



ISSN 2251-7480

## اثر اندازه کورت بر میزان رواناب و رسوب اندازه‌گیری شده ناشی از رگبارهای طبیعی

فرخ اسدزاده<sup>۱\*</sup>، منوچهر گرجی<sup>۲</sup>، علیرضا واعظی<sup>۳</sup>، رضا سکوتی<sup>۴</sup> و سلمان میرزایی<sup>۵</sup>

\*۱) استادیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه؛ ارومیه؛ ایران؛ نویسنده مسئول مکاتبات: [farrokhasadzadeh@gmail.com](mailto:farrokhasadzadeh@gmail.com)

۲) دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران؛ پردیس کشاورزی و منابع طبیعی؛ کرج؛ ایران

۳) استادیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان؛ شهرکرد؛ ایران

۴) استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی؛ آذربایجان غربی؛ ایران

۵) دانشجوی دکتری؛ گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد؛ شهرکرد؛ ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۲۴

### چکیده

کرت‌های فرسایشی به طور گسترده به منظور ارزیابی متغیرها و عوامل اصلی پدیده فرسایش خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این رو، آگاهی از تاثیر عوامل مختلف همچون مقیاس مکانی بر نتایج به دست آمده از آنها ضروری است. این پژوهش با هدف بررسی اثر ابعاد کرت‌های صحرایی بر تولید رواناب و هدررفت خاک در واحد سطح انجام شد. بدین منظور، تعداد هفت کرت با ابعاد مختلف (طول‌های ۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ متر و به ترتیب عرض‌های ۱، ۱، ۱/۲، ۱/۶، ۱/۸۳، ۲ و ۲/۴ متر) در ایستگاه پلدشت در استان آذربایجان غربی احداث شد. میزان رواناب و هدررفت خاک در ۱۱ رخداد منجر به رواناب و رسوب طی شهریور سال ۱۳۸۹ تا شهریور سال ۱۳۹۰ به صورت مجزا در کرت‌ها اندازه‌گیری و در واحد سطح محاسبه شد. نتایج نشان داد رواناب و رسوب تولید شده در واحد سطح با افزایش مساحت و یا طول کرت به صورت توانی کاهش می‌یابد. مقایسه آماری عملکرد کرت‌های با ابعاد مختلف نشان داد که در اغلب رخدادهای، بین کرت‌های با طول کمتر از ۱۰ متر و کرت‌های بزرگتر تفاوتی معنی‌دار وجود دارد، در حالی که اختلاف عملکرد کرت‌های با طول بیش از ۱۵ متر تفاوت معنی‌داری را نشان نداد ( $P < 0.05$ ). براساس نتایج، کرت‌های با طول ۱۰ تا ۱۵ متر قابلیت تخمین عملکرد کرت‌های بزرگتر را داشتند.

واژه‌های کلیدی: رسوب؛ رگبار طبیعی؛ رواناب

### مقدمه

مقیاس مکانی اندازه‌گیری، به عنوان عاملی که به طور مستقیم وقوع فرآیندهای مختلف تولید روان‌آب و رسوب را تحت تاثیر قرار می‌دهد، بسیار درخور توجه است. مطالعات مربوط به فرسایش خاک بسته به اهداف و

اندازه‌گیری میزان روان‌آب و هدررفت خاک در واحد سطح به منظور ارزیابی وضعیت فرسایش آبی در مناطق مختلف بسیار حائز اهمیت است. در این زمینه، نقش

در رابطه با هدررفت خاک، نتایج گزارش شده در مقایسه با روان آب بسیار متنوع تر است که نشان دهنده پیچیدگی عملکرد فرآیندهای فرسایشی با تغییر ابعاد و یا مقیاس کرت می باشد. برای نمونه، مطالعات مورنودلاس-هراس و همکاران (۲۰۱۰) نشان می دهد که هدررفت خاک در واحد سطح با تغییر ابعاد کرت، بسته به درجه تخریب اراضی، می تواند افزایش و یا کاهش یابد. در حالی که مطالعات Rejman و همکاران (۱۹۹۹) در محدوده کرت-های با طول پنج تا ۲۰ متر نشان داد که مقدار هدررفت خاک با افزایش ابعاد کرت کاهش می یابد. مطالعات Thomaz و Vestena (۲۰۱۲) نیز حاکی از این است که میان عملکرد کرت های با مساحت یک و ۱۰ مترمربع اختلاف معنی داری وجود ندارد. در پژوهش انجام شده توسط صادقی و همکاران (۱۳۸۷) نیز از کرت هایی به طول ۲ تا ۲۵ متر استفاده شد که نتایج نشان داد در دامنه هایی رو به جنوب رابطه ی منفی و غیرخطی بین طول کرت و مقدار رسوب در واحد سطح وجود دارد حال آن که بین کرت های با طول مختلف در دامنه های رو به شمال اختلاف معنی داری وجود نداشت.

برخی از پژوهشگران با تکیه بر داده های تجربی، به تاثیر سهم نسبی فرسایش شیاری و بین شیاری از رسوب کل در روند تغییرات هدررفت خاک با ابعاد کرت اشاره نموده اند (Bagarello and Ferro, 2010). بررسی های Parsons و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که فرسایش شیاری با افزایش طول کرت به صورت مرتب افزایش می یابد، در حالی که مقدار فرسایش بین شیاری با افزایش طول کرت ابتدا افزایش یافته و سپس کاهش می یابد.

مروری بر مطالعات نشان می دهد که دامنه مقیاس مکانی در کرت های روان آب و رسوب نسبتا وسیع بوده و از کرت های با مساحت کم تر از یک مترمربع تا کرت های با مساحت بیش از یک هکتار را شامل می شود (Hudson, 1993). با توجه به مشکلات ناشی از اندازه گیری در کرت-

امکانات موجود، در دامنه وسیعی از مقیاس های مکانی صورت می گیرد.

نتایج بسیاری از پژوهش ها نشان داده است که تعمیم مقادیر فرسایش حاصل از مقیاس های مکانی مختلف به یکدیگر دارای مشکلات و محدودیت های فراوانی است (Rickson, 2006) که این امر لزوم توجه به اثر مقیاس<sup>۱</sup> مکانی و یا ابعاد محیط آزمایشی در هر پژوهش را به عنوان یکی از عوامل دخیل در تفسیر نتایج آن، آشکار می کند. از سوی دیگر، با توجه به این واقعیت که کرت های فرسایشی غالبا برای کسب داده های پایه ای برای توسعه، واسنجی و یا ارزیابی مدل های تجربی و فرآیندی فرسایش خاک مورد استفاده قرار می گیرند (Mutchler et al., 1994)، توجه به چگونگی تغییرات روان آب و هدررفت خاک با تغییر ابعاد آنها، یکی از اقدامات اولیه و اساسی به منظور مدل سازی فرسایش می باشد.

بررسی پژوهش های صورت گرفته در مورد رابطه ابعاد کرت و مقدار روان آب، نشان دهنده روند کاهشی میزان روان آب در واحد سطح با افزایش ابعاد کرت، در اغلب شرایط می باشد (Joel et al., 2002; Van de Giessen et al., 2011). در این زمینه، دلایلی نظیر نگهداشت سطحی بیش تر در کرت های بزرگ، افزایش تغییرات مکانی خصوصیات خاک موثر در تولید روان آب و همچنین اختلاف مربوط به دینامیک فرآیندهای تشکیل روان آب در کرت ها، مورد تاکید پژوهشگران قرار گرفته است. البته برخی از محققین نیز به افزایش و یا عدم تغییرات روان آب با افزایش ابعاد کرت اشاره نموده اند که این مشاهدات به عواملی نظیر عدم توانایی سطح خاک در نگهداشت روان آب به دلیل شیب زیاد و یا وجود شبکه متراکم شیارها، نسبت داده شده است (Moreno deLas Heras et al., 2010; Thoimaz and Vestena, 2012).

