

وابستگی خصوصیات رواناب به ابعاد کرت در کشتزار دیم تحت باران‌های منطقه نیمه خشک

علی‌رضا واعظی^{۱*}، مژگان نوقان^۲ و مجید فرومدی^۳

*^۱ دانشیار؛ گروه علوم خاک؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه زنجان؛ زنجان؛ ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: vaezi.alireza@gmail.com

^۲ دانش آموخته کارشناسی ارشد؛ گروه علوم خاک؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه زنجان؛ زنجان؛ ایران

^۳ دانشجوی دکتری؛ گروه علوم خاک؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه زنجان؛ زنجان؛ ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۷

چکیده

رواناب عامل مهم فرساینده خاک است که تولید آن تحت تأثیر عوامل متعدد از جمله طول دامنه قرار می‌گیرد. آگاهی از این موضوع می‌تواند در برنامه‌ریزی حفاظت خاک به‌ویژه در کشتزارهای دیم سودمند باشد. هدف از این مطالعه تعیین اثر طول دامنه بر خصوصیات رواناب (حجم کل رواناب، رواناب در واحد سطح و ضریب رواناب) در منطقه نیمه‌خشک در شمال غرب ایران بود. برای این منظور، تعداد ۲۲ کرت با طول‌های مختلف (۱ تا ۲۲/۱ متر) با عرض یکسان بر اساس معادله جهانی هدررفت خاک در زمینی دیم با شیب یکنواخت ۱۰ درصد احداث شدند. مشخصات رواناب تحت باران طبیعی برای یک دوره چهارده ماهه از فروردین ۱۳۹۴ تا خرداد ۱۳۹۵ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تفاوتی معنی‌دار بین کرت‌ها از نظر حجم کل رواناب تولید شده وجود داشت ($p < 0.001$). همچنین تولید رواناب در کرت‌های تا طول ۸ متر نیز متفاوت بود ($p < 0.01$) با این حال کرت‌های با طول بزرگ‌تر (از ۹ تا ۲۲/۱ متر) تفاوت معنی‌دار از نظر تولید رواناب نداشتند. به‌طور کلی رابطه‌ای معنی‌دار بین حجم رواناب و طول کرت ($R^2 = 0.97$) وجود داشت. ضریب رواناب طی رخدادهای بارندگی دچار تغییرات زیاد شد با این وجود رابطه‌ای بین ضریب رواناب و شدت بارندگی مشاهده نشد. رواناب در واحد سطح نیز با افزایش طول کرت تا طول ۸ متر به شدت افزایش یافته و از آن پس دچار کاهش تدریجی شد. بر این اساس کرت با طول ۸ متر را می‌توان کرتی مناسب برای مطالعات رواناب در کشتزارهای دیم در نظر گرفت.

کلید واژه‌ها: رواناب در واحد سطح؛ حجم کل رواناب؛ ضریب رواناب؛ کرت فرسایشی

مقدمه

خاک، مشخصات سطح زمین (درجه شیب، طول شیب و زبری) قرار می‌گیرد. طول شیب بیانگر فاصله‌ای است از نقطه شروع جریان سطحی آب در طول دامنه تا جایی که مواد منتقله به دلیل تغییر شیب رسوب یابند (Dunjo et al., 2004). این عامل به‌نوبه خود بر میزان تولید رواناب اثر می‌گذارد. وابستگی رواناب و فرسایش به مقیاس موضوع

رواناب بخشی از بارندگی است که به دلیل فزونی شدت باران بر نفوذپذیری خاک ایجاد می‌گردد (Moreno et al., 2010). مقدار تولید رواناب تحت تأثیر عواملی متعدد از جمله مشخصات باران (شدت و مدت)، ویژگی‌های خاک (ساختمان و نفوذپذیری)، پوشش سطح

وابستگی فرسایش خاک و رواناب به اندازه کرت، کلید بهبود مدیریت مزرعه در آینده است (Sadeghi et al., 2013).

در مطالعات مختلف، کرت‌ها در مقیاس و اندازه‌های متفاوت و برای اهداف گوناگون احداث شده‌اند. نکته بسیار مهم در طراحی یک کرت، مناسب بودن مقیاس مکانی کرت است زیرا یک کرت می‌بایست نماینده شرایط طبیعی باشد (Boix-Fayos et al., 2006). در بسیاری از موارد، پژوهش‌گران بدون در نظر گرفتن دلایل خاصی از کرت‌هایی با ابعاد متنوع در تحقیقات خود استفاده می‌نمایند (Sadeghi et al., 2004). برای نمونه می‌توان از تحقیقات Le Bissonais و همکاران (۱۹۹۸) در کرت‌هایی به ابعاد ۱، ۲۰ و ۵۰۰ متر مربع، و همکاران Boix-Fayos (۲۰۰۲) در کرت‌های ۰/۲۵ و ۵۰ متر مربع، و Bagarello (۲۰۰۷) در کرت‌های ۱ و ۳۰ متر مربع، و همکاران (۲۰۱۱) در کرت‌های ۳۵۰ و ۱۷۲ متر مربع، و Thomas و Vestena (۲۰۱۲) در کرت‌هایی به مساحت ۱ و ۱۰ متر مربع، و همکاران Moreno (۲۰۱۰) در کرت‌هایی به مساحت ۰/۵ و ۱ و ۱/۵ و ۴۵ متر مربع، و Sadeghi و همکاران (۲۰۱۳) در کرت‌هایی به مساحت ۴، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ متر مربع، و Chen و همکاران (۲۰۱۴) در کرت‌هایی به طول ۱۲ متر و عرض ۰/۱ متر، واعظی و وطنی (۱۳۹۳) در کرت‌هایی به طول ۱/۲ متر و عرض ۱ متر، قربانی و همکاران (۱۳۹۴) در کرت‌هایی به طول ۲۰ متر و عرض ۵۰ سانتی‌متر، Li و همکاران (۲۰۱۵) در کرت‌هایی به طول ۴ متر و عرض ۳۵ سانتی‌متر و Shen و همکاران (۲۰۱۶) در کرت‌هایی به طول ۱۰ متر و عرض ۱/۵ متر اشاره کرد. در بعضی از مطالعات استفاده از کرت‌های بسیار کوچک^۴ با شکل‌های هندسی مختلف و مساحت‌های ۰/۲۴ تا ۰/۴۵ متر مربع گزارش شده است (Bagarello and Ferro, 2004). کرت کوتاه‌تر از نظر فیزیکی نشان‌دهنده بخش بالایی یک کرت طویل می‌باشد،

مهمی است. با افزایش مقیاس دامنه شیب‌دار، آستانه باران بیش‌تری برای تشکیل رواناب نیاز است (Cammeraat, 2002). در مناطق کوچک‌تر این کاهش عمدتاً وابسته به تغییرپذیری در نفوذ، توزیع مکانی پوشش گیاهی و ویژگی خاک سطحی است (Kirkby et al., 2002). گزارش‌ها نشان می‌دهد که با افزایش طول دامنه، به دلیل به هم پیوستن جریان‌های بالادست، شدت تولید رواناب و هم‌چنین فرسایش خاک افزایش می‌یابد (Ollesch and Vacca, 2002). محققان برای بررسی این موضوع، ناگزیر به استفاده از کرت‌های فرسایشی با طول متفاوت می‌باشند. کرت‌های فرسایشی به‌عنوان محدوده‌های کوچک و قابل کنترل یکی از مهم‌ترین ابزارهای کسب اطلاعات پایه در رابطه با تولید رسوب به شمار می‌آیند (Boix-Fayos et al., 2001). استفاده از کرت‌های فرسایشی یکی از روش‌هایی است که به‌طور گسترده برای برآورد میزان فرسایش خاک در دوره‌های زمانی بلندمدت استفاده می‌شود (Boix-Fayos et al., 2006).

