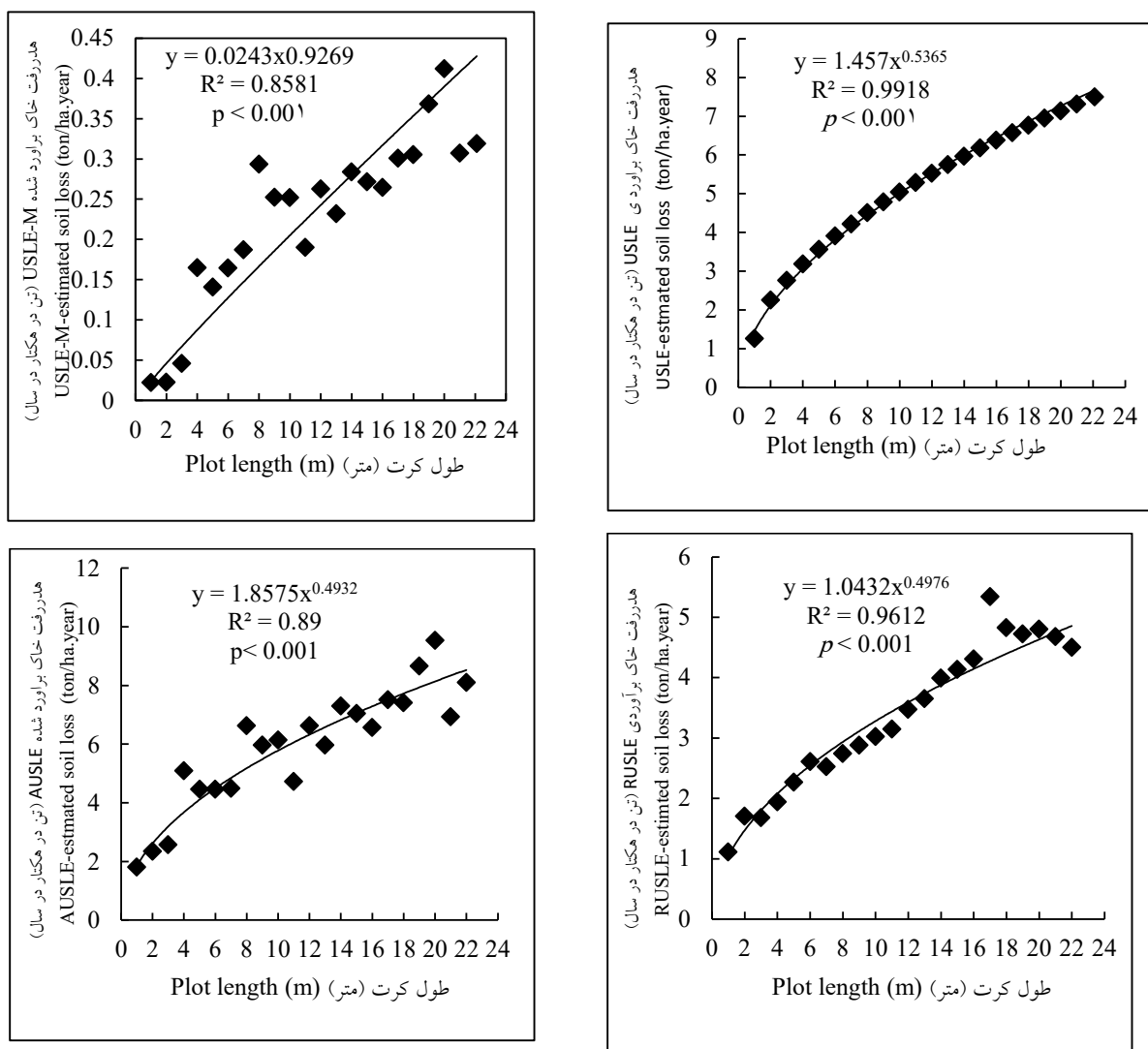
Table 1. Physicochemical soil properties of study land