<sup>1</sup> Scale Effect

سوی دیگر با توجه به این که واسنجی عوامل موثر بر فرسایش نظیر فرسایش‌پذیری خاک در برخی از مدل‌های پرکاربرد پیش‌بینی فرسایش خاک نظیر مدل‌های خانواده USLE اغلب در مقیاس مکانی ویژه‌ای (کرت استاندارد با ابعاد  $22/13m \times 1/83m$ ) صورت می‌گیرد، نتایج این تحقیق می‌تواند به درک امکان استفاده از کرت‌های کوچک به منظور تعیین فرسایش‌پذیری خاک در این مدل‌ها کمک کند. از این رو در این پژوهش، تلاش شده تا عملکرد کرت‌های فرسایشی از نظر تولید روان‌آب و رسوب در طیف نسبتاً وسیع و پرکاربرد از مقیاس‌های مکانی تحت شرایط رخدادهای بارندگی در منطقه‌ای نیمه خشک مورد ارزیابی قرار گرفته و روند تغییرات روان‌آب و رسوب تولید شده در کرت‌های با ابعاد مختلف مورد شناسایی قرار گیرد.

#### مواد و روش‌ها

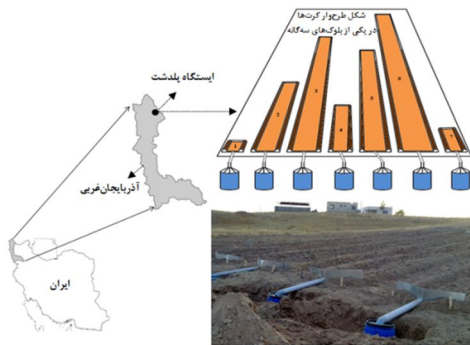
##### ۱-۲- منطقه مورد پژوهش

برای انجام این پژوهش، ایستگاه آبخوان‌داری پلدشت به دلیل دارا بودن امکانات باران‌سنجی و وجود پرسنل آموزش دیده برای داده‌برداری از کرت‌های صحرائی، انتخاب شد. ایستگاه یاد شده در شمال استان آذربایجان غربی و در محدوده‌ای با مختصات جغرافیایی  $39^{\circ}$ ،  $00'$  تا  $39^{\circ}$ ،  $15'$  عرض شمالی و  $44^{\circ}$ ،  $10'$  تا  $45^{\circ}$  طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). میانگین بارندگی سالانه در ایستگاه ۲۲۳ میلی‌متر و اقلیم منطقه براساس ضریب دومارتن، نیمه خشک است. براساس مشاهدات، اغلب رگبارهای منجر به روان‌آب و رسوب در این ایستگاه در طول فصل بهار به وقوع می‌پیوندد. خاک ایستگاه در محل احداث کرت‌ها نسبتاً کم‌عمق بوده و خاک سطحی دارای بافت لوم‌رسی شنی است که عموماً بر روی طبقه‌ای از سنگریزه‌های ریز و درشت در عمق‌های مختلف قرار گرفته است. طبقه‌بندی آن نیز بر اساس سیستم آمریکایی Xeric Torriorthents (۲۰۱۰) است. این خاک فاقد

های بزرگ، اغلب کرت‌های فرسایشی مورد استفاده در پژوهش‌ها، مساحتی در حدود یک تا ۱۰۰ مترمربع دارند (Boix Fayos et al., 2006). بررسی پژوهش‌های انجام شده در داخل کشور نیز نشان می‌دهد که طول کرت‌های مورد استفاده در پروژه‌های حفاظت خاک بین دو تا ۲۵ و عرض کرت‌ها بین ۰/۵ تا ۱۰ متر بوده است (عرب خدردی و اردکانی، ۱۳۸۱). اما نکته حائز اهمیت در رابطه با پژوهش‌های صورت گرفته در کشور این است که نقش مقیاس در اغلب این مطالعات نادیده گرفته شده است. در این زمینه تنها به پژوهش انجام شده توسط Sadeghi و همکاران (۲۰۱۱) و بشری سه‌قلعه و همکاران (۱۳۸۹) در ایستگاه سنگانه در استان خراسان رضوی می‌توان اشاره کرد که در این پژوهش، مقیاس مکانی به عنوان یک متغیر تاثیرگذار بر نتایج کرت‌ها مدنظر بوده و کرت‌های با ابعاد مختلف از نظر قابلیت تولید رواناب و رسوب مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. نتایج این مطالعه نیز به روشنی موبد این مطلب است که ابعاد کرت تاثیر قابل توجهی بر نتایج به دست آمده دارد به طوری که در گزارش بشری سه‌قلعه و همکاران (۱۳۸۹)، تنها کرت‌های با طول میانگین بیش از ۲۰ متر قابلیت شبیه‌سازی رسوب حوضه‌ی کوچک را داشته‌اند.

به دلیل تنوع نتایج گزارش شده و دخالت فرآیندهای مختلف در تعیین نقش مقیاس کرت‌ها بر نتایج آن‌ها شایسته است پژوهشی در زمینه نقش مقیاس کرت‌ها در مقدار روان‌آب و رسوب تولیدی آن‌ها در شرایط اقلیمی کشور صورت گیرد. با توجه به اینکه احداث و نگهداری کرت‌های فرسایشی به ویژه در ابعاد بزرگ پرهزینه می‌باشد اغلب پژوهشگران ترجیح می‌دهند که از کرت‌های کوچک استفاده نمایند بنابراین نتایج این تحقیق، از این منظر که می‌تواند امکان استفاده از داده‌های به دست آمده از کرت‌های کوچک در برآورد روان‌آب و رسوب کرت‌های بزرگ را مورد ارزیابی قرار دهد، می‌تواند سودمند باشد. از

ماه ۱۳۹۰) مورد بررسی قرار گرفت. در طول این دوره، کرت‌ها به صورت آیش بوده و تا حد امکان از رشد علف-های هرز در داخل آن‌ها ممانعت به عمل آمد (Rejman *et al.*, 1999).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محل احداث کرت‌ها به همراه نمایش طرح وار پیاده‌سازی آزمایش در یکی از بلوک‌ها

### ۲-۳- جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها

پس از هر رخداد باران طبیعی، حجم مخلوط روان‌آب و رسوب داخل مخازن در انتهای کرت‌ها با استفاده از شاخص‌های واسنجی شده اندازه‌گیری شد. پس از هم زدن کامل مخلوط روان‌آب و رسوب، نمونه‌ای همگن به آزمایشگاه منتقل و غلظت رسوب با خشک کردن نمونه در دمای ۱۰۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت تعیین شد (Vaezi *et al.*, 2008). 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. با تقسیم حجم روان‌آب و جرم رسوب کل هر کرت بر مساحت آن، مقدار روان‌آب و رسوب (هدررفت خاک) در واحد سطح برای هر کرت به ترتیب بر حسب میلی‌متر (معادل با لیتر در مترمربع) و گرم در مترمربع به دست آمد. داده‌های بارندگی، از سامانه باران‌سنجی ثبات واقع در داخل ایستگاه که داده‌های بارش را با دقت ۰/۵ میلی‌متر ثبت می‌نمود، اخذ شد.