اطلاعات اولیه رواناب و هدررفت خاک که برای ارائه مدل‌های تجربی فرسایش خاک مانند معادله جهانی فرسایش خاک^۱ (USLE) و نسخه‌های آن (USLE-M^۲) و (MUSLE^۳) استفاده شده‌اند، از کرت‌های صحرایی فرسایش خاک به‌دست آمده‌اند و واسنجی این مدل‌ها در مناطق مختلف نیز اغلب بر پایه داده‌های حاصل از کرت‌های احداث شده در آن مناطق صورت می‌گیرد (Kinnell, 2010; Wischmeier and Smith, 1978) از این رو شناخت عوامل مؤثر بر نتایج حاصل از کرت‌ها دارای اهمیت فراوانی است که در این بین، ابعاد کرت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر نتایج حاصل از آن کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است (اسدزاده و همکاران، ۱۳۹۰). گزارش‌ها نشان می‌دهد که تفاوت در برآوردهای فرسایش به دلیل تفاوت در اندازه کرت‌ها بوده و درک صحیح از

¹ Universal soil loss equation

² Universal soil loss equation-Modified

³ Modified universal soil loss equation

⁴ Micro plot

هماهنگ شدن نتایج محققان حفاظت خاک کمک کند. در این تحقیق سعی شده است تا با احداث کرت‌هایی با ابعاد مختلف در کنار یکدیگر، اثر ابعاد کرت بر خصوصیات رواناب در شرایط مختلف بارندگی طبیعی در منطقه نیمه‌خشک در کاربری دیم مورد بررسی قرار گیرد. در این صورت می‌توان کوچک‌ترین کرت مناسب برای مطالعات هیدرولوژی و فرسایش خاک را در کاربری دیم پیشنهاد کرد.

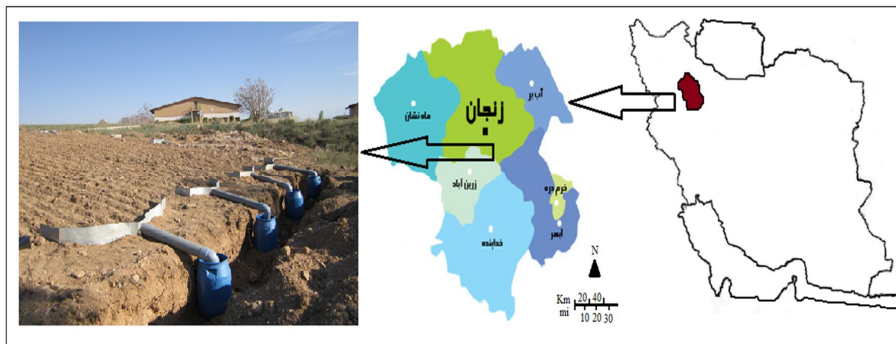
مواد و روش‌ها

انتخاب دامنه مطالعاتی

این تحقیق در دامنه‌ای با شیب یکنواخت ۱۰ درصد در محدوده دانشگاه زنجان، واقع بین $35^{\circ}25'45''$ تا $37^{\circ}15'24''$ عرض شمالی و $47^{\circ}1'12''$ تا $49^{\circ}52'31''$ طول شرقی انجام گرفت (شکل ۱). این منطقه دارای حداقل دمای حدود ۳۰- و حداکثر دمای آن ۴۰ درجه سلسیوس می‌باشد. متوسط بارندگی در دوره آماری ۳۳ ساله (۱۳۵۲-۱۳۸۵) حدود ۳۰۹ میلی‌متر بوده و میانگین درجه حرارت سالانه ۱۱ درجه سلسیوس می‌باشد. این منطقه بر اساس روش دومارتن دارای اقلیم نیمه‌خشک است. میانگین ارتفاع منطقه حدود ۱۵۰۰ متر از سطح دریا است (کلانتری و همکاران، ۱۳۸۷).

البته این رویداد بسیار منطقه‌ای است زیرا شدت، مدت و زمان اوج بارندگی در کرت‌هایی که در مکان‌های مختلف قرار دارند متفاوت است (Kinnell, 2009). در پژوهش‌ها کرت‌های کوچک با ابعاد ۱/۵ متر × ۱ متر و کرت‌های بزرگ با ابعاد ۱۰ متر × ۲ متر احداث شدند (Aghassi and Ben Hur, 1991). تفاوت در مقیاس اندازه کرت‌ها عامل بسیار مؤثری در میزان فرسایش خاک می‌باشد و علت آن: (۱) رسوب‌گذاری در طی مسیر (۲) تأثیر نفوذ ترجیحی بر مقدار نفوذ کل و (۳) افزایش سطح نفوذ است (Le Bissonais et al., 1998). اغلب بررسی‌ها در مورد اثر طول شیب بر هدررفت خاک در زمین‌های بدون پوشش گیاهی برای پاسخ به این پرسش است که آیا کوتاه شدن طول شیب فرسایش خاک را کاهش می‌دهد یا خیر؟ (Bagarello and Ferro, 2010).

به‌طور کلی بررسی تحقیقات پیشین نشان داد که با وجود انجام برخی مطالعات در سال‌های اخیر، هنوز همه جنبه‌های اثر ابعاد کرت بر رفتار هیدرولوژیکی خاک به‌درستی شناخته نشده است. در تمام مطالعات پیشین از کرت‌هایی با ابعاد متفاوت استفاده شده است که این امر باعث به‌دست آمدن نتایج متفاوت در آن‌ها شده است و تاکنون کرت مناسبی برای انجام پژوهش‌های حفاظت خاک پیشنهاد نشده است. کرتی با ابعاد مشخص می‌تواند به



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محل انجام آزمایش و کرت‌های آزمایشی

طراحی آزمایش و آماده‌سازی زمین پیش از انجام آزمایش

در این پژوهش تعداد ۲۲ کرت با عرض ۱ متر (Williams and Buckhouse, 1991) اما با طول متغیر احداث شد. مبنای طول کرت‌ها، طول کرت استاندارد USLE (با طول ۲۲/۱ متر و عرض ۱/۸۳ متر) بود (Wischmeier and Smith, 1978). به این ترتیب کرت‌ها از طول ۱ تا ۲۲/۱ متر احداث شدند. برای تعیین یکنواختی یا عدم یکنواختی خاک کشتزار، نمونه‌برداری اولیه از خاک از محل فرضی استقرار کرت‌ها انجام گرفت و ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله توزیع اندازه ذرات در طول و عرض کشتزار تعیین شدند. تحلیل داده‌ها نشان داد که تغییراتی از نظر توزیع اندازه ذرات خاک بین خاک کرت‌ها وجود نداشت (جدول ۱). با این حال تفاوت‌هایی از نظر توزیع اندازه ذرات بین بالادست و پایین‌دست شیب مشاهده شد. از این رو کرت‌های کوچک در وسط طول دامنه و کرت‌های بزرگ در سراسر طول دامنه جانمایی شدند. اعمال تکرار برای هر یک از کرت‌های با طول معین به دلیل محدود بودن عرض زمین فراهم نبود. در برخی مطالعات نیز محققین به‌ناچار به دلیل محدود بودن عرض زمین و تغییر شرایط توپوگرافی زمین، مطالعات خود را بدون اعمال تکرار انجام داده‌اند (Sadeghi et al., 2013). از آنجا که کرت بزرگ (به طول ۲۲/۱ متر) دارای عرض ۱/۸۳ متر و سایر کرت‌ها دارای عرض ثابت ۱ متر بودند، پیش از تحلیل داده‌ها میزان رواناب برای هر کرت (با عرض ۱ متر) به کرتی با عرض ۱/۸۳ متر تعمیم داده شد. اثر عرض کرت در اندازه‌گیری هدررفت خاک را نمی‌توان حذف کرد، احتمال تبدیل رواناب به جریان متمرکز بیش‌تر در کرت‌های باریک