| میانگین<br>Mean | ویژگی‌های شیمیایی<br>Chemical properties                                              | میانگین<br>Mean | ویژگی‌های فیزیکی<br>Physical properties                                                |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 7.52            | واکنش<br>pH                                                                           | 60.16           | شن (درصد)<br>Sand (%)                                                                  |
| 2.57            | هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)<br>Electrical conductivity (dS/m)                   | 20.59           | سیلت (درصد)<br>Silt (%)                                                                |
| 11.74           | ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی‌اکی‌والان در صد گرم)<br>Cation exchange capacity (meq/100g) | 19.25           | رس (درصد)<br>Clay (%)                                                                  |
| 5.59            | درصد سدیم تبادلی<br>Exchangeable sodium percentage                                    | 18.87           | سنگریزه (درصد)<br>Gravel (%)                                                           |
| 1.43            | ماده آلی (درصد)<br>Organic matter (%)                                                 | 1.52            | چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)<br>Bulk density ( $\text{g/cm}^3$ )                |
| 14.61           | آهک (درصد)<br>Lime (%)                                                                | 0.92            | میانگین قطر خاکدانه‌ها (میلی‌متر)<br>Mean diameter of aggregate (mm)                   |
| 0               | گچ (درصد)<br>Gypsum (%)                                                               | 1.09            | میانگین قطر خاکدانه‌های پایدار در آب (میلی‌متر)<br>MWD of water-stable aggregates (mm) |
|                 |                                                                                       | 10.02           | نفوذپذیری (سانتی‌متر بر ساعت)<br>Permeability (cm/h)                                   |



شکل ۲- رابطه‌ی بین هدررفت خاک اندازه‌گیری‌شده در واحد سطح و طول کرت در کرت‌ها

Fig 2. The relationship between measured soil loss and plot length in the plots



شکل ۳- رابطه‌ی بین هدررفت خاک برآورد شده از طریق مدل‌های USLE-M ، USLE ، RUSLE و AUSLE و طول کرت در رگبارهای منجر به فرسایش در محل

Fig 3. Relationship between the estimated soil loss through the USLE (a) RUSLE (b) USLE-M (c) and AUSLE (d) models and the plot length

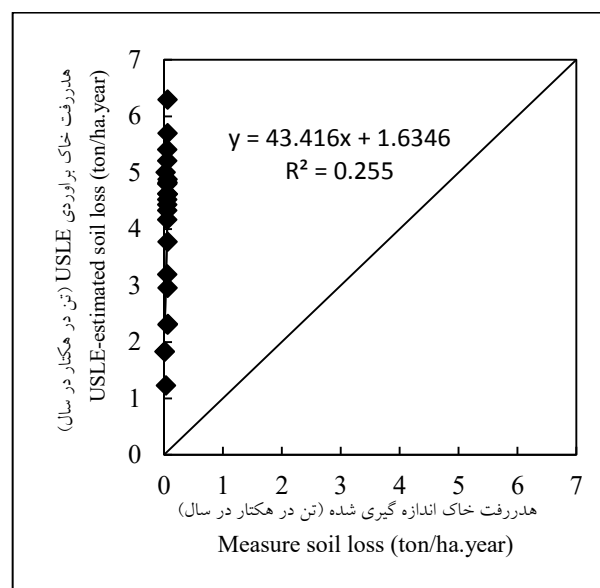
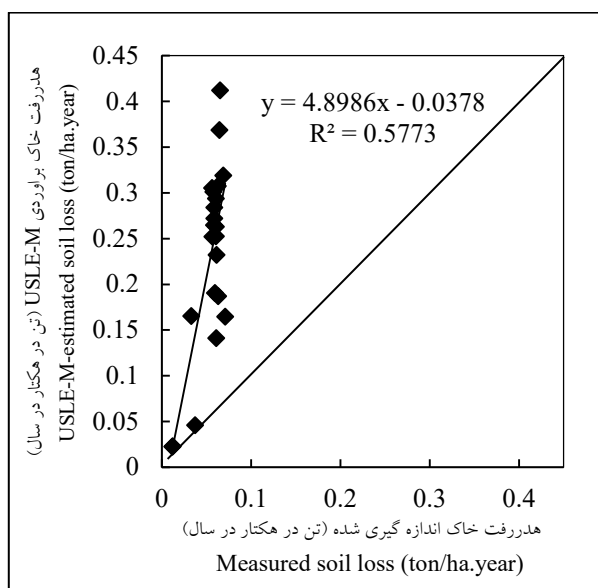
برابر، در مدل USLE-M، چهار برابر و در مدل AUSLE، ۱۱۳/۵ برابر بود. مقایسه‌ی میانگین هدررفت خاک اندازه‌گیری شده در واحد سطح با مقادیر برآورد شده از طریق مدل‌ها نشان داد که این تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۲). این نتایج بیانگر ضعف مدل‌های مذکور در برآورد هدررفت خاک در واحد سطح در مقیاس طول کرت بود.

