

درصد بیش تر از رگبارهای دیر کرده بود. در رگبارهای دیر کرده با وجود شدت اوج در اواخر بارندگی، به دلیل تداوم پایین باران و نهایتاً قطع آن، کمترین میزان روان آب و هدررفت خاک رخ داد.

واژه‌های کلیدی: باران شبیه‌سازی شده، شدت بارندگی، کرت فرسایشی، منطقه نیمه خشک

تأثیر الگوی توزیع زمانی بارندگی طی رخداد بر روان آب و هدررفت خاک تحت باران‌های شبیه‌سازی شده

فرزاد بشارت^۱ و علی‌رضا واعظی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۴

مقدمه

فرسایش خاک عبارت از جداسازی و انتقال ذرات خاک سطحی از مکانی به مکان دیگر است [۱۱]. فرسایش آبی جابجایی خاک سطحی توسط آب می‌باشد. این پدیده که یک مسئله محیطی جهانی می‌باشد، باعث کاهش توان تولید خاک و کاهش کیفیت آب و هدررفت خاک می‌گردد [۴۰]. مناطق نیمه‌خشک به علت باران‌های طبیعی سیل‌آسا، حساسیت بالایی برای تولید و انتقال هدررفت خاک دارند [۱۶]. در این مناطق پوشش گیاهی... ضعیف است و در نتیجه فرآیندهای فرسایش خاک فعال است [۳۶]. در خاک‌های این مناطق به دلیل تشکیل پوسته‌های سخت سطحی، نفوذپذیری خاک سریعاً کاهش و روان آب افزایش می‌یابد [۲۸]. هدررفت خاک و خسارت‌های جانبی ناشی از آن مشکل اساسی فرسایش خاک در مناطق نیمه‌خشک است [۲۴].

بارندگی عاملی مهم در بین عوامل مؤثر بر فرسایش آبی است. مقدار بارندگی، شدت، نوع و توزیع فصلی آن نقش مهمی در فرسایش آبی دارند [۱۴]. ضربه قطرات باران عامل مکانیکی مهم در جداسازی ذرات خاک طی بارندگی است. این عامل در تخریب ساختمان خاک و تولید جریان سطحی مؤثر می‌باشد [۵]. شدت بارندگی که بیانگر ارتفاع باران رسیده به سطح در واحد زمان می‌باشد، متغیری پیچیده‌تر نسبت به عمق و مدت بارندگی می‌باشد [۳۱]. گزارش‌ها نشان می‌دهد که هدررفت خاک به شدت تحت تأثیر بارندگی قرار دارد [۸]. شدت بارندگی طی مدت بارندگی اغلب تغییر می‌کند. این مفهوم که به نام الگوی توزیع زمانی بارندگی^۲ بیان می‌شود از ویژگی‌های مهم بارندگی است که بر کمیت و کیفیت فرسایش اثر می‌گذارد [۲۳]. به بیان دیگر تغییرات شدت بارندگی طی یک رخداد می‌تواند عاملی مؤثر در تغییرات زمانی فرسایش باشد [۱]. در برخی از بارندگی‌ها بیش‌ترین شدت باران در اوایل بارندگی رخ می‌دهد

چکیده:

شدت بارندگی از مهم‌ترین خصوصیات باران است که در فرسایش خاک مؤثر می‌باشد. تغییرات شدت بارندگی طی مدت بارندگی که با مفهوم الگوی توزیع زمانی بارندگی بیان می‌شود، در فرسایش باران‌های مختلف می‌تواند مؤثر واقع شود. بررسی این موضوع در باران‌های نواحی نیمه‌خشک به دلیل وجود الگوهای متنوع توزیع بارندگی طی سال، به منظور برآورد دقیق فرسایش باران‌ها حائز اهمیت می‌باشد. با بررسی الگوهای رایج باران منطقه، در نهایت ۱۱ الگوی بارندگی غیریکنواخت با شدت پایه ۲۰ میلی‌متر بر ساعت و حداکثر شدت ۵ دقیقه‌ای متغیر همراه با یک الگوی بارندگی یکنواخت با شدت ۲۱/۸ میلی‌متر بر ساعت انتخاب شدند و در دامنه‌ای با شیب ۹ درصد در کرت‌هایی به ابعاد ۶۰ در ۸۰ سانتی‌متر مترمربع در پنج تکرار رخداد در سال ۱۳۹۱ مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس نتایج، تفاوت معنی‌داری بین الگوهای مختلف بارندگی از نظر روان آب و هدررفت خاک وجود داشت ($p < 0/05$). این تفاوت به دلیل تخریب خاک سطحی و کاهش نفوذپذیری طی شدت اوج بارندگی بود. در رگبارهای بینابین که بیش‌ترین شدت بارندگی در اواسط مدت بارندگی قرار داشت، بالاترین میزان روان آب (۱/۳۹ میلی‌متر) و هدررفت خاک (۳۰/۳۱ گرم بر مترمربع) مشاهده شد. در این رگبارها در اوایل بارندگی، خاک به آرامی تخریب و مرطوب شد. با این حال با افزایش شدت بارندگی در اواسط بارندگی، تولید روان آب و هدررفت خاک به شدت افزایش یافت و با تداوم بارندگی این وضعیت همچنان پایدار بود. در رگبارهای پیش‌افتاده میزان روان آب و هدررفت خاک به ترتیب ۹۸/۵۱ درصد و ۹۸/۶۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه زنجان

۲- نویسنده مسئول و دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، vaezi.alireza@gmail.com

اساس باران‌های شبیه‌سازی شده در منطقه نیمه‌خشک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

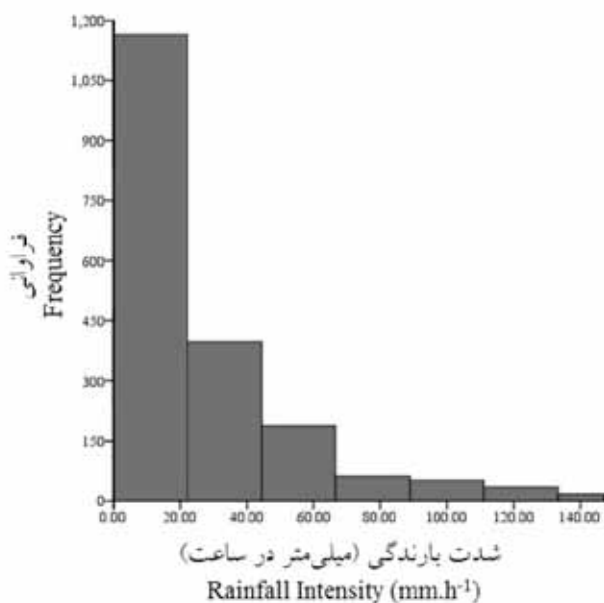
- مکان پژوهش

این پژوهش در دامنه‌ای بکر در غرب استان زنجان واقع در مختصات جغرافیایی $48^{\circ}24'25''$ طول شرقی و $36^{\circ}40'56''$ عرض شمالی انجام گرفت. شیب دامنه ۹ درصد و جهت آن رو به شمال بود. سطح دامنه پیش از شروع کار، شخم خورد و تسطیح شد و پوشش گیاهی و بقایای گیاهی آن حذف گردید.