محدودیت شوری و قلیائیت بوده و متوسط ماده آلی آن در حدود ۰/۴۸ درصد می‌باشد. جرم مخصوص ظاهری خاک ۱/۲ گرم در سانتی‌متر مکعب بوده و مقدار سنگریزه سطحی آن در حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد می‌باشد.

### ۲-۲- احداث کرت‌ها

به منظور احداث کرت‌ها، یک قطعه زمین با شیب یکنواخت نه درصد در نظر گرفته شد. زمین مورد نظر، در شهریور سال ۱۳۸۹ با استفاده از گاو آهن برگردان‌دار در جهت شیب شخم زده شده و علف‌های هرز و بقایای گیاهی آن جمع‌آوری شد. سپس، به منظور افزایش یکنواختی عملیات شخم، زمین در جهت شیب دیسک زده شد (Vaezi *et al.*, 2008). پس از آماده سازی زمین، با توجه به امکانات موجود از نظر هزینه و پرسنل، هفت اندازه متفاوت کرت با طول‌های ۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۲/۱، ۲۵ و ۳۰ متر و به ترتیب عرض‌های ۱، ۱، ۱/۲، ۱/۶، ۱/۸۳، ۲ و ۲/۴ متر در سه تکرار (مجموعاً ۲۱ کرت) و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی احداث شد (شکل ۱). لازم به ذکر است که در انتخاب ابعاد کرت‌ها، منابع مطالعاتی موجود مورد استناد واقع شده و محدوده‌ای از ابعاد که در بیش‌تر تحقیقات مربوط به فرسایش خاک توسط پژوهشگران مورد استفاده واقع شده است، در نظر گرفته شد (Boix Fayos *et al.*, 2006). طول کرت‌ها در راستای طول شیب قرار گرفته و با استفاده از پشته خاکی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر محصور شد. برای محصور کردن عرض بالا و پایین کرت‌ها نیز از ورق‌های آهن گالوانیزه به عرض ۳۵ سانتی‌متر استفاده شد که ۱۵ سانتی‌متر آن در داخل زمین فرو برده شده و ۲۰ سانتی‌متر آن‌ها نیز به عنوان دیواره محصور کننده کرت‌ها در نظر گرفته شد. در بخش انتهایی هر کرت نیز سیستم جمع‌آوری کننده و ذخیره روان‌آب و رسوب تعبیه شد (Sadeghi *et al.*, 2011; Vaezi *et al.*, 2008). عملکرد کرت‌ها از نظر تولید روان‌آب و رسوب، در رخدادهای طبیعی باران به مدت یک سال (از شهریور ۱۳۸۹ تا شهریور

به وقوع پیوست که این امر نشان دهنده توزیع غیریکنواخت رگبارهای منجر به روان آب در طول سال بود. به دلیل تجمع رخدادهای بارش در یک دوره زمانی کوتاه مدت، مقدار رطوبت اولیه خاک در رخدادهای منجر به روان آب بالا بود. این عامل به نوبه خود تشکیل روان آب در کرت ها را تسریع نموده است. از مهمترین ویژگی های رخدادهای منجر به روان آب می توان به شدت نسبتا کم و شاخص فرسایندهی پایین آن ها در مقایسه با مقادیر گزارش شده این شاخص ها در مطالعات مشابه توسط سایر پژوهشگران نظیر Moreno de Las Heras و همکاران (۲۰۱۰)، Bagarello و Ferro (۲۰۱۰) و Boix Fayos و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد. به طوری که حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای بارندگی در این رخدادهای بین ۱/۶ تا ۱۵/۹ میلی متر در ساعت بود در حالی که برای نمونه حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای در مطالعه ی Boix Fayos و همکاران (۲۰۰۷) بین ۱۰ تا ۵۵ میلی متر در ساعت بود. مقدار انرژی جنبشی رخدادهای بر مبنای رابطه ی Wischmeier و Smith (۱۹۷۸) نیز در بیش تر رخدادهای کم تر از ۱۲ مگاژول در هکتار بوده و فقط در رخداد E10 مقدار آن برابر با ۳۰/۵۳ مگاژول در هکتار است.

پیش از انجام تجزیه و تحلیل، نرمال بودن توزیع داده ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی و در صورت لزوم از تبدیل مناسب برای نرمال نمودن آن ها استفاده شد. تحلیل داده های مربوط به کرت های با ابعاد مختلف با استفاده از روش استاندارد تحلیل واریانس صورت گرفته و مقایسه میانگین داده های رواناب و رسوب با استفاده از آزمون دانکن انجام شد. از روابط رگرسیونی ساده نیز به منظور بررسی رابطه بین ابعاد کرت و مقدار روان آب و رسوب (هدررفت خاک) استفاده شد. برای انجام تجزیه و تحلیل های آماری از نرم افزار SAS 9.1 و برای رسم نمودارها از نرم افزار Sigma Plot 11 استفاده شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- ویژگی های باران

در طول دوره پژوهش ۵۸ رخداد باران ثبت شد که از این تعداد، ۱۱ رخداد، منجر به تولید روان آب و رسوب در کرت ها شد. ویژگی های مربوط به این رخدادهای در جدول (۱) ارائه شده است. مجموع بارندگی در طول دوره پژوهش ۲۳۵ میلی متر بود که تقریبا برابر با میانگین بارندگی طولانی مدت منطقه (۲۲۳ میلی متر) است. در طول یک سال پژوهش، حدود ۶۵ درصد از مجموع مقدار بارندگی ثبت شده، طی ماه های اردیبهشت و خرداد

جدول ۱- مشخصات باران های منجر به رواناب در ایستگاه پلدشت طی دوره پژوهش (شهریور ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۰)

علامت اختصاری	تاریخ	ارتفاع بارندگی (mm)	شدت متوسط (mmh <sup>-1</sup> )	حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای I <sub>30</sub> (mmh <sup>-1</sup> )	فرسایندهی (MJmmha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
E1	۱۳۹۰/۰۱/۱۶	۷/۵	۲/۶۹	۵/۸	۷/۲۹
E2	۱۳۹۰/۰۲/۰۳	۵/۵	۰/۸۰	۳/۸	۲/۹۹
E3	۱۳۹۰/۰۲/۰۷	۱۳/۰	۰/۸۲	۶/۰	۱۱/۵۸
E4	۱۳۹۰/۰۲/۱۱	۱۱/۰	۱/۵۱	۲/۴	۳/۶۲
E5	۱۳۹۰/۰۲/۱۶	۳/۵	۱/۰۶	۲/۴	۱/۰۸
E6	۱۳۹۰/۰۲/۱۸	۶/۵	۲/۱۹	۴/۸	۴/۸۵
E7	۱۳۹۰/۰۲/۲۳	۶/۵	۱/۰۹	۹/۰	۱۰/۲۶
E8	۱۳۹۰/۰۲/۳۰	۴/۰	۰/۶۰	۱/۶	۰/۷۵
E9	۱۳۹۰/۰۳/۰۹	۶/۰	۰/۶۲	۳/۶	۳/۰۲
E10	۱۳۹۰/۰۳/۱۴	۹/۰	۳/۱۳	۱۵/۹	۳۰/۵۳
E11	۱۳۹۰/۰۳/۱۹	۱۱/۰	۱/۹۰	۵/۰	۹/۰۰

\* محاسبه انرژی جنبشی باران با استفاده از رابطه  $E(MJ/ha\ mm) = 0.119 + 0.0873 \log_{10}(mm/h)$  (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸)

## ۲-۳- داده‌های رواناب و رسوب

داده‌های روان‌آب و رسوب در کرت‌های فرسایشی نسبت داد. به عبارت دیگر به رغم اینکه ورودی کرت‌ها از نظر بارش مشابه بوده است، به نظر می‌رسد که به دلیل پیچیدگی فرآیندهای حاکم بر پدیده‌ی رسوب و روان‌آب و تاثیر عوامل غیرقابل کنترل نظیر تغییرات احتمالی چالاب-های سطحی در تکرارهای هر کرت (Boix Fayos et al., 2007)، ضریب تغییرات داده‌های روان‌آب و رسوب افزایش یافته است. در این زمینه برخی از پژوهشگران نظیر Nearing و همکاران (۱۹۹۹) و Bagarello و همکاران (۲۰۱۱) نیز در مطالعات خود مقادیر ضریب تغییرات بیش از ۱۰۰ درصد را در رابطه با داده‌های روان‌آب و رسوب گزارش نموده‌اند.