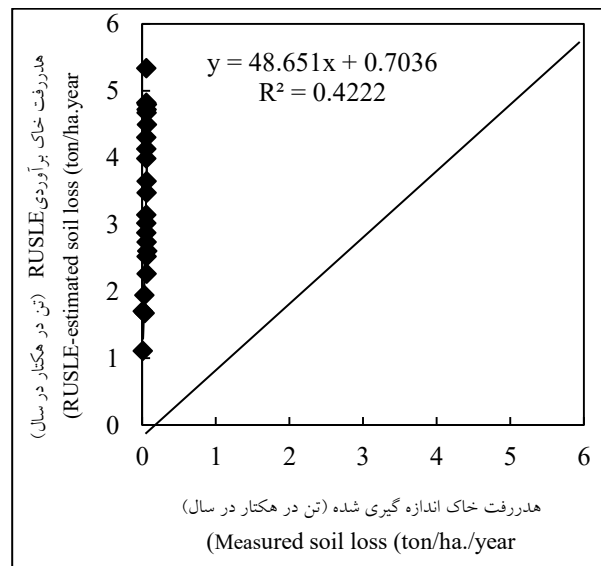
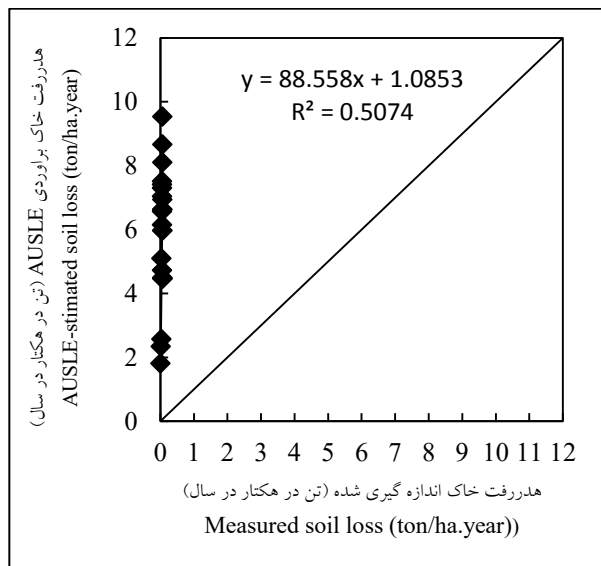
ارزیابی مدل‌های USLE، AUSLE، USLE-M و AUSLE به منظور ارزیابی مدل‌ها، تغییرات متقابل هدررفت اندازه‌گیری شده و هدررفت خاک برآوردی با مدل‌های USLE، AUSLE، USLE-M و AUSLE بررسی شد (شکل ۴). مقدار هدررفت خاک برآورد شده در تمام مدل‌ها بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده بود. این بیش‌برآورد در مدل USLE، ۸۰/۲ برابر، در مدل AUSLE، ۶۵/۴

جدول ۲- مقایسه‌ی هدررفت خاک اندازه‌گیری شده با مقدار برآوردی از مدل‌های USLE، AUSLE، USLE-M و AUSLE به روش آزمون t جفتی

Table 2. Mean comparisons of the measured soil loss with the estimated values by USLE, AUSLE, USLE-M and AUSLE

| models using Paired t-test                                   |                                    |                  |        |               |                                  |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------|--------|---------------|----------------------------------|
| مقایسه‌ی هدررفت خاک اندازه‌گیری شده با هدررفت خاک برآورد شده | میانگین تفاوت (تن در هکتار در سال) | انحراف معیار StD | t      | درجه آزادی DF | سطح معنی‌داری Significance level |
| USLE با by USLE                                              | 3.954                              | 1.738            | 13.698 | 21            | 0.000                            |
| RUSLE با by AUSLE                                            | 3.309                              | 1.201            | 12.916 | 21            | 0.000                            |
| USLE-M با by AUSLE                                           | 0.175                              | 0.0926           | 8.875  | 21            | 0.000                            |
| AUSLE با by AUSLE                                            | 5.872                              | 2.001            | 13.763 | 21            | 0.000                            |





شکل ۴- رابطه‌ی بین هدررفت خاک اندازه‌گیری‌شده و هدررفت خاک برآوردی از مدل‌های USLE، AUSLE، USLE-M و AUSLE  
 Fig 4. The relationship between measurement soil loss and estimated soil loss using the USLE, AUSLE, USLE-M and AUSLE models

