

عدم قطعیت عامل فرسایش پذیری (K) برآوردی با استفاده از نمودار USLE در خاک‌های آهکی شهرستان هشتروند، شمال غربی ایران

علیرضا واعظی^{۱*}، حسینعلی بهرامی^۲، سید حمید رضا صادقی^۳ و محمد حسین مهدیان^۴
^۱استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، ^۲دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، ^۳دانشیار گروه آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس و ^۴استادیار پژوهش سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی

چکیده

در رابطه جهانی فرسایش خاک (USLE)، عامل فرسایش پذیری خاک (K) با استفاده از نمودار برآورد می‌شود. استفاده از نمودار در خاک‌های آهکی ممکن است منجر به عدم قطعیت در برآورد فرسایش پذیری شود. این پژوهش در شهرستان هشتروند واقع در جنوب استان آذربایجان شرقی طی سال ۱۳۸۴ انجام گرفت. آزمایش‌های صحرایی در منطقه - ای به ابعاد ۳۰ کیلومتر در ۳۰ کیلومتر انجام گرفت. در سطح منطقه، ۳۶ شبکه انتخاب و در هر شبکه، سه کرت استاندارد در یک زمین دیم ایجاد شدند. مقدار K بر اساس نسبت مقدار هدر رفت خاک بر عامل فرساینده‌گی باران (R) اندازه‌گیری شد و با استفاده از نمودار USLE برآورد گردید. نتایج نشان داد که مقدار فرسایش پذیری اندازه‌گیری شده (۰/۰۴۲ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر) به طور میانگین ۱۰/۹۸ برابر کمتر از مقدار برآوردی (۰/۰۳۶۰ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر) بود. میانگین درصد خطای برآورد با نمودار برابر ۹۷/۶ بود. این نتایج، عدم قطعیت فرسایش پذیری برآورد شده با نمودار در خاک‌های آهکی را آشکار می‌کند. تجزیه رگرسیونی نشان داد که فرسایش پذیری خاک تحت تاثیر ذرات معدنی، ماده آلی، آهک و سنگریزه قرار دارد ($R^2=0/85$, $p<0/01$). آهک عامل اصلی در بروز عدم قطعیت فرسایش پذیری برآوردی است.

واژه‌های کلیدی: زمین دیم، کرت استاندارد، درصد خطای برآورد، آهک

$$K = \frac{A}{RLSCP} = \frac{A}{R \times 1 \times 1 \times 1 \times 1} = \frac{A}{R} \quad (1)$$

مقدمه

که در آن A میانگین هدررفت خاک بر حسب تن در هکتار در سال ($Mg \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$)، R عامل فرساینده‌گی باران بر حسب مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت سال ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$)، L عامل طول شیب، S عامل درجه شیب، C عامل پوشش گیاهی و P عامل کارهای حفاظتی است. بررسی‌های Wischmeier and Smith (۱۹۷۸) در خاک‌های غیرآهکی نواحی نیمه‌مرطوب آمریکای مرکزی نشان داد که فرسایش-پذیری خاک تحت تاثیر پنج ویژگی خاک (درصد شن درشت، مجموع درصد سیلت و درصد شن خیلی ریز، درصد ماده آلی، ساختمان و نفوذپذیری نیمرخ خاک) است. نتایج این پژوهش به صورت نموداری (Nomograph) برای برآورد فرسایش پذیری بر اساس رابطه رگرسیونی زیر ارائه شد:

$$K = 2.8 \times 10^{-7} M^{1.14} (12 - a) + 4.3 \times 10^{-3} (b - 2) + 3.3 \times 10^{-3} (c - 3) \quad (2)$$

که در آن K عامل فرسایش پذیری بر حسب مگاگرم ساعت بر مگاژول میلی‌متر ($Mg \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)، M حاصلضرب (درصد سیلت + شن خیلی ریز) و (درصد رس-۱۰۰)، a درصد ماده آلی، b گروه ساختمان خاک و c درجه نفوذپذیری نیمرخ

با توجه به اهمیت خاک در تولیدات کشاورزی، حفظ آن ضروری است. برای برنامه‌ریزی‌های حفاظت خاک در یک منطقه، برآورد مقدار فرسایش و شناخت عوامل موثر بر آن حائز اهمیت است. رابطه جهانی فرسایش خاک (Universal Soil Loss Equation) یا USLE یکی از روش‌های رایج مورد استفاده در این زمینه است. سادگی بسیاری از متغیرهای موجود در USLE موجب شده است تا به عنوان گسترده‌ترین روش برآورد هدررفت خاک مورد پذیرش باشد (Morgan, ۱۹۹۵). بر اساس USLE، یکی از عوامل شش‌گانه موثر در فرسایش آبی، فرسایش پذیری خاک (Soil erodibility) است که نشان دهنده مقاومت ذرات خاک به جدا شدن در اثر برخورد قطرات باران و رواناب می‌باشد (۱۵). در رابطه جهانی فرسایش خاک، مقدار این عامل از راه تعیین مقدار خاک فرسایش یافته از کرت استاندارد (Standard plot) یا کرت واحد در واحد شاخص فرساینده‌گی باران ($R = \sum EI_{30}$) به دست می‌آید (Wischmeier and Smith, 1978).

است. (K) را بیشتر از مقدار حقیقی آن نشان خواهد داد. بررسی‌ها نشان داد که با افزایش درصد رس و ماده آلی، فرسایش‌پذیری خاک کمتر و با افزایش درصد سیلت بیشتر می‌شود. (Ghasemi, Mohammadi, 2002). در پژوهشی نشان داده شد که فرسایش‌پذیری خاک در واحدهای مختلف اراضی با افزایش نسبت رس به شن و سیلت افزایش می‌یابد. (Ghaderi and Ghoddosi, 2004). مطالعات نشان دادند که فرسایش‌پذیری خاک با درصد توزیع اندازه ذرات نسبت به سایر مشخصه‌های فیزیکی بیشترین همبستگی را دارد. (Ghorbani Vagheie and Bahrami). تحقیقات نشان داد که مقدار فرسایش برآوردی با USLE شیب‌های ۹ درصد به ترتیب ۸/۵۶ برابر بیشتر از مقدار واقعی می‌باشد (Agharazi, 2004). بررسی‌ها نشان داد که مدل تجربی USLE بدون واسنجی نمی‌تواند مدلی مناسب برای برآورد مقدار رسوب در کرت‌های آزمایشی و حوزه‌های آبخیز کوچک باشد (Javadi et al., 2004).