نتایج آمار توصیفی مقادیر اندازه‌گیری شده روان‌آب و رسوب در کرت‌های با ابعاد مختلف در ۱۱ رخداده منجر به روان‌آب، شامل میانگین، مقدار حداکثر، مقدار حداقل و ضریب تغییرات داده‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. براساس نتایج، ضریب تغییرات داده‌های مربوط به روان‌آب و رسوب در هر کرت در طول یک سال، زیاد بود. بخشی از این تغییرات می‌تواند به دلیل دامنه نسبتاً وسیع ویژگی‌های رخدادهای منجر به روان‌آب باشد. 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 ۱۰۸ درصد است. بخشی از تغییرات داده‌های اندازه‌گیری شده را نیز می‌توان به ماهیت تغییرپذیر

جدول ۲- آمار توصیفی داده‌های روان‌آب (میلی‌متر) و رسوب (گرم در مترمربع) کرت‌های با ابعاد مختلف

ابعاد کرت (متر)	روان‌آب			رسوب		
	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین
۲×۱	۰/۱۰	۷/۵۰	۲/۶۱	۲/۱۹	۳۹/۳۰	۱۲/۷۵
۵×۱	۰/۲۰	۶/۴۰	۲/۰۹	۱/۸۷	۳۸/۲۱	۱۱/۷۴
۱۰×۱/۲	۰/۱۷	۵/۰۸	۱/۷۵	۱/۳۲	۴۱/۰۴	۱۰/۴۴
۱۵×۱/۶	۰/۱۵	۲/۹۶	۰/۹۸	۰/۴	۴۱/۴۷	۹/۷۰
۲۲/۱×۱/۸	۰/۱۲	۲/۱۵	۰/۸۱	۰/۱۴	۳۷/۸۶	۹/۷
۲۵×۲	۰/۱۴	۲/۲۶	۰/۷۸	۰/۰۱	۴۲/۶۴	۷/۹۸
۳۰×۲/۴	۰/۱۲	۲/۰۶	۰/۸۳	۰/۰۰	۴۱/۷۱	۶/۹۵

### ۳-۳- رابطه ابعاد کرت با عملکرد کرت‌ها

بررسی رابطه بین ابعاد کرت با مقدار روان‌آب و رسوب تولید شده در واحد سطح نشان داد که از بین روابط رگرسیونی، روابط توانی به خوبی تغییرات مقدار روان‌آب و رسوب را در مقابل تغییرات ابعاد کرت پیش‌بینی می‌کند. بنابراین، از معادلات زیر که در واقع تبدیل خطی معادلات توانی می‌باشند، به منظور پیش‌بینی تغییرات روان‌آب و رسوب در مقابل تغییرات مساحت کرت، برای هر رخداده استفاده شد:

$$\log R_u = a_R + b_R \log A \quad (1)$$

$$\log SY_u = a_S + b_S \log A \quad (2)$$

که در آن‌ها: A مساحت کرت بر حسب مترمربع،  $SY_u$  و  $R_u$  به ترتیب میانگین رسوب در واحد سطح (گرم در مترمربع) و میانگین روان‌آب در واحد سطح (میلی‌متر) و  $a_S$ ،  $a_R$ ،  $b_S$  و  $b_R$  ضرایب ثابت معادله می‌باشند. مقادیر پارامترهای معادلات یادشده برای تمامی رخدادهای منجر به روان‌آب و رسوب در جدول (۳) نشان ارائه شده است. لازم به ذکر است که در برازش معادلات ۱ و ۲ برای رخدادهای مورد اشاره در جدول ۳، همه‌ی کرت‌ها به طور همزمان عملکرد داشته‌اند و معادلات برازش داده شده برای

هر رگبار براساس داده‌های هر هفت اندازه‌ی کرت بوده است. با توجه به ساختار معادلات رگرسیونی ۱ و ۲ مشخص می‌شود که شیب خط ( $b_R$  و  $b_S$ ) برای هر دو معادله پارامتر بسیار مهمی است چرا که مقدار و نیز علامت آن (مثبت و یا منفی بودن) شدت و جهت تغییرات روان‌آب و رسوب در واحد سطح را در مقابل تغییر ابعاد و مساحت کرت نشان می‌دهد.

ضرایب معادله رگرسیونی روان‌آب (معادله ۱) نشان داد که در تمامی رخدادهای، شیب خط ( $b_R$ ) مقداری منفی است که این امر مؤید کاهش مقدار روان‌آب با افزایش ابعاد کرت است. روند کاهشی مشاهده شده برای روان‌آب با مشاهدات برخی دیگر از محققین (Joel et al., 2002; Van de Giessen et al., 2005; Bagarello and Ferro, 2010) مطابقت دارد. این روند می‌تواند به دلیل افزایش نگهداشت سطحی روان‌آب و در نتیجه فرصت بیش‌تر نفوذ آن در کرت‌های بزرگ باشد. از سویی، به نظر می‌رسد افزایش زمان تمرکز در کرت‌های بزرگ می‌تواند با ایجاد تاخیر در رسیدن جریان روان‌آب به انتهای کرت، سبب کاهش مقدار روان‌آب شود.

جدول ۳- ضرایب رابطه بین رواناب و هدررفت خاک در واحد سطح و مساحت کرت در رخدادهای بارندگی

ضریب تبیین (R <sup>2</sup> )	$\log SY_u = a_S + b_S \log A$		ضریب تبیین (R <sup>2</sup> )	$\log R_u = a_R + b_R \log A$		شماره رخداد
	$b_S$	$a_S$		$b_R$	$a_R$	
۰/۶۹ *	-۰/۳۰۹	۱/۲۸۹	۰/۸۳ **	-۰/۳۷۲	۰/۷۶۰	E1
۰/۵۳ *	-۰/۲۵۱	۰/۸۷۵	۰/۹۰ **	-۰/۲۷۵	-۰/۰۳۸	E2
۰/۵۳ *	-۰/۱۷۵	۱/۲۸۸	۰/۸۹ **	-۰/۴۱۱	۰/۸۱۱	E3
۰/۵۲ *	-۰/۱۷۳	۱/۰۱۸	۰/۹۱ **	-۰/۲۷۶	۰/۲۱۸	E4
۰/۹۰ **	-۰/۵۴۱	۱/۰۴۰	۰/۹۴ **	-۰/۱۹۲	-۰/۴۵۸	E5
۰/۶۱ *	-۰/۳۳۲	۱/۰۲۷	۰/۸۷ **	-۰/۳۰۱	۰/۱۲۴	E6
۰/۵۵ *	-۰/۰۷۰	۱/۳۴۵	۰/۹۳ **	-۰/۴۲۹	۰/۷۸۴	E7
۰/۸۳ **	-۲/۱۱۷	۲/۰۱۵	۰/۹۵ **	-۰/۱۶۵	-۰/۴۸۶	E8
۰/۷۹ **	-۰/۴۷۰	۱/۰۶۵	۰/۹۱ **	-۰/۲۴۳	-۰/۰۷۶	E9
۰/۴۶ *	۰/۰۲۲	۱/۵۲۹	۰/۹۵ **	-۰/۴۰۰	۰/۹۹۲	E10
۰/۷۶ **	-۰/۲۹۹	۱/۲۷۹	۰/۸۹ **	-۰/۳۹۶	۰/۸۱۹	E11