عامل فرسایش‌پذیری خاک، برآورد هدررفت خاک مستقیماً متناسب با افزایش طول کرت بود. آقاسی و بنهور [۱] با بررسی هدررفت خاک در کرت ۱/۵ و ۱۰ متر تحت شیب ۴۸ درصد در دو جهت مختلف (شمالی و غربی) نشان دادند که هدررفت خاک در کرت‌های با طول بزرگ‌تر، ۶/۴ برابر بیش‌تر از کرت‌های کوچک است. آن‌ها بیان داشتند که در کرت‌های بزرگ، فرسایش شیاری غالب است درحالی‌که در کرت‌های کوچک فرسایش بین‌شیاری بیش‌تر اتفاق می‌افتد. در کرت‌های بزرگ، اغلب ذرات خاک پاشمان یافته دوباره در طول مسیر به داخل کرت بازمی‌گردد و با رواناب منتقل می‌شوند درحالی‌که وقتی رواناب در کرت کوچک اتفاق می‌افتد، ذرات پاشمان یافته به خارج از مرزهای کرت سقوط می‌کنند.

ارزیابی برآورد مدل‌های USLE، AUSLE، USLE-M و USLE-M بیان‌گر ضعف آن‌ها در برآورد هدررفت خاک در واحد سطح در مقیاس طول کرت بود. وجود باران‌های با شدت پایین و غیرفرساینده، عاملی است که منجر به افزایش خطای مدل‌ها می‌شود. طبیعتاً در شرایطی که شدت‌های باران بالا باشد و به حد آستانه فرسایش برسند، مقدار هدررفت خاک تاحدی به مقدار برآوردی نزدیک‌تر شده، خطای مدل‌ها کم‌تر می‌شود. تفاوت در ویژگی‌های باران (شدت و مدت بارندگی) و خصوصیات خاک از جمله علل بیش‌برآورد مدل‌ها بود [۲۵]. در مدل USLE برای تعیین عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)، باران‌های خاص مناطق شرق آمریکای مرکزی با شدت ۶۳/۵ میلی‌متر در ساعت به مدت دو ساعت مورد بررسی قرار گرفته است. درحالی‌که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شبیه بسیاری از مناطق در ایران، چنین باران‌هایی غیرمحمتمل است بنابراین مقادیر فرسایش‌پذیری خاک برآورد شده از مدل USLE

#### بحث و نتیجه‌گیری

میزان هدررفت خاک از کرت یک متر تا کرت شش متر به شدت افزایش یافت و پس از آن تغییرات اساسی نشان نداد. ل [۲۰] مشاهده کرد در کرت‌هایی با خاک‌ورزی عمیق، فرسایش خاک در واحد سطح با طول شیب به‌صورت نمایی افزایش یافت درحالی‌که در کرت بدون خاک‌ورزی ثابت بود. پارسون و همکاران [۲۹] دریافتند که مقدار رواناب و رسوب در واحد سطح با افزایش طول کرت کاهش می‌یابد. مورینو و همکاران [۲۴] نیز دریافتند که عملکرد رسوب در واحد سطح در شیب‌های دست‌نخورده با افزایش طول کرت کاهش یافت. بررسی‌های باگارلو و همکاران [۴] برای مقایسه‌ی بین کرت نسبتاً بزرگ (۳۰ مترمربع) و کرت کوچک (یک مترمربع) دریافتند که با افزایش طول کرت، رواناب کاهش یافت و غلظت رسوب افزایش پیدا کرد. نتایج هون و همکاران [۱۳] نشان داد که افزایش طول کرت از یک به پنج متر به دلیل افزایش رسوب‌گذاری و نفوذ آب به کاهش رواناب و بار رسوب کمک می‌کند. به هر حال در پژوهش حاضر، با افزایش طول کرت از یک متر به شش متر به دلیل افزایش حجم و قدرت رواناب سطحی، هدررفت خاک افزایش می‌یابد. با این وجود در شیب‌های با طول بزرگ‌تر به دلیل آن که فرساینده‌ی باران‌ها زیاد نبود، بخشی از مواد فرسایش‌یافته در مسیر رسوب می‌یابند.

