

## بررسی تغییرپذیری روان‌آب و تلفات خاک اندازه‌گیری شده در کرت‌های صحرایی

فرخ اسدزاده<sup>۱\*</sup> - منوچهر گرجی<sup>۲</sup> - علیرضا واعظی<sup>۳</sup> - سلمان میرزایی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۳

### چکیده

کرت‌های صحرایی به طور گسترده در مطالعات مربوط به اندازه‌گیری تلفات خاک و مدل‌سازی فرآیندهای فرسایش مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تحقیق به منظور بررسی تغییرپذیری تلفات خاک و روان‌آب اندازه‌گیری شده از تکرارهای مختلف کرت‌های صحرایی صورت گرفته است. برای این منظور هفت اندازه متفاوت کرت با سه تکرار در ایستگاه کوهین واقع در استان قزوین احداث شدند. کرت‌ها برای یک بازه زمانی ۲ ساله به صورت آیش نگه داشته شده و مقادیر روان‌آب و تلفات خاک ناشی از هر رخداد به طور مجزا در کرت‌ها اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج، حداکثر مقدار ضریب تغییرات مقادیر مشاهده‌ای روان‌آب و رسوب در تکرارهای کرت‌ها به ترتیب ۶۰ و ۸۰ درصد بود که این مقادیر در مقایسه با میزان تغییرات ویژگی‌های خاک در تکرارهای کرت‌ها زیاد بود. با افزایش میانگین تلفات خاک و روان‌آب در کرت‌های صحرایی ضریب تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده روان‌آب و رسوب در تکرارهای کرت‌ها به صورت توانی کاهش یافت. به دلیل احتمال خطای بیش‌تر در اندازه‌گیری تلفات خاک در مقایسه با روان‌آب، در بیش از ۸۰ درصد موارد، ضریب تغییرات رسوب در تکرارهای کرت‌ها نسبت به ضریب تغییرات روان‌آب بیش‌تر بود. با افزایش ابعاد کرت‌ها نسبت ضریب تغییرات روان‌آب به ضریب تغییرات رسوب در تکرارهای هر کرت کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: خطای اندازه‌گیری، ضریب تغییرات، فرسایش، مدل‌سازی

### مقدمه

کرت‌های فرسایشی می‌توانند برای انجام مطالعات مقایسه‌ای به منظور نشان دادن تاثیر روش‌های مختلف حفاظت خاک بر کاهش تلفات خاک به کار برده شوند (۱۸). اما مهم‌ترین کاربرد کرت‌های فرسایشی، بکارگیری اطلاعات حاصل از آن‌ها به منظور توسعه و ارزیابی مدل‌های مختلف پیش‌بینی روان‌آب و هدررفت خاک است (۱۱ و ۱۵). توسعه و واسنجی معادله‌ی جهانی تلفات خاک که بر مبنای اطلاعات به دست آمده از کرت‌های فرسایشی بوده است را می‌توان به عنوان یک مثال کلاسیک از این کاربرد محسوب نمود. امروزه نیز در نقاط مختلف دنیا و همچنین کشور ما توسعه و اعتبارسنجی مدل‌های فرسایش خاک در بسیاری از مطالعات بر مبنای اطلاعات حاصل از کرت‌های صحرایی صورت می‌گیرد (۱۵ و ۱۹). تغییرپذیری بالا در مقادیر روان‌آب و رسوب اندازه‌گیری شده در کرت‌های فرسایشی از نکات مهمی است که در استفاده از اطلاعات کرت‌ها به منظور ارزیابی مدل‌های فرسایشی بایستی مدنظر قرار گیرد. به عبارت دیگر در صورتی که ارزیابی مدل‌ها بدون توجه به ماهیت تغییرپذیر داده‌های کرت‌های فرسایشی صورت گیرد می‌تواند منجر به نتیجه‌گیری‌های نادرستی شود (۱۱).

برای اعتبارسنجی مدل‌ها، اغلب محققین مقادیر اندازه‌گیری شده تلفات خاک و روان‌آب را با مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل مقایسه

استفاده از کرت‌های فرسایشی صحرایی از پرکاربردترین روش‌های اندازه‌گیری هدررفت خاک و آب می‌باشد. برخی از محققین نظیر هادسون (۹) اعتقاد دارند که احداث کرت‌های فرسایشی بسیار پرهزینه بوده و در سطح جهانی بسیاری از کرت‌ها در مقایسه با هزینه‌های احداث و نگهداری آن‌ها، اطلاعات کمی را تولید کرده‌اند. در مقابل برخی دیگر از محققین نیز تاکید نموده‌اند که با وجود همه‌ی ضعف‌ها و دشواری‌های استفاده از کرت‌های فرسایشی، اطلاعات و داده‌های حاصل از آن‌ها سبب پیشرفت قابل توجهی در تحقیقات فرسایش خاک شده است و به رغم ضعف‌های موجود، کاربرد آن‌ها در نقاط مختلف دنیا همچنان در حال افزایش است (۳ و ۵).

۱- استادیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

\*- نویسنده مسئول: (Email: f.asadzadeh@urmia.ac.ir)

۲- دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳- استادیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

۴- دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

تا ضرایب تغییرات مربوط به مقادیر روان آب و تلفات خاک اندازه‌گیری شده در تعدادی از کرت‌های صحرایی به صورت کمی تحلیل گردد.

## مواد و روش‌ها

### محل انجام پژوهش

برای انجام این پژوهش، ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک و آب کوهین به دلیل دارا بودن امکانات باران‌سنجی و وجود پرسنل آموزش دیده برای داده‌برداری از کرت‌های صحرایی، انتخاب شد. این ایستگاه در استان قزوین و در موقعیت جغرافیایی  $22^{\circ}$ ،  $22^{\circ}$ ،  $36^{\circ}$  عرض شمالی و  $35^{\circ}$ ،  $00^{\circ}$ ،  $49^{\circ}$  طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). میانگین بارندگی سالانه در این ایستگاه برابر با  $330$  میلی‌متر بوده و اقلیم منطقه براساس ضریب دومارتن، نیمه‌خشک و براساس اقلیم‌نمای آمبرژه، نیمه خشک سرد است.

### کرت‌های فرسایشی و داده‌برداری از آن‌ها

در ایستگاه کوهین ۲۱ کرت فرسایشی موجود می‌باشد که شامل ۷ اندازه متفاوت کرت که هر کدام دارای ۳ تکرار ( $3 \times 7 = 21$ ) می‌باشند، است. آرایش احداث کرت‌ها در این ایستگاه به این شکل است که محل احداث کرت‌ها از سه قطعه زمین کنار هم تشکیل شده که در هر قطعه یک تکرار از هفت اندازه‌ی مذکور قرار دارد (شکل ۱). ابعاد هفت کرت موجود در ایستگاه بر حسب متر برابر با  $(2 \times 1)$ ،  $(5 \times 1)$ ،  $(10 \times 1/2)$ ،  $(15 \times 1/6)$ ،  $(22 \times 1/3)$ ،  $(25 \times 2)$  و  $(30 \times 2/4)$  است که در این تحقیق به ترتیب تحت عنوان کرت‌های P1، P2، P3، P4، P5، P6 و P7 نامیده می‌شوند.