\*\* معنی‌دار در سطح ۰/۰۱؛ \* معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

نسبت به سایر رخدادهای بیش‌تر بود، به نحوی که شاخص فرسایندهی این رخداد در مقایسه با رخداد E3، به عنوان دومین رخداد با قدرت فرسایندهی بالا، در حدود ۲/۶۳ برابر بیش‌تر بود. به نظر می‌رسد بالا بودن فرسایندهی این رخداد سبب شده تا سهم نسبی فرسایش بین‌شیاری از رسوب کل تا حدودی کاهش یافته و در نتیجه روند کاهش‌ی مقدار رسوب در واحد سطح با افزایش ابعاد کرت مشاهده نشود. مقایسه مقدار رسوب حاصل از این رخداد نیز نشان می‌دهد که سهم این رخداد در تولید رسوب سالانه بسیار بالا بوده و در کرت‌های با ابعاد مختلف بین ۲۳ تا ۴۷ درصد متغیر است. از دیگر عواملی که به نظر می‌رسد در نتایج مربوط به این رخداد دخیل باشد، فاصله‌ی زمانی کم بین این رخداد و رخداد قبل (جدول ۱) است که می‌تواند منجر به مرطوب بودن خاک قبل از وقوع این رخداد شده و در نتیجه‌ی اثر همزمان رطوبت اولیه‌ی بالا و نیز قدرت فرسایندهی زیاد این رخداد، رسوب تولید شده در بالادست کرت‌های بزرگ قابلیت انتقال به پایین دست را پیدا کرده و به تبع آن مقدار رسوب در واحد سطح کرت‌های بزرگ افزایش یافته باشد. در این زمینه برخی دیگر از پژوهشگران نیز به تاثیر عواملی غیر از فرسایندهی نظیر فرسایش‌پذیری بالای خاک و یا شیب زیاد و یا شرایط رطوبتی بالای خاک قبل از وقوع بارندگی، در تشکیل شیار و افزایش مقدار رسوب در واحد سطح اشاره نموده‌اند (Li et al., 2001; Bagarello et al., 2011). نتایج این بخش از پژوهش همچنین با گزارش‌های Parsons و همکاران (۲۰۰۶) مبنی بر اهمیت نسبت فرسایش شیاری به بین‌شیاری در روابط بین کرت‌های با ابعاد مختلف، مطابقت دارد. با افزایش سهم نسبی فرسایش بین‌شیاری در شرایط پژوهش حاضر توانایی کرت‌های کوچک در تولید رسوب افزایش یافته است.

در برخی پژوهش‌های مربوط به اثر مقیاس کرت، از مساحت کرت و طول آن به عنوان شاخص‌های مقیاس

برای رسوب نیز، ضرایب معادله رگرسیونی تغییرات رسوب در مقابل ابعاد کرت نیز نشان داد که مقدار رسوب در واحد سطح با افزایش مساحت کرت در همه رخدادهای غیر از رخداد E10 کاهش می‌یابد. این نتایج، با یافته‌های Rejman و همکاران (۱۹۹۹) و همچنین Bagarello و Ferro (۲۰۱۰) مبنی بر کاهش رسوب با افزایش مقیاس کرت، مطابقت دارد. روند کاهش‌ی رسوب با افزایش ابعاد کرت، می‌تواند به دلیل غالب بودن فرآیند فرسایش بین‌شیاری و بالا بودن سهم نسبی آن از رسوب کل در مقایسه با فرسایش شیاری باشد که با توجه به قدرت فرسایندهی کم رخدادهای ثبت شده (جدول ۱) وقوع این امر بسیار محتمل به نظر می‌رسد.

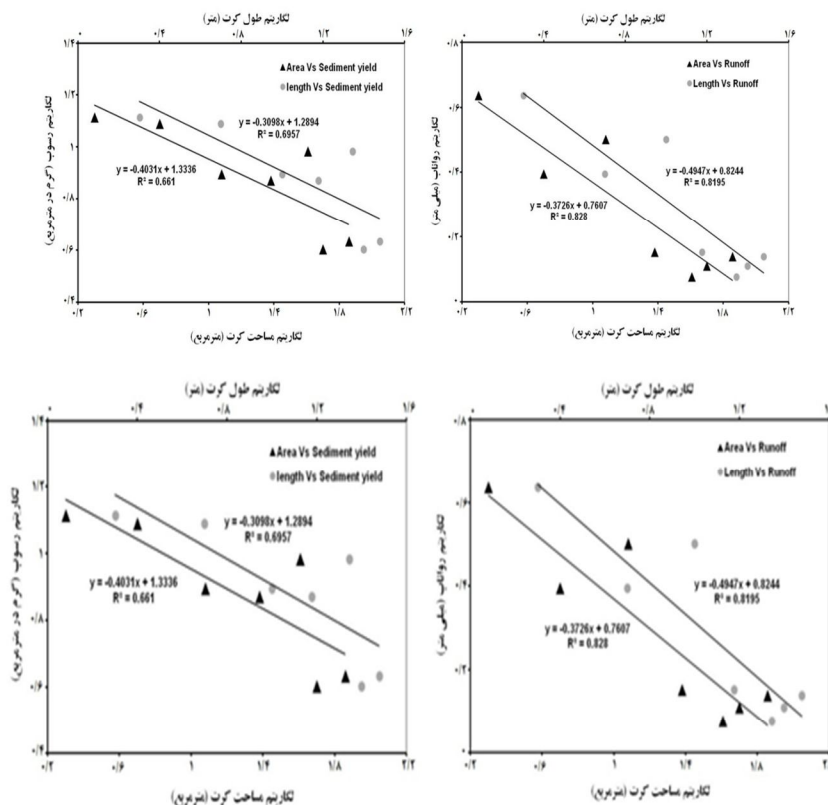
به نظر می‌رسد در کرت‌های بزرگ، تنها مساحت کوچکی از کرت که در نزدیکی خروجی آن قرار دارد، در فرآیند تولید رسوب شرکت داشته و ذرات جدا شده خاک از بخش بالا دستی کرت‌ها، در مسیر حرکت خود و قبل از رسیدن به خروجی کرت، مجدداً رسوب نموده‌اند که این امر سبب شده تا با افزایش ابعاد کرت، سهم ناحیه مشارکت‌کننده در تولید رسوب نسبت به مساحت کل کرت به تدریج کاهش یابد. به عبارت دیگر، در کرت‌های مورد بررسی در این پژوهش نسبت تحویل رسوب با افزایش مساحت کرت کاهش می‌یابد. مشاهدات صحرائی پس از وقوع رخدادهای نیز نشان داد که آثار جریان متمرکز و تشکیل شیار در کرت‌های مذکور مشاهده نمی‌شود و در نتیجه کرت‌های کوچک به دلیل کوتاه بودن مسیر انتقال ذرات رسوب تا خروجی، نقش‌آفرینی بیش‌تری در تولید رسوب داشته‌اند.

