

## تحلیل اثر رگبارهای متوالی بر ویژگی‌های خاک، تولید رواناب سطحی و هدررفت خاک در خاک‌های با پایداری متفاوت در کرت‌های کوچک

علی‌رضا واعظی<sup>۱\*</sup>، حسین بیات<sup>۲</sup> و سعید رحمتی<sup>۳</sup>

<sup>۱\*</sup> دانشیار؛ گروه علوم خاک؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه زنجان؛ زنجان، ایران

<sup>\*</sup> نویسنده مسئول مکاتبات: [vaezi.alireza@gmail.com](mailto:vaezi.alireza@gmail.com)

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد؛ گروه علوم خاک؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه زنجان؛ زنجان، ایران

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد؛ گروه علوم خاک؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه زنجان؛ زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۷

### چکیده

آگاهی از تغییرات زمانی ویژگی‌های خاک در هر رخداد طی بارش‌های متوالی برای تعیین دوره بحرانی که خاک حساس به فرآیندهای فرسایشی می‌شود، بسیار حائز اهمیت است. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر رگبارهای متوالی بر تغییر ویژگی‌های خاک، تولید رواناب سطحی و هدررفت خاک در ۱۸ نوع خاک مختلف با اندازه خاکدانه یکسان (با قطر بین ۴ و ۶ میلی‌متر)، انجام گرفت. آزمایش در کرت‌های فرسایشی کوچک با طول ۸۰ سانتی‌متر و عرض ۶۰ سانتی‌متر با شیب ۹ درصد طی هفت رگبار متوالی شبیه‌سازی شده با شدت ۸۵ میلی‌متر بر ساعت و تداوم ۳۰ دقیقه با فواصل پنج روز اجرا شد. نتایج نشان داد که تفاوتی معنی‌دار بین خاک‌ها از نظر جرم مخصوص ظاهری، نگره‌داشت آب، تولید رواناب و هدررفت خاک به‌وجود آمد ( $P < 0.001$ ). در رخداد رگبار اولیه به‌دلیل فراوانی زیاد خاکدانه‌های پایدار و پایین بودن رطوبت پیشین خاک‌ها، پایین‌ترین مقدار رواناب (۱۴/۴ میلی‌متر) و هدررفت خاک (۷۹۲ گرم بر مترمربع) مشاهده شد. در رخداد رگبارهای متوالی بعدی گرچه تغییرات زیاد در نگره‌داشت آب در خاک مشاهده نشد، اما افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک هم‌چنان آشکار بود. روابطی معنی‌دار بین هدررفت خاک ( $R^2 = 0.58$ ) و جرم مخصوص ظاهری خاک و نیز رطوبت پیشین خاک ( $R^2 = 0.75$ ) وجود داشت. این پژوهش نشان داد که آگاهی از تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک و رطوبت پیشین خاک در رخدادهای باران طی سال می‌تواند در پیش‌بینی فرسایش خاک رخداد طی رگبارهای متوالی در یک منطقه مؤثر واقع شود. به‌طور کلی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی خاک در هر رخداد نقشی مهم در افزایش حساسیت خاک به فرسایش طی رگبارهای متوالی دارد.

**کلید واژه‌ها:** بافت خاک؛ جرم مخصوص ظاهری؛ رطوبت پیشین خاک؛ ساختمان خاک؛ منطقه نیمه‌خشک

### مقدمه

کره زمین فرسایش آبی است. این فرسایش نتیجه اثرات متقابل اقلیم، رواناب سطحی، خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و مدیریت خاک است (Oliveira et al., 2010). تولید رواناب و هدررفت خاک در اثر این نوع از فرسایش به عواملی هم‌چون بافت، ساختمان، نفوذپذیری خاک و ویژگی‌های باران (شدت و مدت) بستگی دارد (Girmay et al., 2009). با تغییر شرایط خاک طی رخدادهای

امروزه فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیط زیستی به شمار می‌رود (Ekwue et al., 2009)، که به‌طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند (Morgan, 2005) و منجر به کاهش حاصل‌خیزی و قدرت تولید اراضی می‌شود (Teramage et al., 2013). از جمله مهم‌ترین نوع فرسایش خاک روی

Sanchez و همکاران (۲۰۱۵) در مزارع قهوه در کاستاریکا نشان داد که با افزایش رخدادهای بارندگی به دلیل افزایش رطوبت پیشین خاک و کاهش نفوذپذیری خاک، مقدار رواناب و هدررفت خاک افزایش پیدا کرد. یافته‌های Vaezi و همکاران (۲۰۱۶) در خاک‌های با بافت مختلف با استفاده از سامانه شبیه‌ساز باران نشان داد که با افزایش توالی رخداد، به دلیل افزایش محتوای رطوبتی خاک و در معرض قرار گرفتن ذرات حساس بیش‌تر، هدررفت خاک افزایش قابل توجهی پیدا کرد، به طوری که بیش‌ترین مقدار هدررفت خاک مربوط به رخداد رگبار متوالی پایانی بود. Sadeghi و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی اثرات رخدادهای باران متوالی بر روی رواناب و فرسایش خاک در کرت‌های کوچک آزمایشی با استفاده از پسماند آلی ویناس پرداختند. نتایج نشان داد که رخدادهای باران متوالی اثر معنی‌داری بر زمان شروع رواناب، حجم رواناب، ضریب رواناب و هدررفت خاک ( $p < 0.01$ ) داشت، در حالی که اثر آن بر روی غلظت رسوب معنی‌دار نبود ( $p < 0.13$ ). حسن‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی تغییرات رواناب در ابعاد کرت در نمونه‌های با بافت مختلف تحت رخدادهای یکسان باران شبیه‌سازی شده نشان دادند که از رخداد اول تا رخداد چهارم، رطوبت خاک و تولید رواناب، افزایش و زمان آغاز رواناب به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. از رخداد پنجم به بعد، احتمالاً به دلیل به پایان رسیدن نسبی تخریب ساختمان خاک، تفاوت چشم‌گیری در مشخصه‌های رواناب دیده نشد. شریفی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی ماندگاری اثرات ویناس نیشکر بر کاهش فرسایش خاک طی چهار رگبار متوالی با استفاده از باران‌های شبیه‌سازی شده با شدت ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت در کرت‌های کوچک پرداختند. نتایج نشان از اثر معنی‌دار توالی بارندگی بر زمان، حجم، ضریب رواناب و هدررفت خاک ( $P < 0.01$ ) بود. اثر متقابل توالی بارندگی با شدت باران و نیز تیمار ویناس بر متغیرهای مورد بررسی (زمان آغاز رواناب، حجم رواناب و هدررفت خاک) متفاوت بود. در

باران‌های متوالی، قابلیت خاک در تولید رواناب و هدررفت خاک دست‌خوش تغییر می‌شود. در مناطق نیمه‌خشک، ضعف پوشش گیاهی و ناپایداری ساختمان خاک از جمله عوامل مهم مؤثر بر تولید رواناب و هدررفت خاک طی رخداد رگبارهای متوالی<sup>۱</sup> می‌باشند. آگاهی از تغییرات زمانی ویژگی‌های خاک و تعیین دوره بحرانی که در آن خاک حساس به فرآیندهای فرسایش می‌شود، بسیار حائز اهمیت است (Bajracharya et al., 1998).

در مورد تغییرات زمانی تولید رواناب و هدررفت خاک طی رخداد رگبارهای متوالی پژوهش‌های متعددی انجام گرفته است، با این حال مقیاس مطالعه اغلب ماهانه یا فصلی بوده است. به‌عنوان مثال می‌توان به پژوهش‌های محمدی و کاویان (۱۳۸۹) در حوضه خامسان در استان کردستان، Bi و همکاران (۲۰۱۱) در شمال چین، Gao و Josefson (۲۰۱۲) در حوزه آبخیز نیویورک مرکزی در آمریکا و Wallas و همکاران (۲۰۱۳) در خاک‌های سویل اسپانیا اشاره کرد که همه به‌نوبه خود به این نتیجه رسیدند که در فصل‌های تر سال از جمله اواخر پاییز، زمستان و اوایل بهار به دلیل افزایش ذخیره رطوبتی و کاهش نفوذپذیری خاک، تولید رواناب و هدررفت خاک افزایش خواهد یافت. پژوهش‌های محدودی در مورد تغییرات رواناب و هدررفت خاک رخداد طی رگبارهای متوالی در سراسر جهان انجام گرفته است. یافته‌های Endale و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که با افزایش تعداد رخداد رگبارهای متوالی فرسایش‌پذیری خاک و هدررفت خاک افزایش یافت. بررسی‌های Cattani و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که حجم رواناب خروجی و هدررفت خاک از رخداد اول تا رخداد متوالی پنجم افزایش یافت و از رخداد پنجم به بعد به دلیل عدم افزایش قابل توجه حجم رواناب، هدررفت خاک نیز شدید نبود. بررسی‌های Villatoro-

<sup>1</sup> Subsequent Rainfall

بنابراین این پژوهش به منظور بررسی تغییرات رواناب سطحی، جرم مخصوص ظاهری، نگه‌داشت رطوبتی و هدررفت خاک در خاک‌های با پایداری متفاوت در کرت‌های آزمایشی کوچک صحرایی طی رگبارهای متوالی و تعیین علل آن انجام گرفت.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مطالعاتی

این پژوهش در نمونه‌های خاک مختلف، در استان زنجان طی سال ۱۳۹۵ انجام گرفت. استان زنجان یکی از مناطق نیمه‌خشک واقع در شمال غرب ایران با متوسط بارندگی سالانه ۲۹۵ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۰/۹ درجه سانتی‌گراد بوده و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک بر اساس اطلاعات نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی کشور به ترتیب زیریک<sup>۱</sup> و مزیک<sup>۲</sup> است (زیرین آبادی و واعظی، ۱۳۹۵). از نظر زمین‌شناسی، قسمت عمده اراضی مطالعه شده روی واحد فیزیوگرافی دشت‌های مرتفع قدیمی قرار داشته و جزء خاک‌های آهکی به شمار می‌روند. خاک‌ها بر اساس روش رده‌بندی آمریکایی در دو رده این‌سپتی‌سول<sup>۳</sup> و انتی‌سول<sup>۴</sup> قرار دارند. این اراضی به کشت غلات دیم به‌ویژه گندم اختصاص دارند. خاک‌ها از نظر ساختمانی کم‌تر توسعه یافته‌اند و به دلیل پایداری اندک، حساسیت بالایی به فرآیندهای فرسایش از جمله فرسایش بارانی دارند (اکبری و واعظی، ۱۳۹۴). به دلیل کمبود بارش‌های آسمانی و توزیع غیریکنواخت آن طی سال، اغلب پوشش گیاهی مناسب و دائمی روی خاک فراهم نیست. از این رو بیش‌تر خاک‌ها در این استان تحت فرسایش آبی شدید می‌باشند. بیش‌ترین شدت تولید هدررفت خاک در عرصه‌های با پوشش گیاهی ضعیف و ساختمان نامناسب در غرب زنجان است.

پژوهشی اسلامی و واعظی (۱۳۹۴) نیز تولید رواناب و هدررفت خاک رخداد را طی رگبارهای متوالی در خاک کشاورزی دارای قطره‌های مختلف خاکدانه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که مقادیر رواناب و هدررفت خاک طی رگبارهای متوالی به‌طور معنی‌دار افزایش یافت.

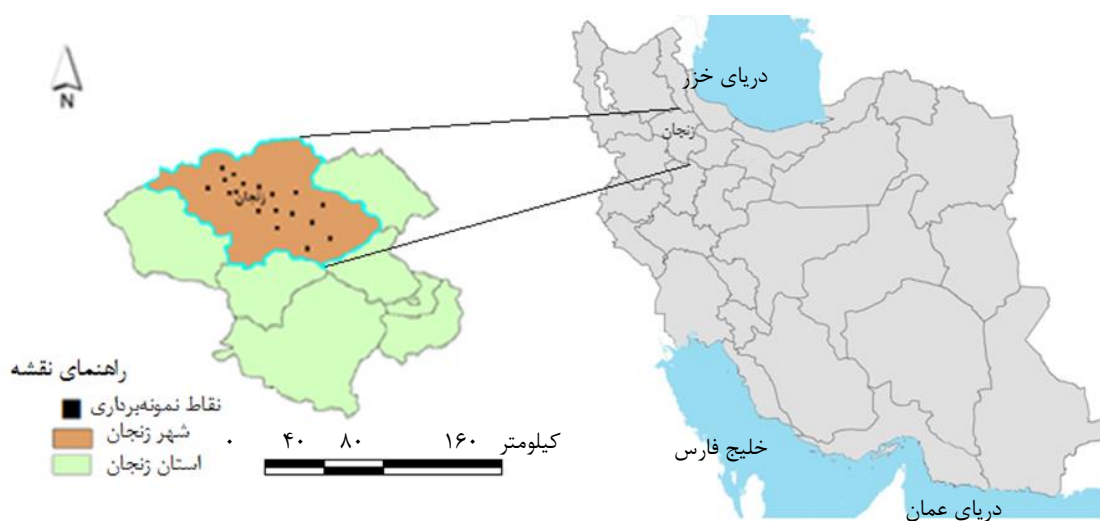
به‌طور کلی پاسخ خاک در برابر فرآیندهای فرسایشی بسیار پیچیده بوده و در کنار آن که تحت تأثیر پایداری خاکدانه قرار می‌گیرد (اکبری و واعظی، ۱۳۹۴)، از رخداد باران به رخداد توالی دیگر به دلیل تغییر ویژگی‌های خاک (ساختمان) و شرایط آن (رطوبت اولیه) می‌تواند متفاوت باشد (اسلامی و واعظی، ۱۳۹۴). این پاسخ را می‌توان در خاکدانه‌های با اندازه یکسان در خاک‌های با ویژگی‌های مختلف مانند بافت، ساختمان و ماده آلی طی رگبارهای شبیه‌سازی شده مطالعه کرد. این موضوع در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک حائز اهمیت است. خاک‌های این مناطق به دلیل پایین بودن عوامل پیوند دهنده ذرات (مانند ماده آلی و ...)، پایداری اندکی در برابر نیروهای خارجی از جمله ضربه قطرات باران دارند، هم‌چنین پوشش گیاهی در این مناطق اغلب ضعیف بوده و فرآیندهای فرسایش خاک فعال است. بنابراین خاک‌های منطقه نیمه‌خشک غالباً حساسیت بالایی برای تولید رواناب و هدررفت خاک دارند. گزارش‌ها نشان می‌دهد که در خاک‌های این مناطق به دلیل تشکیل پوسته‌های سخت سطحی در اثر بارندگی، نفوذپذیری خاک در رخداد‌های بعدی به شدت کاهش یافته و در نتیجه رواناب و هدررفت خاک افزایش می‌یابد (بشارت و واعظی، ۱۳۹۴). به‌طور کلی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی خاک در هر رخداد نقشی مهم در افزایش حساسیت خاک به تولید رواناب و در نتیجه فرسایش طی رگبارهای متوالی دارد. آگاهی از میزان تغییرات ویژگی‌های خاک در هر رخداد با افزایش توالی‌های بارش برای تعیین دوره بحرانی که خاک حساس به فرآیندهای فرسایشی می‌شود، بسیار حائز اهمیت است.

<sup>1</sup>. Xeric

<sup>2</sup>. Mesic

<sup>3</sup>. Inceptisol

<sup>4</sup>. Entisol



شکل ۱. موقعیت منطقه مادری خاک در ایران و نمایی از نقاط نمونه برداری خاک

میلی متر از هر کدام به میزان ۲۰۰ کیلوگرم برداشت و به ایستگاه آزمایشی منتقل شد. شکل ۱ موقعیت منطقه در کشور و محل نقاط نمونه برداری خاک را نشان می دهد. برای تعیین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی هر خاک، نمونه ای از خاکدانه ها (به عنوان نمونه دست نخورده) همراه با نمونه گذرانده شده از الک ۲ میلی متر (به عنوان نمونه دست خورده) تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد.

#### اندازه گیری ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک

ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک در هر یک از نمونه های دست خورده و دست نخورده در آزمایشگاه اندازه گیری شد. در نمونه های دست خورده از خاکها درصد ذرات معدنی خاک (شن، سیلت و رس) به روش هیدرومتر (Gee *et al.*, 1986) تعیین شد. فراوانی سنگریزه (قطر بین ۲ تا ۸ میلی متر) از نسبت جرم سنگریزه در هر نمونه به جرم کل نمونه خاک به دست آمد. واکنش خاک در گل اشباع با استفاده از pH متر، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با استفاده از EC متر، ماده آلی به روش والکی-بلاک (Nelson and Sommers, 1982)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید کلریدریک یک نرمال (Jackson, 1967) اندازه گیری شد. در نمونه های دست نخورده، جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر (Culley, 1993)،

به طوری که گزارشها نشان می دهد این منطقه پتانسیل تولید هدررفت خاک زیادی را دارد، اغلب این رسوبات در اطراف رودخانه قزل اوزن به عنوان طولانی ترین رودخانه در حوضه سفیدرود در شمال غرب ایران، تولید می شوند (Vaezi *et al.*, 2016).

#### نمونه برداری خاک

برای اجرای این پژوهش، ۱۸ نمونه خاک از لایه ۲۰ سانتی متری مناطق مختلف استان زنجان جمع آوری شد. مبنای انتخاب خاکها، بر اساس تفاوت خاکها از نظر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی (بافت و ساختمان) بوده است. برای بررسی نقش ساختمان در خاکها، خاکدانه های با قطر ۴ تا ۶ میلی متر در نظر گرفته شد (Levy and Mamedov, 2002). اگرچه از خاکدانه های با قطر پایین تر (معمولاً بین ۲ تا ۴ میلی متر) در بررسی پایداری خاکدانه ها نیز استفاده می شود لیکن پیش آزمایش در خاکدانه های با قطر پایین تر نشان داد که طی رخدادهای بارندگی اغلب خاکدانه ها بر اثر ضربه قطرات باران متلاشی می شوند و از این رو تفاوتی بین خاکدانه های مختلف از نظر مقاومت در برابر باران آشکار نمی شود، بنابراین انتخاب این اندازه از خاکدانه ها برای امکان بررسی دقیق میزان پایداری خاکدانه ها در برابر ضربه قطرات باران بود. برای نمونه برداری، خاکدانه ها با استفاده از الک های ۴ و ۶

هدررفت خاک قرار داده شد. پس از استقرار کامل کرت‌ها، نمونه‌های خاکدانه تا ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر به داخل کرت‌ها ریخته شد (شکل ۲-الف).

#### طراحی شبیه‌سازی باران و اندازه‌گیری هدررفت خاک

برای اعمال رخدادهای باران یک دستگاه شبیه‌ساز باران طراحی شد. دستگاه مذکور دارای دو قطعه نازل (آبپاش) از نوع قطره‌ای و ساخت شرکت سورن بام بود که توانایی تولید بارانی با شدت ۸۵ میلی‌متر بر ساعت را داشت. سطح بارش دستگاه برابر  $60 \times 80$  سانتی‌متر مربع و ارتفاع آن از سطح کرت ۱۲۰ سانتی‌متر بود (شکل ۲-ب). چنین بارشی اگرچه دارای فراوانی وقوع کم‌تری (حدود ۱۰ درصد) در منطقه هستند (بشارت و واعظی، ۱۳۹۴)، اما پیش‌آزمایش با استفاده از باران‌های با شدت پایین‌تر از آن نشان داد که خاکدانه‌ها در برابر چنین باران‌هایی مقاوم بوده و فرسایش خاک رخ نمی‌دهد. این نتیجه بیانگر آن است که در شرایطی که خاک دارای خاکدانه‌های کافی باشد (هنگام شخم) تنها باران‌های بسیار شدید منجر به وقوع رواناب در آن‌ها می‌شوند. آب تحت فشار ثابت از شیر آب به صفحه بارش وارد شده و به‌طور یکنواخت بر سطح خاک تحت آزمایش برخورد می‌نمود. قطر میانه قطرات ( $D_{50}$ ) برابر  $1/65$  میلی‌متر بود. با توجه به ماهیت دستگاه شبیه‌ساز باران طراحی شده، قطرات آب تحت فشار از نازل‌ها خارج و بر سطح خاک برخورد می‌کردند. چنان‌چه قطره آبی با ارتفاع مذکور به‌صورت ثقلی بر سطح خاک برخورد نماید، برای رسیدن به سرعت حد خود (۵/۵ متر بر ثانیه) (Laws, 1941) نیازمند سقوط از ارتفاع  $1/54$  متر می‌باشد. با توجه به ارتفاع دستگاه ( $1/20$  متر)، قطره آبی در صورت ریزش ثقلی، می‌توانست به حدود ۸۰ درصد سرعت حد برسد. این مقدار بر اساس تغییرات انرژی پتانسیل قطره با تغییر فاصله سقوط به‌دست آمد. برای بررسی تغییرات هدررفت خاک در رخداد بارندگی‌های متوالی، تعداد یک رگبار اولیه و ۶ رگبار متوالی از اواخر بهار تا اواسط تابستان ۱۳۹۵ به فاصله پنج روز از هم‌دیگر روی ۵۴ کرت فرسایشی، در

هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت (Bouwer and Jackson, 1974) تعیین شد. پایداری خاکدانه با استفاده از دو روش الک تر (Amezketta *et al.*, 1996) با استفاده از دستگاه مکانیکی به مدت ۱ دقیقه (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲) و نیز روش رهاسازی قطره آب (Imeson and Vis, 1994) تعیین شد.

#### تهیه و آماده‌سازی کرت‌های کوچک آزمایشی

ایستگاه آزمایشی عبارت از زمینی بکر با مساحت ۲۰۰ مترمربع و شیب کلی ۹ درصد رو به جنوب، واقع در مختصات جغرافیایی  $23^{\circ} 23' 48''$  طول شرقی و  $41^{\circ} 13' 36''$  عرض شمالی در محدوده دانشگاه زنجان بود. شیب ۹ درصد از شیب‌های غالب به‌ویژه کشتزارهای دیم در منطقه مطالعاتی می‌باشد. بافت خاک زمین مورد نظر لوم-شنی بود. پیش از شروع آزمایش، اقدامات لازم از قبیل شخم، تسطیح زمین و حذف پوشش گیاهی از سطح آن انجام گرفت (Jomaa *et al.*, 2010). آزمایش در ۵۴ کرت ( $9 \times 6$ ) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طرح‌ریزی شد. کرت‌ها به‌صورت طولی و به فاصله یک متر از یکدیگر (برای کاهش هدررفت خاک در اثر پاشمان) ایجاد شدند. کرت‌های کوچک فرسایشی به طول ۸۰ سانتی‌متر و به عرض ۶۰ سانتی‌متر بود. این ابعاد مطابق با برخی تحقیقات در این زمینه (Duiker *et al.*, 2001; Vaezi *et al.*, 2016) در نظر گرفته شد. برای ایجاد زهکشی بهتر، در زیر هر کرت یک لایه فیلتر شنی (با قطر ۱۰ تا ۱۵ میلی‌متر) به ضخامت ۵ سانتی‌متر ایجاد شد. برای جلوگیری از ورود و خروج رواناب و رسوب، طول و ضلع بالای کرت‌ها با دیواره‌ای به ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر بسته شد. ضلع پایین کرت‌ها با استفاده از ورق گالوانیزه (به عرض ۲۵ سانتی‌متر) به شکل مثلثی و شیب‌دار، برای هدایت رواناب و رسوب به سمت سوراخ تعبیه شده در انتهای آن‌ها طراحی شد. در انتهای هر کرت سوراخی برای خروج رواناب و هدررفت خاک و در قسمت بیرونی آن مخزنی با حجم ۲۰ لیتر برای جمع‌آوری رواناب و

در رخداد بارش‌های متوالی، مقدار رطوبت نگه‌داشته شده در خاک‌ها پیش از اعمال هر رخداد بارش به روش جرمی (Foltz et al., 2009) در خاک‌ها اندازه‌گیری شد. هم‌چنین مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک قبل از اعمال رخداد وقوع بارش به روش سیلندر فلزی (Culley, ۱۹۹۳) تعیین شد.

#### تجزیه و تحلیل داده‌ها

پیش از تحلیل داده‌ها، نرمال بودن توزیع آماری داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک انجام گرفت. آماره‌های میانگین، کم‌ترین، بیش‌ترین و انحراف معیار برای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ۱۸ خاک مختلف محاسبه شد. تفاوت بین رخداد رگبارهای متوالی از نظر رواناب، هدررفت خاک، تخلخل و رطوبت اولیه به روش مقایسه میانگین بر اساس آزمون دانکن بررسی شد. برای این منظور از نرم‌افزار SPSS ۲۰ استفاده شد. هم‌چنین روند تغییرات رواناب، هدررفت، جرم مخصوص ظاهری و رطوبت نگه‌داشته شده در خاک تحت تأثیر رخداد توالی‌های بارش با استفاده از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۳ رسم شد.

مجموع به تعداد ۳۷۸ رخداد بارندگی اعمال شد. علت انتخاب فاصله زمانی پنج روز به دلیل کاهش تأثیر باران پیشین بر تولید رواناب و در نتیجه بر هدررفت خاک بود (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). شدت و تداوم بارندگی در تمام رخداد رگبارها، ثابت و به ترتیب برابر ۸۵ میلی‌متر بر ساعت و ۳۰ دقیقه بود. برای حذف تأثیر باد بر سقوط آزاد قطرات، از پوشش پلاستیکی پیرامون دستگاه استفاده شد. اعمال اولین رخداد باران بر سطح خاک کرت‌ها در شرایط کاملاً هوا خشک آغاز شد (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). برای اندازه‌گیری هدررفت خاک در هر رخداد، ابتدا حجم مخلوط رواناب و هدررفت خاک داخل ظرف پایین دست هر کرت آزمایشی در مزرعه اندازه‌گیری شد. سپس ظرف محتوی مخلوط به‌طور دستی کاملاً هم زده و نمونه‌ای همگن از آن به آزمایشگاه منتقل و حجم و وزن آن تعیین شد. در آزمایشگاه، رسوب نمونه از رواناب (با کاغذ صافی واتمن ۴۲) جدا و پس از خشک شدن در آن (۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت) وزن شد. به این ترتیب مقدار رواناب (میلی‌متر) و هدررفت خاک (گرم بر مترمربع) برای هر کرت به‌طور جداگانه در رگبار اولیه و رخداد رگبارهای متوالی شبیه‌سازی تعیین شدند (صادقی و همکاران، ۱۳۹۲). برای پی بردن به تغییرات شرایط خاک



(ب)



(الف)

شکل ۲. نمایی از کرت فرسایشی حاوی خاکدانه (الف) و دستگاه باران‌ساز مورد استفاده در آزمایش (ب)

## نتایج و بحث

## ویژگی‌های خاک‌های مورد بررسی

جدول ۱ میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، خاک‌ها در چهار گروه بافتی شامل لومی-رسی (۹ خاک)، رسی (۶ خاک)، لومی-شنی (۲ خاک) و لوم‌رس‌شنی (۱ خاک) قرار داشتند. به‌طور میانگین خاک‌ها از نظر فراوانی ذرات معدنی دارای ۳۶/۴۷ درصد شن، ۲۷/۷۲ درصد سیلت و ۳۵/۸۱ درصد رس بودند. خاک‌ها به‌طور میانگین دارای ۴/۵۸ درصد سنگریزه بودند. خاک‌ها دارای مقادیر پایینی ماده آلی (۰/۴۲ درصد) و به‌دلیل داشتن کربنات کلسیم معادل بالا (۱۲/۶۱ درصد) در گروه خاک‌های آهکی با pH حدود ۸/۲ قرار دارند. ضریب آبگذری اشباع خاک‌ها از ۰/۳۳ تا ۱۰/۵۴ سانتی‌متر بر ساعت متغیر بود و میانگین آن ۳/۴۴ سانتی‌متر بر ساعت بود. بررسی پایداری خاکدانه با استفاده از آزمون قطره آب نیز مؤید ناپایداری خاک‌های منطقه در برابر ضربه قطرات باران بود. از بین متغیرهای مورد بررسی، این ویژگی خاک بیش‌ترین تغییرات را در خاک‌های مورد بررسی داشت. بررسی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب نیز نشان داد که خاک‌ها غالباً پایداری اندکی در آب (به‌طور

میانگین ۰/۹۸ میلی‌متر) دارند و از این رو انتظار می‌رود مقاومت کم‌تری در برابر عوامل فرساینده داشته باشند. مقایسه بین خاک‌های مورد بررسی از نظر این ویژگی نشان داد که تفاوتی معنی‌دار بین خاک‌ها از نظر پایداری در آب وجود دارد (شکل ۳). خاکدانه‌های متعلق به خاک‌های با بافت لوم‌شنی بیش‌ترین مقدار پایداری (MWD= ۱/۲۴mm) و خاکدانه‌های متعلق به بافت لوم‌رس‌شنی کم‌ترین میزان پایداری (MWD= ۰/۵mm) را نشان دادند. با توجه به تغییرات شدید ماده آلی در این بافت‌های خاک (به ترتیب ۱/۲۱ درصد و ۰/۰۱ درصد) به‌نظر می‌رسد بالا بودن محتوای ماده آلی در بافت لوم‌شنی یکی از دلایل مهم پایداری بیش‌تر خاکدانه‌های آن می‌باشد.

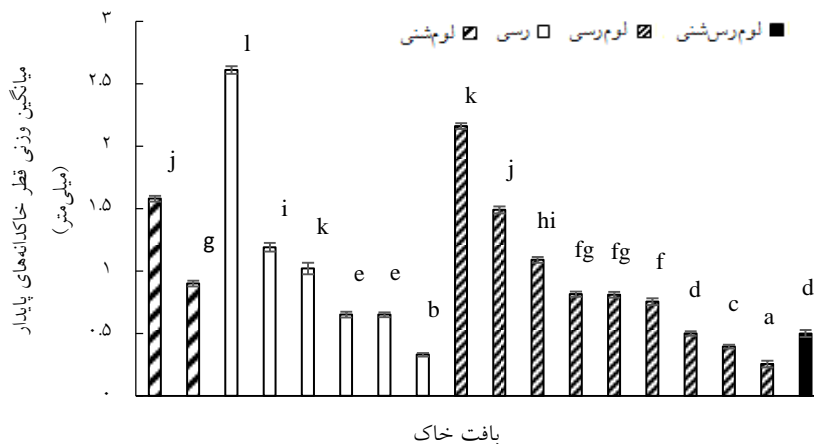
## تغییرات ویژگی‌های فیزیکی خاک و هدررفت خاک رخداد طی رگبارهای متوالی

نتایج تجزیه واریانس اثر رخدادهای باران بر تخلخل، رطوبت اولیه خاک، ارتفاع رواناب و هدررفت خاک (جدول ۲) نشان داد که هر یک از متغیرهای مذکور، تحت تأثیر معنی‌دار رخداد رگبارهای متوالی قرار گرفتند ( $p < 0.001$ ). دلیل این موضوع، تغییرات ساختمان خاک تحت تأثیر باران در رخداد توالی‌های مختلف بود..

جدول ۱. ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

ویژگی	کم‌ترین	بیش‌ترین	میانگین	انحراف معیار
شن (%)	۱۱/۱۵	۶۹/۱۱	۳۶/۴۷	۱۴/۵۱
سیلت (%)	۱۵/۲۰	۳۵/۹۵	۲۷/۷۲	۵/۵۱
رس (%)	۱۴/۷۴	۵۹/۰۷	۳۵/۸۱	۱۰/۳۵
میانگین وزنی قطر خاکدانه (mm)	۰/۲۱	۲/۶۶	۰/۹۸	۰/۶۲
جرم مخصوص ظاهری (g.cm <sup>-3</sup> )	۱/۱۴	۱/۴۱	۱/۲۵	۰/۰۶
سنگریزه (%)	۰/۰۳	۱۴/۸۷	۴/۵۸	۴/۰۲
ضریب آب‌گذری اشباع (cm.h <sup>-1</sup> )	۰/۳۳	۱۰/۵۴	۳/۴۴	۲/۴۶
واکنش	۷/۹۷	۸/۴۷	۸/۱۷	۰/۱۲
هدایت الکتریکی (dS.m <sup>-1</sup> )	۰/۳۸	۲۲/۴۸	۴/۵۷	۵/۵۲
آزمون قطره آب	۳/۸۰	۶۷/۱	۱۵/۰۶	۱۴/۹۹
آهک (%)	۲/۵۰	۲۶/۳۴	۱۲/۶۱	۵/۷۱
ماده آلی (%)	۰/۰۱	۱/۸۲	۰/۴۲	۰/۵۲





شکل ۳. تغییرات پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های با بافت مختلف

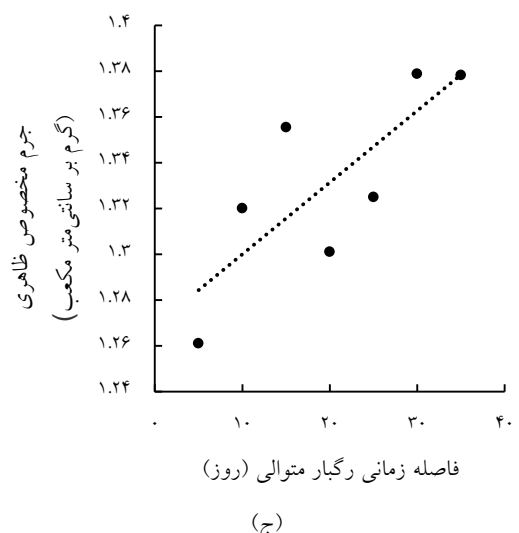
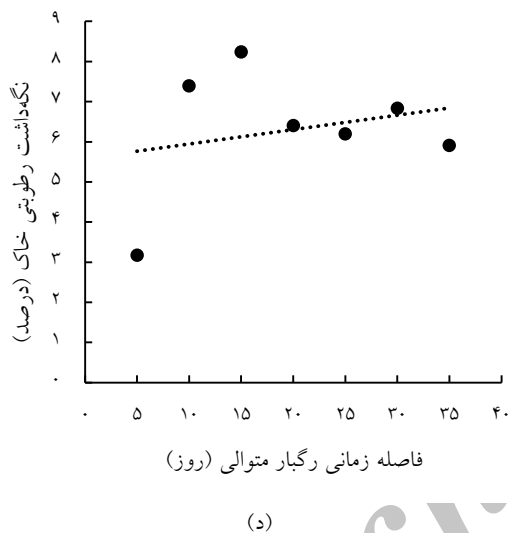
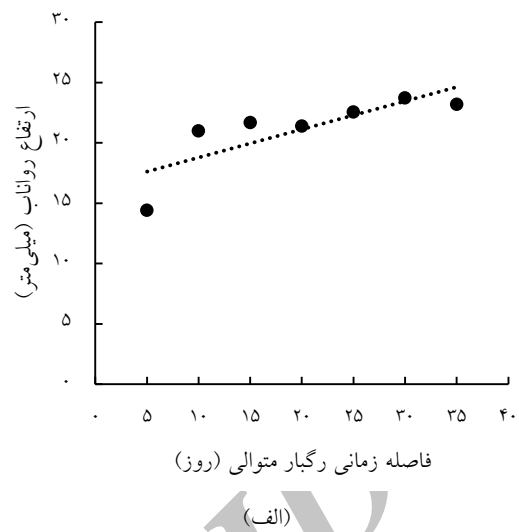
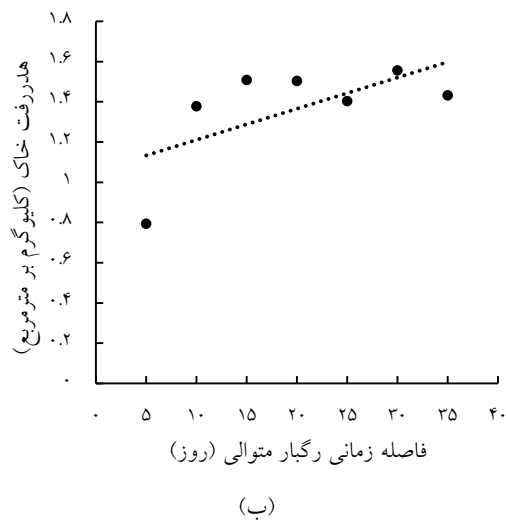
جدول ۲. تجزیه واریانس اثر رخداد رگبارهای متوالی بر جرم مخصوص ظاهری، رطوبت نگه داشته شده، تولید رواناب و هدررفت خاک

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی داری
جرم مخصوص ظاهری (gr.cm <sup>-3</sup> )	۶	۰/۰۱	۱۴/۴۳	۰/۰۰۰
نگه‌داشت رطوبتی خاک (%)	۶	۷/۵۸	۱۰/۶۴	۰/۰۰۰
ارتفاع رواناب (mm)	۶	۲۹/۲۸	۱۸/۸۰	۰/۰۰۰
هدررفت خاک (kg.m <sup>-2</sup> )	۶	۰/۲۴	۱۴/۳۸	۰/۰۰۰

دچار نوساناتی طی رخداد توالی‌های بارش شد، نگه‌داشت رطوبتی خاک نیز از رخداد رگبار اولیه تا رخداد رگبار متوالی دوم دارای افزایش شدید بود و از آن پس کاهش تدریجی پیدا کرد. تخریب خاکدانه‌ها و کاهش تخلخل درشت خاک از یک‌سو و افزایش رطوبت نگه‌داشته شده در خاک از سوی دیگر علل افزایش تولید رواناب رخداد ناشی از افزایش توالی بارش بودند. در واقع با افزایش رخداد توالی بارش، تخلخل درشت خاک کم‌تر شده (Blanko and Lal, 2008) و نفوذپذیری خاک کاهش یافت (Gupta, 2002). هم‌چنین کاهش مقاومت خاکدانه‌ها در برابر تخریب باران (Wu et al., 2010)، دلیل اصلی افزایش رواناب بود. دلیل روند تدریجی افزایش رواناب در رخداد توالی‌های پایانی این بود که نگه‌داشت رطوبتی خاک طی رگبارهای متوالی پایانی رخداد کم‌تر از رگبارهای متوالی اولیه رخداد بود.

شکل ۴ تغییرات ارتفاع رواناب، هدررفت، جرم مخصوص ظاهری و رطوبت نگه‌داشته شده در خاک طی رگبارهای متوالی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، ارتفاع رواناب، هدررفت خاک، جرم مخصوص ظاهری و رطوبت نگه‌داشته شده در خاک با افزایش توالی، افزایش پیدا کرد. تولید رواناب از رخداد رگبار اولیه تا رگبار متوالی دوم ابتدا روندی فزاینده داشت (۴۶ درصد) و سپس با روندی تدریجی افزایش پیدا کرد. هدررفت خاک نیز مشابه با تولید رواناب، از رخداد رگبار اولیه تا رخداد رگبار متوالی دوم به شدت افزایش یافت (۷۴ درصد) و در رخداد توالی‌های بعدی باران، تغییرات آشکاری در آن مشاهده نشد. به‌طور کلی روندی افزایشی در رواناب و هدررفت خاک طی رخداد رگبارهای متوالی وجود داشت. ویژگی‌های خاک نیز طی رخداد توالی‌های بارش دچار تغییراتی شد به‌طوری‌که افزایش چشم‌گیری در تخلخل خاک تا رخداد رگبار متوالی دوم مشاهده شد و از آن پس





شکل ۴. تغییرات ارتفاع رواناب (الف)، هدررفت خاک (ب)، جرم مخصوص ظاهری (ج) و رطوبت نگه‌داشته شده در خاک (د) در فاصله زمانی رگبار متوالی (روز)

بارش عاملی مهم در تولید رواناب و هدررفت خاک بود به طوری که با افزایش رواناب طی پنج رخداد رگبار متوالی، هدررفت خاک نیز به طور معنی‌داری افزایش یافت. بررسی‌های Truman و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که افزایش رطوبت اولیه ناشی از بارش‌های قبلی باعث کاهش پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپذیری خاک می‌شود که نتیجه آن تسهیل برداشت خاکدانه‌ها توسط قطره و در نهایت انتقال آن‌ها به وسیله جریان‌های سطحی است. هم‌چنین دلایل اصلی افزایش هدررفت خاک در رخداد رگبارهای متوالی، کاهش نفوذپذیری در اثر تراکم خاک، افزایش رواناب و در

هدررفت خاک در رخداد توالی‌های بارش ابتدایی، هم‌گام با رواناب افزایش پیدا کرد. با وقوع رخداد رگبار اولیه به دلیل خشک بودن خاک و تخریب کم‌تر ساختمان خاک، مقدار هدررفت خاک پایین بود. در پژوهشی Kramer (۲۰۱۰) بیان کرد که رسوب‌دهی یک خاک در هر زمان تحت تأثیر بارش باران و رواناب حاصل از آن قرار داشت. با افزایش رخداد توالی‌های بارش، افزایش محتوای رطوبتی خاک از یک‌سو و تخریب بیش‌تر خاکدانه‌ها از سوی دیگر، موجب افزایش هدررفت خاک شد. یافته‌های Baihua و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که رخداد توالی

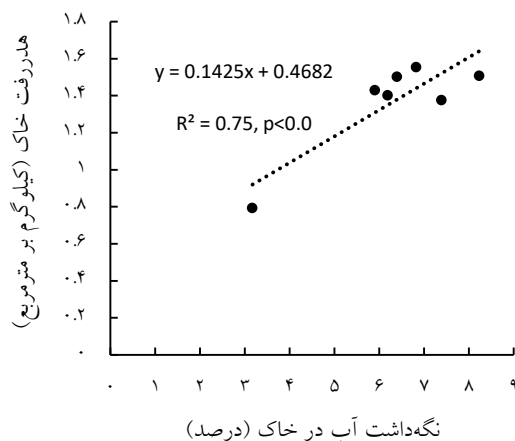
نتایج نشان داد که با افزایش رخداد توالی‌های بارش، جرم مخصوص ظاهری افزایش یافت (شکل ۳-ج). با اعمال رخداد‌های باران، ساختمان خاک تخریب شده و تراکم خاک افزایش یافت. با افزایش تراکم خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش یافته و نفوذپذیری خاک کاهش یافت و در نتیجه رواناب و فرسایش‌پذیری خاک افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که نگره‌داشت رطوبتی خاک با افزایش رگبارهای متوالی رخداد تغییرات قابل توجهی داشت (شکل ۳-د). در رخداد رگبارهای متوالی ابتدایی با افزایش رطوبت اولیه خاک، نفوذپذیری خاک کاهش و تولید رواناب و هدررفت خاک افزایش یافت. در پژوهشی Ruiz-Sinoga و Romero-Diaz (۲۰۱۰) با بررسی میزان تخریب خاک تحت باران شبیه‌سازی شده نشان دادند که قطرات باران با افزایش مقدار رطوبت خاک، تخریب‌پذیری آن را افزایش می‌دهند. یافته‌های حسن‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد که از رخداد رگبار اولیه تا رگبار متوالی سوم، رطوبت اولیه خاک افزایش یافته و پس از رخداد رگبار متوالی سوم به دلیل نزدیک شدن رطوبت خاک به حد ظرفیت نگه‌داری آب، افزایش رطوبت اولیه خاک نیز ناچیز بود.

#### رابطه بین هدررفت خاک و ویژگی‌های خاک

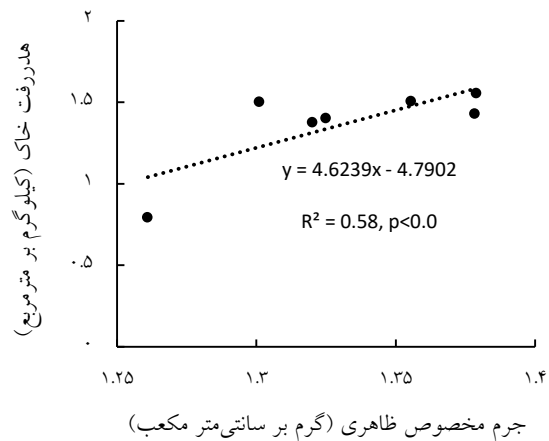
نتایج نشان داد که رابطه‌ای معنی‌دار بین هدررفت خاک و جرم مخصوص ظاهری خاک وجود دارد ( $p < 0.001$ ). ( $R^2 = 0.58$ ) (شکل ۵-الف). با اعمال رخداد رگبارهای متوالی، ساختمان خاک تخریب شده و تراکم خاک افزایش یافت. با افزایش تراکم خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش و نفوذپذیری کاهش یافت و در نتیجه تولید رواناب و هدررفت خاک افزایش یافت. در پژوهشی کاویان و همکاران (۱۳۹۲) بیان کردند که با افزایش فشردگی سطح خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش و نفوذپذیری خاک کاهش یافته و در نتیجه رواناب و هدررفت خاک افزایش می‌یابد.

نتیجه شسته شدن ذرات ریز از سطح خاک بود. یافته‌های Canton و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که با کاهش سرعت نفوذ در سه رخداد رگبار متوالی، رواناب و به دنبال آن هدررفت خاک افزایش یافت. در پژوهشی حمیدی نهرانی و همکاران (۱۳۹۰) نیز با مصرف پلی‌وینیل‌استات در خاک مارنی نشان دادند که در رخداد‌های متوالی بارندگی به دلیل افزایش رواناب، هدررفت خاک هم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

در خاک‌های مورد بررسی، ساختمان خاک در هر رخداد توالی نسبت به رخداد توالی قبل بیش‌تر تخریب شد. جدا شدن بیش‌تر ذرات خاک از یکدیگر و حرکت ذرات ریز به داخل منافذ درشت و مسدود شدن منافذ، نفوذپذیری خاک را کاهش داد و در نتیجه تولید رواناب بیش‌تر شد. از سوی دیگر با متلاشی شدن خاکدانه‌ها و جدا شدن ذرات خاک از یکدیگر، انتقال‌پذیری ذرات بیش‌تر شد و هدررفت خاک نیز افزایش یافت. روند افزایش تولید رواناب طی رخداد رگبارهای متوالی در مقایسه با هدررفت خاک کم‌تر بود، به‌طوری‌که تفاوت رواناب بین رخداد رگبار اولیه و رخداد رگبار متوالی ششم ۶۵ درصد بود در حالی‌که هدررفت خاک در رخداد رگبار متوالی ششم حدود ۹۶ درصد بیش‌تر از رخداد رگبار اولیه بود. در واقع ضربه قطرات باران باعث شد که خاکدانه‌ها در رخداد رگبارهای متوالی ابتدایی بیش‌تر تخریب شده و در نتیجه تولید رواناب و هدررفت خاک افزایش یافت. ادامه تخریب خاکدانه‌ها در رخداد رگبارهای متوالی اول و دوم منجر به کاهش شدید نفوذپذیری خاک و افزایش شدید رواناب شد. با این حال در رخداد توالی‌های بعدی به دلیل عدم تغییرات قابل توجه در نفوذپذیری خاک، تولید رواناب تقریباً ثابت بود و به دلیل تولید ذرات فرسایش‌پذیر در اثر تخریب خاکدانه‌ها، هدررفت خاک کاهش چشم‌گیری پیدا نکرد.



(ب)



(الف)

شکل ۵. رابطه بین هدررفت خاک و جرم مخصوص ظاهری خاک (الف) و نگهداشت آب در خاک (ب) طی رخداد رگبارهای متوالی

رسیدند که با افزایش رطوبت پیشین خاک، هدررفت خاک به صورت نمایی افزایش پیدا کرد. یافته‌های Wang و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که با افزایش مقدار رطوبت پیشین و تولید رواناب، انتقال ذرات خاک و در نتیجه هدررفت خاک افزایش یافت.

#### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج، تفاوتی معنی‌دار بین رخدادهای باران از نظر تولید رواناب و هدررفت خاک وجود داشت. افزایش شدیدی در رواناب و هدررفت خاک از رخداد رگبار اولیه تا رخداد رگبار متوالی دوم مشاهده شد. این افزایش در مورد رواناب ۴۶ درصد و در مورد هدررفت خاک ۷۴ درصد بود. تخریب خاکدانه‌ها از یک‌سو و افزایش محتوای رطوبتی خاک نسبت به حالت هواخشک از سوی دیگر، دلایل اصلی افزایش رواناب و هدررفت خاک بین دو رخداد اولیه بودند. تخریب ساختمان خاک منجر به افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک و در نتیجه افت نفوذپذیری خاک بود. هم‌چنین تخریب ساختمان خاک باعث شد ذرات ریز و حساس به انتقال در سطح خاک ظاهر شوند که به آسانی توسط جریان سطحی منتقل شدند. رابطه‌ای معنی‌دار بین هدررفت خاک با جرم مخصوص ظاهری خاک ( $R^2=0/58$ ) و رطوبت نگه‌داشته

هم‌چنین نتایج نشان داد که هدررفت خاک رابطه معنی‌داری با نگهداشت رطوبتی خاک دارد ( $p < 0/001$ ).  $R^2=0/75$  (شکل ۵-ب). خاک‌های مورد مطالعه قبل از اعمال رگبارهای متوالی رخداد به حالت هواخشک بودند. با اعمال این رگبارها، رطوبت خاک‌ها افزایش یافت. با افزایش رطوبت پیشین خاک، میزان تخریب خاکدانه‌ها افزایش یافت و موجب شد منافذ درشت خاک و نفوذپذیری خاک کاهش یابد (Soinnie et al., 2106). هم‌چنین با افزایش تخریب خاکدانه‌ها، ذرات فرسایش‌پذیر افزایش یافت و در نتیجه هدررفت خاک افزایش یافت. یافته‌های Willy (۲۰۱۱) نشان داد که با افزایش تعداد و تداوم رگبارهای متوالی رخداد، ساختمان خاک بیش‌تر تخریب شده و با افزایش رطوبت پیشین خاک، نفوذپذیری خاک کاهش و تولید رواناب و هدررفت خاک به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. بررسی‌های Duiker و همکاران (۲۰۰۱) نیز نشان داد که با افزایش رگبارهای متوالی رخداد به دلیل تخریب بیش‌تر خاک و افزایش رطوبت پیشین خاک، مقدار خاک فرسایش یافته و در نتیجه تولید هدررفت خاک افزایش یافت. در پژوهشی Belicci و Belicci (۲۰۱۰) با بررسی تأثیر رطوبت پیشین خاک روی هدررفت خاک در کاربری‌های مختلف به این نتیجه

هدررفت خاک طی رگبارهای متوالی بارزتر از تغییرات تولید رواناب باشد. به طور کلی این پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات ویژگی‌های فیزیکی خاک رخداد با افزایش توالی بارش نقشی مهم در افزایش حساسیت خاک به تغییرات فرسایش خاک در رگبارهای متوالی دارد. آگاهی از میزان تغییرات ویژگی‌های خاک می‌تواند در پیش‌بینی شدت فرسایش خاک در رخدادهای آتی سودمند باشد. با توجه به نقش شیب و شدت بارندگی در میزان تغییرات ویژگی‌های فیزیکی خاک تحت بارندگی، انجام چنین مطالعاتی تحت شیب‌ها و شدت‌های باران متفاوت برای پی بردن به حساس‌ترین زمان وقوع فرسایش شدید خاک در منطقه نیمه‌خشک طی رخداد رگبار متوالی حائز اهمیت می‌باشد.

شده ( $R^2=0.75$ ) برقرار بود. پس از رخداد رگبار متوالی دوم، تغییرات اساسی در تولید رواناب و هدررفت خاک مشاهده نشد. در این رخدادها نیز افزایش تخریب خاکدانه‌ها و بالا رفتن جرم مخصوص ظاهری خاک و نیز افزایش نگاه‌داشت رطوبتی خاک منجر به افزایش تولید رواناب و هدررفت خاک شد. نقش افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک در افزایش هدررفت خاک بین رخدادهای متوالی بعدی به مراتب بارزتر از نقش افزایش محتوای رطوبتی بود. به هر حال تولید رواناب پس از چندین رگبار متوالی به حد تقریباً ثابت نزدیک شد که دلیل آن نزدیکی جریان نفوذ آب به شرایط جریان ماندگار بود در حالی که هدررفت خاک به دلیل تولید ذرات فرسایش‌پذیر در سطح، هم‌چنان از رگباری به رگبار دیگر به شدت افزایش پیدا کرد. این موضوع باعث شد تغییرات

#### فهرست منابع

- اکبری، س. و واعظی، ع.ر. ۱۳۹۴. بررسی پایداری خاکدانه‌ها در برابر ضربه قطرات باران در برخی خاک‌های ناحیه نیمه‌خشک در شمال غرب زنجان. نشریه دانش آب و خاک، ۲۵(۲): ۶۵-۷۷.
- بشارت، ف. و واعظی، ع.ر. ۱۳۹۴. تأثیر الگوی توزیع زمانی بارندگی طی رخداد بر رواناب و هدررفت خاک تحت باران‌های شبیه‌سازی شده. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۹(۲۹): ۹-۱۹.
- حسن‌زاده، ح.، واعظی، ع.ر. و محمدی، م.ح. ۱۳۹۲. تغییرات رواناب در ابعاد کرت در نمونه‌های با بافت مختلف تحت رخدادهای یکسان باران شبیه‌سازی شده. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۴(۳): ۲۴۳-۲۵۳.
- حمیدی نهرانی، س.، واعظی، ع.ر.، محمدی، م.ح. و صبا، ج. ۱۳۹۰. تغییرات زمانی تولید رواناب و هدررفت خاک تحت باران شبیه‌سازی شده. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه تبریز. ۱۲ تا ۱۴ شهریور ۱۳۹۰.
- زرین‌آبادی، ا. و واعظی، ع.ر. ۱۳۹۵. تولید رواناب و هدررفت خاک در مراتع با پوشش ضعیف تحت تأثیر کاربری زمین و جهت شخم. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۷(۱): ۸۷-۹۸.
- شریفی، ا.، صادقی، س.ح.ر. و خالدی درویشیان، ع. و. ۱۳۹۳. تأثیرپذیری مؤلفه‌های رواناب و رسوب کرت‌های آزمایشی کوچک از کاربرد پسماند آلی ویناس. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۷(۱): ۴۹۹-۵۰۸.
- صادقی، س.ح.ر.، حزب‌بوی، ز.، یونسی، ح. و بهزادفر، م. ۱۳۹۲. روند تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب بر اثر کاربرد پلی‌آکریل‌آمیل. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۴۵(۴): ۵۳-۶۷.
- کاویان، ع.، عسگریان، ر.، جعفریان جلودار، ز. و بهمن‌یار، م.ع. ۱۳۹۲. اثر خصوصیات خاک بر تولید رواناب و رسوب در مقیاس مزرعه (مطالعه موردی بخشی از اراضی کشاورزی اطراف شهرستان ساری). نشریه دانش آب و خاک، ۴۵(۴): ۴۵-۵۷.
- اسلامی، ف. و واعظی، ع.ر. ۱۳۹۴. بررسی تولید رواناب و رسوب تحت رخدادهای یکسان بارندگی در خاک کشاورزی با اندازه متفاوت خاکدانه. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۹(۶): ۱۵۹۰-۱۶۰۰.

Amezket, E., Singer, M.J. and Le Bissonais, Y. 1996. Testing a new procedure for measuring water-

- stable aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, 60(3): 888-894.
- Bouwer, H. and Jackson, R.D. 1974. Determining soil properties, pp: 611-627, *Drainage for Agriculture*, ASA Monograph Number 17, Madison, WI.
- Bi, N., Yang, Z., Wang, H., Fan, D., Sun, X. and Lei, K. 2011. Seasonal variation of suspended-sediment transport through the southern Bohai Strait. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 93(3): 239-247.
- Baihua F., Lachlan, T.H., Newham C.E. and Ramos, S. 2010. A review of surface erosion and sediment delivery models for unsealed roads, *Soil Science Society of America Journal*, 24(11), 834-840.
- Bajracharya, R.M., Lal, R. and Hall, G.F. 1998. Temporal variation in properties of an uncropped, ploughed Miamian soil in relation to seasonal erodibility. *Hydrological Processes*, 12(7): 1021-1030.
- Blanko, H. and Lal, R. 2008. *Principles of Soil Conservation and Management*. Springer Science, pp: 42-43.
- Belicci, E. and Belicci, R. 2010. Study the influence initial soil moisture and use on the phenomena of soil flows from the slopes of a hydrographical basin. *Research Journal of Agricultural Science*, 42(3): 201-210.
- Canton, Y., Solé-Benet, A., Asensio, C., Chamizo, S. and Puigdefábregas, J. 2009. Aggregate stability in range sandy loam soils relationships with runoff and erosion. *Catena*, 77: 192-199.
- Cattan D., Lan Z.H. and David, A.B. 2012. Effect of soil physical on runoff and sediment concentration under rain, *Soil Science Society of America Journal*, 20(10): 531-539.
- Culley, J.L.B. 1993. Density and compressibility. *Soil sampling and methods of analysis*, 1: 529-539.
- Duiker, S.W., Flanagan, D.C. and Lal, R. 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*, 45(2): 103-121.
- Ekwue, E.I., Bharat, C. and Samaroo, K. 2009. Effect of soil type, peat and farmyard manure addition, slope and their interactions on wash erosion by overland flow of some Trinidadian soils. *Biosystems engineering*, 102(2): 236-243.
- Endale D.M., Fisher D.S. and Steiner J.L. 2006. Hydrology of a zero-order southern Piedmont watershed through 45 year of changing agricultural land use, Monthly and seasonal rainfall runoff relationship, *Journal of Hydrology*, 316: 1-12.
- Foltz, R.B., Copeland, N.S. and Elliot, W.J. 2009. Reopening abandoned forest roads in northern Idaho, USA: Quantification of runoff, sediment concentration, infiltration, and interrill erosion parameters. *Journal of Environmental Management*, 90(8): 2542-2550.
- Gao, P. and Josefson, M. 2012. Event-based suspended sediment dynamics in a central New York watershed. *Geomorphology*, 139: 425-437.
- Gee, G.W., Bauder, J.W., and Klute, A. 1986. Particle-size analysis. *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, 383-411.
- Girmay, G., Singh, B.R., Nyssen, J. and Borrosen, T. 2009. Runoff and sediment-associated nutrient losses under different land uses in Tigray, Northern Ethiopia. *Journal of Hydrology*, 376(1): 70-80.
- Gupta O.P. 2002. *Water in relation to soils and plants*. Agrobios, India, pp: 31-34.
- Imeson, A.C. and Vis, M. 1984. Assessing soil aggregate stability by water-drop impact and ultrasonic dispersion. *Geoderma*, 34(3-4), 185-200.
- Jackson, M.L. 1967. *Soil chemical analysis*, Prentice-Hall of India, Private Limited, New Delhi.
- Julien, P.Y. 2010. *Erosion and sedimentation*. Cambridge University Press, 280 P.
- Jomaa, S., Barry, D.A., Brovelli, A., Sander, G.C., Parlange, J.Y., Heng, B.C.P. and Trompvan Meerveld, H.J. 2010. Effect of raindrop splash and transversal width on soil erosion: laboratory flume experiments and analysis with the Hairsine-Rose model. *Journal of Hydrology*, 395: 117-132.
- Kramer, G. 2010. Dynamic model of daily rainfall, runoff and sediment yield for a Himalayan watershed, *Soil Science Society of America Journal*, 36: 951-960.
- Laws, J.O. 1941. Measurements of the fall-velocity of water-drops and raindrops. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 22(3), 709-721.
- Levy, G.J. and Mamedov, A.I. 2002. High-energy-moisture-characteristic aggregate stability as a

- predictor for seal formation. *Soil Science Society of America Journal*, 66(5): 1603-1609.
- Morgan, R.P.C. 2005. *Soil erosion and conservation*. PP: 13-60. 3rd ed. Blackwell Publishing, Malden.
- Nelson, D.W. and Sommers, L. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methodsofsoilan2)*. pp: 539-579.
- Oliveira, J.R.D., Pinto, M.F., Souza, W.D.J., Guerra, J.G. and Carvalho, D.F.D. 2010. Water erosion in a Yellow-Red Ultisol under different patterns of simulated rain. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(2): 140-147.
- Ruiz-Sinoga, J.D. and Romero-Diaz, A. 2010. Soil degradation factors along a Mediterranean pluviometric gradient in southern Spain. *Geomorphology* 118(3-4): 359-368.
- Sadeghi, S.H.R., Sharifi Moghaddam, E. and Khaledi Darvishan, A. 2016. Effects of subsequent rainfall events on runoff and soil erosion components from small plots treated by vinasse. *Catena*, 138: 1-12.
- Soinne, H., Hyväluoma, J., Ketoja, E. and Turtola, E. 2016. Relative importance of organic carbon, land use and moisture conditions for the aggregate stability of post-glacial clay soils. *Soil and Tillage Research*, 158: 1-9.
- Teramage, M.T., Onda, Y., Kato, H., Wakiyama, Y., Mizugaki, S. and Hiramatsu, S. 2013. The relationship of soil organic carbon to  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  during surface soil erosion in a hill slope forested environment. *Geoderma*, 192: 59-67.
- Truman, C.C., Potter, T.L., Nuti, R.C., Franklin, D.H. and Bosch, D.D. 2011. Antecedent water content effects on runoff and sediment yields from two Coastal Plain Ultisols. *Agricultural Water Management*, 98(8): 1189-1196.
- Vaezi, A.R., Hasanzadeh, H. and Cerdà, A. 2016. Developing an erodibility triangle for soil textures in semi-arid regions, NW Iran. *Catena*, 142: 221-232.
- Villatoro-Sánchez, M., Le Bissonnais, Y., Moussa, R. and Rapidel, B. 2015. Temporal dynamics of runoff and soil loss on a plot scale under a coffee plantation on steep soil (Ultisol), Costa Rica. *Journal of Hydrology*, 523: 409-426.
- Wallas P.H., Duson L.J., and Miyer I.G. 2013. Yearly soil erodibility variation in Sevil. *Soil Science Society of America Journal*, 25: 321-329.
- Wang, G., Wu, B., Zhang, L., Jiang, H. and Xu, Z. 2014. Role of soil erodibility in affecting available nitrogen and phosphorus losses under simulated rainfall. *Journal of Hydrology*, 514: 180-191.
- Willy, K.N. 2011. The role of the aggregate size in soil resistance and decrease erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 10(15): 111-120.
- Wu, S.F., Wu, P.T., Feng, H. and Bu, C.F. 2010. Influence of amendments on soil structure and soil loss under simulated rainfall China's loess plateau. *African Journal of Biotechnology*, 9(37): 6116-6121.



ISSN 2251-7480

## Analyzing the effect of sequence rainfalls on soil properties, runoff production and soil loss in soils with different stability at the small plots

Ali Reza Vaezi<sup>1\*</sup>, Hosein Bayat<sup>2</sup> and Saeed Rahmati<sup>3</sup>

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

\*Corresponding Authors: [vaezi.alireza@gmail.com](mailto:vaezi.alireza@gmail.com)

2) M.Sc. Student of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3) M.Sc. Student of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 15-02-2017 Accepted: 17-01-2018

### Abstract

Knowledge of the change of soil properties in each event during sequence rainfalls is very important for recognition the critical period of that the soil would be susceptible to erosion processes is vital. This study was conducted to investigate the effect of sequence rainfalls on the changes of soil properties, runoff and soil loss in eighteen different soils with the same aggregate size (from 4 to 6 mm) using the simulated rainfalls. The experiments were performed at small erosion plots with 80 cm long and 60 cm wide under 9% slope steepness during seven sequence rainstorms with 80 mm h<sup>-1</sup> in intensity for 30 min and 5-day interval. The results indicated that significant differences were among the soils in bulk density, water retention, runoff and soil loss ( $p < 0.001$ ). The lowest runoff (14.4 mm) and soil loss (792 g m<sup>-2</sup>) were observed in the first rainfall event which was associated with higher percentage of water-stable aggregates and lower amount of soil moisture. In the sequential rainfalls, there was no obvious difference in soil water content, whereas bulk density was significantly increased. Significant relationships were found between soil loss and bulk density ( $R^2 = 0.58$ ), and initial soil moisture ( $R^2 = 0.75$ ). This study revealed that information on the changes of soil bulk density and initial soil moisture can sufficiently help to predict soil erosion during sequence rainfalls in an area. Wholly, the change of the physical soil properties plays an important role in increasing the soil's susceptibility to erosion during sequence rainfalls.

**Keywords:** antecedent soil moisture; bulk density; semi-arid region; soil structure; soil texture