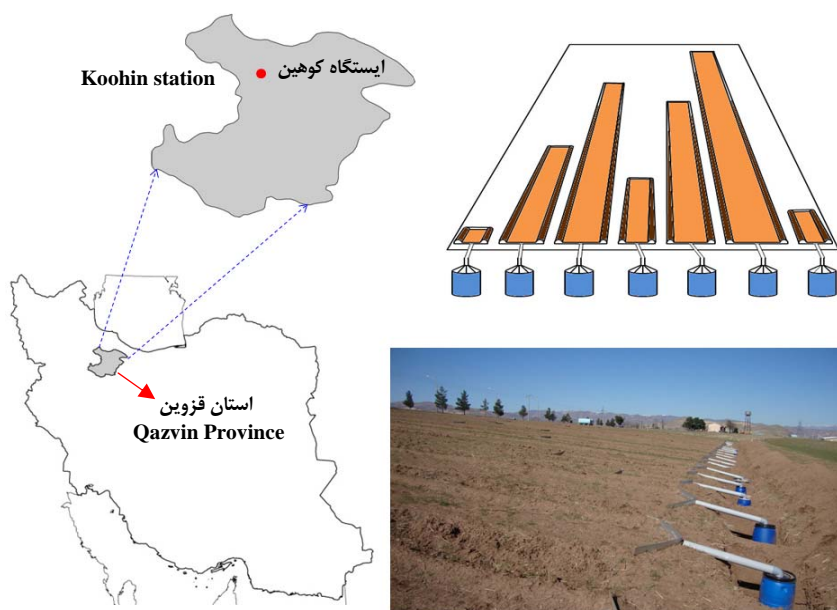
شیب زمین در محل احداث کرت‌ها یکنواخت و تقریباً برابر با ۹ درصد است. مدیریت سطح کرت‌ها مشابه با مدیریت کرت استاندارد USLE بوده به طوری که سطح آن‌ها در جهت شیب شخم و سپس به منظور افزایش یکنواختی در جهت شیب دیسک زده شده است (۱۹). کرت‌ها به شکل آیش نگهداری شده و تا حد امکان از رشد علف‌های هرز در داخل آن‌ها ممانعت به عمل آمده است (۱۳). طول کرت‌ها در راستای طول شیب بوده و با استفاده از پشته خاکی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر محصور شده است. عرض بالا و پایین کرت‌ها با استفاده از ورق‌های آهن گالوانیزه به عرض ۳۵ سانتی‌متر که ۱۵ سانتی‌متر آن در داخل زمین فرو رفته و ۲۰ سانتی‌متر آن‌ها نیز به عنوان دیواره محصور کننده کرت‌ها در نظر گرفته شده، محصور شده است. در انتهای هر کرت نیز سیستم جمع‌آوری کننده و ذخیره قرار دارد (۱۷ و ۱۹).

نموده و هرگونه اختلاف را به خطای مدل مربوطه نسبت می‌دهند (۳). اما واقعیت این است که بخشی از اختلافات مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده‌ی مدل‌های هدررفت خاک می‌تواند مربوط به ساختار و ماهیت تغییرپذیر داده‌های اندازه‌گیری شده باشد به این ترتیب که در تکرارهای مختلف یک کرت صحرایی، در صورت بالا بودن ضریب تغییرات، میانگین داده‌ها نمی‌تواند معرف شرایط واقعی آزمایش باشد. از این رو بررسی ضریب تغییرات در کرت‌های فرسایشی می‌تواند محققین را در تعیین تکرارهای مناسب برای کسب داده‌های معرف شرایط صحرایی و همچنین اعتبارسنجی دقیق‌تر مدل‌های فرسایشی یاری نماید (۶، ۱۰ و ۱۱).

ونت و همکاران (۲۱) براساس داده‌های به دست آمده از ۴۰ کرت آزمایشی که تحت ۲۵ رخدادهای طبیعی قرار گرفته بودند گزارش نموده‌اند که میانگین ضریب تغییرات روان آب در حدود ۳۰ درصد است. آن‌ها ضریب تغییرات داده‌های تلفات خاک را بین ۱۸ تا ۹۱ درصد اعلام نموده و بیان داشتند که ضریب تغییرات تلفات خاک در رخدادهایی که قدرت فرسایشی بیشتری دارند، کمتر است. گومز و همکاران (۶) با بررسی داده‌های ونت و همکاران (۲۱) گزارش نمودند که تنها نیمی از ضریب تغییرات داده‌های روان آب و تلفات خاک مربوط به تغییر در ویژگی‌های خاک در کرت‌های مورد آزمایش است و نیمی دیگر نیز می‌تواند مربوط به خطاهای اندازه‌گیری و یا تفاوت ویژگی‌های باران دریافتی توسط کرت‌های مختلف باشد.

روتیمن و همکاران (۱۴) نیز براساس داده‌های روان آب فصلی در کرت‌های با سه تکرار مقادیر ۳۰ تا ۵۰ درصد را برای ضریب تغییرات روان آب گزارش نموده‌اند. دامنه‌ی ضریب تغییرات تلفات خاک در کرت‌های مذکور بین  $3/4$  تا  $173/2$  درصد بوده و میانگین آن برابر با ۷۱ درصد است. بر مبنای این یافته‌ها، روتیمن و همکاران (۱۴) حداکثر تعداد ممکن برای تکرار کرت‌های صحرایی را پیشنهاد نموده‌اند اما با توجه و هزینه‌ها و محدودیت‌های موجود، اغلب محققین تعداد ۳ تکرار را به عنوان حداقل تعداد تکرار مورد نیاز برای کرت‌های صحرایی پیشنهاد کرده‌اند (۳).