بررسی رابطه بین رسوب و مساحت کرت در رخدادهای مثل باران دهم (E10) نشان داد که در این رخداد برخلاف سایر رخدادهای، روند تغییرات مقدار رسوب در مقابل مساحت کرت افزایشی بود. بررسی ویژگی‌های این رخداد نشان می‌دهد که مقدار شاخص فرسایندهی رخداد E10



کرت‌ها در روند تغییرات روان‌آب و رسوب کرت‌های با طول مختلف با گزارش‌های Bagarello و همکاران (۲۰۱۱) مبنی بر معنی‌دار نبودن اثر عرض کرت بر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در کرت‌های فرسایشی مطابقت دارد. در این زمینه، بررسی منابع نیز نشان می‌دهد که تقسیم‌بندی‌های صورت گرفته در رابطه با مقیاس مکانی کرت‌ها، بیش‌تر بر مبنای طول کرت و امکان وقوع فرآیند-های فرسایشی بوده و بسیاری از پژوهشگران از کرت‌های با عرض‌های مختلف به منظور بررسی اثر طول شیب و مقیاس کرت استفاده نموده‌اند (Bagarello et al., 2011; Heras et al., 2011).

مکانی استفاده شده است (Le Bissonnais et al., 1998; Boix Fayos et al., 2007; Sadeghi et al., 2011). نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از طول کرت به جای مساحت آن در معادلات (۱) و (۲)، روند تغییرات مشاهده شده برای روان‌آب، رسوب و همچنین نتیجه‌گیری نهایی را تغییر نمی‌دهد. برای نمونه، شکل (۲) به روشنی نشان می‌دهد که تغییرات روان‌آب و رسوب در مقابل مساحت و یا طول کرت برای رخداد E1 کاملاً مشابه است. این امر به طور غیرمستقیم نشان می‌دهد که در شرایط این پژوهش، تاثیر عرض کرت بر عملکرد کرت‌های با ابعاد مختلف ناچیز بوده و اثر مقیاس بر عملکرد هر کرت را می‌توان با تغییرات طول آن تبیین نمود. عدم تاثیر عرض



شکل ۲- مقایسه‌ی رابطه‌ی طول و مساحت کرت با مقدار رواناب و رسوب (براساس معادلات ۱ و ۲) در واحد سطح برای رخداد E1

و رسوب می‌توان کرت‌ها را به دو گروه کرت‌های با طول بیش از ۱۰ و یا ۱۵ متر و کرت‌های با طول کم‌تر از ۱۰ متر تقسیم‌بندی نمود.

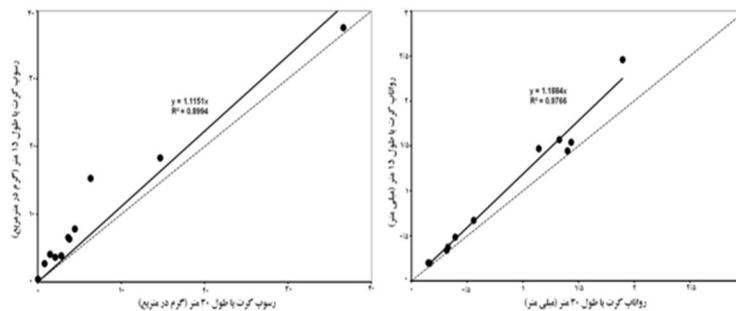
شکل (۳) نشان می‌دهد که عملکرد کرت با طول ۱۵ متر از نظر تولید رواناب در حدود ۱۸ درصد و از نظر تولید رسوب ۱۱ درصد با بزرگ‌ترین کرت احداث شده در این پژوهش (با طول ۳۰ متر) تفاوت دارد. این نتایج تا حدودی با گزارش‌های Sadeghi و همکاران (۲۰۱۱) مبنی بر مشابهت داده‌های حاصل از کرت‌های با طول بیش از ۱۵ و یا ۲۰ متر مطابقت دارد. از این‌رو، کرت‌های با طول ۱۰ تا ۱۵ متر را به عنوان حداقل طول مناسب کرت برای تعیین داده‌های قابل مقایسه با کرت‌های بزرگ دانست که این امر به خصوص زمانی که هدف از احداث کرت‌ها تهیه داده‌های صحرائی برای واسنجی مدل‌هایی نظیر USLE می‌باشد، بسیار اهمیت دارد.

به منظور مقایسه عملکرد کرت‌ها از نظر تولید رواناب و رسوب، داده‌های به دست آمده از کرت‌های با ابعاد مختلف مورد مقایسه آماری قرار گرفت (جدول ۴). نتایج نشان داد با وجود روند کاهشی در مقادیر این پارامترها، اختلاف میان کرت‌های با ابعاد مختلف در تمامی موارد معنی‌دار نبوده و عملکرد برخی از کرت‌ها از نظر تولید رواناب و رسوب از نظر آماری مشابه می‌باشد. در تمامی رخدادهای بارش کرت‌های با طول بیش از ۱۵ متر از نظر تولید رواناب و مقدار رسوب در واحد سطح عملکرد مشابهی داشتند. همچنین، عملکرد کرت‌های با طول بیش از ۱۰ متر در اغلب رخدادهای بزرگ‌تر مشابه بوده و به رغم وجود تفاوت‌های اندک، اختلاف عملکرد آن‌ها معنی‌دار نیست. مقدار رواناب در کرت‌های با طول کم‌تر از ۱۵ متر بیشتر بوده و با کرت‌های بزرگ‌تر نیز دارای اختلاف معنی‌دار بود. بنابراین، از نظر تولید رواناب

جدول ۴- آزمون مقایسه میانگین داده‌های رواناب و رسوب در واحد سطح برای رخدادهای مختلف باران\*

