

## آستانه‌های اثرگذاری شدت بارندگی و شیب بر فرایند فرسایش در دیمزارهای منطقه کلاله استان گلستان

رامیار علی‌رمایی<sup>۱</sup>، عبدالواحد خالدی درویشان<sup>۲\*</sup> و محمود عرب‌خداری<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۳. دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۸/۲۹؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۰۹/۲۹)

### چکیده

هدف پژوهش حاضر، ارزیابی آستانه‌های پاسخ کرت از نظر بخش‌های مهم فرایند فرسایش و انتقال رسوب در مقیاس کرت در دیمزارهای منطقه کلاله استان گلستان بود. بدین منظور شبیه‌سازی باران توسط باران‌ساز کامفورست با ابعاد کرت ۲۵×۲۵ سانتی‌متر در شدت‌های بارندگی ۳۳، ۶۴، ۸۰ و ۱۱۰ میلی‌متر در ساعت و در شیب‌های ۶، ۱۲ و ۲۵ درصد در چهار تکرار انجام شد. غلظت رسوب و هدررفت خاک با اندازه‌گیری رواناب و رسوب در خروجی کرت‌ها محاسبه و نتایج آن در تیمارهای شدت بارندگی و شیب تحلیل شد. براساس نتایج تحلیل آماری، با افزایش شدت بارندگی در تمام شیب‌های بررسی شده، غلظت رسوب افزایش یافت. اثر جداگانه شدت بارندگی و شیب بر غلظت رسوب و هدررفت خاک معنادار ( $P \geq 0.05$ ) بود، اما اثر متقابل آنها معنادار تشخیص داده نشد. نتایج گروه‌بندی با استفاده از آزمون دانکن نشان داد در فاصله شدت بارندگی ۳۳ و ۶۴ میلی‌متر در ساعت و در فاصله شیب ۶ و ۱۲ درصد غلظت رسوب تغییر معناداری داشت؛ در حالی که درباره هدررفت خاک حد تغییر معنادار بین ۶۴ و ۸۰ میلی‌متر در ساعت و ۱۲ و ۲۵ درصد بود. به بیان دیگر، با فرض خطی بودن روند تغییرات، آستانه تغییر پاسخ هیدرولوژیکی کرت از نظر غلظت رسوب (جدایش و ورود به عامل حمل) در محدوده شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر در ساعت و شیب ۹ درصد بود، در حالی که درباره هدررفت خاک (انتقال رسوب) در محدوده‌های بیشتری از شدت بارندگی (حدود ۷۲ میلی‌متر در ساعت) و نیز شیب (حدود ۱۸ درصد) بود.

**کلیدواژه‌گان:** باران‌ساز، دیمزار، رسوب، رطوبت مزرعه، هدررفت خاک.

## مقدمه

تنوع اقلیمی و استفاده بهینه از منابعی چون خاک و منابع آبی منطقه سبب به وجود آمدن کاربری‌های مختلف زمین شده است. دیم‌زارها در مناطقی ایجاد شده‌اند که از لحاظ منابع آبی شرایط کشاورزی مهیا نبوده است. سطح دیم‌زارهای کشور ایران حدود ۱۰ میلیون هکتار است [۱] و اطلاعات جامع و دقیقی از مقدار هدررفت خاک سطحی دیم‌زارها موجود نیست. فرسایش خاک طی بارندگی، پدیده‌ای است که ذرات خاک توسط قطرات آب جدا و در سطح خاک جابه‌جا می‌شوند [۲]. به مطالعات عوامل مؤثر بر فرسایش خاک توجه گسترده‌ای شده و از میان این عوامل، اثر شدت بارندگی و شیب به‌صورت جداگانه و متقابل و در انواع کاربری‌ها بررسی شده است. هنگام بارندگی و به محض رسیدن قطرات باران به سطح خاک، نفوذ به‌وقوع می‌پیوندد و هنگامی که شدت بارندگی از شدت نفوذ بیشتر باشد یا مقدار کل بارندگی از ظرفیت نفوذ بیشتر شود، خاک اشباع می‌شود و در نتیجه رواناب ایجاد شده و فرسایش آبی به‌وقوع می‌پیوندد.

مطالعات فرسایش خاک به‌دلیل پیچیدگی با مشکلات زیادی مواجه است. شبیه‌ساز باران یکی از ابزارهای مطالعه پدیده فرسایش خاک است که برای تسهیل مطالعه فرسایش خاک کاربرد دارد. از این‌رو، در مطالعه فرسایش خاک، شبیه‌سازی باران به عنوان ابزاری کارآمد به‌طور وسیع استفاده شده است [۳]. از مهم‌ترین مزیت‌های استفاده از شبیه‌سازی باران سرعت عمل، کارایی و قابلیت کنترل نسبت به باران‌های طبیعی است [۴]. هرچند استفاده از شبیه‌سازی باران در برخی موارد مشکل‌آفرین است، در بسیاری موارد به‌دلیل برتری بر روش‌های دیگر در پژوهش‌های هدررفت خاک و تولید رسوب در جهان استفاده می‌شود [۵]. استفاده از کرت شبیه‌ساز باران مزایا و محدودیت‌های خاصی دارد و از شروع پژوهش‌های مختص به اندازه‌گیری رواناب و فرسایش خاک، مقیاس کرت اهمیت زیادی داشته است [۶].