باگارلو و فرو (۲) نیز به وجود ضریب تغییرات قابل توجه در دامنه ۱۰ تا ۱۲۰ درصد برای روان آب و ۲۰ تا ۱۵۰ درصد برای تلفات خاک اشاره نموده‌اند. بررسی منابع نشان می‌دهد که گزارش‌های ارائه شده در زمینه تغییرپذیری داده‌های کرت‌های فرسایشی بسیار اندک بوده و تقریباً محدود به مطالعات ذکر شده می‌باشد (۲، ۶، ۷، ۱۰، ۱۴ و ۲۱). در کشور ما نیز با توجه به دامنه وسیع استفاده از کرت‌های فرسایشی و طرح‌ها و مطالعات متعدد در این زمینه، تاکنون بررسی جامعی در زمینه تغییرپذیری داده‌های کرت‌های فرسایشی و عوامل موثر بر آن صورت نگرفته است. بر این اساس در تحقیق حاضر تلاش شده است



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محل احداث کرت‌ها و نمایش طرح‌وار هفت اندازه متفاوت کرت‌ها در یک قطعه  
Figure 1- Geographical location of study area and a schematic view of plots with seven sizes in one of blocks

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

حجم کل رواناب و جرم رسوب کل هر یک از کرت‌ها بر مساحت هر کرت تقسیم شده و مقدار رواناب و همچنین رسوب در واحد سطح هر کرت و در هر رخداده محاسبه گردید. به منظور تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده رواناب و رسوب، ابتدا بانک اطلاعاتی داده‌های مربوط به هر رخداده به صورت جداگانه با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel 2007 تهیه شده و به همراه ویژگی‌های آن رخداده ذخیره شد. برآزش روابط رگرسیونی به کمک نرم افزار Sigma Plot 11 و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Microsoft-Excel 2007 انجام شد. توزیع فراوانی داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 تعیین شد.

### نتایج و بحث

محل احداث کرت‌ها دارای کاربری زراعی بوده و بخشی از یک دامنه با شیب یکنواخت که عملیات ترانس‌بندی قبلاً در آن صورت گرفته است، می‌باشد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک از قطعه‌های سه‌گانه، در جدول ۱ ارائه شده است. مقدار ضریب تغییرات ویژگی‌های ارائه شده در جدول ۱ در بین سه بلوک ۱۸/۵-۱/۵ درصد است که کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب مربوط به pH و نفوذپذیری نهایی آب در خاک است. مقادیر ضریب تغییرات برای سایر ویژگی‌ها نیز در محدوده ۶ تا ۱۶ درصد قرار دارد.

در طول دوره مطالعه (از شهریور ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۱) به مدت ۲ سال، پس از هر رخداده باران طبیعی، حجم مخلوط روان‌آب و رسوب داخل مخازن در انتهای کرت‌ها با استفاده از شاخص‌های واسنجی شده اندازه‌گیری گردید. پس از هم زدن کامل مخلوط روان‌آب و رسوب، نمونه‌ای همگن به آزمایشگاه منتقل و غلظت رسوب با خشک کردن نمونه در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت تعیین شد (۱۹). حجم کل روان‌آب هر کرت از حاصل ضرب حجم مخلوط داخل مخزن و نسبت حجمی روان‌آب نمونه به دست آمد و جرم رسوب کل نیز از حاصل ضرب غلظت رسوب نمونه در حجم کل روان‌آب محاسبه شد. ویژگی‌های مربوط به هر بارندگی با استفاده از باران‌نگار موجود در ایستگاه که در فاصله تقریباً ۱۰۰ متری از محل احداث کرت‌ها قرار داشته و داده‌های بارش را در هر ۱۵ دقیقه ثبت می‌نماید، اخذ شد.

### تعیین ویژگی‌های خاک محل احداث کرت‌ها

به منظور تعیین ویژگی‌های خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در هر قطعه س نمونه خاک به شکل مرکب و از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه شد. درصد ذرات اولیه خاک با استفاده از روش هیدرومتری، مواد آلی با استفاده از روش والکی و بلک، مقدار کربنات کلسیم معادل با استفاده از روش کلسیمتری و هدایت الکتریکی و pH نمونه‌ها نیز در عصاره اشباع تعیین شد. جرم مخصوص ظاهری خاک در مزرعه با استفاده از روش سیلندر در مزرعه و نفوذپذیری خاک نیز با استفاده از روش استوانه مضاعف اندازه‌گیری شد.

**ویژگی‌های رخدادهای بارندگی**

از مجموع ۷۱ رخداد باران ثبت شده در طول دو سال مطالعه، ۱۴ رخداد (۲۰ درصد کل رخدادهای)، منجر به ایجاد روان آب و رسوب قابل اندازه‌گیری در کرت‌ها شدند که ویژگی‌های مربوط به این رخدادهای جدول ۲ قابل مشاهده است. میانگین حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای و انرژی جنبشی براساس رابطه ویشمایر و اسمیت (۲۲) در رخدادهای منجر به روان آب و رسوب به ترتیب برابر با ۱۰/۲ میلی‌متر در ساعت و ۳۶/۵۶ مگاژول در هکتار است.

ضریب تغییرات کم ویژگی‌های خاک در بین بلوک‌های سه گانه نشان دهنده‌ی این واقعیت است که اختلاف ویژگی‌های خاک در محل احداث کرت‌ها اندک بوده و در نتیجه، می‌توان گفت که محل استقرار کرت‌ها، از نظر ویژگی‌های خاک یکنواخت و تکرارهای در نظر گرفته شده برای کرت‌های با ابعاد مختلف از نظر خصوصیات خاک کم و بیش مشابه می‌باشند. به نظر می‌رسد که اختلاف کم بین ویژگی‌های خاک هر بلوک به این دلیل است که محل احداث کرت‌ها قبلاً برای یک دوره طولانی دارای کاربری زراعی بوده و تحت شرایط مدیریت یکنواخت قرار داشته است.

**جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک کرت‌ها**  
**Table 1- Physical and chemical properties of soil samples from the plots**

شماره بلوک Block Number	هدایت	نفوذپذیری	چگالی	کربنات کلسیم	ماده آلی	رس	سیلت	شن	pH
	الکتریکی EC	نهایی FIR*	ظاهری BD#	معادل CCE§	OM†	Clay	Silt	Sand	
	dSm <sup>-1</sup>	cmh <sup>-1</sup>	Mgm <sup>-3</sup>		%				
قطعه ۱ (Block1)	0.83±0.01	1.5±0.3	1.11±0.04	7.2±0.02	0.71±0.08	41±1.4	30±2.3	29±1.3	8.1±0.06
قطعه ۲ (Block2)	0.93±0.03	1.9±0.7	1.31±0.02	7.5±0.04	0.61±0.03	39±2.8	33±2.4	28±2.1	8.1±0.04
قطعه ۳ (Block3)	0.81±0.02	2.2±0.5	1.25±0.08	7.2±0.07	0.85±0.05	33±1.1	37±1.7	30±1.3	7.9±0.01

± انحراف معیار  
 ±Standard deviation  
 \* Final Infiltration rate  
 # Bulk density  
 § Calcium carbonate equivalent  
 † Organic matter

**جدول ۲- ویژگی‌های رخدادهای بارش منجر به رواناب در ایستگاه کوهین**  
**Table 2- Properties of the runoff producing rainfall events at the Koohin station**

علامت اختصاری Event Code	تاریخ وقوع Date	ارتفاع بارش Rainfall depth (mm)	شدت متوسط Average intensity (mm h <sup>-1</sup> )	حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای Max. 30min intensity (mm h <sup>-1</sup> )	فرساینده‌ی انرژی* Kinetic energy (MJ ha <sup>-1</sup> )
EK1	09.03.2011	11.8	1.69	8.4	2.02
EK2	24.03.2011	6.9	0.86	2.4	0.92
EK3	07.04.2011	15.5	1.63	3.6	2.26
EK4	21.04.2011	11.2	4.48	9.6	2.08
EK5	22.04.2011	6.6	1.47	2.4	0.92
EK6	26.04.2011	6.4	1.83	9.6	1.18
EK7	03.05.2011	4.2	4.20	8.0	0.81
EK8	04.05.2011	12.2	6.10	16.4	2.49
EK9	28.04.2011	12.4	3.54	21.4	2.74
EK10	20.11.2011	14.3	1.91	6.2	1.18
EK11	30.03.2012	13.3	1.66	9.2	2.29
EK12	04.04.2012	14.6	1.27	4.8	2.30
EK13	25.04.2012	12.8	5.69	15.3	2.58
EK14†	04.05.2012	46.5	2.62	25.8	10.32

\* محاسبه‌ی انرژی جنبشی (KE) باران با استفاده از رابطه‌ی  $E(\text{MJ}/\text{ha mm}) = 0.119 + 0.0873 \log_{10}(\text{mm}/\text{h})$  (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸)  
 † به دلیل حجم زیاد روان آب ناشی از این رخداد و در نتیجه سرریز شدن مخازن کرت‌ها، امکان داده‌برداری روان آب و رسوب از این رخداد مهیا نگردید.  
 ‡ EK14 event had high intensity and duration and the sampling couldn't be done due to overloading of the tanks

توجه به تاریخ وقوع رخدادهای منجر به رواناب نیز نشان می‌دهد که اغلب بارش‌های منجر به وقوع رواناب در طول فروردین و

مقدار فرسایش خاک را محدود کند.

### تغییرات رواناب و رسوب اندازه‌گیری شده در تکرارهای کرت‌ها

بررسی تغییرات مقادیر مشاهده‌ای روان‌آب و رسوب در تکرارهای کرت‌های فرسایشی از جنبه‌های مختلف حائز اهمیت است. چرا که ارزیابی دقت داده‌های به دست آمده، به منظور تعیین راه کارهای حفاظت خاک و ارزیابی مدل‌های فرسایشی بسیار مهم است. در این زمینه بررسی مقادیر مشاهده‌ای روان‌آب و رسوب حاصل از تکرارهای کرت‌های مختلف نشان داد که مقدار ضریب تغییرات روان‌آب در تکرارهای کرت‌های P1 تا P7 در رخدادهای مختلف کم‌تر از ۶۰ درصد بوده و در بیش از ۸۰ درصد موارد اندازه‌گیری شده ضریب تغییرات مربوط به تکرارهای رسوب کم‌تر از ۳۰ درصد است. در رابطه با داده‌های مشاهده‌ای رسوب نیز نتایج نشان داد که ضریب تغییرات مقادیر مشاهده‌ای در تکرارهای مختلف تقریباً در تمامی موارد کم‌تر از ۸۰ درصد و حدوداً در ۷۰ درصد موارد اندازه‌گیری شده مقدار ضریب تغییرات کم‌تر از ۳۰ درصد بوده است. هر چند بخشی از این تغییرات می‌تواند مربوط به تغییر در ویژگی‌های خاک مربوط به تکرارهای کرت‌ها باشد اما توجه به تغییرات ویژگی‌های خاک (جدول ۱) نشان می‌دهد که مقدار این تغییرات در کرت‌های مختلف در مقایسه با اختلاف روان‌آب و رسوب مشاهده شده کم‌تر است. بنابراین می‌توان گفت که بخش قابل توجهی از تغییرات مشاهده شده می‌تواند به دلیل پیچیدگی فرآیندهای حاکم بر پدیده رسوب و روان‌آب و تاثیر عوامل غیرقابل کنترل نظیر تغییرات احتمالی چالاب‌های سطحی در تکرارهای هر کرت (۴) و تغییرات در شرایط اولیه خاک‌ها قبل از بارش و نیز خطای احتمالی اندازه‌گیری باشد (۱۲).

اردیبهشت ماه اتفاق افتاده‌اند که این امر بیانگر توزیع غیریکنواخت رخدادهای فرساینده در طول سال است. به طور کلی توزیع غیریکنواخت بارش در طول سال و نیز شدت‌های کم بارش مشاهده شده در این مطالعه، مطابق با مشاهدات حاصل از پژوهش‌های مشابه در سایر نقاط ایران است (۱۶ و ۲۰).

### ضریب تغییرات مقادیر مشاهده‌ای روان‌آب و رسوب

نتایج آمار توصیفی مقادیر اندازه‌گیری شده روان‌آب و رسوب در کرت‌های با ابعاد مختلف در ۱۱ رخدادهای منجر به روان‌آب، شامل میانگین، حداکثر، حداقل و ضریب تغییرات داده‌ها در جدول (۳) ارائه شده است. براساس نتایج، ضریب تغییرات داده‌های مربوط به روان‌آب و رسوب در هر کرت در طول دوره مطالعه، زیاد بود. به نظر می‌رسد که دلیل عمده این تغییرات این است که دامنه ویژگی‌های رخدادهای منجر به روان‌آب در کرت‌ها نسبتاً وسیع بود. به طوری که بررسی ویژگی‌های مربوط به این رخدادهای (جدول ۱) نشان می‌دهد که ضریب تغییرات مربوط به پارامترهای حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای ( $I_{30}$ ) و شاخص فرسایشی ( $EI_{30}$ ) به ترتیب برابر با ۷۳ و ۹۸ درصد است. این امر به نوبه خود نشان دهنده تاثیر حائز اهمیت برخی از رخدادهای با قدرت فرسایشی بالا بر متوسط فرسایش و یا روان‌آب سالانه است. برای نمونه در کرتی نظیر کرت P5 رخدادهای E9 رسوبی معادل با ۵۱/۱۱ گرم در مترمربع تولید کرده است که این مقدار تقریباً برابر با ۴۴ درصد میانگین کل رسوب اندازه‌گیری شده در طول دو سال است. در این زمینه، نتایج بررسی برخی از محققین نظیر گونزالز هیدالگو و همکاران (۷) در مناطق مدیترانه‌ای نشان می‌دهد که سهم تک رخدادهای بارش از رسوب کل سالانه می‌تواند از ۱۷ تا ۸۲ درصد متغیر باشد. لازم به ذکر است که این نکته از نظر مدیریت حفاظت خاک بسیار مهم بوده و موید این واقعیت است که پیش‌بینی این چنین رخدادهای و محافظت خاک در مقابل آن‌ها می‌تواند تا ۵۰ درصد