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که فرسایش‌پذیری خاک تحت تاثیر ویژگی‌های مختلف خاک قرار می‌گیرد. از آنجا که ویژگی‌های خاک در مناطق نیمه‌خشک با ویژگی‌های خاک نواحی نیمه‌مرطوب متفاوت می‌باشد، به نظر می‌رسد که در خاک‌های آهکی نواحی نیمه خشک، برآورد فرسایش‌پذیری با نمودار منجر به عدم قطعیت در برآورد فرسایش‌پذیری خاک شود. بنابراین بررسی فرسایش‌پذیری در خاک‌های آهکی مناطق نیمه‌خشک ایران به منظور ارزیابی عدم قطعیت، شناخت عوامل موثر بر فرسایش‌پذیری و دستیابی به خطای نمودار در برآورد فرسایش‌پذیری حائز اهمیت است.

مواد و روش‌ها

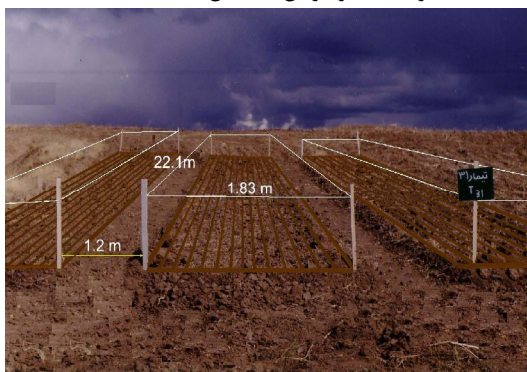
منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در شهرستان هشترود واقع در جنوب استان آذربایجان شرقی طی سال ۱۳۸۴ انجام گردید. این منطقه دارای میانگین بارندگی سالانه ۳۴۰ میلی‌متر است. خاک‌ها عمدتاً با بافت لوم رسی، دارای حدود ۱ درصد ماده آلی، حدود ۱۰ درصد آهک، اسیدیته (pH) بین ۷ تا ۸ و شوری حدود ۱ دسی‌زیمنس بر متر بوده و اغلب زیر کشت دیم گندم قرار دارند (Hakimi, 1986). در بیشتر دیمزارها، فرسایش آبی به شکل‌های سطحی، شیاری و خندقی دیده می‌شود و مهار فرسایش در آنها اجتناب‌ناپذیر است. برای انجام پژوهش، محدوده‌ای از زمین‌های دیم، واقع در ۳۷° ۱۸' ۴۹" تا ۳۷° ۳۵' ۰۰" عرض شمالی و ۵۰° ۴۶' ۴۶" تا ۴۷° ۶' ۵۰" طول شرقی، به ابعاد ۳۰ کیلومتر در ۳۰ کیلومتر انتخاب و در آن، ۳۶ شبکه مربعی به ابعاد ۵ کیلومتر

پس از ارائه نمودار USLE، پژوهش‌هایی در مورد فرسایش‌پذیری و ارزیابی نتایج برآورد آن انجام گرفت. در گزارش Kirkby and Morgan (۱۹۸۰) بیان شد که اثر ماده آلی در کاهش فرسایش‌پذیری در بافت‌های شنی بیشتر از سیلتی و آن هم بیشتر از رسی است. بررسی‌های Schwab et al. (۱۹۸۱) نشان داد که فرسایش‌پذیری (K) در بافت‌های مختلف با افزایش مقدار ماده آلی کاهش می‌یابد. بررسی‌های Castro and Logan (۱۹۹۱) نشان داد که آهک از یک سو با افزایش pH موجب می‌شود گروه‌های هیدروکسیل سطح رس‌ها بیشتر یونیزه شده و بار منفی بیشتری تولید شود و از سوی دیگر وجود کاتیون کلسیم در هم‌آوری (Flocculation) و پایداری رس‌ها موثر است. بررسی‌های Miller and Gardiner (۱۹۹۸) در آمریکا نشان داد که وجود خاکدانه‌های سطحی بزرگ و داشتن نفوذپذیری بالا، فرسایش‌پذیری را کاهش می‌دهد. گزارش‌ها نشان داد که رس معمولاً فرسایش‌پذیری خاک را کاهش می‌دهد. کاتیون کلسیم نیز نقشی موثر در پیوند کلوئیدهای خاک و کاهش فرسایش‌پذیری دارد (Charman and Murphy, 2000). پژوهش‌ها نشان داد که کاتیون‌های با ظرفیت بالا به ویژه Ca^{2+} نقشی موثر در به هم آمدن کلوئیدهای خاک و افزایش مقاومت خاک به فرسایش دارند (Duiker et al., 2001). آزمایش‌ها نشان داد که خاک‌های دارای مقدار بیشتری ذرات شن، اثر ضربه قطرات باران را بهتر کاهش می‌دهند و به دلیل داشتن سرعت نفوذ آب بیشتر، رواناب کمتری تولید می‌کنند (Santos et al., 2003). ارزیابی کارایی نمودار USLE در برآورد عامل فرسایش‌پذیری (K) در کرت‌های تحت باران طبیعی در چین نشان داد که عامل فرسایش‌پذیری در USLE بهتر از شاخص K_{zw} (فرسایش‌پذیری خاک) پیشنهادی (Zhou and Wu, 1993) اثر ویژگی‌های خاک را بر هدررفت خاک نشان می‌دهد. همچنین همبستگی معنی‌داری بین مقدار رس و فرسایش‌پذیری به دست آمد (Zhang et al., 2004).