اتفاق می‌افتد، زیرا در کرت‌های باریک رواناب سطحی فرصت کم‌تری برای انحراف از مسیر در حداکثر شیب دارد. بنابراین برای تفسیر درست از داده‌های هدررفت خاک از سطح کرت‌ها به تعریف تجربی اثر عرض کرت‌ها روی هدررفت خاک نیاز است (Bagarello and Ferro, 2010). به‌منظور پیاده‌سازی کرت‌ها، محدوده‌ای با طول ۳۰ متر و عرض ۳۵ متر انتخاب شد. سطح زمین با استفاده از بیل مکانیکی (بیل بکهو^۱) تسطیح گردید. سپس زمین با استفاده از پنجه‌سازی در جهت شیب شخم خورده و علف‌های هرز و بقایای گیاهی سطح آن جمع‌آوری شد. در طول دوره‌ی آزمایش نیز، علف‌های هرز روییده در سطح کرت به‌صورت دستی از سطح کرت حذف شدند. به‌منظور ایجاد فارو از خطی‌کار استفاده شده و پشته‌هایی به ارتفاع ۵ سانتی‌متر و فاصله ۲۵ سانتی‌متر از هم ایجاد گردید (Vaezi et al., 2008). اطراف کرت‌ها به‌منظور عدم تأثیر رواناب زمین‌های پیرامون به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر با استفاده از ورق گالوانیزه مسدود شد. حدود ۱۰ سانتی‌متر از ورق گالوانیزه به داخل خاک فرو برده شد تا از ورود رواناب زیرسطحی بالادست کرت به داخل کرت جلوگیری شود. طی دوره‌ی تحقیق، کرت‌ها به‌صورت آیش و مدیریت آن‌ها مشابه مدیریت کرت استاندارد بود (Wischmeier and Smith, 1978).

پیاده‌سازی کرت‌های آزمایشی

پس از آماده‌سازی زمین و تعیین محل استقرار کرت‌ها برای جلوگیری از خروج رواناب از داخل کرت‌ها، ضلع عرضی کرت‌ها با استفاده از پشته خاکی به ارتفاع ۵ سانتی‌متر محصور شد.

جدول ۱. تجزیه واریانس درصد ذرات شن، سیلت و رس در نقاط نمونه‌برداری

متغیر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
شن	۲۱	۴۶۷/۳۲	۲۲/۲۵	۷/۴۹	۰/۲۶
سیلت	۲۱	۴۳۲/۸۹	۲۰/۶۱	۲۹/۸۲	۰/۵۴
رس	۲۱	۵۶۶/۷۴	۲۷/۰۲	۱۳/۳۳	۰/۶۹

^۱ Bakho

مخلوط درز و شکاف خاک را در انتهای کرت‌ها و در محل ورود رواناب و رسوب به داخل مخازن پر کرده و هدایت رواناب و رسوب به داخل کرت‌ها را ممکن ساخت. در غیر این صورت رواناب به خاک نفوذ کرده و رسوب حمل شده در انتهای کرت جاگذاری می‌شد.

اندازه‌گیری خصوصیات رواناب

پس از هر رخداد باران طبیعی، ارتفاع مخلوط رواناب جمع شده داخل مخازن واقع در انتهای کرت‌ها با استفاده از اشل‌های واسنجی شده در مخزن اندازه‌گیری شد. ارتفاع اندازه‌گیری شده تبدیل به حجم شد و حجم کل مخلوط رواناب هر کرت به دست آمد. سپس مخلوط رواناب و رسوب داخل مخزن کاملاً به هم زده شده و نمونه‌ای همگن (حدود ۵۰۰ میلی‌لیتر) برداشته و به آزمایشگاه منتقل گردید. به منظور محاسبه حجم رواناب کل در هر کرت، در آزمایشگاه ابتدا حجم نمونه همگن توسط یک سیلندر مدرج به‌طور دقیق اندازه‌گیری و سپس وزن آن به‌وسیله ترازو تعیین شد و رواناب در واحد سطح نیز از تقسیم حجم کل رواناب تولید شده در هر کرت به مساحت آن کرت محاسبه شد. ضریب رواناب نیز از نسبت ارتفاع رواناب به ارتفاع باران برای هر کرت محاسبه شد.

برای محصور کردن عرض بالا و پایین کرت‌ها از ورق‌های آهن گالوانیزه به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد که ۱۰ سانتی‌متر آن داخل زمین فرو برده شده و ۲۰ سانتی‌متر آن نیز به‌عنوان دیواره محصورکننده کرت‌ها در نظر گرفته شد. در انتهای کرت‌ها جهت ایجاد چاله سراسری برای جای‌گذاری مخزن جمع‌آوری رواناب و رسوب از بیل مکانیکی استفاده شده و چاله‌هایی به عمق تقریبی ۰/۵ متر حفر گردید. در انتهای هر کرت مسدود شده، یک سوراخ به قطر حدود ۱۱ سانتی‌متر برای جاسازی لوله انتقال رواناب و رسوب روی ورق گالوانیزه تعبیه شد و سپس اطراف آن با چسب پلیکا آب‌بندی شد (شکل ۲). لوله‌ها از جنس پلیکا و به طول تقریبی ۱ متر و قطر ۱۰ سانتی‌متر بوده که انتهای آن دارای زانویی برای هدایت رواناب و رسوب به مخزن بود. در انتهای لوله نیز مخزن جمع‌آوری رواناب و رسوب با حجم‌های ۱۷ تا ۵۰ لیتر جای‌گذاری و اطراف آن‌ها با خاک پوشیده شد. دهانه مخازن جهت جلوگیری از ورود آب باران با پلاستیک و سپس گونی پوشانده شد. در نهایت برای جلوگیری از نفوذ رواناب در انتهای کرت و هم‌چنین هدایت بهتر رواناب و رسوب حمل شده به مخازن، انتهای کرت‌ها با یک لایه نازک مخلوط ماسه و سیمان پوشانده شد. این



(ب)



(الف)

شکل ۲. تصویر کرت‌ها، نمونه ۱ متری (الف) و نمونه ۱۳ متری (ب)

تعیین ویژگی‌های خاک

ابتدا نمونه‌های خاک در هوای آزاد خشک و کوبیده شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد (Tejada and Gonzalez, 2007). توزیع اندازه ذرات خاک شامل درصد شن (۲-۰/۰۵ میلی‌متر)، سیلت (۰/۰۵-۰/۰۰۲ میلی‌متر) و رس (کوچک‌تر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر) به روش هیدرومتری تعیین شد (Jordan et al., 2008). چگالی حقیقی (PD) به روش پیکنومتر (Klute, 1986)، درصد سنگریزه (قطر ۲ تا ۸ میلی‌متر) به روش وزنی، واکنش (pH) در گل اشباع به وسیله pH سنج، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع به وسیله EC سنج، ماده آلی به روش Walkley و Black (۱۹۴۷)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش خنثی‌سازی با اسیدکلریدریک نرمال و درصد سدیم تبادل (ESP) به روش استات آمونیوم (Klute, 1986) تعیین شدند. هم‌چنین چگالی ظاهری خاک (BD) با استفاده از سیلندر فلزی به قطر ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۴/۹ سانتی‌متر در صحرا (Blake and Hartge, 1986)، پایداری خاک‌دانه در خاک‌دانه‌های با قطر ۶ تا ۸ میلی‌متر بر اساس میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌های پایدار در آب به روش الک تر (Angers and Mehuys, 1993) برای مدت یک دقیقه (واعظی و قره داغلی، ۱۳۹۲) تعیین شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های رواناب پیش از تجزیه و تحلیل، از نظر توزیع نرمال بررسی شدند. برای این منظور چولگی و کشیدگی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در شرایط عدم وجود توزیع نرمال، برای نرمال کردن داده‌ها از روش‌های معمول (لگاریتم‌گیری و...) استفاده شد. از روش تجزیه واریانس برای بررسی تفاوت خصوصیات رواناب (حجم کل رواناب، رواناب در واحد سطح و ضریب رواناب) در کرت‌ها با استفاده از آزمون دانکن استفاده شد. از روابط رگرسیونی ساده به منظور بررسی رابطه بین طول کرت و مقدار حجم کل رواناب و مقدار رواناب در واحد سطح

استفاده گردید. برای انجام تجزیه و تحلیل داده‌ها و هم‌چنین مقایسه میانگن و تجزیه واریانس، از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ استفاده شد. هم‌چنین جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ استفاده گردید.