جدول ۳- آمار توصیفی داده‌های روان‌آب (میلی‌متر) و رسوب (گرم در مترمربع) کرت‌ها  
Table 3- Descriptive statistics of runoff (mm) and sediment yield (gm-2) in the plots

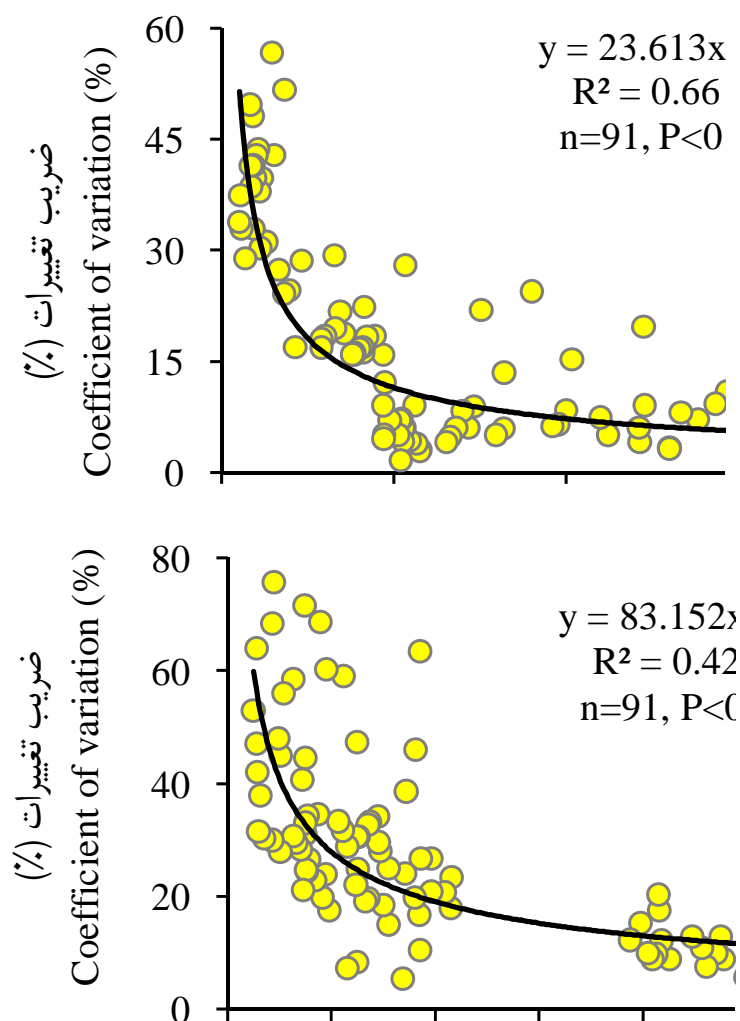
کرت Plot	روان‌آب Runoff				رسوب Sediment Yield			
	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات
	Min.	Max.	Average	CV (%)	Min.	Max.	Average	CV (%)
P1	0.58	9.50	5.12	58.77	6.54	57.60	21.96	74.00
P2	0.53	7.60	4.20	57.59	5.33	52.86	21.21	70.25
P3	0.42	6.14	3.33	61.23	5.08	60.68	21.03	78.39
P4	0.35	4.89	2.44	58.98	2.98	52.88	18.66	91.66
P5	0.29	2.89	1.78	53.13	2.47	51.11	17.89	97.37
P6	0.27	2.61	1.59	51.85	2.77	46.04	16.36	99.16
P7	0.26	2.66	1.67	51.93	2.74	46.49	15.67	103.69

با وجود مشابهت عوامل موثر در تولید روان‌آب و رسوب در تکرارهای

در این زمینه مطالعه ونت و همکاران (۲۱) نیز نشان می‌دهد که

بررسی رابطه بین میانگین روان آب و رسوب اندازه‌گیری شده در تکرارهای مختلف کرت‌ها با ضریب تغییرات آن نشان می‌دهد که با افزایش میانگین مقادیر روان آب و رسوب، ضریب تغییرات بین تکرارهای مختلف به صورت توانی کاهش می‌یابد. این رابطه برای مقادیر روان آب و رسوب مشاهده‌ای در تمامی کرت‌ها در شکل ۲ ارائه شده است. براساس نتایج این بخش و با در نظر گرفتن این نکته که تک رخدادهای با فرسایندهای زیاد سهم قابل توجهی از رسوب کل سالانه را به خود اختصاص می‌دهند، می‌توان گفت که در چنین رخدادهایی به دلیل تولید مقادیر زیادی رواناب و رسوب ضریب تغییرات رواناب و رسوب نیز اندک است.

کرت‌ها، تغییرات زیادی در مقادیر مشاهده شده روان آب و هدررفت خاک وجود دارد. گومز و همکاران (۶) بر مبنای داده‌های ونت و همکاران (۲۱) و با در نظر گرفتن ضریب تغییرات ویژگی‌های خاک نظیر هدایت هیدرولیکی، عمق خاک تا سخت لایه رسی و زبری سطح گزارش نمودند که تقریباً ۵۰ درصد از ضریب تغییرات مشاهده شده در تکرارهای کرت‌های مذکور، در اثر تغییر این ویژگی‌های خاک است. آن‌ها ۵۰ درصد باقی‌مانده ضریب تغییرات را به عواملی نظیر تفاوت در مقدار رطوبت اولیه کرت‌های مجاور، خطای اندازه‌گیری و تغییر در خصوصیات بارش نازل شده بر روی کرت‌ها و هم‌چنین عوامل ناشناخته، مربوط دانسته‌اند.



شکل ۲- رابطه بین مقدار رسوب و روان آب اندازه‌گیری شده با ضریب تغییرات تکرارهای مختلف  
Figure 2- Relationship between sediment yield and runoff with their coefficients of variation

کاهش توانی ضریب تغییرات روان آب و رسوب در مقابل افزایش

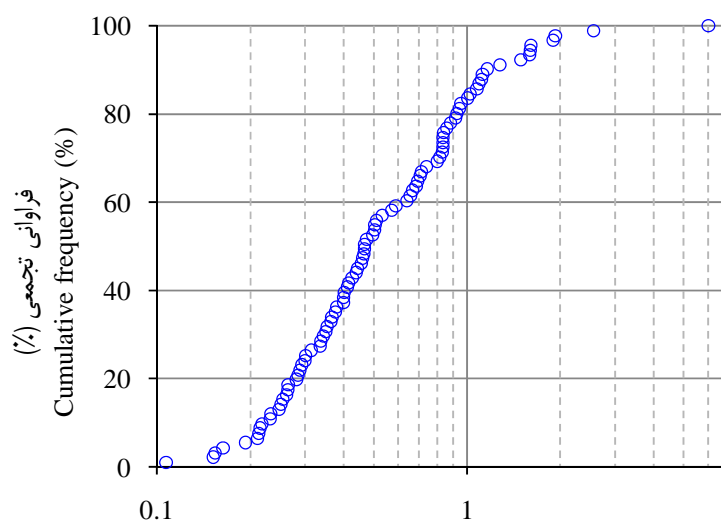
تجزیه و تحلیل داده‌های کرت‌های مختلف نیز نشان داد که

می‌توان تعداد تکرار مناسب کرت برای کسب مقادیر دلخواه ضریب تغییرات را محاسبه نمود.

### بررسی مقایسه‌ای ضرایب تغییرات روان‌آب و رسوب

به منظور مقایسه‌ی ضریب تغییرات روان‌آب و رسوب متناظر آن، در هر رخداد و هر کرت نسبت ضریب تغییرات روان‌آب به رسوب متناظر آن محاسبه و توزیع فراوانی مقادیر مربوطه مطابق شکل ۳ ترسیم شد. همان گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، نسبت ضریب تغییرات روان‌آب به رسوب تقریباً در ۸۰ درصد موارد کم‌تر از یک می‌باشد. که این امر نشان دهنده‌ی بیش‌تر بودن ضریب تغییرات رسوب در مقایسه با روان‌آب در ۸۰ درصد از داده‌های مشاهده‌ای است. به نظر می‌رسد که دلیل این امر ساده بودن اندازه‌گیری روان‌آب و احتمال کم بروز خطا در تعیین حجم آن است. در حالی که داده‌های رسوب از طریق نمونه‌برداری تعیین شده و به علت حجم زیاد روان‌آب موجود در مخازن در برخی از موارد احتمال بروز اختلاف در نمونه‌برداری از کرت‌های مختلف وجود دارد که این اختلاف می‌تواند منشا افزایش ضریب تغییرات و در نتیجه کاهش نسبت ضریب تغییرات روان‌آب به رسوب شود. به عبارت دیگر به نظر می‌رسد که منشا اختلاف بین ضرایب تغییرات داده‌های رسوب و روان‌آب می‌تواند خطای نمونه‌گیری و یا اختلاف عملکرد واقعی دو کرت باشد، در حالی که منشا اختلاف در داده‌های روان‌آب بیش‌تر به تفاوت عملکرد کرت‌ها مربوط بوده و به دلیل دقیق بودن روش اندازه‌گیری آن کم‌تر تحت تاثیر خطای اندازه‌گیری قرار می‌گیرد.

میانگین آن‌ها در تمامی کرت‌ها (از P1 تا P7) به صورت جداگانه نیز قابل مشاهده است از این رو می‌توان گفت که روند کاهشی مشاهده شده برای ضریب تغییرات، تابعی از ابعاد کرت‌ها نبوده و در همه‌ی آن‌ها قابل مشاهده است. در این زمینه باگارلو و فرو (۳) نیز گزارش کرده‌اند که عواملی نظیر نوع خاک، اندازه‌ی کرت و حتی تعداد تکرار، تاثیری بر روی رابطه‌ی ضریب تغییرات با میانگین هدررفت خاک و روان‌آب ندارد. بررسی رابطه‌ی بین ضریب تغییرات و مقدار میانگین مشاهده‌ای در سایر مطالعات نیز نشان می‌دهد که کاهش ضریب تغییرات به صورت توانی در مقابل میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت یک روند عمومی در بسیاری از مطالعات مشاهده شده است (۲، ۷ و ۱۰). در این زمینه برخی از محققین نظیر نیرینگ و همکاران (۱۰) حتی نشان دادند که تغییر مقیاس زمانی مطالعه از رخدادهایی منفرد به میانگین سالانه تاثیری بر ارتباط بین ضریب تغییرات و میانگین اندازه‌گیری‌ها ندارد. از آنجایی که مقادیر رواناب و رسوب زیاد در اغلب موارد مربوط به رخدادهای با قدرت فرساینده‌ی زیاد است، به نظر می‌رسد که با افزایش قدرت فرساینده‌ی رخداد و در نتیجه افزایش پتانسیل تولید رواناب، نقش متغیرهایی نظیر غیریکنواختی توزیع رطوبت اولیه در سطح، چالاب‌های سطحی و غیریکنواختی ویژگی‌های خاک کاهش یافته و به تبع آن ضریب تغییرات رسوب و رواناب مشاهده شده برای چنین رخدادهایی نیز کم شود. استفاده از روابطی نظیر آن چه در شکل ۲ نشان داده شده است، امکان تخمین حداکثر ضریب تغییرات مورد انتظار برای مقادیر مختلف یک متغیر نظیر روان‌آب و یا رسوب را در هر منطقه فراهم می‌آورد. به علاوه با در دست داشتن روابط بین ضریب تغییرات یک پارامتر با میانگین آن



شکل ۳- توزیع فراوانی تجمعی تجربی نسبت ضریب تغییرات روان‌آب به ضریب تغییرات رسوب متناظر

Figure 3- Empirical frequency distribution of the ratio between the CV of runoff and the corresponding soil loss

جداگانه نیز نشان می‌دهد که توزیع فراوانی نسبت ضریب تغییرات

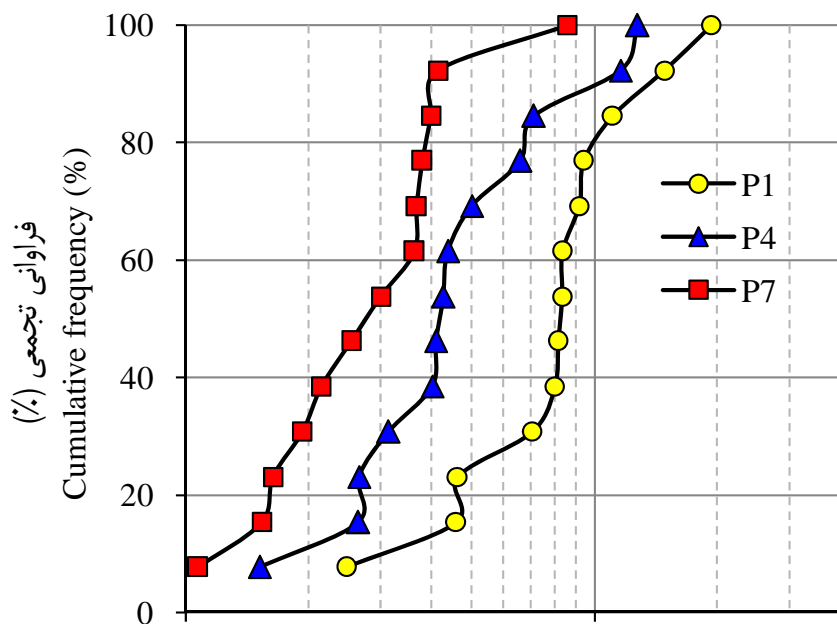
بررسی داده‌های روان‌آب و رسوب کرت‌های مختلف به صورت