میانگین رواناب و رسوب در واحد سطح برای کرت‌های با ابعاد مختلف											ابعاد کرت (m)	میانگین	
E11	E10	E9	E8	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1			
۴/۳۳ <sup>a</sup>	۶/۶۶ <sup>a</sup>	۰/۷۰ <sup>a</sup>	۰/۲۸ <sup>a</sup>	۴/۵۰ <sup>a</sup>	۱/۰۳ <sup>a</sup>	۰/۲۸ <sup>a</sup>	۱/۳۶ <sup>a</sup>	۴/۰۸ <sup>a</sup>	۰/۷۸ <sup>a</sup>	۴/۶۶ <sup>a</sup>	۲×۱	رواناب (mm)	
۴/۰۰ <sup>a</sup>	۵/۶۶ <sup>b</sup>	۰/۶۴ <sup>ab</sup>	۰/۲۶ <sup>a</sup>	۲/۸۰ <sup>b</sup>	۰/۷۴ <sup>ab</sup>	۰/۲۶ <sup>ab</sup>	۱/۲۳ <sup>a</sup>	۴/۰۶ <sup>a</sup>	۰/۶۶ <sup>a</sup>	۲/۶۰ <sup>bc</sup>	۵×۱		
۳/۱۹ <sup>a</sup>	۴/۳۸ <sup>c</sup>	۰/۴۰ <sup>bc</sup>	۰/۲۰ <sup>a</sup>	۲/۶۱ <sup>bc</sup>	۰/۸۶ <sup>ab</sup>	۰/۲۳ <sup>abc</sup>	۰/۶۸ <sup>b</sup>	۲/۸۸ <sup>b</sup>	۰/۳۸ <sup>b</sup>	۳/۳۶ <sup>ab</sup>	۱۰×۱/۲		
۱/۵۴ <sup>b</sup>	۲/۴۵ <sup>d</sup>	۰/۳۷ <sup>c</sup>	۰/۱۹ <sup>a</sup>	۱/۴۷ <sup>bc</sup>	۰/۴۸ <sup>b</sup>	۰/۲۰ <sup>bc</sup>	۰/۶۷ <sup>b</sup>	۱/۵۶ <sup>c</sup>	۰/۳۴ <sup>b</sup>	۱/۴۴ <sup>c</sup>	۱۵×۱/۶		
۱/۳۸ <sup>b</sup>	۱/۹۷ <sup>d</sup>	۰/۳۱ <sup>c</sup>	۰/۱۶ <sup>a</sup>	۱/۲۱ <sup>bc</sup>	۰/۴۰ <sup>b</sup>	۰/۱۵ <sup>c</sup>	۰/۵۶ <sup>b</sup>	۱/۱۷ <sup>c</sup>	۰/۳۳ <sup>b</sup>	۱/۲۰ <sup>c</sup>	۲۲/۱×۱/۸		
۱/۲۲ <sup>b</sup>	۲/۰۳ <sup>d</sup>	۰/۳۴ <sup>c</sup>	۰/۱۸ <sup>a</sup>	۰/۹۲ <sup>c</sup>	۰/۳۶ <sup>b</sup>	۰/۱۶ <sup>c</sup>	۰/۵۸ <sup>b</sup>	۱/۱۶ <sup>c</sup>	۰/۳۲ <sup>b</sup>	۱/۳۰ <sup>c</sup>	۲۵×۲		
۱/۴۳ <sup>b</sup>	۱/۸۹ <sup>d</sup>	۰/۳۲ <sup>c</sup>	۰/۱۶ <sup>a</sup>	۱/۱۳ <sup>bc</sup>	۰/۳۸ <sup>b</sup>	۰/۱۴ <sup>c</sup>	۰/۵۵ <sup>b</sup>	۱/۳۲ <sup>c</sup>	۰/۳۱ <sup>b</sup>	۱/۳۹ <sup>c</sup>	۳۰×۲/۴		
۱۳/۲۷ <sup>a</sup>	۳۳/۲۱ <sup>b</sup>	۷/۰۰ <sup>a</sup>	۹/۵۸ <sup>a</sup>	۲۱/۵۱ <sup>a</sup>	۶/۷۵ <sup>a</sup>	۶/۹۱ <sup>a</sup>	۸/۱۲ <sup>a</sup>	۱۵/۲۴ <sup>a</sup>	۴/۶۳ <sup>ab</sup>	۱۴/۰۴ <sup>a</sup>	۲×۱		رسوب (gr.m <sup>-2</sup> )
۱۲/۶۷ <sup>a</sup>	۳۵/۳۶ <sup>a</sup>	۶/۵۳ <sup>a</sup>	۳/۱۶ <sup>ab</sup>	۱۸/۱۳ <sup>ab</sup>	۵/۵۸ <sup>ab</sup>	۴/۲۲ <sup>ab</sup>	۸/۹۳ <sup>a</sup>	۱۴/۶۳ <sup>a</sup>	۶/۶۳ <sup>a</sup>	۱۳/۲۴ <sup>a</sup>	۵×۱		
۱۰/۹۶ <sup>ab</sup>	۳۷/۲۶ <sup>a</sup>	۳/۷۳ <sup>b</sup>	۱/۴۳ <sup>b</sup>	۱۹/۲۳ <sup>a</sup>	۷/۴۳ <sup>a</sup>	۳/۰۲ <sup>b</sup>	۶/۱۵ <sup>b</sup>	۱۲/۵۲ <sup>ab</sup>	۴/۷۴ <sup>ab</sup>	۸/۳۰ <sup>b</sup>	۱۰×۱/۲		
۶/۳۴ <sup>abc</sup>	۳۷/۵۳ <sup>a</sup>	۳/۶۳ <sup>b</sup>	۰/۴۳ <sup>b</sup>	۱۸/۳۲ <sup>ab</sup>	۴/۰۸ <sup>b</sup>	۲/۷۰ <sup>bc</sup>	۶/۵۹ <sup>b</sup>	۱۵/۳۲ <sup>a</sup>	۳/۸۵ <sup>b</sup>	۷/۸۲ <sup>b</sup>	۱۵×۱/۶		
۷/۲۵ <sup>b</sup>	۳۵/۴۱ <sup>a</sup>	۱/۸۶ <sup>b</sup>	۰/۱۸ <sup>bc</sup>	۱۹/۴۳ <sup>a</sup>	۳/۳۸ <sup>b</sup>	۱/۸۴ <sup>bc</sup>	۷/۹۳ <sup>ab</sup>	۱۱/۶۸ <sup>ab</sup>	۳/۵۸ <sup>b</sup>	۱۰/۲۵ <sup>ab</sup>	۲۲/۱×۱/۸		
۷/۴۲ <sup>b</sup>	۳۶/۶۷ <sup>a</sup>	۱/۰۷ <sup>b</sup>	۰/۰۰ <sup>c</sup>	۱۶/۶۴ <sup>b</sup>	۳/۷۶ <sup>b</sup>	۱/۱۶ <sup>bc</sup>	۵/۰۳ <sup>bc</sup>	۱۰/۲۱ <sup>b</sup>	۱/۶۳ <sup>c</sup>	۴/۱۱ <sup>c</sup>	۲۵×۲		
۳/۷۶ <sup>c</sup>	۳۶/۶۳ <sup>a</sup>	۲/۰۴ <sup>b</sup>	۰/۰۰ <sup>c</sup>	۱۴/۶۴ <sup>b</sup>	۱/۴۳ <sup>b</sup>	۰/۸۱ <sup>c</sup>	۳/۶۱ <sup>c</sup>	۶/۳۲ <sup>b</sup>	۲/۷۷ <sup>b</sup>	۴/۴۲ <sup>bc</sup>	۳۰×۲/۴		

\* مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵٪ (مقایسه‌ی میانگین‌ها در هر ستون و برای هر رخداد به صورت مجزا صورت گرفته است)



شکل ۳- مقایسه‌ی میانگین مقدار رواناب (الف) و رسوب (ب) کرت‌های (۱۵m×۱m) با کرت‌های (۳۰m×۲m)

### نتیجه‌گیری

کاهش در کرت‌های با طول بیش از ۱۰ و یا ۱۵ متر ناچیز بوده و عملکرد این کرت‌ها از نظر آماری تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. بنابراین، با تکیه بر نتایج این پژوهش می‌توان در منطقه مذکور کرت‌های با طول بین ۱۰ تا ۱۵ متر را به عنوان حداقل طول مناسب برای اندازه‌گیری رسوب و رواناب به منظور استفاده در مدل‌هایی نظیر معادله جهانی هدررفت خاک پیشنهاد نمود.