الگوی تغییرات هدررفت خاک برآوردی با طول کرت در مدل‌های مختلف متفاوت بود. این نتیجه به دلیل تفاوت در برآورد عامل فرساینده‌ی باران (R) و عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) در مدل‌های مختلف بود. در مدل USLE به دلیل عدم تأثیر عامل رواناب در برآورد هدررفت خاک و نقش مستقیم عامل فرساینده‌ی باران و

خاک‌های مناطق نیمه‌خشک، مقدار آن را دور از مقدار واقعی نشان می‌دهد [۴۳]. یکی دیگر از دلایل بیش برآورد مدل‌ها، عدم برآورد صحیح عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) است. واعظی و همکاران [۴۳] و واعظی و صادقی [۴۲] با اندازه‌گیری هدررفت خاک در ۱۰۸ کرت تحت باران طبیعی در هشت‌رود به ارزیابی عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) در مدل USLE و RUSLE پرداختند و نشان دادند که مقدار K اندازه‌گیری‌شده تقریباً به ترتیب ۸ و ۱۴ برابر کوچکتر از مقدار برآوردی K بود. در تعیین عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) در مدل USLE خواص فیزیکی خاک، نقشی اساسی دارد [۴۷]. ابداع نمودگراف USLE برای برآورد فرسایش‌پذیری خاک (K) در مناطق نیمه‌مرطوب ایالات متحده‌ی آمریکا در خاک‌هایی انجام پذیرفته که تقریباً عاری از آهک بودند درحالی‌که اکثر خاک‌های واقع در مناطق نیمه‌خشک دارای مقادیر بالایی از کربنات‌هایی مانند کلسیت، آراگونیت و دولومیت [۴۳] هستند. کاتیون کلسیم ( $Ca^{2+}$ ) می‌تواند بر پایداری ساختمان خاک که یک ویژگی اصلی در فرسایش‌پذیری خاک تعیین شده است، مؤثر باشد [۲۱].

مدل USLE-M هدررفت خاک را تا اندازه‌ای بهتر از سه مدل دیگر برآورد کرد [۳۱]. این مدل یک نسخه‌ی اصلاح شده USLE در محاسبه عامل فرسایش‌پذیری بر اساس رخداد است که اثرات خاک، محصولات کشاورزی، مدیریت محصول و غلظت رواناب و رسوب را به‌طور آشکار در نظر می‌گیرد [۸۹]. گزارش‌ها نشان می‌دهد که مدل‌هایی از این نوع که نقش عامل رواناب را هم‌زمان با باران در فرسایش خاک در نظر گرفته‌اند، پیش‌بینی‌های بهتری از فرسایش خاک نسبت به مدل‌های USLE و RUSLE ارائه می‌دهند [۱۸]. این یافته، نتایج تحقیقات فوستر و همکاران [۸] و واعظی و همکاران [۴۱] مبنی بر اهمیت شاخص رواناب در کنار شاخص باران در تعیین عامل فرسایش‌پذیری را تأیید می‌کند. کینل و رایز [۱۸] نشان دادند که اگرچه مدل USLE و USLE-M برای پیش‌بینی هدررفت خاک می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند لیکن کارایی مدل USLE نسبت به USLE-M هنگامی که میزان نفوذ آب باران به خاک افزایش می‌یابد، کم‌تر است. شاهویی [۳۸] نیز در حوزه آبخیز قشلاق از مدل USLE برای تخمین میزان رسوب در هر رگبار استفاده نمود و عدم توانایی آن را مورد تأیید قرار داد. هم‌چنین عدم توانایی مدل USLE در تخمین مقدار رسوب انتقالی طی رگبارها، توسط کینل و ریس [۱۸] در حوزه آبخیز راکی کریک در استرالیا و صادقی و بهزادفر [۳۶] در حوزه آبخیز امامه در ایران تأیید شده است. صادقی و همکاران [۳۷] گزارش کردند که علت اختلاف عملکرد و بیش‌برآورد مدل‌های USLE، USLE-M و AUSLE را می‌توان به فرآیند مدل‌سازی آن‌ها در تبیین مقدار عامل فرسایش‌پذیری و هم‌چنین شرایط تهیه‌ی مدل‌ها نسبت داد. در پژوهش حاضر وجود اختلاف معنی‌دار بین نتایج حاصل از مدل‌های دلالت بر ضرورت انجام واسنجی‌های منطقه‌ای در استفاده از کلیه‌ی مدل‌های مذکور و یا تهیه‌ی مدل‌های مناسب منطقه‌ای برای برآورد هدررفت خاک در ابعاد کرت دارد.