نتایج و بحث**ویژگی‌های خاک دامنه**

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دامنه در جدول ۲ آمده است. با توجه به میانگین درصد نسبی شن (۶۰/۱۶)، سیلت (۲۰/۵۹) و رس (۱۹/۲۵)، خاک دامنه دارای بافت لوم شنی بود. خاک‌های دارای مقادیر بیش‌تر شن، اثر ضربه قطرات باران را بهتر کاهش می‌دهند و به دلیل داشتن سرعت نفوذ آب بیش‌تر، رواناب کم‌تری تولید می‌کنند (Ramos and Martinez, 2006). خاک مورد بررسی از نوع سنگریزه‌ای (۱۸/۸۷ درصد) است. سنگریزه لایه خاک سطحی از یک طرف باعث محافظت سطح خاک از ضربه قطرات باران و در نتیجه کاهش فرساینده‌گی باران و فرسایش خاک و از طرف دیگر باعث افزایش ضریب زبری و ممانعت از انتقال ذرات ریز خاک می‌شود (Li, 2003). میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌های پایدار در آب ۱/۰۹ میلی‌متر و میانگین قطر خاک‌دانه‌ها در حالت طبیعی ۰/۹۲ میلی‌متر بود. دلیل کم بودن پایداری خاک‌دانه‌ها پایین بودن میانگین ماده آلی خاک دامنه (۱/۴۳ درصد) بود. عدم پایداری خاک‌دانه‌ها عامل مهم افزایش حساسیت خاک‌ها به فرسایش آبی به‌خصوص فرسایش سطحی است (Barthes and Roose, 2002). حداقل ماده آلی لازم برای حفظ و نگهداری پایداری خاک‌دانه‌ها ۲ درصد می‌باشد و اگر ماده آلی خاک بین ۱/۲ تا ۱/۵ درصد باشد، پایداری خاک‌دانه‌ها به سرعت کاهش می‌یابد (Angers and Mehuys, 1999). مواد آلی باعث افزایش پایداری ساختمان خاک می‌گردد و از طریق اتصال ذرات خاک به یکدیگر به فرآیند خاک‌دانه‌سازی کمک می‌کند (Felton, 1995). با توجه به این‌که میانگین آهک خاک دامنه ۱۴/۶۱ درصد بود، خاک در گروه خاک‌های آهکی قرار گرفت

مطالعه که باعث تولید رواناب و هدررفت خاک نیز شد به ترتیب ۰/۵ میلی‌متر بر ساعت و ۲۰ دقیقه بود. بیش‌ترین مدت و شدت باران در طول دوره مطالعه به ترتیب ۷۶۰ دقیقه و ۶ میلی‌متر بر ساعت بود. در مناطق نیمه‌خشک خاک‌های با پوشش گیاهی ضعیف در معرض باران‌های سیل‌آسا قرار دارند. این باران‌ها اغلب کوتاه‌مدت اما با شدت بالا می‌باشند (Ries and Band Hirt, 2008). شکل ۳ رابطه شدت و مدت بارندگی در رخداد‌های منجر به رواناب را نشان می‌دهد. تغییرات شدت باران در برابر مدت باران در این باران‌ها کم بوده و باران‌ها اغلب شدت و مدت کم داشتند.

تغییرات ضریب رواناب با شدت باران در شکل ۴ آمده است. به‌طور کلی با افزایش شدت باران، ضریب رواناب تا شدت ۲ میلی‌متر بر ساعت روند افزایشی داشت و پس از آن روند کاهشی داشت. این نتیجه برخلاف تصورات پیشین است که در آن بیان می‌کنند که باران‌های با شدت زیاد و مدت کم نسبت به باران‌های با شدت کم اما مدت زیاد رواناب بیشتری ایجاد می‌کنند (رفاهی، ۱۳۹۳).

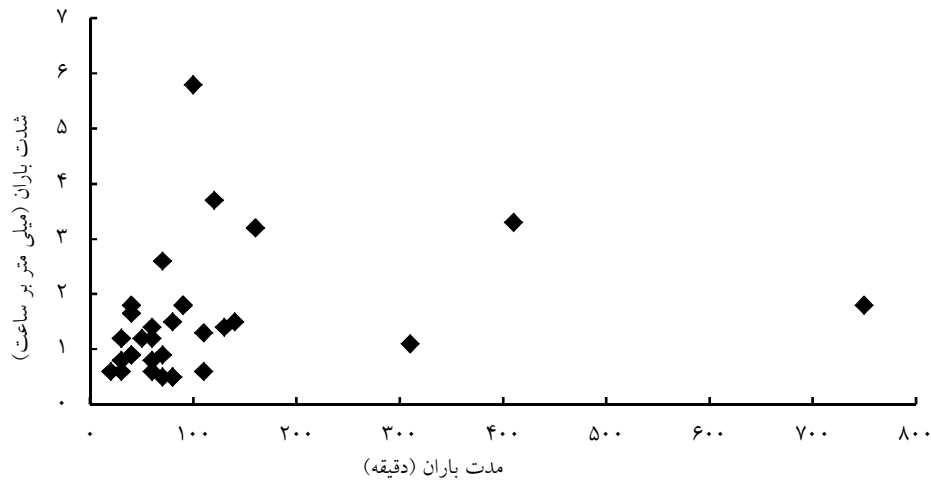
(Duiker *et al.*, 2001). آهک به‌عنوان یک عامل سیمانی‌کننده باعث ایجاد ساختمان در خاک و در نتیجه افزایش نفوذپذیری و کاهش رواناب می‌گردد (Vaezi *et al.*, 2010). میانگین هدایت الکتریکی به‌عنوان شاخصی از فرسایش‌پذیری خاک، ۲/۵۷ دسی‌زیمنس بر متر بود و خاک از نظر شوری در گروه خاک‌های غیر شور قرار داشت (Dahnke and Whitney, 1988). خاک منطقه با میانگین نفوذپذیری متوسط تا زیاد (۱۰/۰۲ سانتی‌متر بر ساعت) در کلاس ۲ نفوذپذیری مطابق با نمودار فرسایش‌پذیری خاک در مدل USLE قرار گرفت. خاک منطقه مورد مطالعه شامل رده اینسپتی‌سول است. رژیم حرارتی زیریک و رژیم رطوبتی مزیک می‌باشد (شعبانی، ۱۳۹۳)

تغییرات رواناب تحت تأثیر بارندگی

طی دوره ۱۴ ماهه، ۸۵ رخداد بارندگی مشاهده شد که مجموع آن‌ها حدود ۲۴۶ میلی‌متر بود. از میان این رخدادها، تعداد ۳۲ رخداد با مجموع بارش ۱۱۰/۸ میلی‌متر، منجر به تولید رواناب و هدررفت خاک در کرت‌ها شدند. کم‌ترین شدت و مدت باران طی دوره

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دامنه

ویژگی فیزیکی خاک	میانگین	انحراف معیار	ویژگی شیمیایی خاک	میانگین	انحراف معیار
شن (%)	۶۰/۱۶	۳/۶۴	واکنش	۷/۵۲	۰/۰۸
سیلت (%)	۲۰/۵۹	۳/۹۹	هدایت الکتریکی (dS.m^{-1})	۲/۵۷	۰/۴۳
رس (%)	۱۹/۲۵	۳/۱۹	درصد سدیم تبادلی	۵/۵۹	۲/۴۶
سنگریزه (%)	۱۸/۸۷	۵/۰۷	ماده آلی (%)	۱/۴۳	۰/۲۵
جرم مخصوص حقیقی (g.cm^{-3})	۲/۰۴	۰/۳۵	کربنات کلسیم معادل (%)	۱۴/۶۱	۳/۴۳
جرم مخصوص ظاهری (g.cm^{-3})	۱/۵۲	۰/۱۲			
اندازه خاکدانه (mm)	۰/۹۲	۰/۵۱			
میانگین وزنی قطر خاکدانه (mm)	۱/۰۹	۰/۳۶			
نفوذپذیری (cm.h^{-1})	۱۰/۰۲	۰/۴۲			