در این پژوهش، تاثیر طیف نسبتاً وسیعی از مقیاس‌های مکانی کرت‌های فرسایشی، بر عملکرد آن‌ها از نظر تولید رواناب و رسوب در مقیاس تک‌رخدادهای باران طبیعی در یک منطقه نیمه‌خشک در شمال غرب ایران مورد پژوهش قرار گرفت. نتایج نشان داد تغییرات مربوط به مقدار رواناب و رسوب کرت‌های مختلف در طول سال بسیار زیاد بوده و این تغییرات برای کرت‌های بزرگ‌تر نسبت به کرت‌های کوچک‌تر بیشتر است. براساس نتایج، با افزایش ابعاد کرت، میزان رواناب در تمامی رخدادها به صورت توانی کاهش می‌یابد که این امر می‌تواند در نتیجه‌ی افزایش زمان تمرکز و در نتیجه فرصت بیشتر رواناب برای نفوذ در کرت‌های بزرگ‌تر باشد. روند مشاهده شده برای تغییرات رواناب با افزایش ابعاد کرت، در داده‌های رسوب اغلب رخدادها نیز به طور مشابه تکرار گردید اما برای رخداد E10 با دارا بودن حداکثر مقدار فرساینده‌ی در بین تمامی رخدادها، روند مذکور معکوس بوده و مقدار رسوب در واحد سطح کرت‌های بزرگ‌تر نسبت به کرت‌های کوچک بیشتر بود که این امر احتمالاً به دلیل اثر همزمان رطوبت اولیه بالا و نیز قدرت فرساینده‌ی زیاد این رخداد است که سبب افزایش سهولت انتقال ذرات رسوب به پایین دست کرت‌های بزرگ شده و در نتیجه نسبت تحویل رسوب در این کرت‌ها را افزایش داده است. مقایسه میانگین عملکرد کرت‌ها به صورت جداگانه نشان داد که به رغم روند کاهشی مشاهده شده در مورد رواناب و رسوب در واحد سطح با افزایش ابعاد کرت، مقدار این

### فهرست منابع

- بشری سه‌قلعه، م.، صادقی، س.ح.ر. و رنگ‌آور، ع. ۱۳۸۹. تعیین اندازه مناسب کرت‌های برآورد روان‌آب و رسوب آبخیزهای کوچک در حوزه آبخیز سنگانه، استان خراسان رضوی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۳(۵۰): ۳۹-۴۷.
- صادقی، س.ح.ر.، بشری سه‌قلعه، م.، رنگ‌آور، ع. ۱۳۸۷. مقایسه تغییرات رسوب با جهت دامنه و طول کرت در برآورد فرسایش خاک ناشی از رگبارها. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲(۲): ۲۳۹-۲۳۰.
- عرب‌خدری، م.، و جعفری اردکانی، ع. ۱۳۸۱. جمع‌بندی مقالات ارائه شده در اولین گردهمایی طرح‌های تحقیقاتی انجام گرفته با کرت‌های فرسایش. مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۵۰-۱۴۹.
- 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.
- Bagarello, V., Ferro, V., Giordano, G., Mannocchi, F., Pampalone, V., Todisco, F., and Vergni, L. 2011. Effect of plot size on measured soil loss for two Italian experimental sites. *Biosystems Engineering*, 108: 18-27.

- determining soil erosion by water. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29: 1293–1302.
- 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.
- 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.
- Rickson, R. J. 2006. Management of sediment production and prevention in river catchments: a Matter of Scale. P228-238, In: Owens, P.N and A.J. Collins (eds.), *Soil Erosion and Sediment Redistribution in River Catchments*. CAB International.
- Sadeghi, S.H.R., Bashari-Seghaleh, M. and Rangavar, A.S. 2011. Plot sizes dependency of runoff and sediment yield estimates from a small watershed. *Catena*, in press. doi: 10.1016/j.catena.2011.01.003
- Thomaz, E.L. and Vestena, L.R. 2012. Measurement of runoff and soil loss from two differently sized plots in a subtropical environment (Brazil). *Earth Surface Processes and Landforms*. 37: 363–373.
- USDA. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*, Eleventh Edition. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Vaezi, A., 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.
- Van de Giessen, N.C., Stomph, T.J., Ajayi, A.E. and Bagayoko, F. 2011. Scale effects in Hortonian surface runoff on agricultural slopes in West Africa: Field data and models. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 142: 95–101.
- Van de Giessen, N.C., Stomph, T.J. and de Ridder, N. 2005. Surface runoff scale effects in West African watersheds: Modeling and management options. *Agricultural Water Management*, 72: 109–130.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall-erosion losses: A guide to conservation planning. *US Department of Agriculture. Agriculture Handbook*. NO, 537. Pp: 5-10.
- 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.
- 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.
- Joel, A., Messing, I., Seguel, O. and Casanova, M. 2002. Measurement of surface water runoff from plots of two different sizes. *Hydrol. Process*. 16: 1467–1478.
- Hudson, N.W. 1993. Field measurement of soil erosion and runoff. *FAO Soils Bulletin*, vol. 68. FAO, Rome. Pp: 20-35.
- Le Bissonnais, Y., Benkhadra, H., Chaplot, V., Fox, D., King, D. and Daroussin, J. 1998. Crusting, runoff and sheet erosion on silty loamy soils at various scales and upscaling from m<sup>2</sup> to small catchments. *Soil and tillage Research*, 46: 69-80.
- Liu, B.Y., Nearing, M.A., Shi, P.J. and Jia, Z.W. 2001. Slope length effects on soil loss for steep slopes. P784–788, In: Stott, D. E., Mohtar, R. H., and G.C. Steinhardt ( eds.), *Sustaining the global farm, Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held May 24–29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory*.
- Moreno-de Las Heras, Nicolau, J.M., Merino-Martín, L. and Wilcox, B. P. 2010. Plot-scale effects on runoff and erosion along a slope degradation gradient. *Water Resources Research*. 46, W04503. doi: 10.1029/2009WR007875.
- Mutchler, C.K., Murphree, C.E. and McGregor, K.C. 1994. Laboratory and field plots for erosion research. P11-37, In: Lal, R (ed.), *Soil erosion research methods*. Second edition. CRC Press.
- Nearing, M.A., Govers, G. and Norton, L.D. 1999. Variability of soil erosion data from replicated plots. *Soil Science Society of America Journal*, 63: 1829-1835.
- Parsons, A.J., Wainwright, J., Powell, D.M., Kaduk, J. and Brazier, R.E. 2004. A conceptual model for

## Effect of plot size on measured runoff and sediment yield from natural rain-storms

Farrokh Asadzadeh<sup>1\*</sup>, Manoochehr Gorji<sup>2</sup>, Alireza Vaezi<sup>3</sup>, Reza Sokouti<sup>4</sup> and Salman Mirzaee<sup>5</sup>

<sup>1\*</sup> Assistant Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran  
Corresponding author email: [farrokhasadzadeh@gmail.com](mailto:farrokhasadzadeh@gmail.com)

<sup>2</sup> Associate Professors, Department of Soil Sciences, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran

<sup>4</sup> Assistant Professor, West Azerbaijan Agricultural and Natural Research Center, West Azerbaijan, Iran

<sup>5</sup> PhD student of Soil Science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Received: 15-12-2012

Accepted: 21-08-2013

### Abstract

Erosion Plots are widely used to evaluate the main factors affecting soil erosion. Therefore, understanding the effects of different variables such as spatial scale on their performance is needed. This study was carried out to assess the effect of plot scale on measured runoff and sediment yield at event scale. To represent different spatial scales, plots with seven sizes differing in length (2, 5, 10, 15, 22.1, 25, and 30 m) and width (1, 1, 1.2, 1.6, 1.8, 2, and 2.4 m, respectively) were constructed in Poldasht region, west Azarbayjan province, northwest Iran. For each size of plots, specific runoff and sediment yield were separately measured for 11 runoff producing natural storms during the study period from September, 2010 to September, 2011. The results indicated that the unit area runoff and sediment yield decreases with power form relation as plot area or length increases. Statistical analysis of runoff and sediment yield data showed that, in most cases, there is a significant difference between the results of 10 m or shorter in length, plots and longer plots ( $p < 0.05$ ). However, there was no significant difference between the results of 15 m and longer plots. Based on these results, plots with 10 to 15 m in length were able to produce comparable results with large plots.

**Keywords:** natural rainfall storm; runoff; sediment