به‌طور کلی از پژوهش حاضر می‌توان نتیجه گرفت که هدررفت خاک در واحد سطح با افزایش طول کرت از یک تا شش متر به دلیل افزایش توان حمل رواناب سطحی افزایش یافت. با این وجود در کرت‌های بزرگ‌تر (هفت تا ۲۲ متر) به دلیل آن که فرسایش‌پذیری رگبارها زیاد نبود، بخشی از جریان سطحی پیش از رسیدن به انتهای کرت، بار رسوب را برجای می‌گذارد. مدل‌های USLE، RUSLE و USLE-M دقت لازم برای برآورد هدررفت خاک در واحد سطح در کرت‌های مورد بررسی نداشتند. تفاوت در ویژگی‌های باران از جمله شدت و مدت بارندگی و خصوصیات خاک در منطقه‌ی نیمه‌خشک مورد بررسی با مناطق ارائه‌ی این مدل‌ها و تفاوت در خصوصیات خاک در منطقه از جمله علل بیش‌برآورد مدل‌ها در برآورد هدررفت خاک بود. مدل USLE-M نسبت به مدل‌های دیگر دارای خطای کمتری در برآورد هدررفت خاک در واحد سطح بود. یکی از دلایل این موضوع، در نظر گرفتن نقش رواناب در کنار باران برای محاسبه‌ی فرسایش‌پذیری بود. بر اساس نتایج این پژوهش، استفاده از مدل‌های مذکور در شرایطی که شدت و فرسایش‌پذیری باران‌ها پایین باشد، منجر به بروز خطای زیاد در برآورد مدل‌ها می‌شود. انجام واسنجی‌های منطقه‌ای برای دوره آماری بلند مدت برای استفاده از این مدل‌ها ضروری است.

## منابع

1. Aghassi, M. and Ben Hur, M. 1991. Effect of slope length, aspect and phosphogypsum on runoff and erosion from steep slopes. *Australian Journal Soil Research*, 29: 197-207.
2. Angimas. D., Stottd. E., Oneillm. K. and Weesiesg. A. 2003. Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenya highland conditions. *Agr Ecosyst Environ* 97: 295-308.
3. ASTM Committee on Soil and Rock. 2002. Standard test method for field measurement of infiltration rate using a double-ring infiltrometer with a sealed-inner ring. This standard is issued under the fixed designation D 5093.
4. Bagarello, V., Ferro, G., Giordano, F., Mannocchi, V., Pampalone, F. and Vergni, L. 2011. Effect of plot size on measured soil loss for two Italian experimental sites. *Biosystems Engineering*, 18-27.
5. Bagarello, V., Di Stefano, C., Ferro, V., Giordano, G., Iovino, M. and Pampalone, V. 2012. Estimating the USLE soil erodibility factor in Sicily, South Italy. *Applied Engineering in Agriculture*, 28(2): 199-206.
6. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydromrter method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*,