- شبیه‌سازی باران

برای آگاهی از مشخصات باران‌های منطقه و در نتیجه شبیه‌سازی باران، نیاز به داشتن فراوانی وقوع شدت‌های بارندگی در منطقه بود. به همین دلیل ایستگاه باران‌نگاری قلتوق واقع در غرب استان زنجان به دلیل دارا بودن داده‌های باران برای دوره آماری ۱۰ ساله (طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۰) انتخاب گردید. ارتفاع بارندگی و مدت بارندگی از منحنی‌های تجمعی باران استخراج و شدت‌های بارندگی محاسبه گردیدند. کل باران‌های منطقه به هشت کلاس شدت بارندگی تفکیک و فراوانی (تعداد وقایع) آن‌ها تعیین و به صورت نمودار ستونی (هیستوگرام) رسم شد (شکل ۱).

بررسی هیستوگرام توزیع شدت بارندگی نشان داد که شدت‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌متر در ساعت دارای بیش‌ترین فراوانی وقوع هستند. پیش از شروع پژوهش، پیش‌آزمایشی برای سنجش شدت‌های دارای بیش‌ترین فراوانی وقوع انجام شد. نتایج نشان داد که به‌کارگیری باران‌های با شدت ۱۰ میلی‌متر در ساعت طی مدت



شکل ۱- هیستوگرام توزیع فراوانی شدت بارندگی در ایستگاه قلتوق زنجان برای سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۰

Fig. 1. Distribution of rainfall intensity histogram in Qoltuq Station, Zanjan for (2001-2011)

(رگبارهای پیش‌افتاده) و در برخی دیگر در اواسط (رگبارهای بینابین) و در مواردی در مراحل پایانی بارندگی (رگبارهای دیرکرده) حادث می‌شود. این موضوع تأثیر مستقیمی بر حجم و اوج روان‌آب می‌گذارد [۳۵] به طوری که بیش‌ترین میزان روان‌آب زمانی رخ می‌دهد که بالاترین شدت بارندگی رخ دهد [۳۳].

در مورد تأثیر مستقیم شدت بارندگی بر روان‌آب و هدررفت خاک مطالعاتی مختلف انجام گرفته است از جمله به پژوهش‌های دفرشا و ملس در ایتویپی [۷]، آسولاین و بن‌هر در فلسطین اشغالی [۲] در خارج از کشور اشاره کرد. در ایران نیز تحقیقاتی توسط همدمی و همکاران در استان گلستان [۱۵] و کاویان و محمدی در استان کردستان [۱۹] در مورد تأثیر مستقیم شدت بارندگی بر روان‌آب و هدررفت خاک انجام گرفته است، با این حال در مورد تأثیر الگوی توزیع زمانی بارندگی بر روان‌آب و فرسایش خاک مطالعات بسیار محدودی انجام گرفته است. در این ارتباط بررسی‌های دفرشا و ملس [۷] نشان داد که افزایش شدت بارندگی طی مدت بارندگی موجب افزایش هدررفت خاک می‌شود. بررسی‌های پارسون و استون [۲۷] در انگلستان نشان داد که میزان تولید روان‌آب و رسوب در الگوهای توزیع زمانی بارندگی نسبت به الگوهای یکنواخت بارندگی بیش‌تر بود. بررسی‌های ترومن و همکاران [۳۴] نشان داد که میزان هدررفت خاک تولیدی در رخدادهای دارای الگوی توزیع زمانی بارندگی، ۳۶-۱۹ درصد بیش‌تر از رخدادهای با شدت ثابت بود. بررسی‌های فراونفلد و ترومن [۱۲] در گرجستان نشان داد که در الگوهای توزیع زمانی بارندگی مقدار پاشمان ذرات خاک بیش‌تر از الگوهای یکنواخت بود. در مطالعه‌ای احمد و همکاران [۱] در کانادا نشان دادند که میزان فرسایش در رخدادهای دارای توزیع زمانی شدت بارندگی نسبت به رخدادهای با شدت ثابت بارندگی به میزان معنی‌داری بالاتر بود. بررسی‌های رومکنز و همکاران [۳۰] در آمریکا به وسیله شبیه‌ساز باران نشان داد که در رگبارهای پیش‌افتاده میزان تولید روان‌آب و رسوب نسبت به رگبارهای دیرکرده بیش‌تر بود.

به طور کلی بررسی‌های پیشین نشان می‌دهند که الگوی توزیع زمانی بارندگی بر میزان روان‌آب و در نتیجه فرسایش خاک می‌تواند مؤثر باشد. بررسی این موضوع برای پی‌بردن به فرسایش باران‌های مختلف حائز اهمیت است. در شاخص‌های مختلف فرسایش باران (EI_p , $KE < EI_p$, ...) تنها شدت بارندگی در کنار انرژی جنبشی باران، به عنوان عوامل مهم از نظر قابلیت فرسایش‌زایی معرفی شده‌اند در حالی که توزیع زمانی شدت بارندگی نیز می‌تواند به عنوان عاملی مؤثر در فرسایش باران باشد. اهمیت این موضوع به ویژه در نواحی نیمه‌خشک به دلیل تغییرات زیاد شدت بارندگی طی مدت بارندگی و در نتیجه وجود الگوهای مختلف توزیع زمانی بارندگی، بیش‌تر نمایان است. آگاهی از این موضوع می‌تواند در برآورد دقیق فرسایش باران‌ها در منطقه به منظور انجام اقدامات مهار فرسایش خاک سودمند باشد. بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر الگوی زمانی توزیع بارندگی بر تولید روان‌آب و هدررفت خاک بر

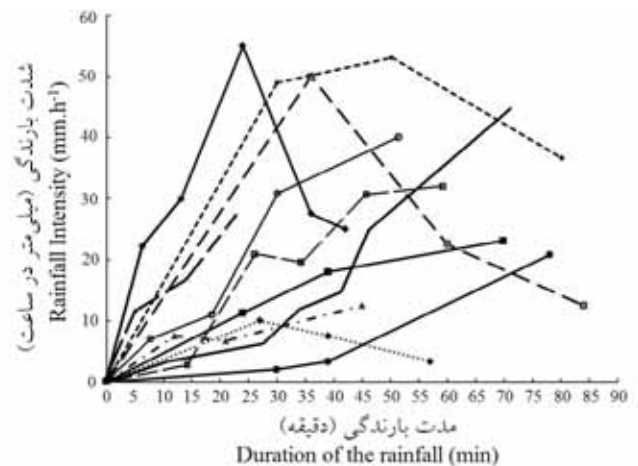
یک الگوی بارندگی یکنواخت نیز با شدت ثابت ۲۰ میلی‌متر در ساعت و مقدار یکسان بارندگی (۲۰ میلی‌متر) اعمال شد (جدول ۱). بر اساس جدول ۱، در بین ۱۱ باران با الگوی غیریکنواخت، الگوهای ۲، ۳ و ۴ به عنوان رگبار پیش‌افتاده، الگوهای ۶، ۷ و ۸ به عنوان رگبار بینابین و الگوهای ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نیز به عنوان رگبار دیرکرده در نظر گرفته شدند.