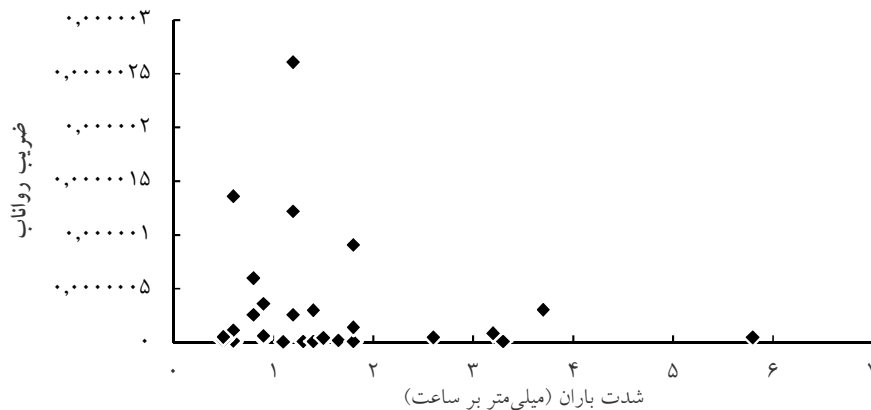
شکل ۳. تغییرات شدت و مدت باران در ۳۲ رخداد منجر به رواناب و رسوب

رخدادهایی از باران منجر به تولید رواناب در کرت‌ها شدند که با وجود شدت نسبتاً پایین، تداوم بیشتری داشتند و توانستند بر نفوذپذیری خاک غلبه کنند.

تغییرات حجم کل رواناب در کرت‌های با طول مختلف

بر اساس نتایج، تفاوتی معنی‌دار بین کرت‌های با طول متفاوت از نظر تولید رواناب وجود داشت ($p < 0/001$). تفاوت تولید رواناب در کرت‌های تا طول ۸ متر نیز معنی‌دار بود ($p < 0/01$) با این حال کرت‌های بین ۸ تا ۲۲/۱ متر تفاوت معنی‌دار از نظر تولید رواناب نداشتند (جدول ۳).

فرض این دیدگاه آن است که مقدار بارندگی در دو حالت مذکور یکسان باشد اما چیزی که در منطقه اتفاق افتاده این است که باران‌های با شدت بالا در منطقه به اندازه کافی تداوم نداشتند تا تأمین آب مناسب در سطح خاک ایجاد کرده و بتوانند بر نفوذپذیری خاک فائق آیند. از این رو تنها تأکید بر ویژگی شدت باران در ارزیابی توان باران برای تولید رواناب درست نمی‌باشد و انتظار نمی‌رود که با افزایش شدت باران در منطقه، ضریب رواناب نیز افزایش یابد. از این رو در منطقه مورد بررسی که باران‌های منطقه طی دوره پژوهشی اغلب شدت بالایی نداشتند (کم‌تر از ۶ میلی‌متر بر ساعت)، نقش مدت باران در تولید رواناب حائز اهمیت است. بنابراین اغلب



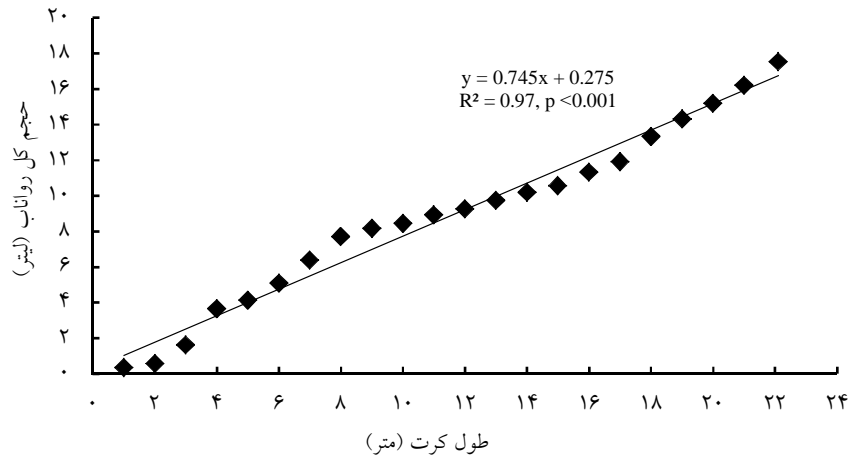
شکل ۴. تغییرات شدت باران و ضریب رواناب در رخدادهای باران منجر به رواناب

جدول ۳. تجزیه واریانس حجم کل رواناب در کرت‌های با طول متفاوت از ۱ تا ۲۲/۱ متر در ۳۲ رخداد باران منجر به رواناب از فروردین ۱۳۹۴ تا خرداد ۱۳۹۵

متغیر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	معنی داری
حجم کل رواناب در ۲۲ کرت	۲۱	۱۶۱۷۹/۰۸	۷۷۰/۴۳	۲/۶۱	۰/۰۰۰
اشتباه آزمایشی	۶۸۲	۲۰۱۲۰۵/۸۱	۲۹۵/۰۲	-	-
حجم کل رواناب در کرت ۱ تا ۸ متر	۷	۱۶۲۸/۴۰	۲۳۲/۶۲	۲/۸۱	۰/۰۰۸
اشتباه آزمایشی	۲۴۸	۲۰۵۲۲/۱۸	۸۲/۷۵	-	-
حجم کل رواناب در کرت ۸ تا ۲۲/۱ متر	۱۴	۴۳۴۱/۶۰	۳۱۰/۱۱	۰/۷۷	۰/۶۹
اشتباه آزمایشی	۴۶۵	۱۸۶۱۹۰/۷۶	۴۰۰/۴۱	-	-

با افزایش حجم و سرعت رواناب، فرصت برای نفوذ آب در خاک کم می‌شود. بنابراین با افزایش طول کرت، میزان نفوذ کاهش یافته و در پی آن میزان رواناب افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج، در کرت‌هایی با طول بیش از ۸ متر، رواناب کم‌تر تحت تأثیر ابعاد کرت قرار گرفت و آهنگ افزایش ملایم‌تری داشت. کرت‌های کوچک‌تر رواناب کم‌تری تولید کرده و میزان نفوذ و ذخیره آب در آن‌ها بالا است (Asadzadeh et al., 2012). با افزایش طول کرت‌ها حجم کل رواناب افزایش یافت که با یافته‌های Parsons و همکاران (۲۰۰۴) مبنی بر افزایش رواناب با افزایش طول کرت مطابقت داشت. اسدزاده و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای که بر روی ۷ کرت با طول‌های متفاوت (۲ تا ۳۰ متر) انجام دادند نشان دادند که رواناب و رسوب تولید شده در واحد سطح با افزایش طول کرت به‌صورت توانی کاهش می‌یابد. Thomas و Vestena (۲۰۱۲) نشان دادند کرت‌های کوچک‌تر (با طول ۱ متر) در مقایسه با کرت‌های بزرگ‌تر (با طول ۱۰ متر) رواناب بیش‌تری (در حدود ۳۱ درصد) به‌ویژه در باران‌هایی با شدت و مدت بالا تولید می‌کنند بنابراین توصیه شده که از کرت‌های کوتاه فقط برای اندازه‌گیری نفوذ باران و پاشمان ذرات استفاده شود.

مجموع حجم رواناب در ۳۲ رخداد باران، در کرت با طول ۲۲/۱ متر بیش‌ترین مقدار بود (۱۷/۵۴ لیتر) و در کرت با طول ۱ متر (۰/۳۶ لیتر) کم‌ترین مقدار بود. بین حجم رواناب و طول کرت، رابطه‌ای مثبت ($R^2=0/97$) وجود داشت (شکل ۵). تولید رواناب در کرت‌های کوچک‌تر، کم‌تر بود. در کنار آن‌که یک شیب طولانی نسبت به یک شیب کوتاه باران بیش‌تری دریافت می‌کند، علت افزایش رواناب با افزایش طول کرت این بود که رواناب‌های بالا در طول مسیر حرکت به هم پیوسته و حجم کل رواناب افزایش و فرصت نفوذ آب به خاک کاهش یافت (Cammeraat, 2002). اگر کرت کوچک باشد، فرسایش و حمل رسوب به‌دلیل کاهش جریان و سرعت آن، محدود است (Chaplot and Le Bissonais, 2000). به هر حال با افزایش طول کرت، زمان رسیدن یا تمرکز جریان در انتهای کرت نیز طولانی می‌شود و تنها بارش‌هایی که تداوم بیش‌تری داشته باشند می‌توانند منجر به افزایش چشم‌گیر رواناب در واحد سطح شوند. در مطالعه‌ای نشان داده شد که کرت‌های با طول بالاتر از ۱۰ متر انرژی رواناب کافی برای رسیدن تمام جریان از بالادست تا پایین‌دست دامنه را ندارند (Mounirou and Yacouba, 2012).



شکل ۵. رابطه بین طول کرت و حجم کل رواناب در کرت‌ها

تغییرات رواناب در واحد سطح در کرت‌های با طول مختلف

تغییرات رواناب در واحد سطح با طول کرت در شکل ۶ آمده است. بیش‌ترین میزان رواناب در واحد سطح (۰/۰۵۲ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مربع) در کرت با طول ۸ متر بود و کم‌ترین میزان آن (۰/۰۱۵ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مربع) در کرت با طول ۲ متر بود. به‌طور کلی با افزایش طول کرت، رواناب در واحد سطح تا طول ۸ متر افزایش و پس از آن تا کرت ۲۲/۱ متر کاهش یافت. نتایج آزمون مقایسه‌ای دانکن نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین کرت‌های با طول مختلف از نظر رواناب در واحد سطح وجود نداشت (جدول ۴). تفاوت رواناب در واحد سطح در کرت‌هایی با طول بیش از ۸ متر کم بود، به عبارت دیگر، در کرت‌هایی با طول بیش‌تر از ۸ متر، رواناب در واحد سطح کم‌تر تحت تأثیر طول کرت قرار گرفت. به‌دلیل این‌که رواناب‌های منطقه ضعیف بوده و میزان نفوذ بیش‌تر از رواناب بود، رواناب‌های ضعیف در مسیر حرکت جذب خاک شدند و به همین دلیل رواناب در واحد سطح در کرت‌های بزرگ کم شد. در کرت طولانی بعد از شخم و افزایش تخلخل خاک، امکان نفوذ آب در طول مسیر بیش‌تر است (Le Bissonais et al., 1998). یکی دیگر از فرضیات محتمل برای توضیح کاهش رواناب در واحد

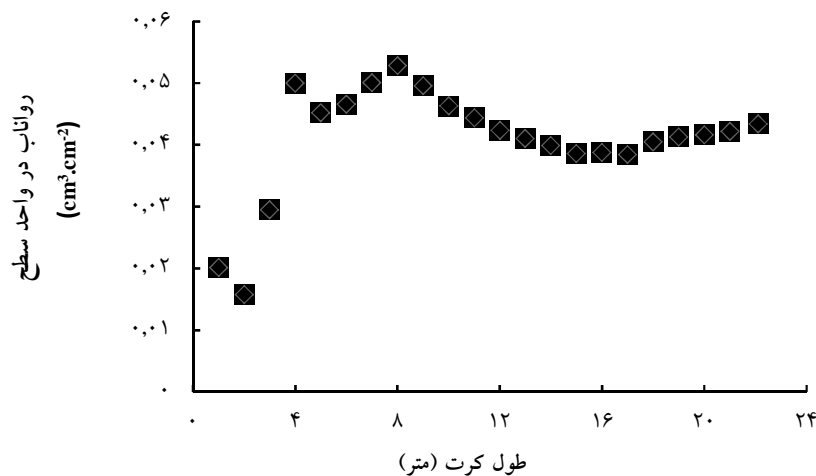
سطح با طول کرت افزایش زبری سطح و تأثیر بیش‌تر آن بر زمان تمرکز در کرت‌های بزرگ‌تر می‌باشد. از طرفی جریان آب در شیب‌های طولانی فرصت بیش‌تری برای نفوذ در خاک دارد، بنابراین مقدار رواناب بیش‌تری در کرت‌های کوچک قابل انتظار است (Boix-Fayos et al., 2006). Le Bissonais و همکاران (۱۹۹۸) در پژوهشی نشان دادند که رواناب در واحد سطح با افزایش طول کرت تا ۲۰ متر افزایش ولی بعد آن تا کرت‌های ۵۰۰ متری کاهش یافت. اسدزاده و همکاران (۱۳۹۰) دریافتند که با افزایش ابعاد کرت، تولید رواناب در واحد سطح در تمام رخدادهای به‌صورت تابع توانی کاهش یافت. آن‌ها نشان دادند که میزان رواناب در واحد سطح بین کرت‌های دارای طول کم‌تر از ۱۰ متر و کرت‌های بزرگ‌تر در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌دار وجود دارد. ولی در کرت‌هایی با طول ۱۵ متر و بیش‌تر در اغلب موارد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طور کلی در کرت‌هایی با طول بیش‌تر از ۱۵ متر، رواناب در واحد سطح کم‌تر تحت تأثیر ابعاد کرت قرار گرفت. بر اساس نتایج آن‌ها حداقل طول مناسب کرت به‌منظور اندازه‌گیری رواناب در مطالعات کرت‌های صحرایی برای مدل‌های خانواده USLE، ۱۵ متر بود. Joel و همکاران (۲۰۰۲) نیز نشان دادند که میزان رواناب در واحد سطح با افزایش طول کرت کاهش یافته

شیب به‌صورت نمایی افزایش یافت در حالی که در کرت بدون خاک‌ورزی ثابت بود. هم‌چنین Boix- Fayos و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که در شرایط رطوبتی خشک خاک، تفاوت چندانی بین رواناب حاصله از کرت‌های ۱ و ۳۰ متر مربعی وجود نداشت. در حالی که با افزایش رطوبت اولیه و در نتیجه افزایش یکنواختی الگوی رطوبت در خاک، ضریب رواناب با افزایش طول کرت کاهش یافت. Aghassi و Ben Hur (۱۹۹۱) نیز از کرت‌هایی در دو اندازه ۲×۱۰ و ۱×۱/۵ متر مربعی استفاده کردند. نتایج نشان داد که طول کرت تأثیری بر رواناب ندارد. هدرفت خاک در کرت‌های طولانی‌تر ۶/۴ برابر بیش‌تر از کرت‌های کوچک بود.

و در کرت‌های با مساحت ۵۰ متر مربع تقریباً ۴۰ درصد رواناب تولید شده در کرت‌هایی با مساحت ۰/۲۵ متر مربعی است. نتایج Moreno و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که با افزایش مقیاس کرت‌ها برای تمام دامنه‌ها کاهش کلی رواناب در واحد سطح وجود داشت که دلیل آن افزایش پوشش گیاهی و زبری سطح خاک بود ولی میزان این کاهش بسته به شرایط شیب تا حد زیادی در نوسان بود. Lal (۱۹۹۷) مشاهده کرد که رواناب در واحد سطح از کرت شخم‌خورده مستقل از طول شیب بود، اما در کرت بدون خاک‌ورزی، رواناب با طول شیب کاهش یافت. هم‌چنین نتایج نشان داد که در کرت‌هایی با خاک‌ورزی عمیق، فرسایش خاک در واحد سطح با طول

جدول ۴. تجزیه واریانس میزان رواناب در واحد سطح در کرت‌های با طول متفاوت (از ۱ تا ۲۲/۱ متر)

متغیر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
رواناب در واحد سطح در کل کرت‌ها	۲۱	۰/۱۷	۰/۰۰۸	۰/۲۴	۱/۰۰
اشتباه آزمایشی	۶۸۲	۴۲۸/۳۶	۰/۶۲	-	-
رواناب در واحد سطح در کرت ۱ تا ۸ متر	۷	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۵۳	۰/۸۱
اشتباه آزمایشی	۲۴۸	۸/۳۵	۰/۰۳	-	-
رواناب در واحد سطح کرت ۸ تا ۲۲/۱ متر	۱۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۰۱	۱/۰۰
اشتباه آزمایشی	۴۶۵	۱۷/۴۲	۰/۰۴	-	-



شکل ۶. تغییرات رواناب در واحد سطح در کرت‌های مورد بررسی

Sadeghi و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که رابطه بین ابعاد کرت و مقادیر رواناب در واحد سطح به صورت رابطه غیرخطی منفی است زیرا کرت‌های کوچک‌تر به خاطر فاصله کوتاه، سریع‌تر به رواناب پاسخ می‌دهند. همچنین طول بهینه برای برآورد پارامترهای رواناب و رسوب ۱۵ متر و ترجیحاً ۲۰ متر برای کرت‌های واقع در شیب جنوبی بود. اختلاف رواناب در واحد سطح برای کرت‌های با طول مختلف در دامنه رو به شمال معنی‌دار نبود. نتایج Wilcox و همکاران (۲۰۰۳) نیز نشان داد که رواناب در واحد سطح در دامنه‌های تخریب شده حساسیت کم‌تری به طول کرت دارد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که طول دامنه که بر مبنای طول کرت فرسایشی قابل بررسی می‌باشد، از عوامل مهم مؤثر بر خصوصیات رواناب در اراضی دیم منطقه نیمه‌خشک می‌باشد. با افزایش طول کرت از ۱ تا ۸ متر، حجم کل تولید رواناب در کرت‌ها افزایش چشم‌گیری پیدا کرد. با این حال در کرت‌های با طول بزرگ‌تر، (از ۹ تا ۲۲/۱ متر) این افزایش روندی تدریجی و غیرمعنی‌دار بین کرت‌ها نشان داد. این نتایج مؤید آن است که تا طول ۸ متر به دلیل پیوستن جریان‌های بالادست به پایین‌دست، فرصت نفوذ

فهرست منابع

- اسدزاده، ف.، گرجی، م.، واعظی، ع.ر.، سکوتی، ر. و میرزایی، س. ۱۳۹۲. اثر اندازه کرت بر میزان رواناب و رسوب اندازه‌گیری شده ناشی از رگبارهای طبیعی. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۲(۴): ۸۰-۷۰.
- اسدزاده، ف.، گرجی، م.، واعظی، ع.ر.، سکوتی، ر. و شرفا، م. ۱۳۹۰. ارزیابی اثر ابعاد کرت‌های صحرائی بر میزان رواناب حاصله از رخدادهای بارندگی. پنجمین کنفرانس سراسرس آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، ۱۰ اسفند، کرمان.
- رفاهی، ح.ق. ۱۳۹۳. فرسایش آبی و کنترل آن. چاپ هفتم. مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران. صفحه ۲۵-۳۲.
- شعبانی، ح. ۱۳۹۳. مطالعه تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک با استفاده از تکنیک زمین آمار در محدوده‌ی دانشگاه زنجان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان. ۲۰۹ صفحه.
- قربانی، ش.، کلیعلی، س. و نادری، م. ۱۳۹۴. تأثیر پوشش سنگریزه سطحی بر فرسایش شیار بر اساس تشکیل شیار در سطح خاک. نشریه محیط زیست و توریسم، صفحه ۱۴-۱۵.
- کلاتری، م.، عباسی، ع. و شیرانی، م. ۱۳۸۷. مطالعات طرح آمایش استان زنجان. معاونت برنامه ریزی استانداری زنجان، صفحه ۲۷-۳۲.

کاهش یافته و رواناب به شدت افزایش می‌یابد. با این وجود در کرت‌های با طول بزرگ‌تر، احتمالاً بخشی از جریان‌های بالادست در مسیر نفوذ یافته و از این رو افزایش تولید رواناب بین این کرت‌ها چشم‌گیر نیست. همچنین با افزایش طول کرت، رواناب در واحد سطح از کرت ۱ متر تا کرت ۸ متر افزایش و پس از آن به تدریج کاهش یافت. بیش‌ترین میزان رواناب در واحد سطح (۰/۰۵۲ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مربع) در کرت با طول ۸ متر بود و کم‌ترین میزان آن (۰/۰۱۵ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مربع) در کرت با طول ۲ متر بود. تفاوت رواناب در واحد سطح در کرت‌هایی با طول بیش از ۸ متر کم بود. با افزایش طول کرت (از ۹ تا ۲۲ متر)، زمان رسیدن یا تمرکز جریان در انتهای کرت نیز طولانی می‌شود و تنها بارش‌هایی که تداوم بیش‌تری داشته باشند می‌توانند منجر به افزایش چشم‌گیر رواناب در واحد سطح شوند. به هر حال احتمال وقوع چنین بارش‌هایی طی سال پایین می‌باشد. از این رو در غالب باران‌ها، رواناب‌های ضعیف که در کرت‌های بزرگ شکل می‌گیرند، در مسیر حرکت به سمت خروجی کرت‌ها جذب خاک شدند و در نتیجه رواناب در واحد سطح کاهش می‌یابد.

واعظی، ع.ر. و قره‌داغلی، ح. ۱۳۹۲. کمی‌سازی گسترش فرسایش شباری در خاک‌های مارنی در حوزه آبخیز زنجان‌رود در شمال غرب زنجان. نشریه آب و خاک، ۲۷: ۸۷۲-۸۸۱.

واعظی، ع.ر. و وطنی، ا. ۱۳۹۳. هدررفت خاک در شیپارها و تغییرات زمانی آن طی بارندگی در خاک‌های با بافت مختلف. نشریه دانش آب و خاک، ۳: ۸۳-۹۲.

Aghassi, M. and Ben Hur, M. 1991. Effect of Slope Length, Aspect and Phosphogypsum on Runoff and Erosion from Steep Slopes. Australian Journal Soil Research, 29: 197-207.

Angers, D. A., Edwards, L. M., Sanderson, J. B. and Bissonette, N. 1999. Soil organic matter quality and aggregate stability under eight potato cropping sequences in a fine sandy loam of Prince Edward Island. Canadian Journal of Soil Science, 79(3): 411-417.

Angers, D.A. and Mehuys, G.R. 1993. Aggregate stability to water. In: Carter, M.R. (Ed.), Soil Sampling and Methods of Analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. Boca Raton. pp: 651-657.

Asadzadeh, F., Gorji, M., Vaezi, A., Sokouti, R. and Shorafa, M. 2012. Scale Effect on Runoff from Filed Plots under Natural Rainfall. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 12(9):1148-1152.

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.

Bagarello, V. and Ferro, V. 2010. Analysis of soil loss data from plots of different length for the Sparacia experimental area, Sicily, Italy. Biosystems Engineering, 105: 411-422.

Bagarello, V., Ferro, G., Giordano, F., Mannocchi, V., Pampalone, F. and Vergni, L. 2011. Effect of plot size on measured soil loss for two Italian experimental sites. Biosystems Engineering, 18-27.

Barthes, B. and Roose, A. 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. Catena, 77: 133-149.

Blake, G.R. and Hartge, K.H. 1986. Bulk density, In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1, 2nd ed. Agronomy Monograph, 9. American Society of Agronomy. Madison, WI, 363-375.

Boix-Fayos, C., Calva, A., Imeson, A.C. and Sorino-Sota, M.D. 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and use of aggregate size and semiarid land use East and Central Asia. Science in China (Series c), 45: 48-54.

Boix-Fayos, C., Martinez-Mena, M., Arnau-Rosalen, 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(3):267-285.

Boix-fayos, C., Martinez-Mena, M., Calvo-Cases, A., Arnau- Rosalen, E., Albaladejo, J. and Castillo, V. 2007. Causes and underlying processes of measurement variability in field erosion plots in Mediterranean conditions. Earth surf. Processes Landforms, 32: 85-101.

Cammeraat, L.H. 2002. A review of two strongly contrasting geomorphological systems within the context of scale. A review of two strongly contrasting geomorphological systems within the context of scale, 27 (11): 1201- 1222.

Chaplot, V. and Le Bissonais, Y. 2000. Field measurements of interrill erosion under different slopes and plot sizes. Earth Surface Processes and Landforms, 25: 145-153.

Chen, X., Zhao, Y., Mi, H. and Mo, B. 2014. An improved experimental method for simulating erosion processes by concentrated channel flow. CrossMark, 9:148-150.

Dahnke, W.C. and Whitney, D.A. 1988. Measurement of soil salinity. Recommended chemical soil test procedures for the North Central Regional Publication 221. North Dakota Agricultural Experiment Staton Bull, 499, 32-34.

Duiker, S.W. Flanagan, D.C. and Lal, R. 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soil of southwest Spain. Catena, 45: 103-121.

Dunjo, G., Pardini, G. and Gisbert, M. 2004. The role of land use and land cover on runoff generation and sediment yield at a micro plot scale in a small Mediterranean catchment. Journal of Arid Environments, 57:239-256.

Felton, G.K. 1995. Soil hydraulic properties on municipal solid waste. Trans American Society of Association Executives, 38(3): 775-782.

Joel, A., Messing, I., Seguel, O. and Casanova, M. 2002. Measurement of surface water runoff from plots of two different sizes. Hydrological Processes, 16: 1467-1478.

Jordan, A. and Martinez-Zavala, L. 2008. Soil loss and runoff rates on unpaved forest roads in southern Spain after simulated rainfall. Forest Ecology and Management, 255: 913-919.

- Kinnell, P.I.A. 2009. The impact of slope length on the discharge of sediment by rain impact induced saltation and suspension, *Earth Surface Processes Landforms*, 34 (10): 1393–1407.
- Kinnell, P.I.A. 2010. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: A review. *Journal of Hydrology*, 385: 384-397.
- Kirkby, M.J., Bracken, L. and Reaney, S. 2002. The influence of land use, soils and topography on the delivery of hillslope runoff to channels in SE Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27(13): 1459-1473.
- Klute, A. 1986. *Methods of Soil Analysis, Part I: Physical and Mineralogical Methods*. SSSA Book Series No. 5. Soil Science Society of American Madison, 1188 pp.
- Lal, R. 1997. Soil degradative effects of slope length and tillage methods on alfisols in western Nigeria. I. Runoff, erosion and crop response. *Land Degradation and Development*, 8 (3): 201–219.
- 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 m² to small catchments, 1998. *Soil and Tillage Research*, 46: 69–80.
- Li, X.Y. 2003. Gravel-sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China. *Catena*, 52: 105-127.
- Li, Z., Zhang, G., Geng, R. and Wang, H. 2015. Rill erodibility as influence by soil and land use in a small watershed of the Loess Plateau, China. *Biosystems Engineering*, 129: 248-257.
- Moreno, M., Heras, L., Nicolau, J., Martin, L.M. and Wilcox, B.P. 2010. Plot-scale effects on runoff and erosion along a slope degradation gradient. *Water Resources Research*, 46: 1-12.
- Ollesch, G. and Vacca, A. 2002. Influence of time on measurement results of erosion plot studies. *Soil and Tillage Research*, 67: 23–39.
- Parsons, A.J., Wainwright, J., Powell, D.M., Kaduk, J. and Brazier, R.E. 2004. A conceptual model for determining soil erosion by water. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29: 1293–1302.
- Ramos, M.C. and Martinez- Casanovas, J.A. 2006. Trends in precipitation concentration and extremes in the Mediterranean penedes- Anoïu region, NE Spain. *Climatic Change*, 74: 457-474.
- Ries, J. and Band Hirt, U. 2008. Permanent of soil surface crust on abandoned farmland in the central Ebro Basin/ Spain. *Catena*, 72: 282-296.
- Sadeghi, S.H.R. and Behzadfar, M. 2004. Temporal variation of rainfall erosivity factor in Mazandaran Province. Iran, In: *The Fourth International Iran and Russia Conference on Agriculture and Natural Resource*, Shahr Kord, Iran, 8-10 September, PP. 1280-1285.
- Sadeghi, S.H.R., BashariSeghaleh, M. and Rangavar, A.S. 2013. Plot sizes dependency of runoff and sediment yield estimates from a small watershed. *Catena*, 102: 55-61.
- Shen, H., Zheng, F., Wen, L., Han, Y. and Hu, W. 2016. Impacts of rainfall intensity and slope gradient on rill erosion processes at loessial hillslope. *Soil and Tillage Research*, 155: 429-436.
- Tejada, M. and Gonzalez, J.L. 2007. Influence of organic amendments on soil structure and soil loss under simulated rain. *Soil and Tillage Research*, 93: 197-205.
- Thomas, 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.
- Vaezi. A.R., Bahrami. H.A., Sadeghi, S.H.R. and Mahdian. M.H. 2010. Modeling relationship between runoff and soil properties in dry-farming lands, NW Iran. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 7:2577–2607.
- Vaezi. A.R., Sadeghi, S.H.R., Bahrami, H.A. and Mahdian, H. 2008. Modeling the USLE K-factor for calcareous soil in north western Iran, *Geomorphology*, 97: 411-423.
- Walkley, A. and Black, C.A. 1947. Determination of organic matter in the soil by chromic acid digestion. *Soil Science*, 63: 251–264.
- Wilcox, B.P., Breshears, D.D. and Allen, C.D. 2003. Ecohydrology of a resource-conserving semiarid woodland: Effects of scale and disturbance, *Ecological Monographs*, 73: 223–239.
- Williams, J.D. and Backhouse, J.C. 1991. Surface runoff plot design for use in watershed research. *Journal of Range Management*, 44: 411-412.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*, Agric. Handbook., 537, U.S. Department of Agricultural Science and Educational Administration, Washington, D.C.



Dependency of runoff characteristics on the plot scale in rainfed land under semi-arid rainfalls

Alireza. Vaezi^{1*}, Mojgan Noghan² and Majid Foroumadi³

1*) Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

*Corresponding author email: vaezi.alireza@gmail.com

2) Former M.Sc. student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3) Ph.D. Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received:05-02-2017

Accepted: 21-06-2017

Abstract

Runoff is the major soil erosive factor which can be controlled to different factors such as hillslope length. Knowledge of the role of hillslope length in runoff can help in designing soil conservation practices particularly in rainfed lands. This study was carried out to investigate the effect of slope length on runoff in rainfed lands of semi-arid regions, north west of Iran. Twenty two plots with different lengths ranging from 1 to 22.1 m and with the same width were installed on a 10% slope according to the Universal Soil Loss Equation model. Runoff characteristics (total runoff volume, runoff per area and runoff coefficient) were determined for a fourteen-month period from March 2015 to Jun 2016. The results indicated that significant difference was found among the plots in total runoff volume ($P < 0.0001$). Total runoff volume was significantly differed from 1-m plot to 8-m plot while in the higher plots (from 9-m to 22.1-m plots) there was no statistically difference among the plots ($R^2=0.97$). In general, a significant relationship was found between total runoff and the plot length. Runoff coefficient was largely differed in the rainfall event. There was no significant relationship between runoff coefficient and rainfall intensity. Runoff per area increased from plot 1-m to plot 8-m and decreased gradually in the larger plots. According to this result, plot 8-m can be considered as a proper plot for investigating runoff in the rainfed lands.

Keywords: runoff per area, total runoff volume, runoff coefficient, erosion plot