19. Klute, A. 1986. Methods of Soil Analysis, Part I: Physical and Mineralogical Methods. SSSA Book Series No.5. Soil Science Society of American Madison, 1188 pp.
20. Lal, R. 1997. Soil degradative effects of slope length and tillage methods on alfisols in western Nigeria. I. Runoff, erosion and crop response. *Land Degradation and Development* 8 (3): 201-219.
21. Le- Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*. 47, 425-437.
22. Miguel P. A., Samuel-Rosa R., Simao Diniz Dalmolin F., ArajoPedron J., and MouraBueno A. 2011. The USLE model for estimating soil erosion in complex topography areas. *Annals XV Brazilian Symposium on Remote Sensing, (SBSR), Brasil*, 9227-9230.
23. Mochansyah, H., Maheshwari, B. L. and Armstrong, J. 2004. Field evaluation of selected soil erosion models for catchment management in Indonesia, *Biosystems Engineering*, 88(4): 491-506.
24. Moreno, M., Heras, L., Nicolau, J., Martin, L. M. and Wilcox, B. P. 2010. Plot-scale effects on runoff and erosion along a slope degradation gradient. *Water Resources Research*, 46: 1-12.
25. Olivares, B.K. Vargas, D.L. and Silva, O. 2011. Evaluation of the USLE Model to Estimate Water Erosion in an Alfisol. *Journal of Soil Science Plant Nutrition*, 11 (2): 73 – 86.
26. Page, A. L., Miller, R. H. and Jeeney, D.R. 1992. Methods of soil Analysis, part 6. Physical properties. *Soil Science Society of America Journal, Madison*. 1750p.
27. Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P. and Alewell, C. 2014. Soil erodibility in Europe: a high-resolution dataset based on LUCAS. *Science of The Total Environment*, 479: 189-200.
28. Pansu, M. and Gautheyrou, J. 2006. *Handbook of Soil Analysis, Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*. Springer, 993 p.
29. Parsons, A. J., Brazier, R., Wainwright, J. and Powell, D. 2006. Scale relationships in hillslope runoff and erosion. *Earth Surf. Processes Landforms*, 31: 1384-1393.
30. Pongsai, S., Schmidt, D.V., Rajendra, P., Shrestha, R., Clemente, S. and Eiumnoh, A. 2010. Calibration and 56: 464- 466.
7. Dahnke, W. C. and Whitney, D. A. 1988. Measurement of soil salinity. Recommended chemical soil test procedures for the North Central Regional Publication 221. North Dakota Agricultural Experiment Station Bull. 499, 32-34.
8. Foster, G.R., Lombardi, F. and Moldenhauer, W.C. 1982. Evaluation of rainfall-runoff erosivity factors for individual storms. *Trans. ASAE*, 25: 124-129.
9. Ganasri, B.P. and Ramesh, H. 2016. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS-A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers* 7(6): 953-961.
10. Gholami, L. 2007. Modeling sediment yield of the watershed Gheshlagh in Kurdistan province. M.Sc. thesis. Tarbiat Modarres University. (In Persian)
11. Hasanzadeh, H. Vaezi, A. R. and Mohammadi, M. H. 2013. Runoff changes in the size of plot of soil samples with different textures under the same simulated rainfall events. *Journal of Soil and Water Research* 44(3), 245-254. (In Persian)
12. Hazelton, P. and Murphy, B. 2007. Interpreting soil test results. CSIRO publishing. pp. 169.
13. Huon, S., Ha, H., and Tureaux, H. 2012. Impact of fodder cover on runoff and soil erosion at plot scale in a cultivated catchment of North Vietnam. *Geoderma*, 177: 8-17.
14. Kalantari, M. Abbasi, A. and Shirani, M. 2008. Spatial planning studies Zanjan province. Planning Department of Zanjan, pp. 27-32. (In Persian)
15. Kargar, M. 2012. Evaluate the performance of USLE model and different versions of it in the form of standard plot in the treatment of grassland for individual rainstorms. M.Sc. thesis. Islamic Azad University, Noor Branch. (In Persian)
16. Kemper, W. D. and Rosenau, R. C. 1986. Aggregate stability and size distribution. 425-442 pp, In: Klute, A. (ed.), *Methods of Soil Analysis*. ASA and SSSA, Madison, WI.
17. Kinnell, P. I. A. 2005. Why the universal soil loss equation and the revised version of it do not predict event erosion well?, *Hydrol. Process*. 19: 851-854.
18. Kinnell, P.L.A. and Risse, L.M. 1998. USLEM: Empirical modeling rainfall erosion through runoff and sediment concentration. *Soil Science Society of America Journal*, 62: 1667-1672.

41-56. (In Persian)

39. Shamshad, A., Azharim, N., Isam, H., Wan Hussinw, M. A. and Parida, B. P. 2008. Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE EI30 index and preparation of erosivity maps for Pulau Penang in Peninsular Malaysia. *Catena* 72, 423- 432.

40. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity, In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods*. American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, United States of America. 475-490 PP.

41. Vaezi, A. R. Bahrami, H. Sadeghi, H. R. Mahdian, M. 2008. Evaluation of erosivity factor of USLE, MUSLE, RUSLE, and USLE-M model in the soils of semi-arid region in southern East Azarbaijan Province. *Iran-Watershed Management Science and Engineering* 2(4), 25-37. (In Persian)

42. Vaezi, A. R. and Sadeghi, S. H. R. 2011. Evaluating the RUSLE model and developing an empirical equation for estimating soil erodibility factor in a semi-arid region. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(3): 912-923.

43. Vaezi, A. R., Sadeghi, S. H. R., Bahrami, H. A. and Mahdian, M. H. 2008. Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. *Geomorphology*, 97: 414-427.

44. Wang, B., Zheng, F. and Römken, M.J., 2013. Comparison of soil erodibility factors in USLE, RUSLE2, EPIC and Dg models based on a Chinese soil erodibility database. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B–Soil & Plant Science*, 63(1): 69-79.