محققین نظیر باگارلو و فرو (۲)، مشاهده نموده‌اند که ضریب تغییرات روان آب و رسوب متناظر با آن در کرت‌های مختلف تفاوت چندانی با یکدیگر ندارد، یکی از مهمترین دلایل عدم اختلاف در دامنه تغییرات داده‌های روان آب و رسوب مشاهده شده توسط این محققین، تفاوت الگوی نمونه‌برداری رسوب از مخازن انتهایی کرت‌ها توسط آن‌ها می‌باشد، چرا که آن‌ها با استفاده از نمونه‌گیری رسوب به شکل خودکار، خطای نمونه‌برداری را به حداقل رسانده‌اند. در نتیجه به دلیل این که این روش نمونه‌برداری تحت تاثیر حجم روان آب و اندازه کرت نمی‌باشد، ضریب تغییرات مقدار رسوب نیز کاهش یافته و تقریباً برابر با روان آب شده است.

### نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق تغییرات مقادیر روان آب و رسوب مشاهده‌ای در کرت‌های صحرایی با ابعاد مختلف مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که تغییرات داده‌های ناشی از یک کرت در طول دوره ۲ سال مطالعه به دلیل تنوع قابل توجه ویژگی‌های بارش‌های تولید کننده‌ی روان آب، بسیار زیاد است.

روان آب به رسوب در کرت‌های با ابعاد مختلف متفاوت است. برای نمونه توزیع فراوانی این نسبت برای سه اندازه‌ی متفاوت کرت شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل کرت P1 به عنوان یک کرت کوچک، کرت P4 به عنوان کرت متوسط و کرت P7 به عنوان یک کرت بزرگ در نظر گرفته شده‌اند. همان‌گونه که در این شکل قابل مشاهده است، در کرت کوچک در بیش‌تر مواقع این نسبت به یک نزدیک بوده و با افزایش ابعاد کرت رفته رفته مقدار آن کم‌تر از یک می‌شود. این امر تا حدودی دلایل ارائه شده در بخش قبل در رابطه با منشا تغییرات داده‌های رسوب را تایید می‌کند. به نظر می‌رسد که هر چند با افزایش ابعاد کرت، حجم کل روان آب آن افزایش می‌یابد اما دقت اندازه‌گیری حجم روان آب تغییر چندانی نمی‌کند زیرا اندازه‌گیری حجم روان آب با استفاده شاخص‌های واسنجی شده صورت گرفته و در نتیجه دقت آن‌ها نمی‌تواند تابعی از حجم روان آب باشد. در حالی که با افزایش حجم روان آب نمونه‌گیری یکنواخت رسوب از آن مشکل‌تر شده و امکان حفظ یکنواختی در نمونه‌های مربوط به یک کرت کاهش می‌یابد. در نتیجه با افزایش ابعاد کرت، ضریب تغییرات روان آب تغییری نمی‌کند در حالی که به دلیل افزایش احتمال خطا در نمونه‌گیری مقادیر ضریب تغییرات رسوب افزایش یافته و به تبع آن نسبت ضریب تغییرات روان آب به رسوب نیز کاهش می‌یابد. برخی از



شکل ۴- توزیع فراوانی تجمعی تجربی نسبت ضریب تغییرات روان آب به ضریب تغییرات رسوب متناظر در کرت‌های با ابعاد مختلف  
Figure 4- Empirical frequency distribution of the CV of runoff and the corresponding soil loss for different plot sizes

ترتیب کم‌تر از ۶۰ و ۸۰ درصد است که این امر لزوم توجه به

ضریب تغییرات روان آب و رسوب در تکرارهای کرت‌ها نیز به



رسوب است که دلیل این امر دقت بالای اندازه‌گیری روان‌آب در مقایسه با رسوب است. مقایسه کرت‌های با ابعاد مختلف نیز از این دیدگاه بیانگر این واقعیت بود که با افزایش ابعاد کرت ضریب تغییرات رسوب نسبت به روان‌آب به دلیل مشکل‌تر شدن اندازه‌گیری و افزایش احتمال خطا، افزایش بیش‌تری می‌یابد.

تکرارهای کافی در کرت‌های صحرایی را آشکار می‌نماید. براساس نتایج با افزایش میانگین داده‌های روان‌آب و رسوب در کرت‌ها ضریب تغییرات داده‌ها به صورت توانی کاهش می‌یابد مقایسه ضریب تغییرات روان‌آب و رسوب متناظر آن در تکرارهای کرت‌ها نیز نشان داد که در بیش از ۸۰ درصد موارد، ضریب تغییرات روان‌آب کم‌تر از