گزارش‌ها در ایران نشان می‌دهد که نمودار USLE از بررسی فرسایش‌پذیری در خاک‌های تقریباً غیرآهکی ارائه گردیده است در حالی که در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، آهک نقشی اساسی در پایداری خاکدانه‌ها دارد. از سوی دیگر این نمودار بر اساس باران‌های مناطق نیمه‌مرطوب آمریکای مرکزی، با ویژگی‌های باران (شدت و مدت) متفاوت از مناطق خشک و نیمه‌خشک به دست آمده است (Rafahi, 1996). بنابراین به نظر می‌رسد نتایج به دست آمده از نمودار در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، عامل فرسایش‌پذیری

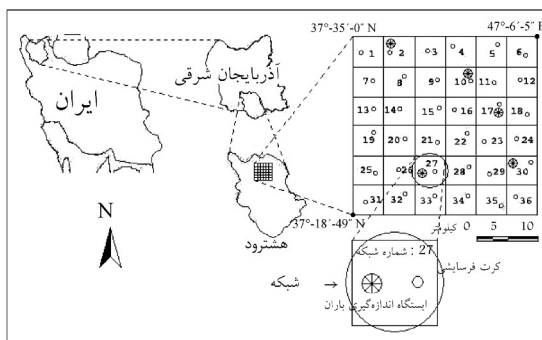
رسوبات در آن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی-گراد خشک و مقدار رسوب نمونه و غلظت آن مشخص شد. از روی غلظت هر نمونه، مقدار کل رسوب هر کرت در هر رخداد تعیین شد. بر اساس مقدار هدررفت خاک سه کرت، میانگین هدررفت خاک هر زمین در هر رخداد مشخص شد. با جمع مقادیر رسوب هر کرت در رخدادهای مختلف سال ۱۳۸۴، مقدار سالانه هدررفت خاک آن به دست آمد. همچنین میانگین هدررفت خاک سالانه هر زمین بر اساس مقدار هدررفت خاک سالانه سه کرت مستقر در آن مشخص شد.



شکل ۲- نمایی از کرت‌های استاندارد مورد استفاده در پژوهش در منطقه مورد مطالعه

برای بررسی اثر ویژگی‌های خاک بر فرسایش‌پذیری، نمونه‌های خاک از عمق ۳۰ سانتی‌متر از ۳ نقطه در امتداد کرت‌ها به طور تصادفی برداشت و از آن نمونه‌های مرکب به آزمایشگاه منتقل گردید. در نمونه‌های خاک، در کنار تعیین ویژگی‌های موثر بر فرسایش‌پذیری در نمودار (شن درشت، شن خیلی ریز، سیلت، ماده آلی، کد ساختمان و کلاس نفوذپذیری)، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی که ممکن بود بیشترین تاثیر را بر فرسایش‌پذیری داشته باشند، نیز اندازه‌گیری شد. این ویژگی‌ها شامل درصد شن، رس، سنگریزه، آهک و پتاسیم بود. ویژگی‌های مختلف در آزمایشگاه با روش‌های رایج (Aliehiiae, 1996) اندازه‌گیری شدند. ساختمان خاک بر اساس شکل و اندازه خاکدانه‌ها و نفوذپذیری نیمرخ خاک بر اساس سرعت نفوذ نهایی با روش استوانه‌های مضاعف در صحرا تعیین شد. گروه ساختمان خاک (b) و درجه نفوذپذیری نیمرخ (c) از جداول پیشنهادی Wischmeier و Smith (۱۹۷۸) به دست آمد. برای بررسی پراکنش باران در سطح منطقه، از داده‌های چهار ایستگاه اندازه‌گیری باران استفاده شد (شکل ۱). ایستگاه‌های واقع در شبکه‌های ۲، ۱۰ و ۲۶ باران‌سنجی و در شبکه ۱۷ باران‌نگاری بود. شاخص فرسایش‌نگاری باران ($R=EI_{30}$)، از داده‌های منحنی باران‌نگار به دست آمد. برای به دست آوردن R ابتدا انرژی جنبشی در واحد ارتفاع باران (KE) از رابطه Wischmeier

نظر گرفته شد. در هر شبکه، یک زمین دیم انتخاب و کرت‌های فرسایشی در آن ایجاد شدند (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

برای ایجاد کرت‌های فرسایشی بر اساس USLE، در هر شبکه یک کشتزار دیم در حال آیش دارای شیب ۹ درصد و رو به جنوب انتخاب شد. برای احداث کرت‌ها، هر کشتزار دیم در فروردین ماه ۱۳۸۴ در جهت شیب شخم و دیسک زده شد و بقایای گیاهی سطح آنها جمع‌آوری شد. سپس سه کرت استاندارد به عرض ۱/۸۳ متر و به طول ۲۲/۱ متر با فاصله ۱/۲ متر در هر کشتزار ایجاد گردید. برای جلوگیری از ورود و خروج رواناب و رسوب، پیرامون کرت‌ها با پشته‌های خاکی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر بسته شد (شکل ۲). به منظور جمع‌آوری رواناب و رسوب، در پایین‌دست هر کرت، زهکشی آلومینیومی جهت جمع‌آوری رواناب و رسوب منتقله، در عرض کرت به طور هم-سطح با خاک تعبیه شد. رواناب و رسوب منتقله پس از وارد شدن به این زهکش، از طریق لوله‌های ۵ اینچی از جنس پلیکا به بشکه‌های درب‌دار با حجم ۷۰ لیتر وارد می‌شد.

برای اندازه‌گیری مقدار رسوب در هر رخداد باران فرسایش‌زا، ابتدا حجم کل مخلوط آب و خاک بشکه‌ها به وسیله ظرفی با حجم معین اندازه‌گیری شد و برای تعیین غلظت رسوب، مخلوط داخل بشکه‌ها با همزن دستی کاملاً به صورت یکنواخت درآمد. از آنجا که در این شرایط به دلیل رسوب سریع ذرات درشت در داخل بشکه، نمونه تهیه شده از هر عمق غیریکنواخت می‌شد (Nikkami, 2004)، در سه مرحله مخلوط داخل بشکه کاملاً به هم زده شد و در هر مرحله نمونه‌ای ۰/۵ لیتری از سه عمق مختلف مخلوط داخل بشکه برداشت شد. نمونه‌ها در ظرفی کوچک با هم مخلوط و از آن نمونه‌ی یکنواخت ۰/۵ لیتری فراهم شد. به این ترتیب در هر رخداد باران منجر به رسوب، تعداد ۳۶ نمونه یکنواخت تهیه شد. در آزمایشگاه، رسوب نمونه‌ها با کاغذ صافی واتمن ۴۲، جدا شد.

و Smith (۱۹۷۸) به دست آمد:

$$KE = 210.2 + 89 \log_{10} I \quad (۳)$$

که در آن: KE بر حسب $J m^{-2} cm^{-1}$ (ژول بر متر مربع در سانتی متر باران) و I شدت بارندگی بر حسب $cm h^{-1}$ (سانتی متر در ساعت) است. از ضرب KE در ارتفاع باران (سانتی متر)، انرژی جنبشی (E) بر حسب $MJ ha^{-1}$ (مگاژول در هکتار) به دست آمد. با ضرب E در بیشترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای ($mm h^{-1}$)، شاخص فرساینده‌گی (EI_{30}) هر باران تعیین شد. با جمع EI_{30} باران‌های با مدت بیشتر از ۳۰ دقیقه، مقدار عامل فرساینده‌گی (R) بر حسب $MJ mm ha^{-1} h^{-1} year^{-1}$ به دست آمد.