بررسی شدت بارندگی و شیب بحرانی برای اعمال مدیریت در مناطق دارای دیم‌زار بسیار حائز اهمیت است. در این مناطق در دامنه وسیعی از شیب‌های مختلف اراضی دیم ایجاد شده است، حال آنکه در برخی شیب‌ها شدت فرسایش بسیار زیاد است. تعیین شیبی که از آن به بعد تبدیل اراضی مرتعی به دیم‌زار به‌طور معناداری موجب تشدید فرسایش

می‌شود می‌تواند ابزار مناسبی برای مدیریت حفاظت خاک باشد. درباره اثر شدت بارندگی و تعیین شدت بحرانی که در شدت‌های بارندگی بیشتر از آن فرسایش به‌طور معناداری تشدید می‌شود نیز می‌تواند ابزار مناسبی برای مدیریت زراعی در ماه‌های دارای شدت بارندگی زیاد در طول سال باشد. بنابراین، انجام پژوهش حاضر با هدف تشخیص آستانه‌های شدت بارندگی و شیب از نظر اثرگذاری بر فرایند فرسایش آن هم در بخش‌هایی از کشور ضروری است که خاک‌های لسی و حساس به فرسایش دارند.

## پیشینه تحقیق

شیب بحرانی مختص به فرسایش در مطالعات مختلف بررسی شده است. در همین زمینه Horton در مطالعات خود شیب ۵۷ درجه را به‌عنوان شیب بحرانی معرفی کرد، در حالی که Fa-yang با انجام نه گروه آزمایش توسط باران‌ساز در پلات‌هایی با مساحت شش مترمربع در خاک‌های رسی شیب ۲۵ درجه را به‌عنوان شیب بحرانی عنوان کرد [۷ و ۸].

زارع خورمیزی و همکارانش نیز اثر شیب و خصوصیات خاک بر رواناب و هدررفت خاک را با استفاده از شبیه‌ساز باران در حوضه آبخیز چهل‌چای گلستان بررسی کردند. کاربری عمده منطقه را جنگل و زراعت دیم تشکیل می‌دهد. نتایج نشان داد به‌دلیل کم‌بودن طول کرت آزمایش مقدار رواناب در طبقات مختلف شیب تفاوت معناداری نداشت، اما بیشترین مقدار هدررفت در شیب بیشتر از ۳۰ درصد بود و بنابراین شیب بحرانی منطقه حدود ۳۰ درصد تشخیص داده شد [۹]. Assouline و همکارانش تأثیرات شدت بارندگی و شیب را بر میزان فرسایش و آلوده سطحی در فلسطین اشغالی مطالعه کردند. تندی شیب بر میزان نفوذ اثر منفی و شدت بارش هم بر نفوذ اثر افزایشی داشت. در مجموع، مقدار فرسایش با افزایش شیب، بیشتر شد. میزان فرسایش هدررفت خاک در شیب ملایم (نه درصد) کمترین فرسایش را داشت، در شیب‌های متوسط (تا ۱۵ درصد) غلظت رسوب به‌صورت ملایم و در نهایت در شیب‌های تندتر (۲۰ تا ۲۵ درصد) غلظت رسوب به‌صورت تصاعدی افزایش یافت و شیب حدود ۲۳ درصد به‌عنوان نقطه عطف شناخته شد [۱۰]. Cheng و همکارانش نیز اهمیت شیب بر رواناب و هدررفت خاک را در لس‌های شمال چین تحت شبیه‌ساز باران بررسی

درجه و ۳۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی قرار دارد. کشت‌وکار در این منطقه روی تشکیلات لسی انجام می‌شود که بسیار به فرسایش حساس هستند و رخساره‌های فرسایش تشدید می‌شود در آن مشاهده می‌شود. در شکل ۱ موقعیت منطقه کلاله در استان گلستان مشاهده می‌شود.

#### ویژگی باران‌ساز استفاده‌شده و اطلاعات بارندگی

باران‌ساز استفاده‌شده در این پژوهش، باران‌ساز صحرایی ساخته‌شده در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری است که نمونه‌ای از طرح Kamphorst و دارای کرت با مساحت ۶۲۵ سانتی‌متر مربع (۲۵×۲۵ سانتی‌متر) است و به‌راحتی حمل می‌شود و می‌توان رواناب را در شرایط مزرعه و بدون هم خوردن خاک اندازه‌گیری کرد [۱۳]. باران‌ساز از سه قسمت آب‌پاش با تنظیم‌کننده فشار برای ایجاد بارش استاندارد، پایه و قاب فلزی تشکیل شده است [۱۳ و ۱۴]. شدت‌های باران متناسب با شرایط منطقه بررسی شده و با در نظر گرفتن آمار باران‌نگاری ایستگاه‌های نزدیک به منطقه انتخاب شد. برای این منظور چهار سطح شدت بارندگی حدود ۳۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۱۰ میلی‌متر در ساعت با مدت‌های متناظر ۳۰ تا ۱۰ دقیقه (دوره بازگشت ۱۵ تا ۲۰ سال) انتخاب شد. بنابراین، به‌منظور حذف اثر مدت بارندگی، مدت یکسان ۱۵ دقیقه برای شدت‌های بررسی شده در نظر گرفته شد.

#### انتخاب محل نمونه‌برداری و برداشت نمونه‌های رواناب، رسوب و خاک

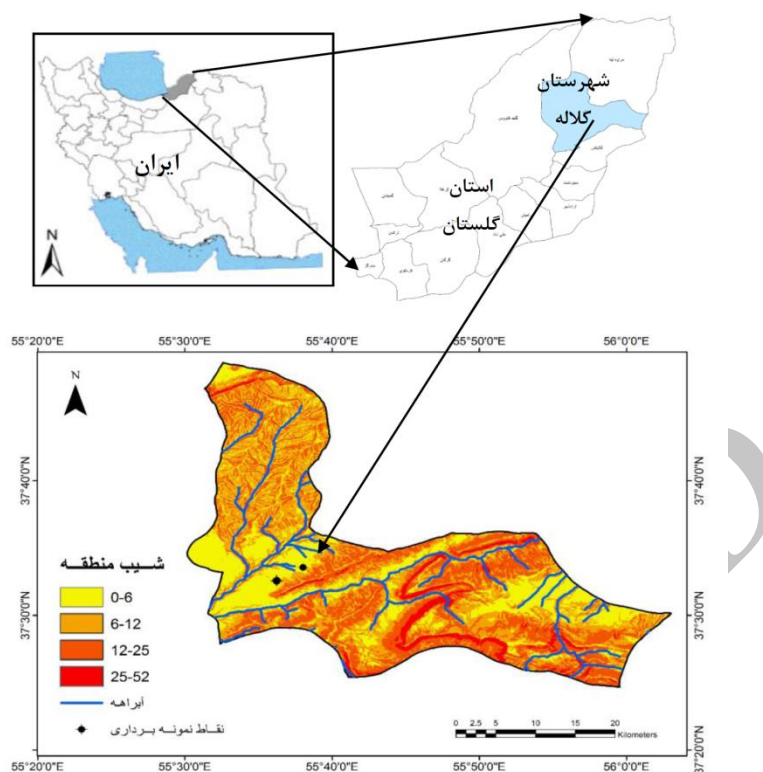
بعد از مشخص شدن محدوده مطالعاتی که اراضی دیم در منطقه بود، منطقه‌ای در محدوده روستای پیش‌کمر برای انجام پژوهش انتخاب شد (شکل ۱). در اراضی دیم در سه طبقه شیب ۶، ۱۲ و ۲۵ درصد به‌دلیل غالب بودن این سه سطح شیب در اراضی مطالعه‌شده کرت باران‌ساز مستقر و اقدام به شبیه‌سازی شد. در هر محل برای هر شیب و هر شدت بارندگی چهار تکرار انجام شد. این کار بنا بر اشاره سازنده اولیه باران‌ساز و به‌دلیل جبران کوچک بودن سطح کرت باران‌ساز بود. در منابع مختلف آماری تأکید شده است که تعداد تکرارهای لازم برای آزمایش بسته به واریانس بین تکرارها تعیین می‌شود. از آنجا که هرچقدر سطح کرت کوچک‌تر باشد، احتمال اثر شرایط غیرتیمار و متغیرهای مداخله‌گر بر نتایج افزایش می‌یابد، بنابراین

کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد محدوده شیب ۲۰-۳۰ درجه حد بحرانی تغییر رواناب و هدررفت خاک است [۱۱]. Liu و همکارانش تأثیرات شدت بارندگی و شیب را بر هدررفت خاک در مناطق ساحلی ناتونگ چین بررسی کردند. شدت‌های بارندگی ۸۵، ۹۵، ۱۱۰ و ۱۲۵ میلی‌متر در ساعت در شیب‌های ۶، ۱۱، ۲۲ و ۳۵ درجه بررسی شدند. نتایج این پژوهش نشان داد نرخ نفوذ در شدت‌های کمتر از ۸۵ میلی‌متر در ساعت با تغییر شیب از شش درجه به ۳۵ درجه تا ۳۹ درصد کاهش یافت، ولی در شدت‌های بیشتر از ۸۵ میلی‌متر در ساعت روند افزایشی-کاهشی داشت و در نهایت شیب ۲۰ درصد به‌عنوان شیب بحرانی مشخص شد. همچنین با افزایش شدت بارندگی نرخ رواناب از ۴۷ تا ۲۷۵ درصد افزایش یافت و نشان داد رواناب به شدت بارندگی حساسیت بیشتری نسبت به شیب دارد [۱۲]. در پژوهش یادشده رابطه میزان رسوب با شدت بارندگی و شیب افزایشی تشخیص داده شد. براساس مطالعات انجام‌شده می‌توان گفت که هدررفت خاک و غلظت رسوب متأثر از عوامل متعددی هستند. این عوامل هر یک در شرایط مختلف حد آستانه‌ای مشخصی دارند و شناخت این حدود می‌تواند در ارائه راهکارهای مدیریتی و بهبود شرایط خاک کارساز باشد. با توجه موارد یادشده هدف این پژوهش بررسی تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب با تغییرات طبقات شیب و شدت بارندگی و تعیین اختلاف آستانه تغییر پاسخ در مقیاس کرت از نظر بخش‌های مهم فرایند فرسایش و انتقال رسوب در دیم‌زارهای منطقه کلاله در استان گلستان است. خاک منطقه مطالعه‌شده لسی بود، لس‌ها شامل رسوباتی هستند که از تجمع رسوبات بادرفتی که در اندازه سیلت تشکیل شده‌اند. لس‌ها فشردگی کم و تخلخل زیادی دارند و به‌دلیل اینکه حاوی مواد آلی کم هستند، به فرسایش حساس‌اند. در صورتی که عملیات شخم در اراضی لسی انجام شود به‌دلیل دست‌خوردگی مستعد فرسایش‌اند. بنابراین، مطالعه اراضی دیم متشکل از خاک‌های لسی ضروری به‌نظر می‌رسد.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مطالعه‌شده

پژوهش حاضر در اراضی دیم روستای پیش‌کمر از توابع شهرستان کلاله در استان گلستان انجام شد. پیش‌کمر از نظر مختصات جغرافیایی در محدوده عرض جغرافیایی ۳۷



شکل ۱. موقعیت روستای پیش کمر از توابع شهرستان کلاله در استان گلستان و ایران

پوشش انتخاب و بقایای گیاهی و کاه و کلش اندک موجود از سطح خاک جمع‌آوری شود. بنابراین، در هر شیب، عرصه‌ای به ابعاد تقریبی  $10 \times 0.5$  متر در امتداد یک خط مستقیم با شرایط کاملاً یکنواخت و بدون ناهمواری انتخاب شد به طوری که فضای کافی برای استقرار شبیه‌ساز باران برای ۱۶ آزمایش مد نظر (حاصل ضرب چهار شدت و چهار تکرار) تأمین شود. برای رساندن رطوبت خاک به حدود ظرفیت مزرعه (FC) و برای جلوگیری از برخورد مستقیم قطرات آب‌پاش به خاک، سطح خاک، عرصه انتخابی با گونی کفنی پوشانیده شد. سپس، به کمک آب‌پاش دستی حجم آبی معادل پنج لیتر برای هر  $0.5 \times 0.5$  متر به‌آهستگی و به‌صورت یکنواخت در سطح گونی پاشیده شد. پس از گذشت حدود ۲۴ ساعت از آب‌پاشی و اطمینان از خیس خوردگی زمین تا عمق ۵ سانتی‌متری به شبیه‌سازی باران و اندازه‌گیری رواناب اقدام شد. تصاویری از روش رساندن رطوبت خاک به ظرفیت مزرعه، شبیه‌سازی باران و نمونه‌برداری رواناب و رسوب در شکل ۲ نشان داده شده است.

موجب افزایش واریانس بین تکرارها می‌شود و به این دلیل طراحی کرت و باران‌ساز کامفورست تعداد حداقل چهار تا هشت تکرار را برای انجام آزمایش پیشنهاد داده است [۱۳]. به‌منظور یکسان‌سازی شرایط، شدت و مدت بارش، میکروتوپوگرافی و شرایط سطحی خاک در هر کرت در همه آزمایش‌های شبیه‌سازی باران، تا حد امکان ثابت و یکسان در نظر گرفته شد. همان‌طور که بیان شد این آزمایش در مزرعه گندم پس از برداشت محصول انجام گرفت. این مزارع در بیشتر مواقع به‌عنوان پس‌چر در اختیار دامداران قرار می‌گیرند که به عاری‌شدن کامل سطح خاک از پوشش گیاهی منجر می‌شود. با توجه به زیادبودن احتمال وقوع ریزش بارش‌های شدید در انتهای تابستان، این مرحله نسبت به فرسایش حساس است. خاک این منطقه ویژگی‌های فیزیکی تقریباً یکسان دارد و تنها تغییرات نقاط مطالعه‌شده، تغییرات از لحاظ شیب است. به‌منظور حذف اثر بقایای گیاهی در نفوذ و تولید رواناب و یکسان‌سازی شرایط در همه آزمایش‌ها و با توجه به سطح محدود کرت، لازم بود حتی‌الامکان مناطق عاری از هرگونه



ج



ب



الف

شکل ۲. الف) آب‌پاشی دستی روی گونی‌های تعبیه‌شده برای رساندن رطوبت به ظرفیت مزرعه؛ ب و ج) انجام شبیه‌سازی باران و اقدام به نمونه‌برداری رواناب و رسوب

شیب بر هدررفت خاک و غلظت رسوب معلق با سطح اعتماد ۹۹ درصد معنادار بود. اثر شدت بارندگی نیز بر هدررفت خاک و غلظت رسوب معلق با سطح اعتماد ۹۹ درصد معنادار بود. اثر متقابل شیب و بارندگی نیز بر مقدار شدت متوسط نفوذ به‌ترتیب در سطح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار بود. همچنین اثر متقابل شیب و شدت بارندگی بر مقدار هدررفت خاک و غلظت رسوب معلق نیز به‌ترتیب در سطح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار تشخیص داده شد (جدول ۲).

پس از بررسی اثر جداگانه و متقابل شیب و شدت بارندگی بر غلظت رسوب و هدررفت خاک در دیم‌زارهای منطقه کلاله در نتایج نشان داد که اثر جداگانه شیب و شدت بارندگی در سطوح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار تشخیص داده شد، اما اثر متقابل شیب و شدت بارندگی بر غلظت رسوب و هدررفت خاک معنادار نشد. سپس به گروه‌بندی سطوح تیمارهای شیب و شدت بارندگی با استفاده از آزمون دانکن ( $\alpha=0/05$ ) اقدام شد (جدول ۳). هدف از گروه‌بندی تشخیص مرز تغییرات معنادار در سطوح مختلف تیمارهای بررسی‌شده (شیب دامنه و شدت بارندگی) بود.

#### عملیات آزمایشگاهی

حجم رواناب تولیدی در هر تکرار پس از انجام شبیه‌سازی باران، با استفاده از استوانه مدرج با دقت میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد. نمونه رواناب و رسوب گرفته‌شده به آزمایشگاه انتقال یافت و با روش برجاگذاری و تخلیه رسوب از رواناب جدا شد و رسوب جداشده در آن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. در نهایت، رسوب خشک‌شده توزین شد. از تقسیم مقدار رسوب بر حجم آب، مقدار غلظت رسوب نیز تعیین شد. پس از جمع‌آوری و ثبت داده‌ها برای تحلیل آماری از نسخه ۱۷ نرم‌افزار SPSS استفاده شد. برای بررسی اثر بین شدت بارندگی و شیب بر نفوذ و رواناب از تحلیل واریانس ANOVA و نیز گروه‌بندی سطوح مختلف شدت بارندگی و شیب بر اساس آزمون دانکن از نظر اثرگذاری بر شدت هدررفت خاک و غلظت رسوب معلق استفاده شد.

#### یافته‌ها

در جدول ۱ نتایج شبیه‌سازی باران آورده شده است. اثر شدت بارندگی و شیب به‌صورت جداگانه و متقابل بر مقدار هدررفت خاک و غلظت رسوب معلق با استفاده از تحلیل واریانس بررسی شد که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج ارائه‌شده در این جدول اثر

جدول ۱. نتایج شبیه‌سازی باران در شدت‌های بارندگی و شیب‌های بررسی‌شده در دیم‌زار منطقه کلاله

شدت بارندگی (میلی‌متر در ساعت)	مقدار بارندگی (میلی‌متر)	غلظت رسوب معلق (گرم) در لیتر) در شیب ۶ درصد	غلظت رسوب معلق (گرم) در لیتر) در شیب ۱۲ درصد	غلظت رسوب معلق (گرم) در لیتر) در شیب ۲۵ درصد	هدررفت ویژه خاک (کیلوگرم در هکتار) در شیب ۶ درصد	هدررفت ویژه خاک (کیلوگرم در هکتار) در شیب ۱۲ درصد	هدررفت ویژه خاک (کیلوگرم در هکتار) در شیب ۲۵ درصد
۳۳	۸/۲۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
		۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
		۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
		۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۶۴	۱۶	۲/۲۰	۸/۴۳	۱۱/۵۳	۳/۵۲	۱۲۸/۱۶	۱۹۵/۵۲
		۴/۷۵	۱۱/۹۲	۸/۵۳	۹/۱۲	۲۵۹/۳۶	۵۱/۸۴
		۳/۳۱	۵/۱۵	۴/۴۰	۱۳/۷۶	۱۲۷/۸۴	۴۹/۲۸
		۱۴/۰۰	۱۵/۳۲	۱۲/۲۳	۳۱/۳۶	۱۵۹/۳۶	۳۵۸/۰۸
۸۰	۲۰	۵/۹۰	۹/۴۳	۱۰/۰۰	۴۱۵/۵۲	۷۹۲/۱۶	۱۴۰۷/۵۲
		۲/۰۶	۷/۳۸	۹/۴۹	۱۱۳/۴۴	۵۶۶/۵۶	۷۹۶/۹۶
		۵/۳۴	۱۰/۹۶	۱۶/۲۲	۵۱۳/۸۰	۱۱۹۲/۰۰	۲۵۴۲/۷۲
		۲/۴۷	۸/۴۴	۲۱/۸۲	۱۶۶/۲۴	۶۲۸/۰۰	۲۷۵۷/۶۰
۱۱۰	۲۷/۵	۱۲/۳۳	۵/۷۰	۸/۷۹	۱۴۷۹/۶۸	۷۷۵/۳۶	۱۱۹۶/۰۰
		۸/۹۱	۲۴/۸۰	۲۲/۰۱	۱۱۴۰/۸۰	۳۳۳۲/۴۸	۲۶۴۱/۴۴
		۴/۷۵	۹/۹۴	۱۲/۸۷	۸۴۶/۲۴	۵۴۸/۸	۱۷۰۸/۶۴
		۴/۵۹	۴/۹۰	۱۶/۹۸	۴۹۱/۵۲	۵۴۸/۴۸	۲۳۹۰/۵۶

جدول ۲. اثر جداگانه و متقابل شیب و شدت بارندگی بر متغیرهای نفوذ و رواناب دیم‌زارهای منطقه کلاله با استفاده از تحلیل واریانس

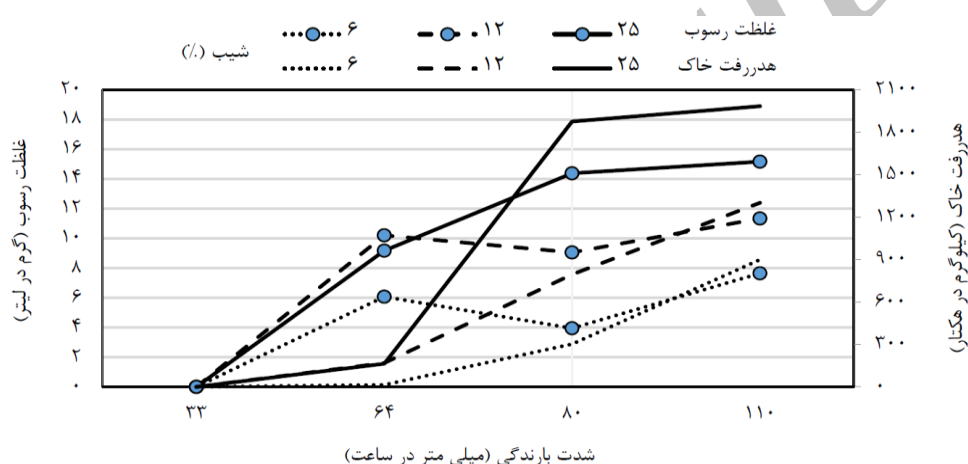
معناداری	آماره f	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات Type III	منبع تغییرات
					متغیر هدف
					عامل تغییر
					هدررفت خاک (گرم)
۰/۰۰۰	۶/۸۴۴	۷۸/۶۶۴	۲	۱۵۷/۳۲۷	شیب
۰/۰۰۰	۱۸/۷۲۱	۲۱۵/۱۷۰	۳	۶۴۵/۵۱۱	شدت بارندگی
۰/۰۸۳	۲/۰۵۶	۲۳/۶۲۵	۶	۱۴۱/۷۵۰	شیب × شدت بارندگی
					متغیر هدف
					عامل تغییر
					غلظت رسوب (گرم بر لیتر)
۰/۰۰۶	۵/۸۲۸	۱۱۲/۸۷۱	۲	۲۲۵/۷۴۲	شیب
۰/۰۰۰	۱۵/۴۱۶	۲۹۸/۵۷۶	۳	۸۹۵/۷۲۷	شدت بارندگی
۰/۳۱۶	۱/۲۲۶	۲۳/۷۴۴	۶	۱۴۲/۴۶۶	شیب × شدت بارندگی

رسوب خاک شیب ۶ درصد در یک گروه و شیب‌های ۱۲ و ۲۵ درصد در یک گروه قرار گرفتند. در نهایت، می‌توان گفت که گروه‌بندی نشان‌دهنده نبود اختلاف آماری بین هم‌گروه‌ها و وجود اختلاف آماری بین دو گروه است.

با نتایج جدول ۳ گروه‌بندی اثر شدت بارندگی بر مقدار غلظت رسوب، شدت بارندگی ۳۳ میلی‌متر در ساعت در یک گروه و شدت‌های ۶۴، ۸۰ و ۱۱۰ میلی‌متر در ساعت در یک گروه قرار گرفتند. در گروه‌بندی اثر شیب بر غلظت

جدول ۳. گروه‌بندی اثر شیب و شدت بارندگی بر غلظت رسوب و هدررفت خاک دیم‌زارهای منطقه کلاله با استفاده از آزمون دانکن ( $\alpha=0/05$ )

تعداد و گروه‌بندی در عوامل تأثیرپذیر			
عوامل مؤثر	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳
شدت بارندگی (میلی‌متر در ساعت)	۳۳	غلظت رسوب (گرم بر لیتر) ۶۴ و ۸۰ و ۱۱۰	-
	۳۳ و ۶۴	۱۱۰ و ۸۰	--
شیب (درصد)	۶	غلظت رسوب (گرم بر لیتر) ۱۲ و ۲۵	-
	۱۲ و ۶	۲۵	--



شکل ۳. غلظت رسوب (خطوط نشانه‌دار) و هدررفت خاک در شدت‌ها و شیب‌های مختلف به صورت میانگین

معنادار نشد. مقدار غلظت رسوب با افزایش شیب و شدت بارندگی افزایش یافت. این یافته‌ها با پژوهش‌های Assouline و Ben-Hur [۱۰]، Defersha و همکارانش [۱۵] همخوانی دارد، اما با نتایج Vahabi و Nikkami [۱۶] همخوانی ندارد. اثر جداگانه و متقابل شیب و شدت بارندگی بر هدررفت خاک با استفاده از تحلیل واریانس بررسی شد. اثر شیب و شدت بارندگی به صورت جداگانه بر هدررفت خاک معنادار شد، اما اثر متقابل شیب و شدت بارندگی بر هدررفت خاک معنادار نشد. این نتایج با نتایج پژوهش‌های زارع خورمیزی و همکارانش [۹]، Liu و همکارانش [۱۲]، Fox و Bryan [۱۷]، Arnaez و همکارانش [۱۸]، Romkens و همکارانش [۱۹] و El Kateb و همکارانش [۲۰] مطابقت داشت.

طبق نتایج جدول ۳ گروه‌بندی اثر شدت بارندگی بر مقدار غلظت رسوب، شدت بارندگی ۳۳ میلی‌متر در ساعت

### بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر برای بررسی اثر شدت بارندگی و شیب بر غلظت رسوب معلق و هدررفت خاک و تعیین اختلاف آستانه تغییر پاسخ در مقیاس کرت از نظر بخش‌های مهم فرایند فرسایش و انتقال رسوب در دیم‌زارهای منطقه کلاله در استان گلستان با استفاده از باران‌ساز قابل حمل انجام شد. سه طبقه شیب ۶، ۱۲ و ۲۵ درصد و چهار شدت بارندگی ۳۳، ۶۴، ۸۰ و ۱۱۰ میلی‌متر در ساعت ارزیابی شد.

مقدار غلظت رسوب خاک در شدت ۳۳ میلی‌متر در ساعت به دلیل ایجاد نشدن رواناب، صفر بود. با افزایش شدت بارندگی در تمام شیب‌ها، مقدار غلظت رسوب افزایش یافت. این نتیجه نشان‌دهنده رابطه مستقیم بین افزایش شدت بارندگی و شیب با غلظت رسوب بود. با توجه به جدول ۲ اثر شدت بارندگی و شیب هر یک معنادار بود اما به صورت متقابل

## منابع

- در یک گروه و شدت‌های ۶۴، ۸۰ و ۱۱۰ میلی‌متر در ساعت در یک گروه قرار گرفتند. در گروه‌بندی اثر شیب بر غلظت رسوب، شیب ۶ درصد در یک گروه و شیب‌های ۱۲ و ۲۵ درصد در یک گروه قرار گرفتند. گروه‌بندی نشان‌دهنده نبود اختلاف آماری بین سطوح هم‌گروه و وجود اختلاف آماری بین سطوح در دو گروه متفاوت است. همچنین با توجه به جدول ۳ گروه‌بندی اثر شیب و شدت بارندگی بر هدررفت خاک نیز با استفاده از آزمون دانکن انجام شد. در گروه‌بندی اثر شدت بارندگی بر هدررفت خاک شدت‌های ۳۳ و ۶۴ میلی‌متر در ساعت در یک گروه و شدت‌های ۸۰ و ۱۱۰ میلی‌متر در ساعت در یک گروه قرار گرفتند که نشان‌دهنده نبود اختلاف آماری بین هم‌گروه‌ها و وجود اختلاف آماری بین گروه‌های جداگانه است. درباره اثر شیب نیز شیب‌های ۶ و ۱۲ درصد در یک گروه و شیب ۲۵ درصد در گروهی دیگر قرار گرفت.
- در جمع‌بندی نتایج به‌دست‌آمده از گروه‌بندی می‌توان گفت که در فاصله شدت بارندگی ۳۳ و ۶۴ میلی‌متر در ساعت و در فاصله شیب ۶ و ۱۲ درصد مقدار غلظت رسوب تغییر معناداری داشته در حالی که درباره هدررفت خاک حد تغییر معنادار درباره شدت بارندگی بین ۶۴ و ۸۰ میلی‌متر در ساعت و درباره شیب بین ۱۲ و ۲۵ درصد بوده است. به بیان دیگر، با فرض تغییرات خطی در فرایند فرسایش، حد تغییر پاسخ هیدرولوژیکی کرت از نظر غلظت رسوب (جدایش و ورود رسوب به عامل حمل) در محدوده شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر در ساعت و شیب ۹ درصد بود در حالی که درباره هدررفت خاک (انتقال رسوب) در محدوده‌های بیشتری از شدت بارندگی (۷۲ میلی‌متر در ساعت) و شیب (۱۸ درصد) بود. این نتیجه مبنی بر تشخیص اختلاف آستانه تغییر پاسخ در مقیاس کرت از نظر بخش‌های مهم فرایند فرسایش و انتقال رسوب بسیار حائز اهمیت است. کاربری پژوهش حاضر که اراضی دیم بود و نیز کوچک‌بودن کرت شبیه‌ساز باران کامفورست نسبت به دیگر شبیه‌سازها و مدت بارندگی ۱۵ دقیقه‌ای شبیه‌سازی باران و در نهایت تشکیل اندوده سطحی در سطح خاک به تطابق‌نداشتن و وجود مغایرت عددی با نتایج Fa-yang [۸]، زارع خورمیزی و همکارانش [۹]، Assouline و همکارانش [۱۰]، Cheng و همکارانش [۱۱] و Liu و همکارانش [۱۲] منجر شد.
- [1]. Siadat H. Iranian agriculture and salinity. In: Proceeding of the conference on new technologies to combat desertification. Tehran, Soil and Water Research Institute of Iran, 12-15 Oct 1998; p. 10-14.
- [2]. Ellison WD. Studies of raindrop erosion. *Agricultural Engineering*. 1944;25(4):131-136.
- [3]. Sadeghi SHR, Hazbavi Z, Younesi H, Behzadfar M. Trend of soil loss and sediment concentration changeability due to application of polyacrylamide. *J Soil and Water Resources Conservation*. 2013; 2(4): 53-67. [Persian]
- [4]. Meyer LD. Rainfall simulators for soil erosion research. In: Lal R, Editor. *Soil Erosion Research Methods*. 2<sup>nd</sup> ed. An-keny, USA: Soil and Water Conservation Society; 1994. p. 83-103.
- [5]. Seeger M. Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena*. 2007;71(1):56-67.
- [6]. Licznar P, Nearing MA. Artificial neural networks of soil erosion and runoff prediction at the plot scale. *Catena*. 2003;51(2):89-114.
- [7]. Horton RE. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol Soc Am Bulletin*. 1945;56(3):275-370.
- [8]. Chen F. The experiments of the effects of the slope on soil erosion. *Chinese Soil Water Conserv*. 1985;2:24-30.
- [9]. Zare Khormizi M, Najafinejad A, Noura N, Kavian A. Effects of slope and soil properties on runoff and soil loss using rainfall simulator, Chehel-Chai Watershed, Golestan Province. *J Water Soil Conservation*. 2012; 19(2):165-178. [Persian]
- [10]. Assouline S, Ben-Hur M. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *Catena*. 2006;66(3):211-220.
- [11]. Cheng Q, Ma W, Cai Q. The relative importance of soil crust and slope angle in runoff and soil loss: a case study in the hilly areas of the Loess Plateau, North China. *GeoJournal*. 2008;71(2-3):117-125.
- [12]. Liu D, She D, Shao G, Chen D. Rainfall intensity and slope gradient effects on sediment losses and splash from a saline-sodic soil under coastal reclamation. *Catena*. 2015;128:54-62.
- [13]. Kamphorst A. A small rainfall simulator for the determination of soil erodibility. *Netherlands J Agric Sci*. 1987;35(3):407-415.



- [14]. Azmoudeh A, Kavian A, Soleymani K, Vahabzadeh G. Comparing runoff and soil erosion in forest, dry farming and garden land uses soils using rainfall simulator. *J Water Soil*. 2010; 24(3):490-500. [Persian]
- [15]. Defersha MB, Melesse AM. Effect of rainfall intensity, slope and antecedent moisture content on sediment concentration and sediment enrichment ratio. *Catena*. 2012;90:47-52.
- [16]. Vahabi J, Nikkami D. Assessing dominant factors affecting soil erosion using a portable rainfall simulator. *Int J Sediment Res*. 2008;23(4):376-386.
- [17]. Fox DM, Bryan RB. The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient. *Catena*. 2000;38(3):211-222.
- [18]. Arnaez J, Lasanta T, Ruiz-Flaño P, Ortigosa L. Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. *Soil Till Res*. 2007;93(2):324-334.
- [19]. Römken MJ, Helming K, Prasad SN. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. *Catena*. 2002;46(2):103-123.
- [20]. El Kateb H, Zhang H, Zhang P, Mosandl R. Soil erosion and surface runoff on different vegetation covers and slope gradients: a field experiment in Southern Shaanxi Province, China. *Catena*. 2013;105:1-10.

Archive of SID