## منابع

- 1-Bagarello V., and Ferro V. 2004. Plot-scale measurement of soil erosion at the experimental area of Sparacia (southern Italy). *Hydrological Processes*, 18:141-157.
- 2-Bagarello V., and Ferro V. 2010. Analysis of soil loss data from plots of differing length for the Sparacia experimental area, Sicily, Italy. *Biosystems Engineering*, 105:411-422.
- 3-Boix-Fayos C., Martínez-Mena M., Arnau-Rosalén E., Calvo-Cases A., Castillo V., and Albaladejo J. 2006. Measuring soil erosion by field plots: Understanding the sources of variation. *Earth Science Reviews*, 78:267-285.
- 4- Boix-Fayos C., Martínez-Mena M., Calvo-Cases A., Arnau-Rosalén E., Albaladejo J., and Castillo V. 2007. Causes and underlying processes of measurement variability in field erosion plots in Mediterranean conditions. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32:85-101.
- 5- Evans R. 1995. Some methods of directly assessing water erosion of cultivated land - a comparison of measurements made on plots and fields. *Progress in Physical Geography*, 19:115-129.
- 6- Gómez J.A., Nearing M.A., Giráldez J.V., Alberts E.E. 2001. Analysis of sources of variability of runoff volume in a 40 plot experiment using a numerical model. *Journal of Hydrology*, 248:183-197.
- 7- Gómez J. A., Vanderlinden K., and Nearing M. A. 2005. Spatial variability of surface roughness and hydraulic conductivity after disk tillage: implications for runoff variability. *Journal of Hydrology*, 311:143-156.
- 8- González-Hidalgo J. C., Peña-Monné J. L., and de Luis M. 2007. A review of daily soil erosion in Western Mediterranean areas. *Catena*, 71:193-199.
- 9- Hudson N.W. 1993. *Field Measurement of Soil Erosion and Runoff*. FAO Soils Bulletin, vol. 68. FAO, Rome.
- 10-Nearing M.A., Gover G., and Norton L.D. 1999. Variability in soil erosion data from replicated plots. *Soil Science Society of America Journal*, 63:1829-1835.
- 11-Nearing M.A. 2000. Evaluating soil erosion models using measured plot data: Accounting for variability in the data. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25:1035-1043
- 12- Parsons A.J., Brazier R.E., Wainwright J., and Powell D.M. 2006. Scale relationships in hillslope runoff and erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31:1384-1393.
- 13- Rejman J., Usowicz B., and DeBicki R. 1999. Source of errors in predicting soil erodibility with USLE. *Polish Journal of Soil Science*, 32(1) : 13-22.
- 14- Rüttiman M., Schaub D., Prasuhn V., and Rüegg W. 1995. Measurement of runoff and soil erosion on regularly cultivated fields in Switzerland-some critical considerations. *Catena*, 25:127-139.
- 15- Sadeghi S.H.R., Mizuyama T., and Ghaderi-Vangah B. 2007. Conformity of MUSLE Estimates and Erosion Plot Data for Storm-Wise Sediment Yield Estimation. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 18(1):117-128.
- 16- Sadegi H. R., Pourghasemi H.R., Mohammadi M., and Agharazi H. A. 2009. Applicability of Rainfall and Runoff Variables in Estimation of Storm-Wise Sediment Yield from Experimental Plots with Different Land Uses, *Agricultural Sciences and Technology Journal (Water and Soil)*. 22(1): 113-122. (in Persian with English abstract)
- 17- Sadeghi S.H.R., Bashari-Seghaleh M., and Rangavar A.S. 2013. Plot sizes dependency of runoff and sediment yield estimates from a small watershed, *Catena*, 102:55-61.
- 18- Smets T., Poesen J., and Bochet E. 2009. Impact of plot length on the effectiveness of different soil-surface covers in reducing runoff and soil loss by water. *Progress in Physical Geography*, 32(6):654-677.
- 19- 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*, 97:414-423.
- 20- Vaezi A.R., Bahrami H., Sadeghi H. R., and Mahdian M. H. 2009. Evaluating Erosivity Indices of the USLE, MUSLE, RUSLE and USLE-M Models in Soils of a Semi-Arid Region in Northwest of Iran. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 2(4): 25-37. (in Persian with English abstract)
- 21-Wendt R.C., Alberts E.E., and Hjelmfelt-Jr A.T. 1986. Variability of runoff and soil loss from fallow experimental plots. *Soil Science Society of America Journal*, 50:730-736.
- 22-Wischmeier W.H., Smith D.D. 1978. *Predicting Rainfall-Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. U.S. Department of Agriculture. *Agriculture Handbook*. NO, 537



## Variability of Measured Runoff and Soil Loss from Field Plots

F. Asadzadeh<sup>1\*</sup> - M. Gorji<sup>2</sup> - A. Vaezi<sup>3</sup> - S. Mirzaee<sup>4</sup>

Received: 11-01-2014

Accepted: 02-02-2015

**Introduction:** Field plots are widely used in studies related to the measurements of soil loss and modeling of erosion processes. Research efforts are needed to investigate factors affecting the data quality of plots. Spatial scale or size of plots is one of these factors which directly affects measuring runoff and soil loss by means of field plots. The effect of plot size on measured runoff or soil loss from natural plots is known as plot scale effect. On the other hand, variability of runoff and sediment yield from replicated filed plots is a main source of uncertainty in measurement of erosion from plots which should be considered in plot data interpretation processes. Therefore, there is a demand for knowledge of soil erosion processes occurring in plots of different sizes and of factors that determine natural variability, as a basis for obtaining soil loss data of good quality. This study was carried out to investigate the combined effects of these two factors by measurement of runoff and soil loss from replicated plots with different sizes.

**Materials and Methods:** In order to evaluate the variability of runoff and soil loss data seven plots, differing in width and length, were constructed in a uniform slope of 9% at three replicates at Koohin Research Station in Qazvin province. The plots were ploughed up to down slope in September 2011. Each plot was isolated using soil beds with a height of 30 cm, to direct generated surface runoff to the lower part of the plots. Runoff collecting systems composed of gutters, pipes and tanks were installed at the end of each plot. During the two-year study period of 2011-2012, plots were maintained in bare conditions and runoff and soil loss were measured for each single event. Precipitation amounts and characteristics were directly measured by an automatic recording tipping-bucket rain gauge located about 200 m from the experimental plots. The entire runoff volume including eroded sediment was measured on storm basis using the collection tanks. The collected runoff from each plot was then mixed thoroughly and a sample was taken for determining sediment concentration by weight. The per-storm soil loss was then obtained.

**Results and Discussion:** A wide range of rainfall characteristics were observed during the study period. The results indicated that the maximum amount of coefficients of variation (CVs) for runoff and soil loss from replicated plots were 60 and 80 percent, respectively, which were considerably higher than the variability of soil characteristics from these plots. CV of runoff and soil loss data among the replicates decreased as a power function of mean runoff ( $R^2 = 0.661$ ,  $P < 0.01$ ) and soil loss ( $R^2 = 0.428$ ,  $P < 0.01$ ). Empirical cumulative frequency distribution of the ratio between the CV of runoff and the corresponding soil loss CV in all of the plots data, showed that the CV of soil loss is higher than the CV of corresponding runoff for about 80 percent of cases. Empirical cumulative frequency distribution was created for each size of plot separately, which showed that the difference between the CV of runoff and the corresponding soil loss decreases with decreasing the plot size.

**Conclusion:** This study provides estimates of variability for within runoff and soil loss data. A high amount of runoff and soil loss CVs emphasize the importance of the number of replications in erosion plot studies. There was a strong relationship between the CV of runoff and the average runoff amount from replicated plots. This relationship was also observed for soil loss and the CV from replications. These relationships create a useful tool to determine the number of replications on the basis of desired confidences of interval with known values of CVs. Empirical cumulative frequency distribution of the ratio between the CV of runoff and the corresponding soil loss CV demonstrates that the mean runoff data from replicated plots were generally more representative than mean soil loss data, particularly in the large plots. Runoff was generally less variable than soil loss. High variability of soil loss data in comparison with the corresponding runoff amounts may be related to the probability of measurement errors in soil loss data which increases with increasing plot size. Therefore, an appropriate sampling scheme for plot soil loss should be used to yield representative values of both soil loss.

**Keywords:** Coefficient of Variation, Erosion, Erosion Plot, Soil Loss Measurement

1- Assistant Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

(\*-Corresponding Author Email: f.asadzadeh@urmia.ac.ir)

2- Associate Professor of Soil Science Department, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3- Assistant Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran

4- Ph.D. Student of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran