اثرات ابعاد کرت بر تولید رواناب تحت رخدادهای منفرد باران طبیعی

فرخ اسدزاده[۱]*، منوچهر گرجی[۲]، علیرضا واعظی[۳]، رضا سکوتی[۴] و مهدی شرفا[۲]

[۱و۲]دانشجوی دکتری ودانشیاران گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران، [۳]استادیار گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه زنجان، [۴]استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۶- تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۹/۱۱)

چکیده

شناخت عوامل موثر بر نتایج کرت‌های صحرایی به دلیل کاربرد گسترده‌ی آن‌ها در مطالعات حفاظت خاک بسیار ضروری است. در این مطالعه اثر ابعاد کرت، بر تولید رواناب در واحد سطح، تحت رخدادهای باران طبیعی در دو منطقه از کشور (کوهین در استان قزوین و پلدشت در استان آذربایجان‌غربی) در یک بازه زمانی یک ساله از شهریور سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۰ بررسی شد. برای این منظور در هر دو منطقه، تعداد هفت کرت با ابعاد مختلف شامل 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 و با سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی احداث گردید. در دوره تحقیق، به ترتیب تعداد ۹ و ۱۱ رخداد، منجر به تولید رواناب در دو منطقه یاد شده ثبت گردید. در هر دو منطقه با افزایش ابعاد کرت‌ها، تولید رواناب در واحد سطح در تمام رخدادها به صورت تابع توانی کاهش یافت ($۰/۹۸ \leq R^2 \leq ۰/۸۳$). همچنین در هر دو منطقه، با افزایش مقدار فرسایندگی باران بر اساس شاخص EI_{30}، میزان تاثیر ابعاد کرت بر تولید رواناب در واحد سطح افزایش یافت. بین کرت‌های با طول کمتر از ۱۰ متر و کرت-های بزرگ‌تر، تفاوت معنی‌دار در تولید رواناب در واحد سطح مشاهده شد ولی در کرت‌های با طول ۱۵ متر یا بیشتر تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد ($P < ۰/۰۵$). براساس نتایج، حداقل طول مناسب کرت به منظور اندازه‌گیری رواناب در مطالعات کرت‌های صحرایی برای مدل‌های خانواده‌ی USLE، ۱۵ متر بود.

واژه‌های کلیدی: باران طبیعی، رواناب در واحد سطح، طول کرت، فرسایندگی باران

مقدمه

کرت‌های رواناب به عنوان محدوده‌های کوچک و قابل کنترل، یکی از مهم‌ترین ابزارهای کسب اطلاعات پایه در رابطه با رواناب و هدررفت خاک محسوب می‌شوند (Boix-Fayos et al., 2006). اطلاعات اولیه‌ی مربوط به رواناب و تلفات خاک برای توسعه‌ی بسیاری از مدل‌های تجربی و فرآیندی فرسایش خاک نظیر مدل‌های USLE، USLE-M، MUSLE و WEPP از کرت‌های صحرایی به دست آمده‌اند و واسنجی مدل‌ها در مناطق مختلف نیز اغلب بر پایه‌ی داده‌های حاصل از کرت‌های احداث شده در آن مناطق صورت می‌گیرد (Wischmeier and Smith, 1987; Asadi et el., 2008; Sadeghi et al., 2007; Kinnell, 2010). از این رو شناخت عوامل موثر بر نتایج حاصل از کرت‌ها، دارای اهمیت فراوانی است که در این بین، ابعاد کرت به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر نتایج حاصل از آن ، کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است.

بررسی منابع نشان می‌دهد که در مطالعات مختلف، کرت‌ها در مقیاس و اندازه‌های متفاوت و برای اهداف گوناگون احداث شده‌اند. در این ارتباط، می‌توان به پژوهش‌های Thomaz and Vestena (2012) در کرت‌های به مساحت ۱ و ۱۰ مترمربع؛ Joel et al., (2002) در کرت‌های به مساحت ۰/۲۵ و ۵۰ مترمربع؛ Boix-Fayos et al., (2006) در کرت‌های به مساحت ۱ و ۳۰ مترمربع؛ Moreno-de las Heras et al., (2010) در کرت‌های به مساحت ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۴۵ مترمربع؛ Bagarello and Ferro (2010) در کرت‌های به مساحت ۱۷۲ و ۳۵۰ مترمربع و Sadeghi et al., (2011) در کرت‌های به مساحت ۴، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ و ۵۰ مترمربع اشاره کرد. در هر حال باید اذعان داشت که در بسیاری از موارد، پژوهشگران بدون در نظر گرفتن دلایل خاصی، از کرت‌های با ابعاد متنوع در تحقیقات خود استفاده می‌نمایند (Sadeghi et al., 2008).

نتایج تحقیقات انجام شده توسط محققین نشان می‌دهد که تاثیر ابعاد کرت بر تولید رواناب بسیار متفاوت می‌باشد. به بیان دیگر، رفتار هیدرولوژیکی خاک از نظر تولید رواناب در کرت‌های با اندازه‌های مختلف متفاوت است.

بررسی‌های Mathier and Roy (1996) نشان داد که تحت شرایط وجود اندوده‌ی سطحی و شدت‌های کم و متوسط

*پست الکترونیک مکاتبه کننده: asadizad@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

بارندگی، اثر ابعاد کرت بر نتایج حاصله در محدوده‌ی کرت‌های با طول ۵ تا ۵۵ متر ناچیز است. در مطالعه‌ای Le Bissonnais و همکاران(1998) نتیجه گرفتند که مقدار رواناب در واحد سطح در کرت‌های با مساحت ۱ مترمربع در مقایسه با کرت‌های ۲۰ مترمربع کم‌تر ولی در مقایسه با کرت‌های ۵۰۰ مترمربع بیشتر است، در حالی که Joel و همکاران(2002) نشان دادند که میزان رواناب در واحد سطح در کرت‌های با مساحت ۵۰ مترمربع تقریبا ۴۰ درصد میزان رواناب تولید شده در کرت‌های با مساحت ۰/۲۵ مترمربعی است. Thomaz and Vestena (2012) نیز نشان دادند که تولید رواناب در کرت‌های با طول ۱ متر در مقایسه با کرت‌های ۱۰ متر در حدود ۳۱ درصد بیشتر است. یافته‌های Boix-Fayosو همکاران(2007) نیز نشان داد که در شرایط رطوبتی خشک خاک، تفاوت چندانی بین رواناب حاصله از کرت‌های ۳۰ و۱ مترمربعی وجود نداشت. در حالی که با افزایش رطوبت اولیه و در نتیجه افزایش یکنواختی الگوی رطوبت در خاک، ضریب رواناب در کرت‌های کوچک‌تر در مقایسه با کرت‌های بزرگ‌تر افزایش یافت. Van de Giessen و همکاران (2011) نیز نشان دادند که مقدار ضریب رواناب با افزایش مقیاس مطالعه به صورت مداوم کاهش می‌یابد. Sadeghi و همکارن(2011) در مقایسه‌ی نتایج حاصل از کرت‌های با طول‌های ۲، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ و ۲۵ متر و یک حوضه‌ی آزمایشی یک هکتاری در دو شیب رو به شمال و جنوب نشان دادند که قابلیت کرت‌ها در برآورد رواناب حوضه با افزایش ابعاد کرت افزایش می‌یابد. آن‌ها طول ۱۵ و یا ۲۰ متر را به عنوان مناسب‌ترین طول کرت برای برآورد رواناب حوضه در دامنه‌های رو به جنوب معرفی نمودند. اختلاف رواناب در واحد سطح برای کرت‌های با طول مختلف در دامنه‌ی رو به شمال معنی‌دار نبود.

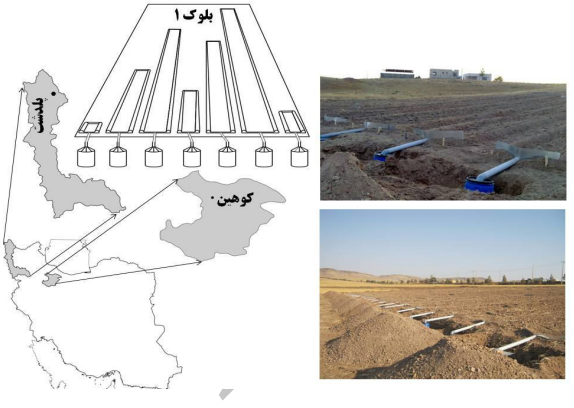
به طور کلی بررسی تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که با وجود انجام برخی مطالعات در سال‌های اخیر، هنوز هم جنبه‌های مختلف اثر ابعاد کرت بر رفتار هیدرولوژیکی خاک به درستی شناخته نشده است. از طرفی در مطالعات انجام شده نقش عواملی نظیر ویژگی‌های بارندگی در نحوه‌ی تاثیر ابعاد کرت بر رواناب کمتر مورد توجه قرار گرفته است. لذا، در این تحقیق تلاش شده تا با احداث کرت‌های با ابعاد مختلف در دو منطقه متفاوت از نظر اقلیمی، اثر ابعاد کرت بر میزان رواناب در واحد سطح، تحت شرایط مختلف بارندگی مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

کرت‌های رواناب در دو منطقه از کشور، یکی در ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک و آب دانشگاه تهران واقع در منطقه کوهین در شمال استان قزوین و دیگری در ایستگاه آبخوان‌داری پلدشت واقع در شمال استان آذربایجان غربی احداث شدند. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی محل احداث کرت‌های رواناب به همراه نمایش طرح‌وار نحوه قراگیری آن‌ها، نشان داده شده است.

ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک و آب دانشگاه تهران در موقعیت جغرافیایی ″۲۲ ،َ۲۲ ، °۳۶ عرض شمالی و ″۰۰ ،َ۳۵ ، °۴۹ طول شرقی واقع شده است. میانگین بارندگی سالیانه در آن ۳۳۰ میلی‌متر بوده و اقلیم منطقه براساس ضریب دومارتن، نیمه خشک است. خاک ایستگاه در محل احداث کرت‌ها رسی بوده، متوسط مقدار ماده آلی آن در حدود ۰/۵۵ درصد و میزان کربنات کلسیم معادل آن در حدود ۸ درصد می‌باشد. ایستگاه آبخوان‌داری پلدشت در محدوده‌ی جغرافیایی ″۰۰ ،َ۰۰ ، °۳۹ الی ″۰۰ ،َ۱۵ ، °۳۹ عرض شمالی و ″۰۰ ،َ۴۵ ، °۴۴ الی ″۰۰ ،َ۱۰ ، °۴۵ طول شرقی واقع گردیده است. میانگین بارندگی سالیانه در آن ۲۲۳ میلیمتر است. اقلیم منطقه براساس ضریب دومارتن، خشک است. خاک این ایستگاه در محل احداث کرت-ها، لوم رسی شنی بوده متوسط ماده آلی آن در حدود ۰/۵۸ درصد و میزان کربنات کلسیم معادل آن تقریبا ۱۶ درصد می-باشد.



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

ابعاد کرت‌های رواناب و طراحی آزمایش

طراحی احداث کرت‌ها در هر دو ایستگاه، براساس یک الگوی مشابه صورت گرفت. به این ترتیب که در هر یک از ایستگاه‌ها، یک قطعه زمین با شیب یکنواخت ۹ درصد در نظر گرفته شده و تعداد ۷ کرت با ابعاد متفاوت و با سه تکرار (مجموعا ۲۱ کرت در هر ایستگاه) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی احداث گردید. ابعاد کرت‌های مورد استفاده در این مطالعه، در جدول (۱) آمده است.

www.SID.ir

جدول ۱- ابعاد کرت‌های احداث شده

نام کرت (تیمار)	طول (متر)	عرض (متر)	مساحت (مترمربع)
P1	۲	۱	۲
P2	۵	۱	۵
P3	۱۰	۱/۲	۱۲
P4	۱۵	۱/۶	۲۴
P5	۲۲/۱	۱/۸۳	۴۰/۴۴
P6	۲۵	۲	۵۰
P7	۳۰	۲/۴	۷۴

احداث کرت‌های رواناب

برای احداث کرت‌ها، زمین انتخاب شده در هر دو ایستگاه، در شهریور سال ۱۳۸۹ با استفاده از گاو آهن برگردان-دار در جهت شیب شخم زده و علف‌های هرز و بقایای گیاهی آن جمع‌آوری شد. سپس برای افزایش یکنواختی عملیات شخم، زمین در جهت شیب دیسک زده شد. پس از آماده کردن زمین، طول کرت‌ها با استفاده از پشته‌ی خاکی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر محصور شد (Vaezi et al., 2008a). برای محصور کردن عرض بالا و پایین کرت‌ها 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 کننده‌ی کرت‌ها در نظر گرفته شد. در بخش انتهایی کرت‌ها برای خروج رواناب و رسوب از لوله‌ی پی. وی. سی شیب‌دار با قطر ۱۰ سانتی‌متر و به طول تقریبی ۱/۵ متر استفاده شد تا رواناب را به مخزن جمع‌آوری هدایت نماید. تولید رواناب در کرت‌ها در رخدادهای طبیعی باران به مدت یک سال (از شهریور ۱۳۸۹ تا شهریور ماه ۱۳۹۰) مورد بررسی قرار گرفت. در این دوره کرت‌ها به صورت آیش بوده و تحت مدیریت مشابه با مدیریت کرت استاندارد USLE (Wischmeier and Smith, 1987) قرار گرفتند. برای جلوگیری از رشد مجدد علف‌های هرز نیز از علف‌کش رانداپ استفاده شد (Rejman et al., 1998).

اندازه‌گیری رواناب و بارندگی

پس از هر رخداد باران طبیعی، حجم مخلوط رواناب و رسوب داخل مخازن در انتهای کرت‌ها با استفاده از اشل‌های واسنجی شده اندازه‌گیری شد. پس از هم زدن کامل مخلوط رواناب و رسوب، نمونه‌ای همگن به آزمایشگاه منتقل و حجم رواناب و جرم رسوب در آن اندازه‌گیری شدند. حجم رواناب کل هر کرت از حاصل ضرب حجم مخلوط داخل مخزن و نسبت حجمی رواناب نمونه به دست آمد که با تقسیم آن بر مساحت کرت، مقدار رواناب در واحد سطح هر کرت بر حسب میلی‌متر (معادل با لیتر در مترمربع) به دست آمد. به منظور ثبت داده-های بارندگی از سامانه باران‌سنجی ثبات، واقع در داخل هر یک از ایستگاه‌ها استفاده شد. این سامانه‌ها در ایستگاه کوهین داده‌های بارش را در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه‌ای و در ایستگاه پلدشت داده‌ها را با دقت ۰/۵ میلی‌متر و در فواصل ۱۰ دقیقه‌ای ثبت می‌نمود.

تحلیل آماری

پیش از انجام تجزیه و تحلیل، نرمال بودن داده‌های رواناب با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. مقایسه میانگین داده‌های رواناب حاصل از کرت‌ها با استفاده از آزمون دانکن صورت گرفت. برای انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SAS 9.1 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Sigma Plot 11 استفاده شد.

نتایج و بحث

در دوره مطالعه در ایستگاه کوهین و پلدشت به ترتیب ۵۸ و ۳۹ رخداد بارندگی ثبت شد که از آن تعداد به ترتیب ۹ و ۱۱ رخداد منجر به تولید رواناب در کرت‌های ایستگاه‌های مذکور شدند. شدت متوسط رخدادهای منجر به رواناب در ایستگاه کوهین بین ۰/۸۶ تا ۶/۱ میلی‌متر در ساعت و در ایستگاه پلدشت بین ۰/۶ تا ۳/۱۳ میلی‌متر در ساعت بود. ویژگی‌های باران‌های منجر به رواناب در دو ایستگاه مطالعاتی در جدول (۲) آمده است.

رابطه ابعاد کرت و رواناب در واحد سطح

نتایج نشان داد که در هر دو ایستگاه، برای هر رخداد بارش، ارتباط بین مقدار رواناب در واحد سطح و ابعاد کرت به صورت معنی‌داری از تابع توانی کاهشی به شکل معادله (۱) پیروی می‌کند:

$$V_{ue_i} = a_{e_i} A^{b_{e_i}} \quad (۱)$$

که در آن؛ V_{uei} ارتفاع رواناب (میلی‌متر معادل با لیتر در مترمربع) برای رخداد e_i، A مساحت کرت (مترمربع)، a_{ei} و b_{ei} نیز ضرایب ثابت معادله برای رخداد مذکور می‌باشد. این رابطه به عنوان نمونه برای رخدادهای EK1 و EP1 در شکل (۲) نشان داده شده است. برای سایر رخدادها نیز مقادیر ضرایب معادله در جدول (۳) ارائه شده است.

نتایج نشان داد که در ایستگاه کوهین، به ترتیب برای رخدادهای EK5 و EK9 ، متوسط مقدار رواناب در واحد سطح برای کرت P1 به عنوان کوچکترین کرت (۲m×۱m)، بین ۰/۵۸ تا ۹/۵ میلی‌متر و برای کرت P7 به عنوان بزرگترین کرت (۳۰m×۲/۴m) بین ۰/۲۶ تا ۲/۶۶ میلی‌متر بود. در ایستگاه پلدشت نیز به ترتیب برای رخدادهای EP5 و EP10، مقادیر رواناب در واحد سطح برای کرت P1 بین ۰/۲۸ و ۶/۶۶ میلی‌متر و برای کرت P7 بین ۰/۱۴ تا ۱/۸۹ میلی‌متر بوده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۲- مشخصات باران‌های منجر به رواناب در ایستگاه کوهین و پلدشت طی دوره مطالعه (شهریور ۱۳۸۹ تا تیر ماه ۱۳۹۰)

نام ایستگاه	علامت اختصاری	تاریخ	ارتفاع بارندگی (mm)	شدت متوسط ($mm\ h^{-1}$)	حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای I_{30}($mm\ h^{-1}$)	انرژی جنبشی× E($MJ\ ha^{-1}$)
کوهین	EK1	۱۳۸۹/۱۲/۱۸	۱۱/۸	۱/۶۹	۸/۴	۲/۰۲
	EK2	۱۳۹۰/۰۱/۰۴	۶/۹	۰/۸۶	۲/۴	۰/۹۲
	EK3	۱۳۹۰/۰۱/۱۸	۱۵/۵	۱/۶۳	۳/۶	۲/۲۶
	EK4	۱۳۹۰/۰۲/۰۱	۱۱/۲	۴/۴۸	۹/۶	۲/۰۸
	EK5	۱۳۹۰/۰۲/۰۲	۶/۶	۱/۴۷	۲/۴	۰/۹۲
	EK6	۱۳۹۰/۰۲/۰۶	۶/۴	۱/۸۳	۹/۶	۱/۱۸
	EK7	۱۳۹۰/۰۲/۱۳	۴/۲	۴/۲۰	۸/۰	۰/۸۱
	EK8	۱۳۹۰/۰۲/۱۴	۱۲/۲	۶/۱۰	۱۶/۴	۲/۵۰
	EK9	۱۳۹۰/۰۲/۱۸	۱۲/۴	۳/۵۴	۲۱/۴	۲/۷۳
پلدشت	EP1	۱۳۸۹/۰۱/۱۶	۷/۵	۲/۶۹	۵/۸	۱/۲۵
	EP2	۱۳۹۰/۰۲/۰۳	۵/۵	۰/۸۰	۳/۸	۰/۷۸
	EP3	۱۳۹۰/۰۲/۰۷	۱۳/۰	۰/۸۲	۶/۰	۱/۹۳
	EP4	۱۳۹۰/۰۲/۱۱	۱۱/۰	۱/۵۱	۲/۴	۱/۵۰
	EP5	۱۳۹۰/۰۲/۱۶	۳/۵	۱/۰۶	۲/۴	۰/۴۵
	EP6	۱۳۹۰/۰۲/۱۸	۶/۵	۲/۱۹	۴/۸	۱/۰۱
	EP7	۱۳۹۰/۰۲/۲۳	۶/۵	۱/۰۹	۹/۰	۱/۱۴
	EP8	۱۳۹۰/۰۲/۳۰	۴/۰	۰/۶۰	۱/۶	۰/۴۷
	EP9	۱۳۹۰/۰۳/۰۹	۶/۰	۰/۶۲	۳/۶	۰/۸۳
	EP10	۱۳۹۰/۰۳/۱۴	۹/۰	۳/۱۳	۱۵/۹	۱/۹۱
	EP11	۱۳۹۰/۰۳/۱۹	۱۱/۰	۱/۹۰	۵/۰	۱/۸۰

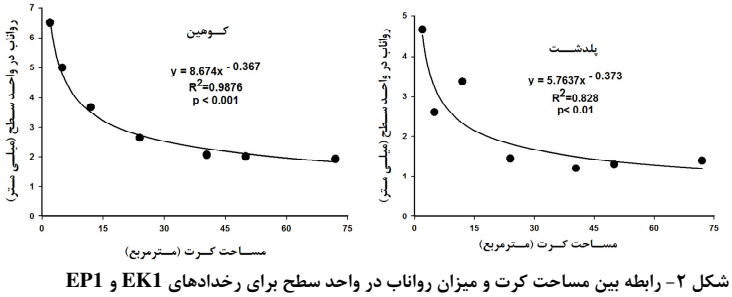
× محاسبه شده با استفاده از رابطه‌ی (Wischmeier and Smith, 1987) $E_{(MJ/\ ha\ mm)} = 0.119 + 0.0873\log_{10} I_{(mm/h)}$

یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیقات Bgarello و همکاران(2010) در رابطه با کاهش مقدار رواناب با افزایش ابعاد کرت مطابقت داشت. این محققین نیز در مطالعات خود به وجود رابطه توانی منفی بین ابعاد کرت و مقدار رواناب در واحد سطح اشاره نمودند. Moreno – de Las Heras et al. (2010) نیز در مطالعه خود به وجود روابط توانی بین ابعاد کرت و مقدار رواناب در واحد سطح با ضرایب تبیین ۰/۶۵ تا ۰/۹۲ اشاره کرده‌اند که با نتایج به دست آمده از این تحقیق مشابهت دارد.

یافته‌های Sadeghi و همکاران (2011) نیز نشان داد که رابطه بین ابعاد کرت و مقادیر رواناب در واحد سطح به صورت رابطه‌ی غیرخطی منفی است. به نظر می‌رسد دلیل اصلی این امر، افزایش تغییرات مکانی ویژگی‌های فیزیکی خاک به خصوص نفوذپذیری، در اثر افزایش ابعاد محیط مورد مطالعه است (Joel et al., 2002). یکی دیگر از فرضیات محتمل برای توضیح این پدیده می‌تواند افزایش زبری سطح و تاثیر بیشتر آن بر زمان تمرکز در کرت‌های بزرگتر باشد. 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).

مقایسه آماری رواناب کرت‌های مختلف

نتایج مربوط به مقایسه میانگین تیمارها از نظر تولید رواناب در واحد سطح در رخدادهای مختلف باران برای هر دو ایستگاه، در جدول (۴) ارائه شده است. در تمامی رخدادها به جز رخداد دوم در ایستگاه کوهین (EK2) و رخداد هشتم در ایستگاه پلدشت (EP8)، تفاوت معنی‌داری از نظر تولید رواناب

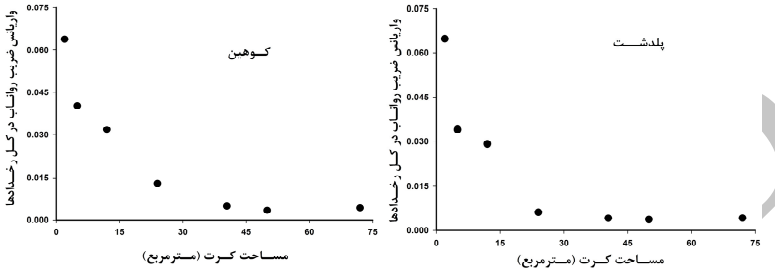


شکل ۲- رابطه بین مساحت کرت و میزان رواناب در واحد سطح برای رخدادهای EK1 و EP1

Archive of SID

www.SID.ir

کرت‌ها در رخدادهای مختلف باران وجود داشت. به علاوه مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که میزان رواناب در واحد سطح برای کرت‌های با طول ۱۵ متر و بیشتر (P4، P5، P6 و P7) دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشد. در رابطه با کرت‌های با طول کمتر از ۱۵ متر، اختلاف میانگین‌ها غالبا معنی‌دار بوده و تفاوت عمده‌ای نیز با کرت‌های بزرگتر دارد به طوری که در ایستگاه کوهین نسبت بین بیشترین مقدار رواناب در واحد سطح به کمترین مقدار آن برای رخداد EK2 برابر با ۱/۸ و برای EK9، معادل ۳/۶ می‌باشد. این نسبت برای ایستگاه پلدشت در رخدادهای EP8 و EP7 به ترتیب برابر با ۱/۷۴ و ۴/۹ است. این نتایج، با یافته‌های Sadeghi et al. (2011) مبنی بر مشابهت داده‌های رواناب حاصل از کرت‌های با طول بیش از ۱۵ و یا ۲۰ متر مطابقت دارد.



شکل ۳- روند تغییرات واریانس ضریب رواناب در کرت‌های با ابعاد مختلف در طول دوره تحقیق

جدول ۳- ضرایب رابطه بین رواناب در واحد سطح و مساحت کرت ($V_{ue_i} = a_{e_i} A^{b_{e_i}}$) در رخدادهای باران در ایستگاه کوهین و پلدشت

نام ایستگاه	شماره رخداد	$V_{ue_i} = a_{e_i} A^{b_{e_i}}$		(ضریب تبیین (R^2)
		a_{e_i}	b_{e_i}	
کوهین	EK1	۸/۶۷	-۰/۳۶۷	۰/۹۸
	EK2	۰/۹۹	-۰/۲۲۵	۰/۹۱
	EK3	۰/۳۷	-۰/۲۹۸	۰/۹۷
	EK4	۰/۹۳	-۰/۳۷۰	۰/۸۹
	EK5	۰/۷۴	-۰/۲۴۶	۰/۹۷
	EK6	۳/۵۱	-۰/۳۲۰	۰/۹۳
	EK7	۱/۰۸	-۰/۲۲۶	۰/۹۶
	EK8	۱/۰۰	-۰/۳۸۱	۰/۹۳
	EK9	۱۴/۰۲	-۰/۳۹۳	۰/۹۳
پلدشت	EP1	۵/۷۷	-۰/۳۷۳	۰/۸۳
	EP2	۰/۹۲	-۰/۲۷۵	۰/۹۰
	EP3	۶/۴۸	-۰/۴۱۱	۰/۸۹
	EP4	۱/۶۵	-۰/۲۷۶	۰/۹۱
	EP5	۰/۳۵	-۰/۱۹۳	۰/۹۴
	EP6	۱/۳۳	-۰/۳۰۱	۰/۸۷
	EP7	۶/۰۸	-۰/۴۲۹	۰/۹۳
	EP8	۰/۳۲	-۰/۱۶۵	۰/۹۵
	EP9	۰/۸۴	-۰/۲۴۴	۰/۹۱
	EP10	۹/۸۳	-۰/۴۰۱	۰/۹۵
	EP11	۶/۶۰	-۰/۳۹۷	۰/۸۹

مقدار p value در تمامی رخدادها کمتر از ۰/۰۱ بوده است

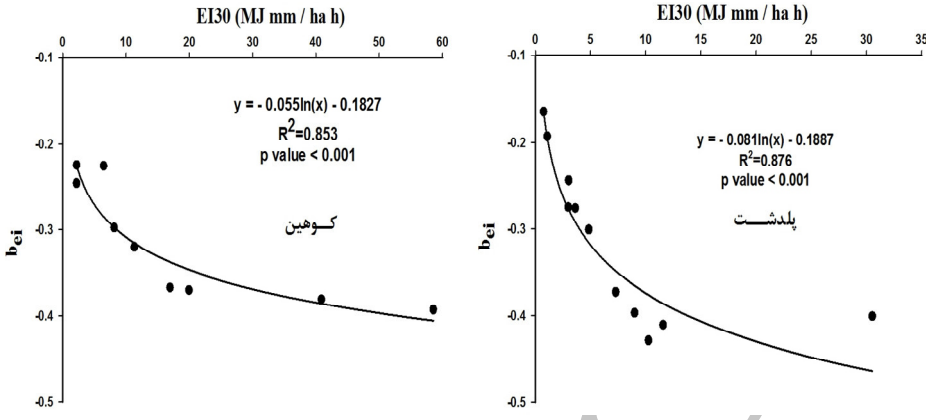
باتوجه به رابطه مستقیم مقدار رواناب و ضریب رواناب، مقایسه‌ی واریانس مقادیر ضرایب رواناب در رخدادهای مختلف در هر دو ایستگاه نیز بررسی شد (شکل ۳). نتایج نشان داد که مقدار واریانس ضریب رواناب (در طول یک سال) در کرت‌های کوچک به مراتب بیشتر از کرت‌های بزرگ است. به طوری که نسبت واریانس ضریب رواناب کرت‌های P1 به P7 (کوچکترین کرت به بزرگترین کرت) در ایستگاه کوهین و پلدشت به ترتیب برابر با ۱۴/۶ و ۱۵/۷ است. به نظر می‌رسد دلیل اصلی این امر کوچک بودن زمان تمرکز در کرت‌های کوچک و لذا حساسیت بالای آن‌ها به تغییرات شرایط بارندگی‌های مختلف باشد که سبب شده پراکندگی مقادیر رواناب به دست آمده از این کرت‌ها افزایش یابد. Cerdan et al., (2004) نیز در مطالعات خود به افزایش جزئی واریانس داده‌های رواناب با کاهش ابعاد حوضه‌ی آزمایشی اشاره نموده‌اند با این تفاوت که در مطالعه‌ی آن‌ها مقیاس‌های مورد استفاده در مقایسه با کرت‌های مورد استفاده در این تحقیق بسیار بزرگ‌تر بوده و در نتیجه تغییرات واریانس ضریب رواناب نیزکم بوده است در حالی که با توجه به نتایج این تحقیق به نظر می‌رسد تغییرات واریانس در مقیاس‌های کوچک (کرت‌های با طول کمتر از ۱۰ متر) بسیار زیاد است.

رابطه بین شاخص پتانسیل تولید رواناب و اثر ابعاد کرت

به منظور مقایسه‌ی اثر ابعاد کرت بر میزان رواناب در شرایط مختلف بارندگی، از ارتباط بین EI_{30} به عنوان نمایه پتانسیل تولید رواناب (Vaezi et al., 2008b) در رخدادها و توان معادله‌ی (۱) یعنی b_{ei}، به عنوان نمایه اثر ابعاد کرت استفاده شد (شکل ۴). مقدار پارامتر b_{ei}، به عنوان توان در رابطه (۱)، نشان دهنده‌ی شدت تغییرات رواناب در واحد سطح در مقابل تغییر ابعاد کرت می‌باشد. به بیان دیگر افزایش قدرمطلق این عامل، نشان دهنده‌ی کاهش شدیدتر رواناب در واحد سطح، با افزایش ابعاد کرت بود. بالا بودن شاخص EI_{30} نیز نشان دهنده‌ی

Archive of SID
www.SID.ir

افزایش پتانسیل تولید رواناب در رخداد مورد نظر است چرا که بالا بودن این شاخص هم می‌تواند در نتیجه زیاد بودن شدت بارندگی و هم در نتیجه طولانی بودن مدت بارندگی باشد که این دو عامل (شدت و مدت) مهم‌ترین ویژگی‌های بارندگی در ایجاد رواناب و یا فرسایش خاک می‌باشند. توان معادله۱ (b_{ei}) دارای همبستگی معنی‌داری با شاخص پتانسیل تولید رواناب است. به عبارت دیگر با افزایش پتانسیل تولید رواناب، قدرمطلق توان معادله نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۴- رابطه شاخص پتانسیل تولید رواناب (EI_{30})و شاخص اثر ابعاد کرت(b_{ei})

جدول ۴- مقایسه میانگین داده‌های رواناب در واحد سطح (mm) در کرت‌های مختلف در رخدادهای باران در دو ایستگاه

نام ایستگاه	تیمار	رخداد بارندگی									
		EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EP6	EP7	EP8	EP9	EP10	EP11
پلدشت	P1	۴/۶۶ a	۰/۷۸ a	۴/۰۸ a	۱/۳۶ a	۰/۲۸ a	۱/۰۳ a	۴/۵۰ a	۰/۲۸ a	۰/۷۰ a	۶/۶۶ a	۴/۳۳ a
	P2	۲/۶۰ bc	۰/۶۶ a	۴/۰۶ a	۱/۲۳ a	۰/۲۶ ab	۰/۷۴ ab	۲/۸۰ b	۰/۲۶ a	۰/۶۴ ab	۵/۶۶ b	۴/۰۰ a
	P3	۳/۳۶ ab	۰/۳۸ b	۲/۸۸ b	۰/۶۸ b	۰/۲۳ abc	۰/۸۶ ab	۲/۶۱ bc	۰/۲۰ a	۰/۴۰ bc	۴/۳۸ c	۳/۱۹ a
	P4	۱/۴۴ c	۰/۳۴ b	۱/۵۶ c	۰/۶۷ b	۰/۲۰ bc	۰/۴۸ b	۱/۴۷ bc	۰/۱۹ a	۰/۳۷ c	۲/۴۵ d	۱/۵۴ b
	P5	۱/۲۰ c	۰/۳۳ b	۱/۱۷ c	۰/۵۶ b	۰/۱۵ c	۰/۴۰ b	۱/۲۱ bc	۰/۱۶ a	۰/۳۱ c	۱/۹۷ d	۱/۳۸ b
	P6	۱/۳۰ c	۰/۳۲ b	۱/۱۶ c	۰/۵۸ b	۰/۱۶ c	۰/۳۶ b	۰/۹۲ c	۰/۱۸ a	۰/۳۴ c	۲/۰۳ d	۱/۲۲ b
	P7	۱/۳۹ c	۰/۳۱ b	۱/۳۲ c	۰/۵۵ b	۰/۱۴ c	۰/۳۸ b	۱/۱۳ bc	۰/۱۶ a	۰/۳۲ c	۱/۸۹ d	۱/۴۳ b
		EK1	EK2	EK3	EK4	EK5	EK6	EK7	EK8	EK9		
کوهین	P1	۶/۵۰ a	۰/۸۳ a	۴/۵۰ a	۶/۹۱ a	۰/۵۸ a	۲/۶۶ a	۰/۹۱ a	۸/۵۰ a	۹/۵۰ a	-	-
	P2	۵/۰۰ b	۰/۷۳ a	۳/۷۶ ab	۶/۰۶ ab	۰/۵۳ ab	۲/۳۶ ab	۰/۷۶ ab	۶/۶۶ b	۷/۶۰ ab	-	-
	P3	۳/۶۶ c	۰/۵۵ a	۲/۸۳ bc	۵/۶۱ b	۰/۴۱ abc	۱/۶۳ bc	۰/۶۵ ab	۶/۰۵ b	۶/۱۳ bc	-	-
	P4	۲/۶۳ cd	۰/۵۶ a	۲/۰۶ c	۳/۲۶ c	۰/۳۴ abc	۱/۱۶ c	۰/۴۹ b	۳/۵۸ c	۴/۸۸ c	-	-
	P5	۲/۰۶ d	۰/۴۶ a	۱/۷۲ c	۲/۳۴ c	۰/۲۸ bc	۰/۹۸ c	۰/۴۳ b	۲/۸۰ c	۲/۸۷ d	-	-
	P6	۲/۰۰ d	۰/۴۵ a	۱/۹۲ c	۲/۰۴ c	۰/۲۷ bc	۰/۹۱ c	۰/۴۶ b	۲/۳۵ c	۲/۶۱ d	-	-
	P7	۱/۹۳ d	۰/۵۰ a	۱/۶۴ c	۲/۳۵ c	۰/۲۵ c	۱/۰۷ c	۰/۴۳ b	۲/۵۸ c	۲/۶۵ d	-	-

مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵٪ (مقایسه‌ها در هر ستون به صورت جداگانه صورت گرفته است)

این روند به خوبی نشان دهنده‌ی این واقعیت است که در این تحقیق اثر ابعاد کرت بر رواناب در رخدادهای با پتانسیل تولید رواناب بالا، بیشتر است. با توجه به این واقعیت می‌توان گفت که عدم معنی‌دار بودن اثر ابعاد کرت بر میزان رواناب در واحد سطح برای رخداد EK2 در ایستگاه کوهین و EP8 در ایستگاه پلدشت (جدول ۴) به دلیل پایین بودن پتانسیل تولید رواناب در این رخدادها است چرا که در بین رخدادهای ثبت شده، رخداد EK2 و EP8 دارای کمترین مقدار EI_{30} هستند به بیان دیگر با کاهش پتانسیل تولید رواناب در این رخدادها، اثر ابعاد کرت بر رواناب حذف شده است. این یافته با گزارش Van de Gissen و همکاران(2011 , 2000) در مناطق نیمه مرطوب غرب آفریقا، مبنی بر کاهش اثر ابعاد کرت‌های فرسایشی با افزایش پتانسیل تولید رواناب توسط بارندگی در تناقض است. دلیل اصلی این امر تفاوت فاحش در خصوصیات بارندگی در دو مطالعه است چرا که در رخدادهای ثبت شده توسط Van de Gissen و همکاران (2011, 2000)، شدت متوسط بارندگی بین ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر بر ساعت گزارش شده است در حالی که در مناطق مورد بررسی در تحقیق حاضر، حداکثر شدت متوسط

Archive of SID

www.SID.ir

بارندگی ثبت شده برای ایستگاه‌های کوهین و پلدشت به ترتیب برابر با ۶/۱ و ۳/۱۳ میلی‌متر بر ساعت می‌باشد. Van de Gissen و همکاران (2000 ,2011) اظهار داشته‌اند که شدت‌های بالای بارندگی در مطالعه‌ی آن‌ها سبب کاهش تاثیر تغییرات مکانی خصوصیات خاک بر میزان رواناب در کرت‌های با ابعاد مختلف شده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تاثیر ابعاد کرت بر میزان رواناب در واحد سطح در شرایط طبیعی در دو ایستگاه کوهین و پلدشت مورد بررسی قرار گرفت. طی دوره تحقیق در ایستگاه کوهین و پلدشت به ترتیب ۹ و ۱۱ رخداد بارندگی منجر به تولید رواناب ثبت شد. نتایج این تحقیق نشان داد که در هر دو ایستگاه، میزان رواناب در واحد سطح برای هر رخداد بارندگی، با افزایش ابعاد کرت به صورت معادله توانی کاهش می‌یابد. در هر دو ایستگاه، اختلاف مقادیر رواناب در واحد سطح برای کرت‌های با طول ۱۵ متر و بیشتر معنی‌دار نبود. به عبارت دیگر، کرت‌های با طول در حدود ۱۵ متر دارای نتایج مشابهی از نظر تولید رواناب در واحد سطح با کرت‌های بزرگتر بودند. در نتیجه طول ۱۵ متر را می‌توان به عنوان حداقل طول مناسب برای اندازه-گیری ضریب رواناب در کرت‌های صحرایی، به خصوص تحت شرایطی که هدف از مطالعه ارزیابی مدل‌های خانواده‌ی USLE باشد، پیشنهاد نمود. واریانس ضرایب رواناب به دست آمده برای رخدادهای ثبت شده در دو ایستگاه، برای کرت‌های کوچکتر در مقایسه با کرت‌های بزرگتر، بیشتر بود. همچنین نتایج به دست آمده نشان داد که با کاهش پتانسیل تولید رواناب در رخدادهای باران (EI_{30})، اثر ابعاد کرت بر میزان رواناب کاهش می‌یابد.

REFERENCES

Asadi, H., Rouhipour, H., Refahi, H. Gh. and Ghadiri, H. (2008). Testing a mechanistic soil erosion model for three selected soil types from Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology,* 10(1), 79-91.

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.

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 Landforms*, 32, 85–101.

Cerdan, O., Le Bissonnais, Y., Govers, G., Lecomte, V., van Oost, K., Couturier, A., King, C. and Dubreuil, N. (2004). Scale effect on runoff from experimental plots to catchments in agricultural areas in Normandy. *Journal of Hydrology*, 299, 4–14.

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.

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.

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 up scaling from m^2 to small catchments. *Soil &Tillage Research*, 46, 69–80.

Mathier, L. and Roy, A.G. (1996). A study on the effect of spatial scale on the parameters of a sediment transport equation for sheetwash. *Catena*, 26, 161–169.

Moreno – de las Heras, M., Nicolau, J. M., Merino-Martín L. and Wilcox, B. P. (2010). Plot-scale effects on runoff and erosion along a slope degradation gradient. *Water Recourses Research*, 46, W04503, doi:10.1029/2009WR007875

Rejman, J., Turski, R. and Paluszek, J. (1998). Spatial and temporal variations in erodibility of loess soil. *Soil & Tillage Research*, 46, 61-68.

Sadeghi, S. H. R., Bashari Seghaleh, M. and Rangavar, A. S. (2008). Comparing the sediment variation with hillside direction and plot length in storm wise erosion. *Journal of water and soil*, 22(2), 230-239. (In Farsi)

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

Sadeghi, S. H. R., Mizuyama, T. and Ghaderi vangah, B. (2007). Conformity of MUSLE estimates and plot data for storm wise sedimend yield estimation. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 18(1), 117-128.

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.

Vaezi, A. R., Sadeghi, S. H. R., Bahrami, H. A. and Mahdian, M. H. (2008a). Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. *Geomorphology*, 97, 414-423.

Vaezi, A. R., Sadeghi, S. H. R., Bahrami, H. A. and Mahdian, M. H. (2008b). Evaluating the erosivity indices of the USLE, MUSLE, RUSLE and USLE-M in soils of a semiarid region in northwest of Iran. *Iran Watershed Management Science & Engineering*, 2(4), 25-37. (In Farsi)

Van de Giessen, N. C., Stomph, T. J. and De Ridder,

Archive of SID
www.SID.ir

N. (2000). Scale effects of Hortonian overland flow and rainfall runoff dynamics in a West African catena landscape. *Hydrological Processes*, 14, 165-175.

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.

Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning, Agriculture Handbook, vol. 537, US Department of Agriculture, Washington DC, pp. 8-13.

Archive of SID

www.SID.ir