عامل فرسایش پذیری (K) بر حسب تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر ($Mg h MJ^{-1} mm^{-1}$) بر اساس نمودار USLE، از رابطه (۲) برآورد شد و بر مبنای اندازه‌گیری هدررفت خاک و فرساینده‌گی باران با استفاده از رابطه (۱) اندازه‌گیری شد.

- تجزیه و تحلیل آماری

برای تعیین خطای برآورد فرسایش‌پذیری از رابطه زیر استفاده شد:

$$E = \frac{Z^*(x_i) - Z(x_i)}{Z(x_i)} \quad (۴)$$

که در آن: E مقدار خطای برآورد فرسایش‌پذیری با نمودار USLE، $Z^*(x_i)$ مقدار عامل فرسایش‌پذیری (K) برآورد شده از رابطه (۲) و $Z(x_i)$ مقدار عامل فرسایش‌پذیری اندازه‌گیری شده یا مشاهده‌ای می‌باشد. از آنجا که مقدار $Z^*(x_i)$ و $Z(x_i)$ به ترتیب میانگین مقدار عامل فرسایش‌پذیری برآوردی و اندازه‌گیری شده در سه کرت استاندارد در هر شبکه بود، E نیز بیانگر میانگین خطای برآورد در هر شبکه بود. مقدار خطای برآورد (E) برای ۳۶ نقطه در منطقه مورد بررسی از رابطه بالا حساب شد. میانگین درصد خطا (Mean Percentage Error) نیز از رابطه زیر به دست آمد:

$$MPE = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{Z^*(x_i) - Z(x_i)}{Z(x_i)} \right)}{N} \times 100 \quad (۵)$$

که در آن: MPE مقدار میانگین درصد خطای برآورد و N تعداد نقاط برآورد (۳۶ نقطه) می‌باشد.

برای بررسی توزیع آماری داده‌های ویژگی‌های خاک از آزمون Kolmogoreov-Smirnov استفاده شد. توزیع مکانی مقدار باران‌های منجر به رسوب در ایستگاه‌های اندازه‌گیری باران در سطح منطقه با آزمون پارامتریک دانکن بررسی شد. تفاوت بین عامل فرسایش‌پذیری برآوردی و اندازه‌گیری شده با آزمون T نمونه‌های جفتی (Two-Sample T-Test) بررسی شد. تجزیه آماری کل داده‌ها و رابطه بین متغیرها با استفاده از نرم‌افزار SPSS، ۱۳ انجام گرفت.

نتایج

نتایج تجزیه ویژگی‌های خاک نشان داد که خاک‌ها غالباً با بافت لوم رسی (۳۶/۴ درصد شن، ۳۱/۵ درصد سیلت و ۳۱/۵ درصد رس) هستند. مقدار ماده آلی در خاک‌ها غالباً کم و به طور میانگین ۱/۱ درصد بود. خاک‌ها آهکی با ۱۲/۶۷ درصد کل مواد خنثی‌شونده بر حسب کربنات کلسیم بودند. خاک‌ها دارای ساختمان دانه‌ای با نفوذپذیری متوسط (۳/۳ سانتی متر در ساعت) بودند (جدول ۱). توزیع آماری داده‌های ویژگی‌های خاک، نرمال بود.

طی دوره پژوهش از ۵۵ رخداد باران، ۲۳ رخداد منجر به رواناب و رسوب شد. شدت بارندگی در این رخدادها از ۲/۲۱ تا ۱۳/۷۸ میلی‌متر در ساعت تغییر کرد و میانگین آن ۵/۰۷ میلی‌متر در ساعت بود. شاخص فرساینده‌گی باران (EI_{30}) نیز بین ۱۰۷/۷۰۶ و ۷۳۴۰/۲۰۴ ژول بر متر مربع و به طور میانگین ۱۷۲۵/۸۸۸ ژول بر متر مربع بود. میانگین هدررفت خاک ۳۶ زمین در ۲۳ رخداد بین ۰/۰۱۵ تن در هکتار (۴/۳۵۶ کیلوگرم در کرت) و ۰/۲۹۸۸ تن در هکتار (۲۹۶/۸۶۰ کیلوگرم در کرت) بود و میانگین آن در منطقه در ۲۳ رخداد برابر ۰/۰۸۱۲۶ تن در هکتار (۶۹/۸ کیلوگرم در کرت) بود (جدول ۲). مقدار عامل فرساینده‌گی باران (R) بر اساس ۵۱ رخداد باران با مدت بیشتر از ۳۰ دقیقه، $۴۳۸/۹۳۷۸ MJ mm ha^{-1} h^{-1} year^{-1}$ بود.

جدول ۱- میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در منطقه مورد مطالعه

ویژگی خاک	شن (%)	شن بسیار ریز (%)	شن درشت (%)	سیلت (%)	رس (%)	سنگریزه (%)	ماده آلی (%)
میانگین	۳۶/۴۰	۱۶/۶۰	۱۹/۷۰	۳۱/۵۰	۳۱/۵۰	۹/۹۱	۱/۰۹
ویژگی خاک	آهک (%)	پتاسیم (mg/kg)	نفوذپذیری نهایی (cm/h)	نیمرخ یا c	درجه نفوذپذیری	ساختمان (شکل و اندازه)	گروه ساختمانی یا b
میانگین	۱۲/۶۷	۳۹۱/۵۲	۳/۳	غالباً ۳	دانه‌ای یا قطر ۷-۲ میلی‌متر		۳

مگاژول میلی‌متر بود (جدول ۴).

بر اساس نتایج، مقدار عامل فرسایش‌پذیری برآوردی در تمام زمین‌ها بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده آن بود. بیشترین تفاوت عامل فرسایش‌پذیری برآوردی و اندازه‌گیری شده (۳۹/۴۲ برابر) در زمین ۱۶ و کمترین آن (۴/۰۸ برابر) در زمین ۱۹ بود. مقدار عامل فرسایش‌پذیری برآوردی به طور میانگین ۱۰/۹۸ برابر بزرگتر از مقدار اندازه‌گیری شده بود. از آنجا که واریانس تغییرات فرسایش‌پذیری برآوردی و اندازه‌گیری شده یکسان بود، تفاوت بین آن دو در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. بررسی رابطه بین فرسایش‌پذیری برآوردی و اندازه‌گیری شده نیز نشان داد که ضریب تبیین (R^2) آن بسیار پایین (۰/۱۶۵) می‌باشد (جدول ۵). این نتایج نشان می‌دهد که برآورد فرسایش‌پذیری با نمودار USLE در خاک‌های آهکی دارای خطای بالایی بوده و قابل اطمینان نیست. این نتایج، یافته‌های Rejman و همکاران (۱۹۹۸) و Hussein و همکاران (۲۰۰۷) مبنی بر این که نمودار USLE، فرسایش‌پذیری خاک را بسیار بزرگتر (به ترتیب ۸ و ۱۲ برابر) بزرگتر از مقدار اندازه‌گیری شده برآورد می‌کند را تایید می‌کند. این نتایج یافته‌های Agharazi (۲۰۰۴) در مورد ارقام بالای برآورد فرسایش خاک با USLE همخوانی دارد و استدلال‌های قبلی (Rafahi, 1996) مبنی بر اینکه بکارگیری نمودار USLE در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک، فرسایش‌پذیری (K) را بیشتر از مقدار حقیقی برآورد می‌کند، را تایید نمود.

بررسی خطای برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک نشان داد که خطای برآورد در هر زمین (E) از حداقل ۳/۰۸۲ (در کرت ۱۹) تا ۳۸/۴۲۰ حداکثر (در کرت ۱۶) تغییر یافته و به طور میانگین در منطقه ۹/۷۴۶ است. بر این اساس مقدار میانگین درصد خطای برآورد در منطقه مورد بررسی (MPE) برابر ۹۷۴/۶ بود (جدول ۶). وجود درصد خطای برآورد بالا در فرسایش‌پذیری خاک تعیین شده با نمودار USLE نشان می‌دهد که استفاده از نمودار، منجر به عدم قطعیت در برآورد فرسایش‌پذیری خاک‌های آهکی می‌شود. این نتایج نظر Javadi et al. (۲۰۰۴) را مبنی بر لزوم واسنجی مدل USLE در ایران، با ویژگی‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی متفاوت از محل ارائه مدل، تایید می‌کند.

بررسی علل عدم قطعیت فرسایش‌پذیری برآوردی با نمودار USLE نشان می‌دهد که ویژگی‌های خاک موجود در نمودار، بیانگر مقدار واقعی (اندازه‌گیری شده) فرسایش‌پذیری خاک نمی‌باشند. از این رو یا تاثیر ویژگی‌های موجود در نمودار بر فرسایش‌پذیری خاک‌های منطقه متفاوت از نوع تاثیر آن‌ها در نمودار می‌باشد یا ویژگی‌های دیگری نیز در

جدول ۲- ویژگی‌های باران و هدررفت خاک در رخدادهای منجر به رواناب در

سال ۱۳۸۴ در منطقه مورد بررسی				
تاریخ	شدت (میلی‌متر در ساعت)	بیشترین شدت ۳۰ دقیقه (میلی‌متر در ساعت)	انرژی جنبشی (مگاژول در هکتار)	هدررفت خاک (تن در هکتار)
۱۳۸۴/۱/۱۳	۲/۲۱	۳/۰	۰/۳۹۰	۰/۰۱۵
۱۳۸۴/۱/۱۴	۲/۶۸	۳/۲	۰/۵۸۶	۰/۰۶۷
۱۳۸۴/۱/۲۵	۴/۰۳	۱۵/۲	۲/۴۱۱	۰/۲۰۰۶
۱۳۸۴/۱/۲۶	۲/۷۰	۳/۰	۰/۴۳۴	۰/۰۲۵۷
۱۳۸۴/۱/۲۷	۳/۷۰	۴/۸	۰/۸۲۹	۰/۰۳۶۷
۱۳۸۴/۱/۲۸	۳/۳۶	۵/۴	۰/۶۲۶	۰/۰۲۸۹
۱۳۸۴/۲/۶	۲/۵۶	۷/۶	۲/۸۳۵	۰/۱۲۴۴
۱۳۸۴/۲/۷	۴/۰۰	۵/۴	۰/۴۹۲	۰/۰۳۵۹
۱۳۸۴/۲/۱۲	۵/۵۸	۸/۴	۱/۵۷۲	۰/۰۷۳۴
۱۳۸۴/۲/۱۳	۲/۸۲	۳/۸	۰/۳۲۵	۰/۰۰۳۹
۱۳۸۴/۲/۱۴	۳/۴۲	۴/۸	۰/۴۲۴	۰/۰۴۱۴
۱۳۸۴/۲/۱۵	۳/۶۵	۵/۰	۰/۷۲۳	۰/۰۵۴۶
۱۳۸۴/۲/۲۴	۱۰/۰۸	۲۱/۸	۲/۵۰۶	۰/۲۲۷۶
۱۳۸۴/۲/۲۵	۱۳/۷۸	۲۲/۸	۲/۷۵۸	۰/۲۹۸۸
۱۳۸۴/۲/۲۶	۵/۰۶	۲۵/۰	۱/۴۹۵	۰/۱۷۱۶
۱۳۸۴/۲/۲۹	۵/۹۵	۱۳/۰	۲/۳۸۳	۰/۱۰۶۴
۱۳۸۴/۲/۳۰	۸/۰۰	۱۲/۲	۲/۰۹۹	۰/۱۳۸۷
۱۳۸۴/۳/۱۰	۷/۰۰	۷/۰	۰/۶۸۹	۰/۰۵۷۷
۱۳۸۴/۳/۱۲	۲/۴۷	۳/۶	۰/۲۹۹	۰/۰۰۲۱
۱۳۸۴/۷/۶	۱۱/۰۸	۲۲/۴	۳/۲۷۷	۰/۱۵۷۹
۱۳۸۴/۱۱/۱۵	۶/۱۵	۶/۸	۰/۷۶۸	۰/۰۲۸۵
۱۳۸۴/۱۱/۲۰	۴/۱۳	۴/۶	۰/۴۲۴	۰/۰۰۶۸
۱۳۸۴/۱۲/۱۸	۲/۳۲	۴/۴	۱/۴۴۲	۰/۰۳۸۷

بررسی توزیع مکانی مقدار باران‌های منجر به رواناب نشان داد که مقدار باران در ایستگاه‌های مختلف بارندگی، تفاوتی معنی‌دار در سطح ۵ درصد ندارد و در نتیجه پراکنش بارندگی در منطقه یکنواخت می‌باشد (جدول ۳). به این دلیل تفاوت در هدررفت خاک در ۳۶ زمین تحت بررسی به دلیل تفاوت در فرسایش‌پذیری خاک آن‌ها بود.

جدول ۳- مقایسه آماری مقدار باران‌های منجر به رواناب در ایستگاه‌های اندازه‌گیری باران در منطقه مورد بررسی

ایستگاه اندازه‌گیری باران	میانگین بارندگی در ۲۳ رخداد (میلی‌متر)	انحراف معیار	F	سطح معنی‌داری
واقع در شبکه ۲	۷/۱۵	۵/۰۱		
واقع در شبکه ۱۰	۶/۷۷	۴/۸۹	۰/۰۲۷	۰/۹۹۴
واقع در شبکه ۱۷	۶/۹۸	۴/۹۵		
واقع در شبکه ۲۳	۷/۰۸	۴/۸۴		

بر اساس نتایج، مقدار سالانه هدررفت خاک در ۳۶ زمین از ۰/۳۶۴ تن در هکتار تا ۳/۲۸۹ تن در هکتار تغییر کرد. مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) اندازه‌گیری شده از ۰/۰۰۰۸۱۲ تا ۰/۰۰۷۳۳ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر تغییر کرد و به طور میانگین ۰/۰۰۴۱۶۵ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر بود. مقدار K برآوردی نیز از ۰/۰۲۵۳۷ تا ۰/۰۴۹۲۳ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر تغییر کرد و میانگین آن ۰/۰۳۵۹۸۸ تن ساعت بر

(Ravazi-e- PCA یا (Principal Components Analysis)

parizi, 2002) برطرف شد و به صورت رابطه (۶) بیان شد:

$$PCA = 0.725\text{Sand} - 0.684\text{Silt} - 0.077\text{Clay} \quad (۶)$$

که در آن: PCA شاخص همخطی بین شن، سیلت و رس بر حسب درصد، Sand، Silt و Clay بر حسب درصد هستند.

فرسایش پذیری این خاک موثر هستند که تاثیر آن‌ها در نمودار دیده نشده است. به این دلیل اثر ویژگی‌هایی مختلف خاک بر فرسایش پذیری بررسی شد. برای این منظور ابتدا ماتریس همبستگی بین ویژگی‌ها بررسی شد. نظر به اینکه بین شن درشت، شن بسیار ریز، سیلت و رس رابطه خطی قوی وجود داشت، همخطی بین آنها با روش تجزیه مولفه‌های اصلی

جدول ۴- مقدار عامل فرسایش پذیری خاک (K) اندازه‌گیری شده و برآوردی در ۳۶ زمین مورد بررسی در سال ۱۳۸۴

زمین (شبهه)	هدررفت خاک (تن در هکتار در سال)	فرسایش پذیری اندازه‌گیری شده (تن ساعت بر مگازول میلیمتر)	فرسایش پذیری برآورد شده (تن ساعت بر مگازول میلیمتر)
۱	۳/۶۴۷	۰/۰۰۶۶	۰/۰۴۷۸
۲	۴/۸۹۴	۰/۰۰۶۴	۰/۰۴۰۷
۳	۵/۱۳۷	۰/۰۰۶۵	۰/۰۴۶۷
۴	۲/۰۲۸	۰/۰۰۳۶	۰/۰۳۶۲
۵	۵/۰۹۲	۰/۰۰۵۷	۰/۰۳۷۲
۶	۰/۹۳۳	۰/۰۰۱۳	۰/۰۳۴۶
۷	۱/۰۴۷	۰/۰۰۱۳	۰/۰۴۱۱
۸	۱/۹۵۵	۰/۰۰۲۸	۰/۰۲۶۹
۹	۲/۷۰۸	۰/۰۰۴۳	۰/۰۳۱۶
۱۰	۳/۷۴۹	۰/۰۰۵۶	۰/۰۳۶۵
۱۱	۴/۲۲۹	۰/۰۰۵۰	۰/۰۳۳۳
۱۲	۱/۴۵۶	۰/۰۰۲۱	۰/۰۲۷۰
۱۳	۵/۲۶۴	۰/۰۰۷۳	۰/۰۴۱۶
۱۴	۲/۷۶۳	۰/۰۰۵۱	۰/۰۲۹۸
۱۵	۳/۱۱۱	۰/۰۰۴۲	۰/۰۳۶۱
۱۶	۰/۴۶۰	۰/۰۰۰۸	۰/۰۳۲۷
۱۷	۱/۸۲۵	۰/۰۰۲۴	۰/۰۲۷۲
۱۸	۳/۵۹۷	۰/۰۰۴۹	۰/۰۳۷۸
۱۹	۴/۹۳۴	۰/۰۰۶۱	۰/۰۲۵۴
۲۰	۲/۱۹۸	۰/۰۰۳۳	۰/۰۲۶۰
۲۱	۱/۷۰۵	۰/۰۰۲۴	۰/۰۲۹۳
۲۲	۱/۴۷۵	۰/۰۰۲۹	۰/۰۴۴۶
۲۳	۴/۳۶۳	۰/۰۰۵۰	۰/۰۴۹۲
۲۴	۲/۳۷۵	۰/۰۰۴۱	۰/۰۳۹۷
۲۵	۵/۰۲۸	۰/۰۰۷۰	۰/۰۳۳۷
۲۶	۱/۸۲۸	۰/۰۰۲۹	۰/۰۳۱۰
۲۷	۱/۱۰۷	۰/۰۰۲۱	۰/۰۲۵۴
۲۸	۳/۸۴۰	۰/۰۰۶۶	۰/۰۳۶۰
۲۹	۲/۷۷۷	۰/۰۰۴۴	۰/۰۴۰۴
۳۰	۴/۱۲۴	۰/۰۰۵۴	۰/۰۴۸۸
۳۱	۲/۳۸۳	۰/۰۰۳۴	۰/۰۲۹۲
۳۲	۰/۸۷۱	۰/۰۰۱۷	۰/۰۳۵۹
۳۳	۳/۲۰۳	۰/۰۰۴۲	۰/۰۴۲۳
۳۴	۲/۰۲۶	۰/۰۰۳۶	۰/۰۳۵۲
۳۵	۲/۹۳۱	۰/۰۰۴۵	۰/۰۳۷۴
۳۶	۲/۹۷۶	۰/۰۰۴۲	۰/۰۴۱۳

جدول ۵- تجزیه رگرسیونی رابطه بین فرسایش پذیری برآوردی و اندازه‌گیری شده در منطقه مورد بررسی

معنی‌داری	t	ضرایب غیر استاندارد		پارامتر (مشخصه)
		Beta	انحراف معیار	
۰/۰۰۰	۱۰/۷۹۷	۰/۰۰۳	۰/۰۲۹	مقدار ثابت
۰/۰۱۴	۲/۵۹۳	۰/۴۰۶	۱/۵۳۳	فرسایش پذیری اندازه‌گیری شده

جدول ۶- میانگین خطای برآورد عامل فرسایش پذیری خاک با نمودار USLE در ۳۶ زمین مورد بررسی

زمین (شبکه)	میانگین خطای برآورد	زمین (شبکه)	میانگین خطای برآورد	زمین (شبکه)	میانگین خطای برآورد
۱	۶/۰۶۷	۱۳	۴/۵۵۳	۲۵	۳/۷۰۵
۲	۵/۱۹۰	۱۴	۴/۷۳۲	۲۶	۹/۵۲۸
۳	۶/۰۱۰	۱۵	۷/۳۲۲	۲۷	۱۰/۶۳۲
۴	۸/۷۴۴	۱۶	۳۸/۴۲۰	۲۸	۴/۳۳۸
۵	۵/۳۷۷	۱۷	۱۰/۱۸۴	۲۹	۸/۰۷۵
۶	۲۵/۲۵۷	۱۸	۶/۵۳۲	۳۰	۷/۸۲۸
۷	۲۹/۰۵۹	۱۹	۳/۰۸۲	۳۱	۷/۲۹۱
۸	۸/۳۰۲	۲۰	۶/۶۹۲	۳۲	۱۹/۴۹۶
۹	۶/۱۷۹	۲۱	۱۱/۱۳۵	۳۳	۸/۷۴۲
۱۰	۵/۳۷۳	۲۲	۱۴/۲۹۶	۳۴	۸/۵۲۶
۱۱	۵/۴۵۸	۲۳	۸/۵۹۳	۳۵	۷/۱۱۴
۱۲	۱۱/۸۶۲	۲۴	۸/۴۸۳	۳۶	۸/۶۵۲

جدول ۷- تجزیه رگرسیونی رابطه بین عامل فرسایش پذیری اندازه گیری شده و ویژگی های خاک

معنی داری	t	ضرایب غیر استاندارد		پارامتر (مشخصه)
		Beta	انحراف معیار	
۰/۰۰۰	۱۳/۹۹۰	۰/۰۰۰۷	۰/۰۱۰۰	مقدار ثابت
۰/۰۰۰	-۱۰/۵۵۱	-۰/۸۳۷	۰/۰۰۰۱	شاخص PCA (درصد)
۰/۰۰۲	-۳/۴۷۹	-۰/۲۶۲	۰/۰۰۰۵	ماده آلی (درصد)
۰/۰۰۰	-۸/۳۷۶	-۰/۶۷۵	۰/۰۰۰۰	آهک (درصد)
۰/۰۰۴	-۳/۱۲۲	-۰/۲۳۳	۰/۰۰۰۰	سنگریزه (درصد)

با توجه به تاثیر ناچیز پتاسیم بر فرسایش پذیری اندازه گیری شده اثر این ویژگی بر فرسایش پذیری حذف شد. بنابراین اثر سایر ویژگی ها شامل ماده آلی، آهک و سنگریزه به همراه شاخص PCA بر فرسایش پذیری اندازه گیری شده تعیین شد (جدول ۷). رابطه بین فرسایش پذیری خاک و این ویژگی ها در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی دار و $R^2=0/849$ بود. شن، ماده آلی، آهک و سنگریزه، اثری کاهشی و سیلت و رس اثری افزایشی در سطح احتمال ۱ درصد بر فرسایش پذیری خاک داشتند. مقدار عامل فرسایش پذیری (K) از رابطه رگرسیونی بر اساس شاخص PCA، ماده آلی، آهک و سنگریزه قابل برآورد است. در این پژوهش وجود ذرات شن موجب شد فرسایش پذیری خاک کاهش یابد. این نتیجه، نتایج تحقیقات Santos et al. (۲۰۰۳) را تایید کرد. این تاثیر عمدتا به دلیل نقش ذرات شن در افزایش سرعت نفوذ آب به خاک می تواند باشد. ذرات رس برخلاف ذرات شن، فرسایش پذیری را افزایش داد. این نتیجه مطابق با یافته های Zhang et al. (۲۰۰۴) و برخلاف نتایج تحقیقات Charman and Murphy (۲۰۰۰) و Ghasemi and Mohammadi (۲۰۰۲) بود. ذرات رس با وجود افزایش پایداری خاکدانه و نیز تخلخل خاک به دلیل کاهش سرعت نفوذ می توانند در افزایش فرسایش پذیری خاک موثر واقع شوند. ذرات سیلت نیز مانند ذرات رس، فرسایش پذیری را افزایش داد. این نتیجه نتایج پژوهش های Wischmeier and Smith (۱۹۷۸) و Ghasemi

and Mohammadi (۲۰۰۲) مطابقت دارد. تاثیر ذرات سیلت در افزایش فرسایش پذیری خاک عمدتا به دلیل چسبندگی ضعیف و واحد امکان سبکی آنها می باشد. با در نظر گرفتن اثر کاهشی شاخص PCA بر فرسایش پذیری می توان نتیجه گرفت که اثر سیلت در افزایش فرسایش پذیری بیشتر از رس بوده است. وجود سنگریزه نیز موجب شد فرسایش پذیری کاهش یابد اما این تاثیر قابل ملاحظه نبود. بر اساس نتایج، ماده آلی نیز به طور چشمگیری فرسایش پذیری خاک را کاهش می دهد. این نتیجه با نتایج به دست آمده از تحقیقات Schwab et al. (۱۹۸۱) و Ghasemi and Mohammadi (۲۰۰۲) مطابقت دارد. آهک نیز فرسایش پذیری خاک را به طور قابل ملاحظه ای کاهش داد. از آنجا که در این پژوهش در روش تجزیه مکانیکی ذرات خاک، قبلا آهک به روش خنثی سازی حذف شده بود، تفاوت در مقدار K اندازه گیری شده و برآوردی به دلیل چگونگی تجزیه مکانیکی و قرار گرفتن ذرات آهک در بخش شن بسیار ریز و سیلت (Rafahi, ۱۹۹۶) نبود بلکه به دلیل تاثیر آهک بر ویژگی های خاک برای کاهش فرسایش پذیری بود. اثر منفی آهک بر فرسایش پذیری نتایج تحقیقات Logan و Castro (۱۹۹۱)، Charman و Murphy (۲۰۰۰) و Duiker و همکاران (۲۰۰۱) را تایید می کند. نقش آهک در کاهش فرسایش پذیری خاک را می توان تا حدی شبیه به نقش ماده آلی دانست. در خاک های آهکی، وجود آهک ثانویه در خاک با تاثیر بر تشکیل و پایداری خاکدانه ها و بهبود نفوذ پذیری، فرسایش پذیری خاک را کاهش می دهد.

نتیجه‌گیری کلی

ویژگی‌های خاک بر فرسایش‌پذیری متفاوت از آن‌ها در نمودار می‌باشد. شن، ماده آلی، آهک و سنگریزه، اثری کاهشی و سیلت و رس اثری افزایشی معنی‌دار بر فرسایش‌پذیری خاک داشتند. آهک از جمله عوامل منجر به عدم قطعیت فرسایش‌پذیری خاک برآورد شده با نمودار USLE بود که تاثیر آن در نمودار در نظر گرفته نشده است. تاثیر آهک بر کاهش فرسایش‌پذیری به دلیل نقش مثبت آن در هم‌آوری ذرات و افزایش پایداری خاکدانه‌ها و بهبود نفوذپذیری بود.

به طور کلی نتایج نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری شده عامل فرسایش‌پذیری (K) بسیار کمتر از مقادیر برآوردی با نمودار USLE در خاک‌های آهکی هستند. وجود درصد خطای برآورد بالا نشان می‌دهد که استفاده از نمودار منجر به عدم قطعیت در برآورد فرسایش‌پذیری این خاک‌ها می‌شود. بررسی رابطه بین عامل فرسایش‌پذیری خاک اندازه‌گیری شده و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها نشان داد که چگونگی تاثیر

REFERENCES

- Agharazi, H. (2004) Measurement and estimation of soil erosion using the USLE in dry-farming lands. *Proceedings of the 3rd National Conference on Erosion and Sedimentation*. Tehran, Pp: 473-475. (In Farsi)
- Aliehiiae, M. (1996) Methods of soil analysis. Soil and Water Research Institute, Agriculture Ministry, Iran, *Research Report*, 893, 6-128. (In Farsi)
- Castro, C. F. and Logan, T. J. (1991) Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 1407-1413.
- Charman, P. E. V. and Murphy, B. W. (2000) *Soils (their properties and management)*. Second edition, Land and Water Conservation, New South Wales, Oxford. pp. 206-212.
- Duiker, S. W., Flanagan, D. C. and Lal, R. (2001) Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*, 45, 103-121.
- Ghaderi, N., and Ghoddosi, J. (2004) Study of soil erodibility in lands units from Telvarchai watershed. *Proceedings of the 3rd National Conference of Erosion & Sediment*. Tehran, Iran, Pp: 367-372. (In Farsi)
- Ghasemi, A., and Mohammadi, J. (2002) Study of spatial variation of soil erodibility, a case study in Cheghakhor watershed in Chaharmahal-e-Bakhtiyari province. *Proceedings of the 8th Soil Science Congress of Iran*. Rasht, Iran, Pp: 864-865. (In Farsi)
- Ghorbani Vagheie, H., Bahrami, H. A. (2004) Evaluation of soil erodibility variations in the USLE and the RUSLE models using GIS in soils of north east of Lorestan province. *Proceedings of the 3rd National Conference on Erosion and Sedimentation*. Tehran, Pp: 658-660. (In Farsi)
- Hakimi, A. (1986). The briefly study of soil science in Hashrood. Soil and Water Research Institute, Agriculture Ministry, Iran, *Research Report*, 767, 2-15 (In Farsi)
- Hussein, M. H., Kariem, T. H. and Othman, A. K. (2007) Predicting soil erodibility in northern Iraq natural runoff data. *Soil & Tillage Research*, 94, 220-228.
- Javadi, P., Rohipour, H., Mahboubi, A. A. (2004) Calibration of erodibility factor of a process erosion model using rainfall simulator. *Proceedings of the 9th Soil Science Congress of Iran*. Tehran, Iran, Pp: 593-598. (In Farsi)
- Kirkby, M. J. and Morgan, R. P. (1980) *Soil erosion*. John Wiley & Sons, New York. pp. 150-179.
- Miller, R. W. & D. T. Gardiner. 1998. *Soils in our environment*. Eighth edition, Prentice-Hall Inc., United States of America, pp. 75-81.
- Morgan, R. P. C. (1995) *Soil erosion and conservation*. Second edition, Longman, pp. 29-30.
- Nikkami, M., Razmjou, P., Jafari Ardakani, A., and Bayat Movahed, F. 2004. Study of rainfall erosivity index in dry-farming lands. *Proceedings of the 3rd National Conference on Erosion and Sedimentation*. Tehran, Pp: 440-443.
- Rafahi, H.G. (1996) *Soil erosion by water and conservation*. Tehran University Press, 551p. (In Farsi)
- Razavi-e-Parizi, S. A. (2002) *Introduction to linear regression analysis*. Shahid Bahonar University Press. 573 p.
- 18- Rejman, J., R. Turski & J. Paluszek. 1998. Spatial and temporal variability in erodibility of loess soil. *Soil & Tillage Research*, 46, 61-68.
- Santos, F. L., Reis, J. L. Martins, O. C. Castanheria, N. L. and Serralherio, R. P. (2003) Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigation soils. *Biosystems Engineering*, 86(3), 355-364.
- Schwab, G. O., Frevert, R. K. Edminster, T. W. and Barnes, K. K. (1981) *Soil and water conservation engineering*. Third edition, John Willey and Sons, New York, pp 100-103.
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1978) Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook* No. 537. US Department of Agriculture, Washington DC.
- Zhang, K., Li, S. Peng, W. and Yu, B. (2004) Erodibility of agricultural soils and loess plateau of China. *Soil & Tillage Research*, 76, 157-165.
- Zhou, P. & C. Wu. 1993. The research method of soil anti-scourability experiment in Loess Plateau. *Acta Coservation Soil Et Aquae Sinica*, 7(1): 29-34.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.