برای ایجاد باران‌هایی با الگوی توزیع زمانی مورد نظر یک دستگاه شبیه‌ساز باران قابل حمل بر مبنای موارد به کار گرفته شده در تحقیقات کورونا و همکاران [۶] و لیو همکاران [۲۱] طراحی و ساخته شد. دستگاه مذکور دارای ارتفاع ۲۱۵ سانتی‌متر و ابعاد ۷۲×۹۲ سانتی‌متر بود (شکل ۳) و در آن آب به صورت ثقی از مخزن به صفحه بارش وارد می‌شد و از راه نازل‌های قطره‌ساز به سطح زمین فرود می‌آمد. دستگاه با تغییر ارتفاع آب مخزن، قابلیت ایجاد شدت‌های معمول منطقه در محدوده ۷-۱۰۰ میلی‌متر در ساعت را دارا بود. شدت بارندگی از طریق تغییر ارتفاع ستون آب داخل مخزن به وسیله شیرهای دقیق قابل تنظیم بود. قطر قطرات ایجاد شده به وسیله نازل‌ها، ۲/۸ میلی‌متر بود. برای طراحی قطرات کوچک‌تر، نیاز به استفاده از نازل‌های تحت فشار بود که در این صورت در کنار آن که قطر قطرات بسیار کوچک‌تر از حد معمول می‌شد، شدت‌های بارندگی ایجاد شده نیز بسیار بیش‌تر از باران‌های متداول منطقه می‌گردید [۳۲].



شکل ۳- نمایی از دستگاه شبیه‌ساز باران طراحی شده و کرت فرسایشی مورد استفاده در پژوهش
Fig. 3. A view of designed rainfall simulator and erosion plots used in the study

۶۰ دقیقه منجر به تولید روان‌آب و در نتیجه فرسایش خاک نمی‌شود. با این حال شدت‌های ۲۰ و ۴۰ میلی‌متر بر ساعت از یک سو قابلیت تخریب خاک سطحی را داشته و از سوی دیگر توان تولید رواناب را داشتند و در عمل فرساینده بودند [۱]. از این رو شدت‌های بارندگی ۲۰ میلی‌متر بر ساعت به عنوان شدت مینا و شدت بارندگی ۴۰ میلی‌متر بر ساعت به عنوان حداکثر شدت ۵ دقیقه‌ای باران برای انجام این پژوهش در نظر گرفته شدند. بررسی تغییرات شدت بارندگی طی مدت بارندگی به منظور انتخاب شدت اوج بارندگی (شکل ۲) نشان داد که تغییرات شدیدی از نظر توزیع زمانی شدت بارندگی در باران‌های منطقه وجود دارد به طوری که شدت بارندگی طی مدت بارندگی در ابعاد زمانی بسیار کوتاه (حتی ۵ دقیقه) نیز تغییر می‌کند و گاهی شدت بارندگی تا محدوده ۴۰ میلی‌متر بر ساعت و حتی بالاتر نیز افزایش پیدا می‌کند. بنابراین اگرچه امکان انتخاب شدت‌های متنوع در محدوده مذکور وجود داشت لیکن تنها دو شدت ۲۰ و ۴۰ میلی‌متر بر ساعت برای انتخاب الگوهای توزیع زمانی بارندگی مورد توجه قرار گرفتند. با انتخاب این دو شدت بارندگی، امکان ایجاد باران‌هایی با الگوهای مختلف توزیع زمانی وجود داشت به طوری که شدت غالب آن‌ها طی مدت بارندگی ۲۰ میلی‌متر بر ساعت و شدت اوج آن‌ها طی مدت بارندگی ۴۰ میلی‌متر بر ساعت باشد و در عین حال مقدار (ارتفاع) کل بارندگی در آن‌ها یکسان باشد. بر این اساس ۱۲ الگوی توزیع زمانی بارندگی با شدت‌های ۲۰ و ۴۰ میلی‌متر در ساعت با مقدار بارندگی ثابت (۲۰ میلی‌متر) انتخاب شدند (جدول ۱). مقدار بارندگی در حالت طبیعی در دامنه ۰/۵ تا ۴۳/۵ میلی‌متر قرار داشت. در ۱۱ الگو، میانگین شدت بارندگی یکسان و برابر با ۲۱/۸۱ میلی‌متر در ساعت بود. در این الگوها شدت اوج بارندگی (۴۰ میلی‌متر بر ساعت) که به مدت ۵ دقیقه اعمال شد، طی بارندگی متغیر بود. از این رو رگبارهای مذکور به عنوان الگوهای بارندگی غیریکنواخت در نظر گرفته شدند.



شکل ۲- توزیع زمانی شدت بارندگی در برخی باران‌های طبیعی منطقه در ایستگاه قلتوق زنجان
Fig. 2. Temporal distribution of rainfall intensity in some of natural rains of the region in Qoltuq Station, Zanjan

جدول ۱- الگوهای توزیع زمانی بارندگی

Table 1. Temporal distribution patterns of rainfall

الگوی ۱ الگوی ۲ الگوی ۳ الگوی ۴ الگوی ۵ الگوی ۶ الگوی ۷ الگوی ۸ الگوی ۹ الگوی ۱۰ الگوی ۱۱ الگوی ۱۲												تداوم شدت (دقیقه)	
شدت بارندگی (میلی متر بر ساعت)													
Pattern	Pattern	Pattern	Pattern	Pattern	Pattern	Pattern	Pattern	Pattern	Pattern	Pattern	Pattern	Duration of rainfall (min)	
12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
Rainfall Intensity (mm.h ⁻¹)													
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	40	20	0-5	
20	20	20	20	20	20	20	20	20	40	20	20	5-10	
20	20	20	20	20	20	20	20	40	20	20	20	10-15	
20	20	20	20	20	20	20	40	20	20	20	20	15-20	
20	20	20	20	20	20	40	20	20	20	20	20	20-25	
20	20	20	20	20	40	20	20	20	20	20	20	25-30	
20	20	20	20	40	20	20	20	20	20	20	20	30-35	
20	20	20	40	20	20	20	20	20	20	20	20	35-40	
20	20	40	20	20	20	20	20	20	20	20	20	40-45	
20	40	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	45-50	
40	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	50-55	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	55-60	
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Rain Height (mm) Mean intensity (mm.h ⁻¹)	ارتفاع باران (میلی متر) میانگین شدت (میلی متر در ساعت)
21.81	21.81	21.81	21.81	21.81	21.81	21.81	21.81	21.81	21.81	21.81	21.81	20	

- استقرار کرت‌های فرسایشی

به منظور اعمال الگوهای توزیع زمانی باران، کرت‌هایی به ابعاد ۸۰ سانتی‌متر × ۶۰ سانتی‌متر مطابق با ابعاد دستگاه شبیه‌ساز باران ایجاد شدند. این گونه کرت‌ها در تحقیقات اولش و واکا [۲۵] در ایتالیا و ال‌کاتب و همکاران [۱۰] در چین به منظور بررسی روان‌آب و فرسایش خاک نیز مورد استفاده قرار گرفته است. در این راستا ۱۲ کرت با فواصل ۱۱۰ سانتی‌متر در طول (در جهت شیب) و ۱۰۰ سانتی‌متر در عرض از هم ایجاد شد. کرت‌ها در راستای عرض شیب در جاهایی که تغییرات اساسی در توزیع اندازه ذرات خاک وجود نداشت، مستقر شدند. پیرامون کرت‌های فرسایشی از ورق گالوانیزه به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر بسته شد. برای هدایت آسان روان‌آب و هدررفت خاک به داخل مخزن جمع‌آوری روان‌آب و هدررفت خاک، ضلع پایینی کرت‌ها به صورت دوزنقه ساخته شد و در مرکز آن مجرای به قطر ۱۰ سانتی‌متر برای خروج روان‌آب و هدررفت خاک از کرت

آزمایشی تعبیه شد و لوله روان‌آب و هدررفت خاک از جنس پلیکا به قطر ۱۰ سانتی‌متر در آن جای‌گذاری شد (شکل ۴). در پایین دست لوله، مخزنی با حجم ۱۰ لیتر جهت جمع‌آوری روان‌آب و هدررفت خاک قرار داده شد. جهت جلوگیری از خروج احتمالی روان‌آب دور لوله‌ها به وسیله چسب پلاستیکی عایق‌کاری شد.

- اندازه‌گیری روان‌آب و هدررفت خاک تحت الگوهای بارندگی

هر الگوی توزیع زمانی بارندگی به تعداد پنج بار با فواصل زمانی یک هفته روی هر کرت فرسایشی در اواخر بهار و طی تابستان ۱۳۹۱ اعمال شد. انتخاب این دوره زمانی، برای کاهش احتمال وقوع باران‌های طبیعی در منطقه بود. برای حذف تأثیر رطوبت اولیه بر روان‌آب و هدررفت خاک، ۴۸ ساعت پیش از اعمال هر رخداد باران، خاک‌ها اشباع شدند [۲۲]. مجموعاً ۶۰ آزمایش در ۱۲ کرت

جدول ۲- ویژگی‌های خاک مورد مطالعه

Table 2. Soil properties of studied soil

مقدار	ویژگی‌های خاک	
Value	Soil properties	
56.2	Sand (%)	شن (%)
23.1	Silt (%)	سیلت (%)
20.7	Clay (%)	رس (%)
10.43	Gravel (%)	سنگریزه (%)
1.44	Bulk Density (g.cm ⁻³)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)
2.41	Particle Density (g.cm ⁻³)	جرم مخصوص حقیقی (گرم بر سانتی متر مکعب)
2.48	MWD _{wet} (mm)	پایداری خاکدانه در آب (میلی متر)
7.5	pH	اسیدیته
2.94	EC (ds.m ⁻¹)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)
1.05	Organic Matter (%)	ماده آلی (%)
11.3	Calcium Carbonate Equivalent (%)	کربنات کلسیم معادل (%)
13.7	CEC (cmol ⁺ .kg ⁻¹)	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بار بر کیلوگرم)

دامنه دارای بافت لوم رسی شنی با ماده آلی پایین بود. خاک مورد مطالعه به طور نسبی دارای مقدار بالایی کربنات کلسیم معادل (۱۱/۳ درصد) بوده و در گروه خاک‌های آهکی قرار داشت. وجود املاح مختلف از جمله کربنات‌ها در کنار افزایش ناچیز اسیدیته خاک در افزایش شوری خاک نیز نقش داشتند. فراوانی زیاد ذرات درشت مانند شن و سنگریزه موجب بالا بودن جرم مخصوص ظاهری خاک شد. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به دلیل فراوانی اندک ذرات کلوئیدی (رس و ماده آلی) کم، پایین بود.

بر اساس نتایج آزمون t، تفاوت معنی‌داری بین میانگین الگوهای بارندگی غیریکنواخت (۱۱ الگو) و الگوی بارندگی یکنواخت از نظر تولید روان‌آب و هدررفت خاک وجود نداشت (جدول ۳). این موضوع به دلیل تداوم پایین (۵ دقیقه‌ای) شدت اوج بارندگی طی مدت بارندگی بود. با وجود آن که شدت بارندگی در مدتی کوتاه (۵ دقیقه) تا دو برابر افزایش یافت اما تداوم کل بارندگی نیز به اندازه ۵ دقیقه کاهش یافت (جدول ۱) و این دو موضوع موجب شد تفاوتی چشمگیر از نظر تولید رواناب و نیز هدررفت خاک بین الگوهای بارندگی یکنواخت و الگوی بارندگی یکنواخت رخ ندهد. در واقع دو الگوی بارندگی (یکنواخت و غیریکنواخت) تفاوت اساسی از نظر فرساینده‌گی نداشتند. این نتایج با یافته‌های احمد و همکاران [۱] مغایرت داشت. این پژوهشگران نشان دادند که الگوی زمانی توزیع بارندگی بر میزان تولید روان‌آب و هدررفت خاک اثر معنی‌داری

مستقر روی دامنه انجام گرفت (۵ تکرار × ۱۲ الگو). پس از اعمال هر رخداد باران حجم مخلوط روان‌آب و رسوب تعیین گردید و پس از هم‌زدن کامل مخلوط، یک نمونه همگن ۰/۵ لیتری از درون آن برداشته شد. در آزمایشگاه رسوب موجود در نمونه با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ جدا شد و در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید [۳۹]. بر مبنای نسبت رسوب در نمونه، جرم کل رسوب در هر کرت برای هر رخداد به دست آمد.

تعیین ویژگی‌های خاک

برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌ای مرکب از خاک دامنه از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری تهیه شد. توزیع اندازه ذرات (شن، سیلت و رس) به روش هیدرومتری [۳]، ماده آلی به روش والکی و بلاک [۹]، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور [۲۶]، جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتر [۲۰]، درصد سنگریزه به روش وزنی [۱۳]، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون [۱۸]، واکنش (اسیدیته) خاک در عصاره گل اشباع با استفاده از دستگاه pH متر [۳۶] و هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با استفاده از دستگاه EC متر [۲۹] اندازه‌گیری شدند. همچنین در پیرامون محل برداشت نمونه خاک، جرم مخصوص ظاهری با استفاده از سیلندر فلزی [۱۳] به ارتفاع ۵ سانتی‌متر و قطر ۴ سانتی‌متر از زمین تعیین گردید. پایداری خاکدانه در آب به روش الک تر در خاکدانه‌های با قطر ۶ تا ۸ میلی‌متر به وسیله دستگاه مکانیکی با سرعت ۲۰ دور در دقیقه به مدت یک دقیقه اندازه‌گیری و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار تعیین گردید [۴].

تحلیل داده‌ها

پیش از تجزیه داده‌های روان‌آب و هدررفت خاک، داده‌ها از نظر نرمال بودن، با استفاده از آماره‌های چولگی و کشیدگی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. داده‌های غیرنرمال نیز با استفاده از روش‌های معمول (جذر و ...) نرمال گردیدند. تفاوت در تولید روان‌آب و هدررفت خاک بین میانگین الگوهای بارندگی غیریکنواخت و الگوی بارندگی یکنواخت با آزمون t بررسی شد. همچنین تفاوت در تولید روان‌آب و هدررفت خاک میان کل الگوهای بارندگی (۱۲ الگو) با استفاده از آزمون مقایسه میانگین دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ بررسی شد. رابطه بین میزان هدررفت خاک و ارتفاع روان‌آب در کل باران‌ها با استفاده از توابع مختلف (خطی، نمایی و غیره) بررسی و بر اساس بالاترین ضریب تعیین (R²) تعیین شد. برای انجام کارهای آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ و برای ترسیم منحنی‌ها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۰ استفاده گردید.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک (جدول ۲)، خاک

جدول ۴- تجزیه واریانس تفاوت روان آب و هدررفت خاک بین الگوهای مختلف توزیع زمانی بارندگی

Table 4. Analysis of variance of runoff and soil loss between nonuniform patterns and uniform pattern

منبع	میانگین مربعات	درجه آزادی	F	سطح معنی داری
Source	Mean Square	df		Significant Level
روان آب	0.432	1	3.283	0.075
خطا	0.132	58	-	-
هدررفت خاک	1.522	1	0.483	0.490
خطا	3.148	58	-	-

روان آب و هدررفت خاک افزایش یافت [۸ و ۳۰]. شکل های ۴ و ۵ به ترتیب مقایسه میانگین روان آب و هدررفت خاک بین ۱۲ الگوی مختلف توزیع زمانی بارندگی را نشان می دهد.

مقایسه بین رگبارهای پیش افتاده (الگوهای ۲، ۳ و ۴)، رگبارهای بینابین (الگوهای ۶، ۷ و ۸) و رگبارهای دیر کرده (الگوهای ۱۰، ۱۱ و ۱۲) نیز نشان داد که بین الگوهای مذکور، تفاوتی معنی دار از نظر روان آب ($p > 0.01$) و هدررفت خاک ($p < 0.01$) وجود داشت. جدول ۵ نتایج تجزیه واریانس روان آب و هدررفت خاک در سه الگوی بارندگی غیریکنواخت را نشان می دهد. گزارش های ژو و

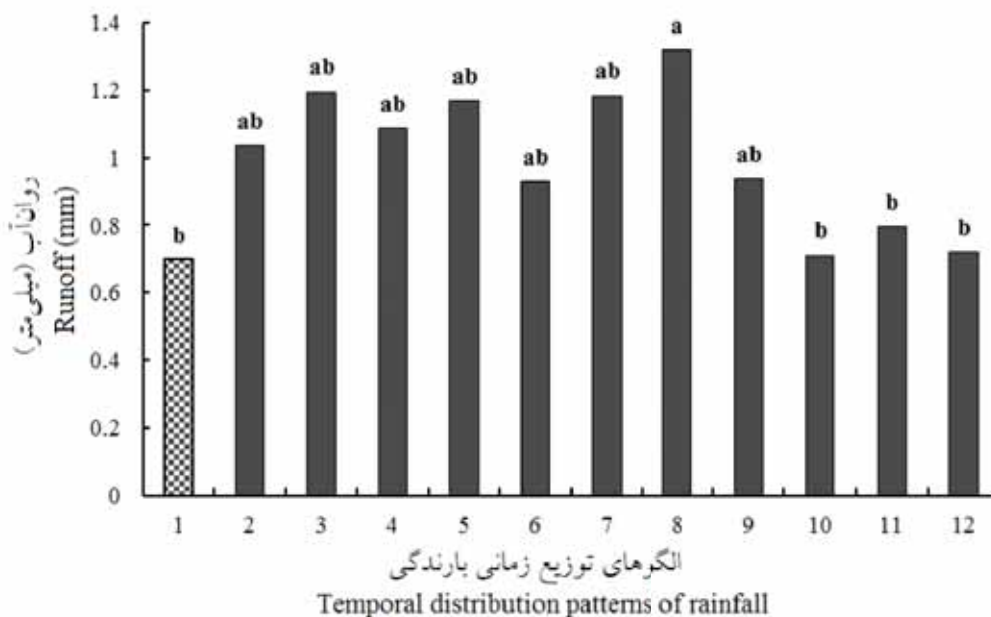
جدول ۳- مقایسه میانگین تفاوت روان آب و هدررفت خاک بین میانگین الگوهای بارندگی غیریکنواخت و الگوی بارندگی یکنواخت

Table 3. The mean differences between runoff and soil loss in the nonuniform patterns and uniform pattern

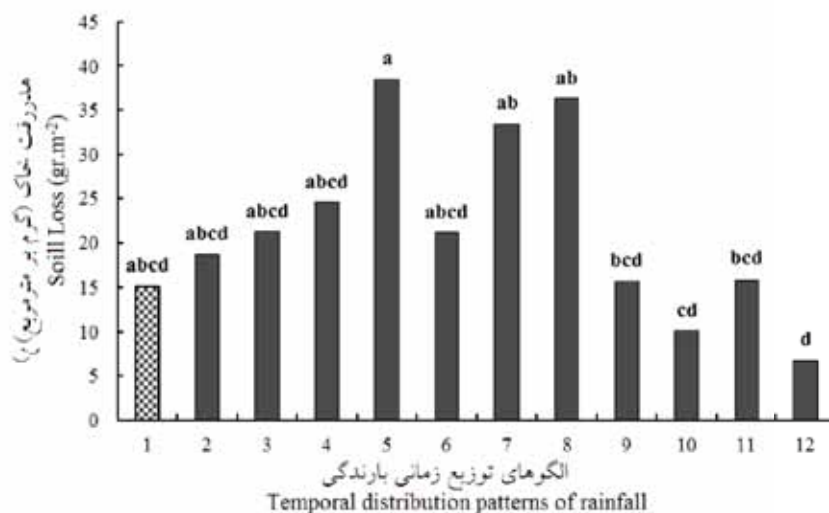
منبع	میانگین مربعات	درجه آزادی	F	سطح معنی داری
Source	Mean Square	df		Significant Level
روان آب	0.231	11	1.999	0.049
خطا	0.115	48	-	-
هدررفت خاک	5.811	11	2.320	0.022
خطا	2.504	48	-	-

دارد و در باران های دارای الگوی توزیع بارندگی متغیر نسبت به باران های دارای شدت ثابت، روان آب و هدررفت خاک بیشتری تولید شد. این موضوع به طور نسبی به دلیل دوام زیاد (۱۵ تا ۲۰ دقیقه) شدت اوج باران طی مدت بارندگی بود.

تجزیه واریانس تفاوت روان آب و هدررفت خاک بین الگوهای مختلف توزیع بارندگی (۱۲ الگو) نشان داد که تفاوتی معنی دار بین الگوهای مختلف بارندگی از نظر روان آب ($p < 0.05$) و هدررفت خاک ($p < 0.05$) وجود داشت (جدول ۴). این تفاوت به دلیل توزیع زمانی شدت اوج در پایه های زمانی مختلف طی بارندگی بود. طی مدت وقوع شدت اوج، ذرات خاک بیش تری جدا شد و تولید



شکل ۴- مقایسه میانگین روان آب بین الگوهای مختلف توزیع زمانی بارندگی
Fig. 4. The mean difference of runoff in temporal distribution patterns of rainfall



شکل ۵- مقایسه میانگین هدررفت خاک بین الگوهای مختلف توزیع زمانی بارندگی
Fig. 5. The mean difference of soil loss in temporal distribution patterns of rainfall

جدول ۵- تجزیه واریانس تفاوت روان آب و هدررفت خاک
بین رگبارهای پیش افتاده، بینابین و دیر کرده

Table 5. Analysis of variance of runoff and soil loss in advanced, intermediate and delayed rainfalls

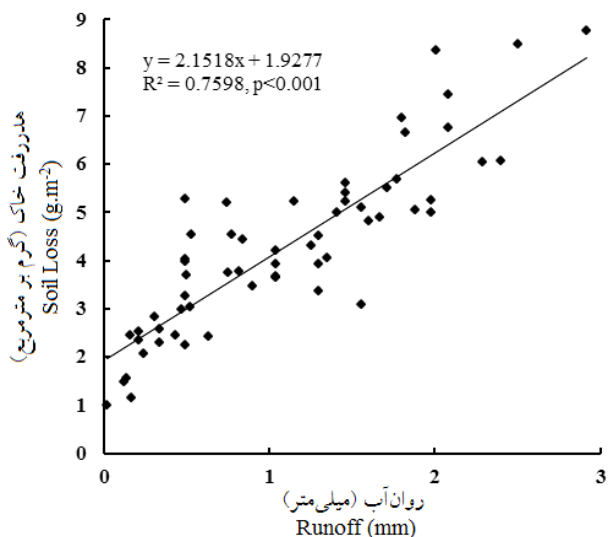
منبع	میانگین	درجه	F	سطح معنی داری
مربعات	آزادی			
Significant	Mean	df		
Level	Square			
0.003	0.732	2	6.497	روان آب
-	0.113	42	-	خطا
0.002	17.584	2	7.614	هدررفت خاک
-	2.309	42	-	خطا

تولید روان آب نسبت به رگبارهای پیش افتاده بیش تر بود. دلیل این امر نفوذ بیش تر آب به دلیل رطوبت کم تر خاک در اوایل بارندگی در رگبارهای پیش افتاده ذکر شده است. نتایج تحقیق حاضر با یافته های رومکنز و همکاران [۳۰] مطابقت داشت. این پژوهشگران بیان کردند که در رگبارهای پیش افتاده میزان هدررفت خاک نسبت به رگبارهای دیر کرده بیش تر بود. دلیل این امر تخریب خاک سطحی و کاهش چسبندگی ذرات خاک در رگبارهای پیش افتاده بیان شد. این رگبارها به دلیل قابلیت بالا در ایجاد روان آب، توانایی حمل ذرات بالاتری از خاک را نسبت به رگبارهای دیر کرده داشتند.

نتایج نشان داد که بین روان آب و هدررفت خاک یک رابطه معنی داری ($R^2=0.75$) وجود داشت (شکل ۷) به طوری که با افزایش روان آب، هدررفت خاک به طور خطی افزایش یافت. در واقع الگوهایی از بارندگی که دارای قابلیت تولید روان آب بیش تری بودند، به نوبه خود فرساینده گی بالاتری نیز داشتند. فرسایش رخ داده

گاوین [۳۸] نیز نشان می دهد که الگوی بارندگی (نوع رگبار) به شدت در نفوذپذیری خاک و تولید روان آب مؤثر است. مطالعات رومکنز و همکاران [۳۰] نیز نشان داد که نوع رگبار عاملی مهم در پیش بینی روان آب و فرسایش خاک است.

مقایسه میانگین روان آب و هدررفت خاک بین سه الگوی بارندگی غیریکنواخت (پیش افتاده، بینابین و دیر کرده) نشان داد که در رگبارهای بینابین نسبت به رگبارهای پیش افتاده و رگبارهای دیر کرده، روان آب (۱/۳۹ میلی متر) و همچنین هدررفت خاک (۳۰/۳۱ گرم بر مترمربع) بیش تر بود (شکل ۶). این نتایج را می توان چنین استدلال کرد که در رگبارهای بینابین با شروع بارندگی همگام با افزایش رطوبت اولیه خاک، تخریب خاک شروع شد و سپس در اواسط بارندگی با افزایش شدت بارندگی تخریب خاک شدیدتر شد و روان آب و پیرو آن هدررفت خاک نیز به دلیل تخریب شدید خاک افزایش یافت. این رگبارها فرساینده ترین رگبارها بودند. همچنین در رگبارهای پیش افتاده نیز نسبت به رگبارهای دیر کرده روان آب و هدررفت خاک بیش تر بود. در این رگبارها در اوایل بارندگی، وجود شدت بالا، باعث تخریب سریع خاک و حداکثر روان آب و هدررفت خاک شد. با تداوم بارندگی و با وجود کاهش شدت آن، به دلیل تداوم تخریب خاک و کاهش نفوذپذیری خاک، روان آب و هدررفت خاک همچنان بالا بود. در رگبارهای پیش افتاده میزان روان آب و هدررفت خاک به ترتیب ۹۸/۵۱ درصد و ۹۸/۶۳ درصد بیش تر از رگبارهای دیر کرده بود. در رگبارهای دیر کرده، تا قبل از شروع حداکثر شدت بارندگی تخریب خاک به میزان جزئی و پایین بود و اگرچه با افزایش شدت بارندگی، تخریب خاک بیش تر شد لیکن به دلیل تداوم کوتاه باران و در نهایت قطع شدن بارندگی، کم ترین روان آب (۰/۶۵ میلی متر) و هدررفت خاک (۱۰/۹۱ گرم بر مترمربع) مشاهده شد. نتایج این پژوهش برخلاف گزارش های ژو و گاوین [۳۸] بود. این پژوهشگران گزارش کردند که در رگبارهای دیر کرده

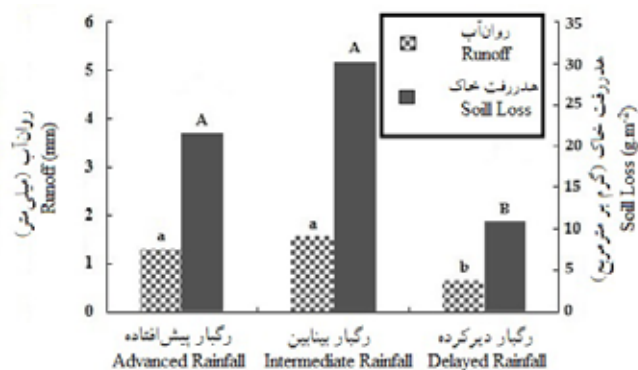


شکل ۷- رابطه بین روان آب و هدررفت خاک در الگوهای مختلف توزیع بارندگی

Fig. 7. The relationship between runoff and soil loss in various temporal distribution patterns

منابع

- Ahmed, S. I. Rudra, R. P. Gharabaghi, B. Mackenzie, K. and Dickinson, W. T. 2012. Within-storm rainfall distribution effect on soil erosion rate. International Scholarly Research Network. 4: 1-7.
- Assouline, S. and Ben-Her, M. 2006. Effect of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *Catena*. 66: 211-220.
- Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*. 54(5): 464-466.
- Burt, R. 2009. Soil survey and laboratory methods manual (1th Ed.). United States Department of Agriculture, Lincoln, 700p.
- Ciampalini, R. and Torri, D. 1998. Detachment of soil particles by shallow flow: Sampling methodology and observations. *Catena*. 32: 37-53.
- Corona, R. Wilson, T. D'Adderio, L. P. Porcu, F. Montaldo, N. and Albertson, J. 2013. On the estimation of surface runoff through a new plot scale rainfall simulator in Sardinia, Italy. *Procedia Environmental Sciences*. 19: 875-884.
- Defersha, M. B. and Melesse, A. M. 2012. Effect of rainfall intensity, slope and antecedent moisture content on sediment concentration and sediment enrichment ratio.



شکل ۶- مقایسه میانگین روان آب و هدررفت خاک در رگبارهای مختلف

Table 6. The mean differences of runoff and soil loss in various rainfalls

در سطح کرت‌ها از نوع سطحی بود و از آنجا که روان آب مهم‌ترین عامل انتقال ذرات خاک در فرسایش سطحی می‌باشد، با افزایش روان آب ذرات خاک به ویژه ذرات ریز بیش‌تری از سطح خاک جدا و منتقل شدند [۱۷ و ۲۱]. یافته‌های نیکولز [۲۴] در خاک‌های لوم و لوم شنی در شمال شرق ایالت آریزونا آمریکا تحت باران‌های طبیعی نیز نشان داد که روان آب عامل مهمی در توصیف تغییرات هدررفت خاک بود.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تولید روان آب و هدررفت خاک تحت تأثیر الگوی توزیع زمانی بارندگی قرار دارد. در رگبارهای پیش‌افتاده با وجود شدت بالای باران در اوایل بارندگی، به دلیل رطوبت پایین خاک، تخریب خاک و تولید روان آب و هدررفت خاک کم‌تر از رگبارهای بینابین بود. در رگبارهای دیرکرده که بیش‌ترین شدت بارندگی اواخر بارندگی قرار داشت، تخریب خاک تا پیش از شروع حداکثر شدت بارندگی پایین بود اما با وقوع آن افزایش زیادی یافت. با این حال به دلیل تداوم کوتاه باران و قطع شدن سریع بارندگی، کم‌ترین میزان روان آب و هدررفت خاک مشاهده شد. در رگبارهای بینابین، در اوایل بارندگی تخریب خاک در اثر باران پایین بود و در نتیجه تولید روان آب و هدررفت خاک طی این مدت کم‌تر بود. در این رگبارها در اواسط مدت بارندگی، تخریب خاک به اوج رسید و در نتیجه به دلیل کاهش شدید نفوذپذیری خاک، تولید روان آب افزایش یافت و منجر به افزایش هدررفت خاک شد و با تداوم بارندگی، تولید روان آب و در نتیجه هدررفت خاک همچنان بالا بود. این رگبارها فرساینده‌ترین رگبارها بودند. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بررسی الگوی زمانی توزیع بارندگی برای پی بردن به توان تولید روان آب و هدررفت خاک باران‌ها ضروری است. آگاهی از نوع الگوی توزیع زمانی بارندگی در برآورد دقیق فرساینده‌گی باران‌ها در یک منطقه مؤثر واقع می‌گردد.

363 p.

18. Kavian, A. and Mohammadi, M. A. 2012. Effect of rainfall type on runoff and sediment yield in plot scale. *Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources* 65(1), 117-130. (In Persian)
19. Klute, A. 1986. *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods* (2nd Eds.). Madison, Wisconsin, 87 p.
20. Liu, H. Lei, T. W. Zhao, J. Yuan, C. P. Fan, Y. T. and Qu, L. 2011. Effects of rainfall intensity and antecedent soil water content on soil infiltrability under rainfall condition using the run off-on-out method. *Journal of Hydrology*. 396: 24-32.
21. Mamdov, A. I. Huang, C. and Levy, G. J. 2006. Antecedent moisture content and aging duration effects on seal formation and erosion in Smectitic soils. *Soil Science Society of America Journal*. 70: 832-843.
22. Mojaradi Gilan, H. R. Salajeghe, A. Jafari, M. Ahmadi, H. and Bihamta, M. R. 2008. Evaluation effect of rainfall temporal pattern on runoff producing and rainfall erosivity using rainfall simulator. In: 4th National Seminar on Watershed Management Sciences and Engineering, 20-21 Feb., Tehran University, Karaj, Iran. (In Persian)
23. Nichols, M. H. 2006. Measured sediment yield rates from semiarid rangeland watersheds. *Rangeland Ecology & Management*. 59: 55-62.
24. Ollesch, G. and Vacca, A. 2002. Influence of time on measurement results of erosion plot studies. *Soil & Tillage Research*. 67: 23-39.
25. Page, M. C. Sparks, D. L. Noll, M. R. and Hendricks, G. J. 1987. Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy middle Atlantic Coastal plain soils. *Soil Science Society American Journal*. 51: 1460-1465.
26. Parsons, A. J. and Stone, P. M. 2006. Effects of intra-storm variations in rainfall intensity on interrill runoff and erosion. *Catena*. 67: 68-78.
27. Rao, K. P. C. Steenhuis, T. S. Cogle, A. L. Srinivasan, S. T. Yule, D. F. and Smith, G. D. 1998. Rainfall infiltration and runoff from an Alfisol in semi-arid tropical India. II. Tilled systems. *Soil & Tillage Research*. 48: 61-69.
28. Rhoades, J. D. 1982. Soluble salts, In: Page AL (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 2, Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Catena. 90: 47-52.
7. Donjadee, S. and Chinnarasri, C. 2012. Effects of rainfall intensity and gradient on the application of vetiver grass mulch in soil and water conservation. *International Journal of Sediment Research*. 27: 168-177.
8. Duiker, S. W. Flanagan, D. C. and Lal, R. 2001. Erodibility and filtration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*. 45: 103-121.
9. El Kateb, H. Zhang, H. Zhang, P. and Mosandl, R. 2013. Soil erosion and surface runoff on different vegetation covers and slope gradients: A field experiment in Southern Shaanxi Province, China. *Catena*. 105: 1-10.
10. Flanagan, D. 2002. Erosion Encyclopedia of Soil Science. In: Lal, R. (Ed.), New York, Marcel Dekker. Pp: 395-398.
11. Frauenfeld, B. and C. C. Truman. 2004. Variable rainfall intensity effects on runoff and interrill erosion from two Coastal Plain Ultisols in Georgia. *Soil Science*. 169: 143-154.
12. Gee, G. W. and Bauder, J. W. 1986. Particle size analysis. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy, Madison. Pp: 383-411.
13. Gungor, H. and Dudu, D. 2012. Relations between erosion and water and the case of Eskisehir. 8th International Soil Science Congress on "Land Degradation and Challenges in Sustainable Soil Management", 15-17 May, Ege University, Izmir, Turkey, Pp: 318-322.
14. Hamdami, G. Najafinejad, A. Bordisheikh, V. and Azimmohseni, M. 2011. Nomination of the effect of the slope and rainfall intensity on the amount of soil erosion by using rainfall simulator. National Conference on Modern Agricultural Sciences & Technologies. Zanjan University, Zanjan, Iran. (In Persian)
15. Hudson, N. W. 1987. *Soil and water conservation in semi-arid areas* (1th Ed.). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Michigan, 172 p.
16. Jin, K. Cornelis, W. M. Gabriels, D. Baert, M. Wu, H. J. Schiettecatte, W. Cai, D. X. Neves, S. D. Jin, J. Y. Hartmann, R. and Hofman, G. 2009. Residue cover and rainfall intensity effects on runoff soil organic carbon loess. *Catena*. 78: 81-86.
17. Jones, J. B. 2001. *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis* (1th Ed.). CRC Press, Florida,

35. Vasquez-Mendez, R. Ventura-Ramos, E. Oleschko, K. Hernandez-Sandoval, L. and Dominguez-Cortazar, M. A. 2011. Soil erosion processes in semiarid areas. In: Godone D and Stanchi S (Eds.), Soil erosion Studies. InTech, China. Pp. 25-27.
36. Westerm, R. L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis (3rd Ed.). Soil Science Society of America, Wisconsin, 755 p.
37. Xue, J. and Gavin, K. 2007. Effect of rainfall intensity on infiltration into partly saturated slopes. Geotechnical and Geological Engineering. 26(2): 199-209.
38. Zhang, K. Li, S. Peng, W. and Yu, B. 2004. Erodibility of agricultural and loess plateau of China. Soil Tillage Research. 76: 157-165.
39. Zhou, P. Luukkanen, O. Tokola, T. and Nieminen, J. 2008. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. Catena. 75: 319-325.
- Soil Science Society of America, Madison. Pp. 167-179.
29. Romkens, M. J. M. Helming, K. and Prasad, S. N. 2001. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. Catena. 46: 103-123.
30. Sharon, D. and Kutiel, H. 1986. The distribution of rainfall intensity in Israel, Its regional and seasonal variation and its climatological evaluation. Journal of Climatology. 6: 277-291.
31. Thomas, N. P. and El Swaify, S. A. 1989. Construction and calibration of a rainfall simulator. Journal of Agricultural Engineering Research. 43: 1-9.
32. Toy, J. T. Foster, G. R. and Renard, K. G. 2002. Soil Erosion: Processes, predict, measurement, and control (1th Ed.). John Wiley and Sons, New York, 352 p.
33. Truman, C. C. Strickland, T. C. Potter, T. L. Franklin, D. H. and Bosch, D. D. 2007. Variable rainfall intensity and tillage effects on runoff, sediment, and carbon losses from a loamy sand under simulated rainfall. Journal of Environment Quality. 36(5): 1495-1502.
34. Umakhanthan, K. 2002. Estimation of the spatio-temporal Heterogeneity of rainfall and its importance towards Robust catchment Simulation, Within a hydroinformatic environment. Ph.D. Dissertation. Faculty of Engineering. University of New South Wales, 342 pages.

*Abstract***Soil Loss under Simulated Rainfalls Rainfall During Events on Runoff and Soil Loss under Simulated Rainfalls**F. Besharat¹ and A.R. Vaezi²

Received: 2013/04/28 Accept: 2015/01/24

Rainfall intensity is one of the most important factors in soil erosion. Variation of the rainfall intensity during a storm event which is defined as temporal distribution pattern of rainfall may affect temporal variation of runoff and soil erosion. This is an essential problem to accurately estimate rainfall erosivity particularly in semi-arid regions, where various patterns of temporal rainfall distribution occurs during a In this study, eleven non-uniform temporal distribution patterns with basic intensity of 20 mm.h⁻¹. maximum 5-min intensity of 40 mm.h⁻¹ along with an uniform temporal distribution pattern with 20 mm.h⁻¹ in intensity were investigated at twelve erosion plots (60 cm× 80 cm) installed in a hillslope with 9% slope in 2012. Each plot was exposed to five simulated rainfalls. There were significant differences among temporal distribution patterns in runoff and soil loss. These differences were associated with soil surface breakdown and declining infiltration rate during peak rainfall intensity period. In the intermediate rainfalls, which the maximum intensity occurred at the middle time during rainstorm, there was the highest value of runoff (1.39 mm) and soil loss (30.31 g.m⁻²). In these storms, soil was slowly disrupted and wetted by raindrops at early times during the rainfall. However, when rainfall intensity increased, runoff and soil loss remarkably increased and this condition was approximately constant over time. In the advanced rainfalls, amount of runoff and soil loss were 98.51% and 98.63% as compared to the delayed rainfalls. In the delayed rainstorms, although rainfall intensity severely increased at the final periods during the event, the lowest runoff and soil loss occurred because the duration of the maximum intensity was relatively short and the rainfall was immediately stopped.

Keywords: *Simulated rainfall, Rainfall intensity, Erosion plot, Semi-arid region*

1- M.Sc. student of Soil Science in Agriculture Faculty, University of Zanjan, Iran, Corresponding Author email: far.besharat@gmail.com.

1- Corresponding Author and Associate Professor of Soil Science in Agriculture Faculty, University of Zanjan, Iran,