45. Williams, J.R., and Berndt H.D. 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. *TransASAE*, 20(6): 1100-1104.

46. Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning, *Agric. Handbk.*, 537, U.S. Dep. of Agricultural Science and Educational Administration, Washington, D. C.

47. Zhang, K.L., Shua. P., Xu, X.L., Yang, Q. K. and Yu, B. 2008. Soil erodibility and its estimation for agricultural soils in China, *Journal of Arid Environments*, 72, 1002-1011.

validation of the Modified Universal Soil Loss Equation for estimating sediment yield on sloping plots: A case study in Khun Satan catchment of northern Thailand. *Canadian Journal of Soil Science*. 90: 585-596.

31. Rahmati, S. Javadi, M. R. Rangavar, A. 2013. Comparison of Efficiency and Accuracy of USLE, AUSLE, MUSLE-S and USLEM Models for Estimating Amount of Erosion and Sedimentation On Based of Storm-Wise Event. *Journal of Water and Soil* 27(3), 506-514. (In Persian)

32. Renard, K. G., Foster, G.R., Weesies, G. A., McCool, D. K. and Yoder, D. C. 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S Department of temporal changes in climate erosivity using a simplified rainfall erosivity model in Basilicata (southern Italy). *Journal of Hydrology*, 356: 119- 130.

33. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids, *Methods of Soil Analysis. Chemical Methods*. American Society of Agronomy/ Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, United States of America, 417- 436.

34. Ross, D. and Kettering, Q. 2011. Recommended methods for determining soil cation exchange capacity. Recommended soil testing procedures for the Northeastern United States, Northeastern Regional Bulletin No. 493. 3rd Edition. Chapter 9.

35. Rowell, D. I. 1994. *Methods and Application*. Longman Group. Harlow, 345 PP.

36. Sadeghi, S. H. R. and Behzadfar, M. 2004. Temporal variation of rainfall erosivity factor in Mazandaran Province. Iran, In: *The Fourth International Iran and Russia Conference or Agriculture and Natural Reasource*, Shahre Kord, Iran, 8-10 Sep, PP. 1280-1285. (In Persian)

37. Sadeghi, S.H.R. Pourghasemi, H.R., Mohammadi, M. and Agharazi, H. 2008. Accuracy and efficiency of Universal soil loss Equation and some versions in estimate of sediment yield of individual storms (Case Study: Natural Resources Research Station Khsbyjan, Arak). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12(46), 323-334. (In Persian)

38. Shahoie, S. S. 1992. The relationship between erosion Amount with factors affecting during a rainfall. Selection of Papers Third Congress of Soil Science, 6-8 September 1992,

## Evaluating the Efficiency of the USLE, RUSLE, USLE-M and AUSLE Models in Estimation of Soil Loss at Plot Scale in a Semi-Arid Region

A.R. Vaezi<sup>1</sup> and M. Noghan<sup>2</sup>

Received: 16-12-2018

Accepted: 13-05-2019

### Abstract

This study was conducted to investigate the capability of the Universal Soil Loss Equation (USLE) and its versions (RUSLE, USLE-M and AUSLE) models in predicting soil loss at the plot scale in a semi-arid region in Zanjan. Toward this, twenty two plots from 1m to 22.1m with the same widths (1.83m) were installed on a uniform slope 10 percent. The plots were maintained under the USLE standard plot conditions for a fourteen-month period (from March 2013 to Jun 2014). Based on the results, an increasing trend was observed in soil loss with increasing plot length from 1 m (0.01 ton/ha.year) to 6 m (0.07 ton/ha.year), which was associated with increasing runoff and its transport capacity. Mean estimated soil loss using the USLE, RUSLE, USLE-M and AUSLE for twenty two plots was 80.2, 65.4, 4 and 113.5 times bigger than the measured values, respectively. The USLE-M appeared the lowest error in soil loss estimation as compared to other two models. In this model, erosivity factor is determined using runoff along with rainfall characteristics. This study revealed that the calibration of the empirical soil erosion models using long period data is essential for predicting soil loss in the plot scale.

**Keywords:** *Natural rainfalls, Plot length, Rainfall erosivity, Runoff erosivity, Standard plot*

1. Corresponding Author and Professor at Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan.  
Email: vaezi.alireza@gmail.com

2. M.Sc. Graduate, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan.