



"مقاله پژوهشی"

**بررسی اثرات مؤلفه‌های شیب و شدت بارندگی بر هدررفت خاک و رواناب در اراضی دیم  
(مطالعه موردی: اراضی دیم شهرستان گچساران)**

مجید خزایی<sup>۱</sup>، رضا بیات<sup>۲</sup> و ایمان صالح<sup>۳</sup>

۱- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کهگیلویه و بویراحمد، ایران، (نویسنده مسوول: khazayy64@gmail.com)  
۲- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران  
۳- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کهگیلویه و بویراحمد، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۹  
صفحه: ۱۸۲ تا ۱۹۲

**چکیده مبسوط**

**مقدمه و هدف:** یکی از کاربری‌هایی که در ایران در معرض فرسایش شدید قرار دارد؛ اراضی دیم شیب‌دار کم‌بازده هستند که به‌طور قطع یکی از منابع مهم رسوب رودخانه‌ها و مخازن نیز می‌باشند. حساس‌ترین زمان به فرسایش حالتی است که این اراضی شخم‌خورده و به‌صورت آیش رها شده‌اند. این دوره در اکثر مناطق ایران مصادف با دوره بارندگی است. بخش وسیعی از اراضی کشاورزی دیم شهرستان گچساران بسیار فرسایش پذیر بوده و درآمد بسیاری از ساکنین این منطقه از کشاورزی است. بنابراین هدف از تحقیق حاضر، بررسی میزان تأثیرگذاری شدت‌های مختلف بارندگی در شیب‌های متفاوت بر میزان فرسایش و رواناب در دیم‌زارهای شهرستان گچساران در استان کهگیلویه و بویراحمد می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** به منظور آماده‌سازی محیط برای انجام آزمایش، ابتدا سطح خاک منطقه اشباع شد. سپس با استفاده از باران ساز کامفورست، باران‌هایی با شدت‌های ۳۳، ۶۴ و ۱۱۰ میلی‌متر بر ساعت در سه شیب ۶، ۱۲ و ۲۵ درصد ایجاد گردید. بدین ترتیب، نه تیمار با چهار تکرار مورد آزمایش و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. رواناب و رسوب با استفاده از ظروف مخصوص جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آماری رواناب و رسوب با استفاده از نرم‌افزار SPSS و روش تجزیه واریانس و آزمون دانکن انجام گرفت. سایر تحلیل‌های لازم نیز از نظر تأثیر عوامل بر میزان رواناب، فرسایش، عناصر کیفی آب، خاک و رسوب انجام شد.

**یافته‌ها:** مقایسه میانگین پارامترهای مورد مطالعه حاکی از اثرات معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) شدت بارندگی و درصد شیب بر میزان رواناب و فرسایش است به‌طوری‌که در سه شیب اندازه‌گیری شده در شدت ۱۱۰ میلی‌متر بر ساعت نسبت به شدت ۳۳ میلی‌متر بر ساعت سبب افزایش ۴ و ۱/۷ برابری رواناب و رسوب شده است و شیب ۲۵ درصد نسبت به شیب ۶ درصد سبب افزایش ۲/۳ و ۱/۷ برابری در میزان رواناب و رسوب شده است. آنالیز نتایج مربوط به غلظت رسوب نشان داد که شدت بارندگی تنها در مقادیر بالای خود بر میزان غلظت و وزن رسوب تأثیرگذار است و در شدت بارندگی ۳۳ و ۶۴ میلی‌متر در ساعت تفاوت معنی‌داری در میزان غلظت و وزن رسوب مشاهده نشد. مقایسه نتایج اثرات شدت بارندگی و شیب بر مؤلفه‌های مورد بررسی بیانگر آن است که شدت بارندگی نسبت به درصد شیب تأثیر بیشتری در میزان رواناب و رسوب دارد. همچنین اندازه‌گیری نسبت میزان عناصر غذایی در رسوب و خاک نشان‌دهنده اثرات فرسایش خاک بر حمل مواد غذایی و کاهش حاصل‌خیزی است به‌طوری‌که میزان کربن، فسفر و پتاسیم در رسوبات جمع‌آوری شده نسبت به خاک بیشتر گردیده است.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس نتایج این پژوهش، درصد شیب و همچنین شدت بارندگی به‌صورت مستقل و در برهمکنش با یکدیگر، تأثیر معنی‌داری بر تولید رواناب و رسوب در کرت‌های آزمایشی مورد استفاده در این طرح داشته‌اند. آنالیز نتایج مربوط به غلظت رسوب نشان داد که شدت بارندگی تنها در مقادیر بالای خود بر میزان غلظت و وزن رسوب تأثیرگذار است. همچنین با افزایش شیب، مقدار، حجم و ضریب رواناب افزایش یافت اما این افزایش رواناب در شیب ۲۵ درصد بسیار بیشتر از شیب‌های ۶ و ۱۲ درصد بود. بنابراین هرچه شیب افزایش پیدا نماید، افزایش رواناب نیز شدت بیشتری خواهد گرفت.

**واژه‌های کلیدی:** پلات، دیم‌زار، رواناب، شبیه‌ساز باران، فرسایش

**مقدمه**

سالیان درازی است که به‌دلیل رشد جمعیت انسانی و استفاده‌های مفراطی از منابع طبیعی، سطح کره زمین دچار تحولات غیرمطلوبی شده به‌طوری‌که منابع آب و خاک در جهت تأمین غذا بیش از سایر منابع، مورد تهاجم واقع گردیده است (۲۰). عوارض این رخداد در اراضی شیب‌دار و اقلیم‌های خشک و نیمه خشک از جمله بیشتر مناطق ایران به دلیل حساسیت و شکنندگی بالای اکوسیستم، به مراتب حساس‌تر و جبران‌ناپذیرتر می‌نماید (۱۵). در همین راستا فرسایش خاک از مهم‌ترین معضلات زیست‌محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان است که تأثیرات مخربی بر زیست‌بوم‌های طبیعی و تحت مدیریت انسان دارد (۸). هر چند فرسایش خاک در طول تاریخ وجود داشته، ولی در سال‌های اخیر به‌دلیل کاربری نامناسب اراضی شدت یافته است. امروزه فرسایش خاک به عنوان خطری برای انسان‌ها و حتی برای حیات او به‌شمار

می‌آید. فرسایش خاک یک مشکل جهانی است که به‌طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند. از این نظر جلوگیری از فرسایش خاک به‌منظور حفظ ثروت‌های ارزشمند طبیعی امری حیاتی به‌شمار می‌رود (۱۳).  
قرار گرفتن ایران در کمربند مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان و نیز وجود سازندهای حساس به فرسایش آبی و وجود رشته کوه‌های البرز و زاگرس باعث شده‌اند که این کشور از پتانسیل بسیار بالایی برای فرسایش آبی برخوردار باشد. متوسط میزان فرسایش در کشور بین ۷ و حداکثر ۱۶ تن در هکتار در سال می‌باشد که با توجه به مساحت ایران، فرسایش سالانه کشور معادل ۱/۱۵ تا ۲۴/۶۴ میلیارد تن خواهد بود که رقم بسیار بالایی است (۱۴).

یکی از کاربری‌هایی که در ایران در معرض فرسایش شدید قرار دارد؛ اراضی دیم شیب‌دار کم‌بازده هستند که به‌طور قطع

سالیان درازی است که به‌دلیل رشد جمعیت انسانی و استفاده‌های مفراطی از منابع طبیعی، سطح کره زمین دچار تحولات غیرمطلوبی شده به‌طوری‌که منابع آب و خاک در جهت تأمین غذا بیش از سایر منابع، مورد تهاجم واقع گردیده است (۲۰). عوارض این رخداد در اراضی شیب‌دار و اقلیم‌های خشک و نیمه خشک از جمله بیشتر مناطق ایران به دلیل حساسیت و شکنندگی بالای اکوسیستم، به مراتب حساس‌تر و جبران‌ناپذیرتر می‌نماید (۱۵). در همین راستا فرسایش خاک از مهم‌ترین معضلات زیست‌محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان است که تأثیرات مخربی بر زیست‌بوم‌های طبیعی و تحت مدیریت انسان دارد (۸). هر چند فرسایش خاک در طول تاریخ وجود داشته، ولی در سال‌های اخیر به‌دلیل کاربری نامناسب اراضی شدت یافته است. امروزه فرسایش خاک به عنوان خطری برای انسان‌ها و حتی برای حیات او به‌شمار

شیدار و ۳۰ درصد به صورت آبی در دشت‌ها کشت می‌گردد. نقشه طبقات شیب در استان نشان‌دهنده این واقعیت است که ۷۰ درصد استان در طبقه شیب بالای ۱۲ درصد قرار دارد که حاکی از شیدار بودن اکثر اراضی در استان می‌باشد که با توجه به واژگونی ادوات شخم در این اراضی در نتیجه اکثراً در جهت شیب شخم زده می‌شوند به همین خاطر انجام تحقیقی که اثرات شدت بارندگی و شیب اراضی را در میزان فرسایش و کاهش حاصلخیزی دیمزارهای استان مورد بررسی قرار دهد از اهمیت بالایی برخوردار است.

در همین رابطه تحقیقات زیادی در دنیا به بررسی تولید رسوب و رواناب پرداخته است. محمد و آدام (۱۱) در مطالعاتی اثرات تغییرات انواع پوشش گیاهی بر تولید رواناب و فرسایش خاک در ۵ کاربری جنگلی کاشته شده با گونه *P. halepensis*، پوشش مرتعی با غالبیت گونه *S. spinosum*، پوشش مرتعی با حذف گونه *S. spinosum*، تیمار کاربری زراعی و تیمار کاربری جنگل‌زدایی شده با استفاده از پلات‌های ۵۰ متر مربعی بعد از وقوع بارش طبیعی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تولید رواناب و رسوب در انواع کاربری‌ها دارای اختلاف معنی‌داری بوده است. نتایج نشان داده است که تیمار جنگل و تیمار پوشش مرتعی با غالبیت گونه *S. spinosum* دارای کمترین میزان رواناب به ترتیب با میانگین ۱/۰۸ و ۲/۰۲ میلی‌متر بوده است. همچنین در تیمار جنگل‌زدایی شده نسبت به تیمار اراضی جنگلی میزان رواناب به میزان قابل توجهی (۴/۰۳ میلی‌متر) افزایش یافته است.

ظریف و همکاران (۲۹) با بررسی تغییرپذیری اثرات متقابل برخی از صفات خاک بر زمان شروع رواناب در حوزه آبخیز کجور مازندران نشان داد که بین صفات خاک تنها مواد آلی علاوه بر ویژگی‌های توپوگرافی با زمان شروع رواناب دارای همبستگی مثبت بوده است. بیش‌ترین زمان شروع رواناب در پلات‌های ۴۴ درصد غربی در حدود ۷۰ ثانیه با بالاترین درصد مواد آلی (۵/۹ درصد) اندازه‌گیری شد در مجموع نتایج آن‌ها نشان داد که زمان شروع رواناب نسبت به متغیرهای محیطی حساسیت معنی‌دار داشته است. ارزیابی اثر شدت بارندگی بر فرسایش شیبی و بین شیبی در دامنه‌های شیب‌دار توسط تاین و همکاران (۲۳) حاکی از تأثیر مثبت و مستقیم شدت بارندگی بر میزان فرسایش شیبی و بین شیبی دارد چرا که پاشش ذرات خاک در اثر برخورد قطرات باران موجب کاهش ۱۰ تا ۲۶ درصدی نفوذپذیری سطح خاک شده و در نتیجه میزان فرسایش افزایش می‌یابد. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که بارندگی سبب توسعه فرسایش شیبی با تغییر ۵-۲۶ درصدی عرض شیار، ۴-۲۲ درصدی طول شیار و ۳-۲۲ درصدی عمق شیار می‌گردد. چن و همکاران (۳) در پژوهشی با هدف تعیین نقش پوشش گیاهی در کاهش فرسایش خاک، به ارتباط مستقیم میزان شیب و فرسایش اشاره نمودند بدین صورت که با افزایش شیب، میزان فرسایش نیز افزایش می‌یابد که این موضوع در شیب‌های تندتر نمود بیشتری پیدا می‌کند. نتایج آن‌ها نشان داد که علفزارها و بوته‌زارها با پوشش زمینی بالا در مقایسه با

یکی از منابع مهم رسوب رودخانه‌ها و مخازن نیز می‌باشند. مساحت کل دیمزارهای ایران در حدود ۱۰ میلیون هکتار است (۲۲). ولی اطلاعات دقیق از سطح اراضی دیم شیب‌دار وجود ندارد. بسیاری از دیم‌زارها با تغییر کاربری مراتع و جنگل‌ها در مناطق نیمه‌خشک و با قطع درختان جنگلی انبوه و کشت و کار در دامنه‌های پرشیب در مناطق مرطوب حتی بدون سکونیدی ایجاد شده‌اند و به دلایل مختلف نسبت به فرسایش بسیار حساس می‌باشند. به‌طور کلی حساس‌ترین زمان به فرسایش در اراضی زراعی محلی است که گیاه در سطح زمین وجود ندارد و باران‌های فرساینده نازل می‌شود (۲۶). به این ترتیب در اراضی دیم، مرحله شخم قبل از کشت تا زمانی که هنوز گیاه رشد کافی نکرده یا اراضی رها شده به صورت آیش بیشتر حساسیت را دارا می‌باشند.

از دیگر پیامدهای فرسایش خاک می‌توان کاهش حاصلخیزی و قدرت باروری خاک برجا مانده و انتقال عناصر غذایی و مواد آلی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم به آب‌های سطحی را نام برد (۶). خاک سطحی اولین بخشی است که در معرض فرسایش خاک قرار دارد و میزان مواد غذایی خاک و ضروری برای گیاه مانند کربن، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در این سطح به شدت کاهش می‌یابد. به‌طور نمونه عناصر غذایی در خاک فرسایش یافته نسبت به خاک اولیه ۳ برابر بیش‌تر می‌باشد (۲۷). قسمت عمده ازت و کربن در لایه سطحی خاک قرار دارند بنابراین فرسایش سطحی مقدار قابل توجهی ازت و هوموس را به‌همراه خود حمل می‌کند. این کاهش موجب کم شدن مواد آلی و سایر عناصر (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) مورد نیاز برای رشد گیاه می‌شود (۷). یک تن از لایه فوقانی حاصل‌خیز به‌طور میانگین ۱ تا ۶ کیلوگرم نیتروژن، ۱ تا ۳ کیلوگرم فسفر و ۲ تا ۳۰ کیلوگرم پتاسیم دارد. در حالی که سطح نیتروژن خاک در اراضی فرسایش یافته به‌طور میانگین فقط دارای ۱/۰ تا ۱۵/۰ کیلوگرم در هر تن می‌باشد (۲۴). در همین زمینه لال (۹) کاهش عناصر غذایی و مواد آلی را باعث کاهش عمق ریشه و اثرات مخرب روی تولید محصول و خاک می‌داند.

یکی دیگر از اثرات فرسایش آبی، آبشویی نیتروژن است که می‌تواند سبب اثرات منفی بر آب رودخانه، دریاچه و آب‌های ساحلی گردد. قسمت عمده آبشویی نیتروژن به صورت  $\text{NO}_3$  صورت می‌گیرد در حالی که  $\text{NH}_4$  به ذرات خاک متصل بوده و در رس‌ها نیز در بین لایه دوگانه قرار می‌گیرد (۴) و برای آبشویی وجود نیتروژن به‌اندازه کافی در محلول خاک و امکان حرکت آب به پایین‌تر از منطقه ریشه، نیاز است.

علاوه بر آبشویی، نیتروژن در رواناب سطحی به صورت محلول و همراه با ذرات رسوب نیز حمل و باعث آلودگی منابع آب می‌گردد. قسمت عمده این مواد به شکل آلی بوده که پس از رسیدن به سواحل، سریعاً ترسیب می‌نماید و یکی دیگر از راه‌های هدر رفت نیتروژن انتقال آن به شکل‌های  $\text{N}_2\text{O}$ ،  $\text{N}_2$ ،  $\text{NO}$  و به صورت گاز است (۴).

توزیع و پراکندگی سطوح زیر کشت در استان کهگیلویه و بویراحمد نیز حاکی از این است که از میزان ۱۶۷ هزار هکتار زمین زراعی ۷۰ درصد این میزان به صورت دیم در اراضی

۳۳، ۶۴، ۸۰ و ۱۱۰ میلی‌متر در ساعت ایجاد نمودند. آن‌ها سه طبقه شیب شش، ۱۲ و ۲۵ درصد انتخاب کردند و در شیب‌های مذکور میزان نفوذ و رواناب سطحی را در چهار کرت ۲۵×۲۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری کردند. نتایج آن نشان داد که در شدت بارندگی بیش از حدود ۷۰ میلی‌متر در ساعت و شیب بیش از حدود ۱۵ درصد، شدت متوسط نفوذ و ضریب متوسط رواناب سطحی به‌طور معنی‌دار به‌ترتیب کمتر و بیشتر شدند. مکی و همکاران (۱۲) و امیری و پیروان (۲) نیز در پژوهش‌های خود به‌منظور مطالعه فرسایش خاک از باران‌ساز کامفورست استفاده نمودند. واعظی و همکاران (۲۵) به‌منظور بررسی اثرات توأم جهت شخم و تراکم کشت بر هدر رفت آب و خاک در کشتزار دیم دوازده کرت گیاهی با ابعاد ۱/۵ در ۱/۵ احداث نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که رواناب و هدر رفت خاک در شخم موازی شیب به ترتیب ۴/۱۶ و ۴/۰۸ برابر بزرگ‌تر از خاک‌ورزی روی خطوط تراز بود. همانطور که ملاحظه می‌شود، اکثر قریب به اتفاق پژوهش‌های انجام شده به اهمیت بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش نظیر شیب، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، شدت بارش و غیره به‌منظور کنترل فرسایش و مدیریت آن اشاره نموده‌اند.

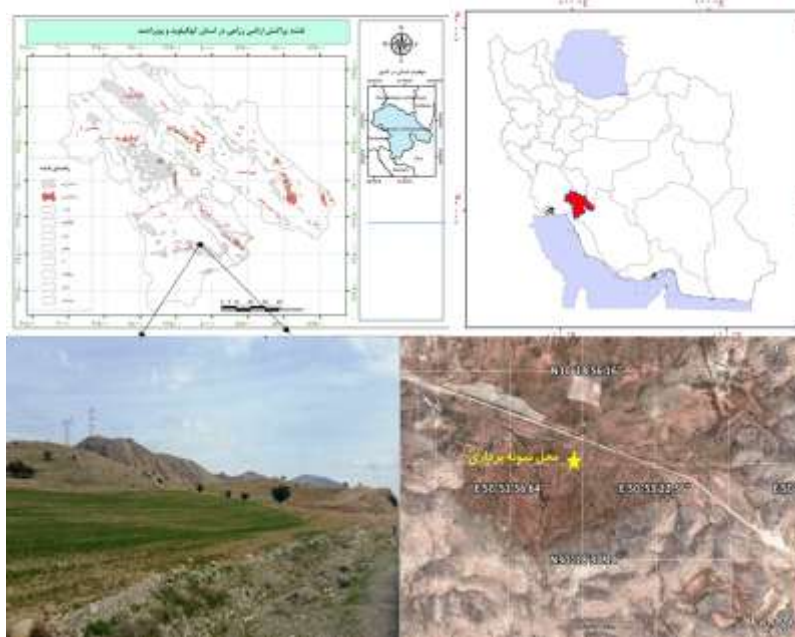
بخش وسیعی از اراضی کشاورزی دیم شهرستان گچساران بسیار فرسایش‌پذیر بوده و درآمد بسیاری از ساکنین این منطقه از کشاورزی است. بنابراین، وقوع فرسایش موجب از بین رفتن این اراضی و در پی آن، مهاجرت کشاورزان خواهد شد. از این رو هدف از تحقیق حاضر، بررسی میزان تأثیرگذاری شدت‌های مختلف بارندگی در شیب‌های متفاوت بر میزان فرسایش و رواناب در دیمزارهای شهرستان گچساران در استان کهگیلویه و بویراحمد می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### شرایط اکولوژیکی منطقه اجرای پروژه

با بررسی نقشه کاربری اراضی و شیب و شرایط تحقیق از نظر موقعیت دسترسی و وجود مناطق دیم‌کاری گسترده و به‌هم پیوسته، مزرعه‌ای در منطقه امام‌زاده جعفر در شهرستان گچساران از توابع استان با مشخصات ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه عرض جغرافیایی کهگیلویه و بویراحمد انتخاب گردید (شکل ۱).

جنگل‌های تنک و با پوشش زمینی کم سبب کاهش ۵۰ درصدی عمق رواناب و ۹۰ درصدی فرسایش خاک در سال می‌گردند. همچنین در این پژوهش، احیا و ایجاد پوشش گیاهی به‌عنوان راهکاری مؤثر و ارزان به‌منظور کاهش فرسایش در دامنه‌های با شیب زیاد توصیه شده است. ژانگ و همکاران (۳۱) تأثیر شدت بارندگی و شیب را بر ظرفیت حمل رسوب مورد بررسی و مقایسه قرار دادند. شدت‌های بارندگی اعمال شده توسط دستگاه شبیه‌ساز باران در این آزمایش از ۰/۸ تا ۲/۵ میلی‌متر بر دقیقه و شیب‌های ایجاد شده نیز از ۱۲/۷ تا ۴۶/۶ درصد می‌باشد. پژوهشگران مذکور پس از تجزیه و تحلیل نتایج اعلام نمودند که هر دو عامل مورد مطالعه یعنی شدت بارندگی و شیب دامنه بر میزان ظرفیت حمل رسوب جریان تأثیر مثبت و مستقیم دارند، اما اثر شدت بارندگی بیش از شیب دامنه بوده است. نتایج آن‌ها نشان داد که ظرفیت حمل به‌عنوان تابعی از شدت بارندگی و درصد شیب است ( $R^2=0/84$ ،  $NSE=0/75$ ) ولی ظرفیت حمل رسوب به شدت بارش نسبت به شیب حساس‌تر بوده است. اثرات شخم بر فرسایش ورقه‌ای در دامنه‌های شیب‌دار توسط ژانگ و همکاران (۳۰) مورد بررسی قرار گرفت. این تحقیق در شیب‌های ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه به انجام رسیده است. پژوهشگران مذکور اثر افزایش شیب بر میزان فرسایش را مثبت و مستقیم ارزیابی کرده و شیب ۱۵ الی ۲۰ درجه را به‌عنوان شیب بحرانی جهت اعمال ممنوعیت کشت و شخم اعلام نمودند. در ایران نیز صادقی و همکاران (۲۱) با بررسی درصد و جهت شیب بر روان آب سطحی و رسوب از کرت‌های کوچک آزمایشی در حوزه آبخیز کجور از شبیه‌ساز باران استفاده نمودند. نتایج نشان داد که تنها تندی شیب بر حجم رواناب تأثیر معنی‌دار ( $p \leq 0/04$ ) داشته است. به‌نحوی که حجم روان آب روی شیب زیاد، کم‌تر از شیب کندتر بوده است. همچنین اثر شیب در برخی از ماه‌ها و اثر جهت در ماه‌های دیگر روی رسوب معنی‌دار ( $p \leq 0/05$ ) بوده است. عبدی‌نژاد و همکاران (۱) به‌منظور مقایسه فرسایش‌پذیری خاک اراضی مارنی استان زنجان از دستگاه شبیه‌ساز باران استفاده و نتیجه گرفتند که اثر واحدهای مارنی، شیب و اقلیم بر مقدار تلفات خاک واحدهای کاری کاملاً معنی‌دار می‌باشد. رمائی و همکاران (۱۸) اثرات شدت بارندگی و تندی شیب بر نفوذ و رواناب سطحی را با استفاده از شبیه‌ساز باران کامفورست در دیم‌زارهای منطقه کلاله استان گلستان مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور باران‌هایی به مدت ۱۵ دقیقه و شدت‌های



شکل ۱- نقشه، تصویر ماهواره گوگل ارث و عکس از اراضی منطقه مورد بررسی  
Figure 1. Location Map, Google Earth satellite image and photos of studied region lands

این تیمارها شامل سه شدت باران ۳۳، ۶۴ و ۱۱۰ میلی‌متر بر ساعت به مدت ۱۵ دقیقه‌ای و سه طبقه شیب ۶، ۱۲ و ۲۵ درصد است.

### روش تحقیق

آزمایش‌های مورد نظر در این پژوهش ۹ تیمار با ۴ تکرار، در نظر گرفته شده است که شرح آن‌ها در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- تیمارهای آزمایشی مورد استفاده در این پژوهش

Table 1. Experimental treatments used in this study

ترکیب تیمارها	شدت (میلی‌متر بر ساعت)	شیب دامنه (درصد)	تکرار	نام اختصاری
۱-۴	۳۳	۶	۴ تا ۱	شدت ۳۳ میلی‌متر و شیب ۶ درصد
۵-۸	۳۳	۱۲	۴ تا ۱	شدت ۳۳ میلی‌متر و شیب ۱۲ درصد
۹-۱۲	۳۳	۲۵	۴ تا ۱	شدت ۳۳ میلی‌متر و شیب ۲۵ درصد
۱۰-۱۶	۶۴	۶	۴ تا ۱	شدت ۶۴ میلی‌متر و شیب ۶ درصد
۱۷-۲۰	۶۴	۱۲	۴ تا ۱	شدت ۶۴ میلی‌متر و شیب ۱۲ درصد
۲۱-۲۴	۶۴	۲۵	۴ تا ۱	شدت ۶۴ میلی‌متر و شیب ۲۵ درصد
۲۵-۲۸	۱۱۰	۶	۴ تا ۱	شدت ۱۱۰ میلی‌متر و شیب ۶ درصد
۲۹-۳۲	۱۱۰	۱۲	۴ تا ۱	شدت ۱۱۰ میلی‌متر و شیب ۱۲ درصد
۳۳-۳۶	۱۱۰	۲۵	۴ تا ۱	شدت ۱۱۰ میلی‌متر و شیب ۲۵ درصد

به‌منظور جمع‌آوری رواناب و رسوب قرار گیرد. در مرحله بعد پس از پر نمودن آب‌پاش درب منفذ پر کننده آن با چوب پنبه بسته شده، آب‌پاش برگردانده شده و روی پایه مستقر در پلات قرار می‌گیرد تا در زمان شروع آزمایش قطرات آب بر روی خاک موجود در سطح پلات پاشیده شود. قبل از اعزام به منطقه، دستگاه باران‌ساز با توجه به شدت‌های مورد نظر در آزمایشات (شدت ۳۳، ۶۴ و ۱۱۰ میلی‌متر بر ساعت) کالیبره شد.

برای آماده‌سازی سطح خاک، ابتدا محل مناسب برای نصب پلات‌های شبیه‌ساز در شیب‌های مورد نظر انتخاب شد. سپس روز قبل از آزمایش، محل دستگاه باران‌ساز توسط آب‌پاش تا عمق ۵ سانتی‌متری خاک اشباع گردید و به‌منظور جلوگیری از تبخیر، روی محل اشباع شده گونی کفنی گذاشته شد.

به‌منظور انجام آزمایشات در مناطق انتخابی از یک دستگاه باران‌ساز کامفورست که در شکل (۲) دیده می‌شود، به ابعاد ۲۵×۲۵ سانتی‌متری، ساخته شده در دانشگاه واگنیگن هلند استفاده شد. از خصوصیات این مدل باران‌ساز آن است که در شرایط میدانی و هم در شرایط آزمایشگاهی قابل استفاده است و می‌توان از آن، جهت مطالعات فرسایش خاک استفاده نمود. مزایای این نوع دستگاه قابلیت حمل آن در صحرا است که امکان استفاده از آن در طبیعت بر روی خاک دست‌نخورده و طبیعی فراهم می‌نماید و به این منظور استفاده از آن در صحرا روش استاندارد محسوب می‌گردد.

قبل از پر کردن آب‌پاش پلات فلزی با شیب مناسب و در جهت عمود بر شیب تراز در سطح خاک قرار داده شده و با چکش کمی به داخل خاک کوبیده می‌شود. سپس در انتهای آن چاله‌ای احداث می‌گردد تا در آن، ظرف نمونه‌گیری



شکل ۲- مراحل مختلف آماده‌سازی زمین و باران‌ساز صحرایی  
Figure 2. Stages of land preparation and rainfall simulator

آزمایشگاه ارسال شد. اندازه‌گیری ماده آلی به روش والکلی بلاک، نیتروژن کل با استفاده از دستگاه کجتلک، پتاسیم قابل استفاده به روش عصاره‌گیری با استات آمونیم، فسفر قابل جذب به روش اولسن، یون نیترات، آمونیوم و فسفات از طریق کرماتوگرافی صورت گرفت. تجزیه و تحلیل آماری رواناب و رسوب با استفاده از نرم‌افزار SPSS با استفاده از روش تجزیه واریانس و آزمون دانکن انجام گرفت.

### اندازه‌گیری رواناب همراه رسوب و زه‌آب

پس از شروع آزمایش، نمونه رواناب حاوی رسوب در مدت ۱۵ دقیقه در ظرف‌هایی پلاستیکی جمع‌آوری شد و به آزمایشگاه برای حجم‌سنجی و تعیین غلظت رسوب ارسال شد (شکل ۳). همچنین یک نمونه مخلوط از خاک افق اول (۲۰ سانتی) برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی از سه شیب مورد بررسی (۶، ۱۲ و ۲۵ درصد) تهیه شد و به



شکل ۳- نمونه‌های ارسالی به آزمایشگاه، الف و ب: نمونه‌های رواناب و رسوب  
Figure 3. Laboratory samples of runoff (right picture) and sediment (left picture)

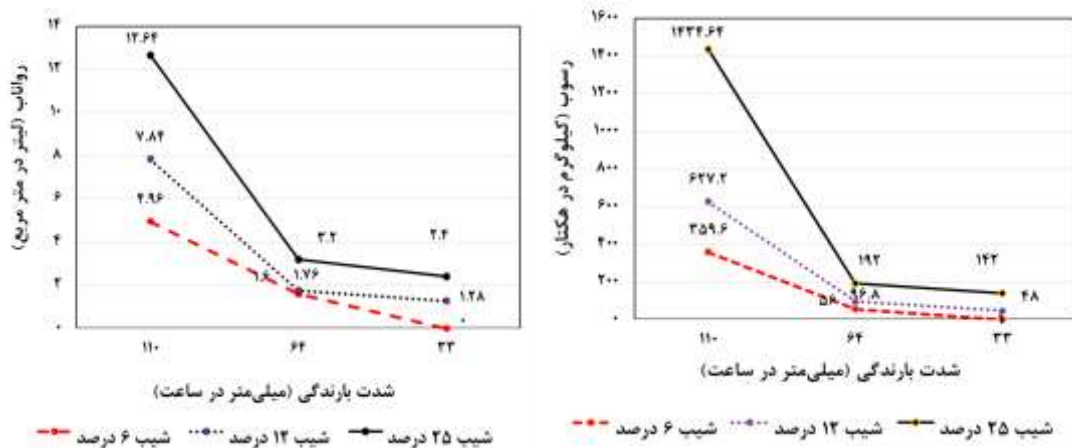
هکتار) و فرسایش (کیلوگرم در هکتار) نیز در شکل ۴ ارائه شده است. نتایج آزمون دانکن مقایسه میانگین میزان رواناب (میلی‌متر) به روش دانکن برای شدت‌ها و شیب‌های مختلف نیز در جدول ۴ ارائه شده است.

### نتایج و بحث

نتایج اثرات شیب و شدت‌های مختلف بر میزان رواناب و رسوب در تیمارها و تکرارهای مختلف در جدول (۱) ارائه شده است. اثرات شیب و شدت بر میزان کل رواناب (متر مکعب در

جدول ۲- نتایج مقادیر کمی رواناب و فرسایش در شدت بارندگی و شیب‌های مختلف مورد آزمایش

غلظت رسوب (گرم بر لیتر)	حجم رواناب (لیتر)	ضریب رواناب (درصد)	مقدار رواناب (میلی‌متر)	شیب (درصد)	شدت بارندگی (میلی‌متر در ساعت)
۴/۲۸	۰/۳۱	۱۷/۹۵	۴/۹۴	۶	۱۱۰
۷/۲۵	۰/۴۹	۲۸/۵۴	۷/۸۵	۱۲	
۱۱/۳۵	۰/۷۹	۴۵/۸۹	۱۲/۶۲	۲۵	
۳/۳	۰/۱۰	۱۰/۲۵	۱/۶۴	۶	۶۴
۵/۵۱	۰/۱۱	۱۱/۳۸	۱/۸۲	۱۲	
۶	۰/۲۰	۱۹/۵	۳/۱	۲۵	
-	-	-	-	۶	
۳/۷۵	۰/۰۸	۱۵/۵۲	۱/۲۸	۱۲	۳۳
۵/۹۲	۰/۱۵	۲۹/۴۸	۲/۴۳	۲۵	



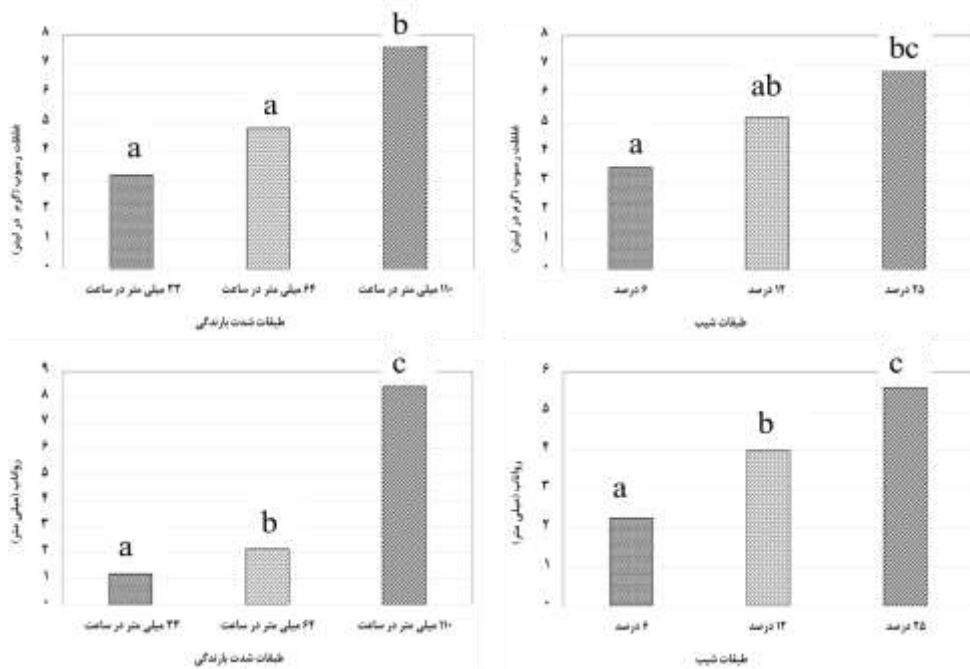
شکل ۴- نتایج آزمون مقایسه میانگین میزان رواناب به روش دانکن برای شدت‌ها و شیب‌های مختلف  
Figure 4. Results of Duncan test of runoff comparison in different intensities and slopes

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس مقادیر شیب و شدت بارندگی و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان رواناب و رسوب  
Table 3. Results of variance analysis slope and intensity and their interaction effects on runoff and sediment

رواناب		غلظت رسوب		منبع تغییرات
ضریب تبیین	سطح معنی‌داری	ضریب تبیین	سطح معنی‌داری	
۰/۹۷	.	۰/۶۷	.	مدل
	.		۰/۰۰۴	شدت بارندگی (میلی‌متر در ساعت)
	.		۰/۰۰۳	شیب (درصد)
	.			شدت بارندگی (میلی‌متر در ساعت) * شیب (درصد)

شبه‌سازی شده شیب ۲۵ درصد نسبت به شیب ۶ درصد سبب افزایش ۲/۳ و ۱/۷ برابری رواناب و رسوب شده است (جدول ۱ تا ۳). حداکثر میزان فرسایش در یک بارندگی با شدت ۱۱۰ میلی‌متر در ساعت در شیب ۲۵ درصد معادل ۱۴۳۴ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمده است (شکل ۳).

مقایسه میانگین پارامترهای مورد مطالعه حاکی از این است که به‌طور میانگین در سه طبقه شیب مورد آزمایش شدت بارندگی ۱۱۰ میلی‌متر در ساعت نسبت به شدت بارندگی ۳۳ میلی‌متر در ساعت سبب افزایش ۸ و ۲/۳ برابری رواناب و رسوب شده است و به‌طور متوسط در سه شدت بارندگی



شکل ۵- آزمون مقایسه میانگین میزان رواناب و رسوب به روش دانکن برای شدت‌ها و شیب‌های مختلف  
Figure 5. Average amount of runoff and sediment by Duncan method for different intensities and slopes

مقادیر به دست آمده می‌توان گفت که این نرخ با افزایش شیب تقریباً خطی و با افزایش بارندگی به صورت غیرخطی است. همانطور که در شکل (۵) ملاحظه می‌گردد اثر شدت‌های بارندگی ۳۳ و ۶۴ میلی‌متر در ساعت بر میزان غلظت رسوب رواناب خروجی از کرت‌های آزمایشی مورد استفاده در این طرح تفاوت معنی‌داری نشان نداده است. در حالی که شدت بارندگی ۱۱۰ میلی‌متر در ساعت در مقایسه با دو شدت بارندگی دیگر اعمال شده در این آزمایش، به طور معنی‌داری موجب افزایش غلظت رسوب در رواناب خروجی از کرت‌های آزمایشی شده است. اثرات ترکیبی شیب و شدت بارندگی در میزان رواناب و رسوب در تیمارهای مختلف به صورت ترکیبی نیز مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۶ ارائه شده است.

با توجه به نتایج شکل ۵ می‌توان گفت که شدت بارندگی ۱۱۰ میلی‌متر در ساعت بیش از مجموع دو شدت بارندگی دیگر مورد مطالعه، موجب افزایش میزان رواناب شده است. بررسی میزان افزایش رواناب و رسوب در آزمایشات صورت گرفته نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار شدت بارندگی در میزان رواناب و رسوب تولیدی است. همچنین شیب زمین تأثیر معنی‌داری در افزایش رواناب داشته است. با مقایسه نتایج اثرات شدت بارندگی و شیب بر مؤلفه‌های مورد بررسی می‌توان نتیجه گرفت که شدت بارندگی تأثیر بیشتری از شیب در میزان رواناب و رسوب داشته است و نرخ افزایش رواناب با افزایش شیب و بارندگی یکسان نیست. در این رابطه نیک کامی (۱۷) در طرح تحقیقاتی فرسایش خاک و تولید محصول در اراضی دیم گزارش داد که شدت بارندگی همبستگی ۹۹ درصدی با میزان رواناب و رسوب دارد. به طور کلی با توجه

جدول ۴- نتایج مقایسه اثرات متقابل شیب و شدت بارندگی بر حجم رواناب و غلظت رسوب

شماره تیمار	نام تیمار	میزان رواناب (میلی‌متر)	علامت معنی‌داری*	میزان رسوب (گرم در لیتر)	علامت معنی‌داری*
۱	شدت ۳۳ میلی‌متر و شیب ۶ درصد	a	a	۰	a
۲	شدت ۳۳ میلی‌متر و شیب ۱۲ درصد	a	a	۳/۱	a
۳	شدت ۳۳ میلی‌متر و شیب ۲۵ درصد	bc	bc	۵/۱	bc
۴	شدت ۶۴ میلی‌متر و شیب ۶ درصد	bc	bc	۳/۵	bc
۵	شدت ۶۴ میلی‌متر و شیب ۱۲ درصد	bc	bc	۵/۷	bc
۶	شدت ۶۴ میلی‌متر و شیب ۲۵ درصد	bc	bc	۵/۷	bc
۷	شدت ۱۱۰ میلی‌متر و شیب ۶ درصد	bc	bc	۵/۸	bc
۸	شدت ۱۱۰ میلی‌متر و شیب ۱۲ درصد	c	c	۷/۱	c
۹	شدت ۱۱۰ میلی‌متر و شیب ۲۵ درصد	d	d	۱۱/۲	d

علامت غیر همنام نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها می‌باشد.

چنانچه در جدول (۴) ملاحظه می‌شود، بالاترین میزان رواناب در شدت بارندگی ۱۱۰ میلی‌متر در ساعت و شیب ۲۵ درصد به میزان ۱۲/۴ میلی‌متر رخ داده است. همچنین بیشترین میزان غلظت رسوب در شیب ۲۵ درصد و شدت بارندگی ۱۱۰ میلی‌متر در ساعت به میزان ۱۱/۲ گرم در لیتر رخ داده است در حالی که در تیمارهای دیگر تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید در شدت بارندگی ۳۳ میلی‌متر در ساعت و شیب ۶ درصد هیچ‌گونه رواناب و رسوبی در مدت بارندگی ۱۵ دقیقه ایجاد نگردید.

#### نتایج عناصر غذایی رسوب

به علت ناچیز بودن مقادیر رسوب و یا رواناب به دست آمده در تعدادی از تیمارها امکان انجام آنالیز عناصر غذایی برای همه تکرار و تیمارها وجود نداشت به همین خاطر مقادیر رسوب جمع‌آوری شده از تیمارهای مختلف با هم ترکیب و میزان غلظت عناصر غذایی و پارامترهای کیفی رسوب و رواناب در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد و با مقادیر عناصر کیفی در خاک و آب مصرفی مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج آن‌ها در جدول‌های ارائه شده است.

با توجه به شکل (۶) مشخص می‌گردد که در شدت‌های بالاتر بارندگی، درصد شیب نیز تأثیر خود را در میزان رواناب تولیدی بیش‌تر نشان می‌دهد. مثلاً میزان رواناب و رسوب در شدت ۱۱۰ میلی‌متر ساعت و شیب ۲۵ درصد نسبت به همین طبقه شدت ولی در شیب ۶ درصد سبب افزایش دو برابری میزان رواناب و رسوب شده است که اهمیت و تأثیر افزایش میزان شیب در میزان رواناب و رسوب تولیدی را نشان داده است. در اراضی شیب‌دار ماشین‌آلات کشاورزی به علت خطرات واژگونی نمی‌توانند در جهت عمود بر شیب شخم بزنند و در این اراضی معمولاً شخم در جهت شیب زده می‌شود که در این صورت میزان رواناب و فرسایش چند برابر می‌گردد به طوری که در این راستا نیک کامی (۱۷) گزارش داد که حتی در اراضی با شیب کم (هشت درصد) و بارندگی حدود ۳۴۰ میلی‌متر، زمانی که شخم در جهت شیب زده شود میزان فرسایش ۲/۲ تن در هکتار است در صورتی که وقتی شخم عمود بر جهت شیب زده شود به ۰/۲ کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده شده در زمانی که شخم در جهت شیب زده می‌شود ۸۶ مترمکعب در هکتار تولید روان آب می‌کند.

جدول ۴- میزان عناصر غذایی در آب مصرفی و رواناب در تیمارهای مختلف در منطقه گچساران  
Table 4. The amount of nutrients in water and runoff in different treatments in Gachsaran region

نوع نمونه	غلظت یون نیترات (میلی گرم بر لیتر)	غلظت یون آمونیوم (میلی گرم بر لیتر)	غلظت یون فسفر (میلی گرم بر لیتر)	غلظت یون پتاسیم (میلی گرم بر لیتر)
رواناب	۱۱/۱۸	۰/۹۹	۰/۰۵	۱۰/۹۲
آب مصرفی	۰/۱۳	۰/۴۰	۰/۰۳	۳/۱۲

جدول ۵- میزان عناصر غذایی در خاک و رسوب در تیمارهای مختلف در منطقه گچساران  
Table 5. The amount of nutrients in soil and sediment in different treatments in Gachsaran region

نوع نمونه	کربن (درصد)	فسفر قابل جذب P (ppm)	پتاسیم قابل استفاده (ppm)
خاک	۰/۷۳	۲۹/۴۰	۱۵۶/۴
رسوب	۱/۵۶	۱۶/۱۰	۴۷۷/۰۲

بنابراین در شدت‌های بالای بارندگی ریسک فرسایش به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. از این رو اقدامات مدیریتی مانند استفاده از شخم حفاظتی، تناوب زراعی، کشت بر روی خطوط تراز، مدیریت بقایای گیاهی، استفاده از نوارهای حائل گیاهی و همچنین در صورت لزوم، استفاده از روش‌های مکانیکی حفاظت خاک جهت جلوگیری از فرسایش در مناطق با احتمال وقوع بارندگی با شدت بالا امری ضروری است. در بررسی تأثیر شیب بر رواناب مشخص گردید که با افزایش شیب، مقدار، حجم و ضریب رواناب نیز افزایش می‌یابد. اما این افزایش ضریب رواناب در شیب ۲۵ درصد بسیار بیشتر از شیب‌های ۶ و ۱۲ درصد بوده است. بنابراین با افزایش شیب به سمت ۲۵ درصد، شاهد بیشتر شدن نرخ افزایش ضریب رواناب خواهیم بود.

اثر معنی‌دار درصد شیب بر میزان غلظت رسوب و وزن رسوب خروجی از کرت‌های آزمایشی تنها در شیب ۲۵ درصد مشاهده شد و در شیب‌های پایین‌تر (۶ و ۱۲ درصد) افزایش معنی‌داری مشاهده نگردید این نتیجه در تعیین یک حد بحرانی درصد شیب جهت انجام فعالیت‌های مختلف از جمله کشاورزی بسیار مفید و مؤثر خواهد بود و به مدیران و سیاست‌گذاران در اتخاذ استراتژی‌های مناسب جهت مهار فرسایش و رسوب کمک شایانی می‌نماید.

مقایسه میانگین پارامترهای مورد مطالعه حاکی از این است که در سه شیب مورد مطالعه، شدت بارندگی ۱۱۰ میلی‌متر بر ساعت سبب افزایش ۴ و ۱/۷ برابری رواناب و رسوب نسبت به شدت بارش ۳۳ میلی‌متر بر ساعت شده است. همچنین شیب ۲۵ درصد سبب افزایش ۲/۳ و ۱/۷ برابری در میزان رواناب و رسوب نسبت به شیب ۶ درصد شده است. حداکثر میزان فرسایش در یک بارندگی با شدت ۱۱۰ میلی‌متر در ساعت در شیب ۲۵ درصد معادل ۱۴۳۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمده است. در این رابطه چن و همکاران (۳) با مقایسه سه شدت بارندگی ۶، ۱۲ و ۱۴ میلی‌متر در ساعت بر میزان رواناب و فرسایش در پوشش‌های مختلف زمین نشان دادند که بارندگی ۱۴ میلی‌متر در ساعت بیشترین میزان ضریب رواناب (۶/۶ درصد) و فرسایش (۱۹ تن در کیلومتر مربع) را نسبت به سایر شدت‌های بارندگی داشته است که نشان دهنده میزان اثرگذاری شدت بارندگی بر مؤلفه‌های مورد بررسی است.

با تحلیل نتایج به‌دست آمده از جداول می‌توان اظهار نظر کرد که نسبت غنی‌شدن بجز برای فسفر بیش از یک بوده است که نشان‌دهنده غنی بودن رسوبات از عناصر غذایی می‌باشد. با توجه به این که تحقیق انجام شده در مقیاس پلات می‌باشد و فقط فرسایش سطحی و بین شیاری حاکم است در نتیجه قابلیت جابه‌جایی ذرات ریز بالا و نسبت غنی شدن معمولاً بیش از یک می‌گردد به‌طوری که Lal (۶) نیز بیان داشت که فرسایش سطحی ذرات رسی، سیلتی، مواد غذایی و آلی را از لایه فوقانی خاک به‌صورت انتخابی حمل می‌کند و باعث بیش‌تر شدن غلظت عناصر غذایی در رسوب نسبت به خاک اولیه می‌گردد.

### نتیجه‌گیری کلی

طرح حاضر با هدف تعیین اثر شدت بارش بر ضریب رواناب و نرخ تلفات خاک (فرسایش بین شیاری) کرت‌های کوچک به انجام رسیده است. در ابتدا با توجه به مقدار ضریب تبیین در جدول (۳) مشخص شد که طرح آزمایشی مورد استفاده در این پژوهش، مناسب بوده است. همچنین نتایج نشان داد درصد شیب و همچنین شدت بارندگی به‌صورت مستقل و در برهمکنش با یکدیگر، تأثیر معنی‌داری بر تولید رواناب و رسوب در کرت‌های آزمایشی مورد استفاده در این طرح داشته‌اند. بدین صورت که با افزایش میزان شدت بارندگی، ضریب، مقدار و حجم رواناب، وزن و غلظت رسوب نیز افزایش یافتند.

با بالا رفتن درصد شیب نیز کلیه پارامترهای مربوط به رواناب و رسوب افزایش یافتند که این نتیجه با نتایج به دست آمده توسط تاین و همکاران (۲۳) و جیانگ و همکاران (۵) همخوانی دارد. اما این افزایش در شدت‌های مختلف بارندگی و همچنین درصدهای شیب، متفاوت بود.

بر اساس نتایج به دست آمده در این طرح، شدت بارندگی تأثیر معنی‌دار خود را بر ضریب، مقدار و حجم رواناب در مقادیر بالاتر نشان داد. یعنی به‌عنوان مثال افزایش رواناب در شدت بارندگی ۱۱۰ نسبت به ۶۴ میلی‌متر در ساعت بیش از این افزایش در شدت بارندگی ۶۴ نسبت به ۳۳ میلی‌متر در ساعت است. آنالیز نتایج مربوط به غلظت رسوب نشان داد که شدت بارندگی تنها در مقادیر بالای خود بر میزان غلظت و وزن رسوب تأثیرگذار است و همانطور که در بخش نتایج نیز اشاره شد، در شدت بارندگی ۳۳ و ۶۴ میلی‌متر در ساعت تفاوت معنی‌داری در میزان غلظت و وزن رسوب مشاهده نشد.

فرسایش خاک بر حمل مواد غذایی و کاهش حاصل خیزی است به طوری که میزان کربن، فسفر و پتاسیم در رسوبات جمع‌آوری شده نسبت به خاک بیشتر گردیده است. محققان وجود مقادیر بالای عناصر غذایی در خاک منطقه فرسایش یافته را عاملی در غنی بودن رسوبات گزارش کرده‌اند. در این رابطه لیو و همکاران (۱۰)، راموس و مارتینز (۱۹)، ژنگ و همکاران (۳۲) و یوسفی‌فرد و همکاران، (۲۸) در تحقیقات مشابهی نسبت غنی‌شدن عناصر غذایی را بیش‌تر از یک ذکر کردند که دلیلی بر میزان بیشتر عناصر غذایی در رسوبات نسبت به خاک فرسایش یافته است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق با افزایش شیب، مقدار، حجم و ضریب رواناب نیز افزایش یافته است اما این افزایش رواناب در شیب ۲۵ درصد بسیار بیشتر از شیب‌های ۶ و ۱۲ درصد بوده است. بنابراین هرچه شیب افزایش پیدا نماید، افزایش رواناب بیشتر شده است. این نتیجه در تعیین یک حد بحرانی درصد شیب جهت انجام فعالیت‌های مختلف از جمله کشاورزی بسیار مفید و مؤثر خواهد بود و به مدیران و سیاست‌گذاران در اتخاذ استراتژی‌های مناسب جهت مهار فرسایش و رسوب کمک شایانی می‌نماید. آنالیز نتایج مربوط به غلظت رسوب نشان داد که شدت بارندگی تنها در مقادیر بالای خود بر میزان غلظت و وزن رسوب تأثیرگذار است و در شدت بارندگی ۳۳ و ۶۴ میلی‌متر در ساعت تفاوت معنی‌داری در میزان غلظت و وزن رسوب مشاهده نشد.

پیشنهاد می‌گردد به منظور درک دقیق اثرات شدت بارندگی و شیب بر میزان فرسایش این تحقیق در مقیاس‌های دامنه و بارندگی‌های طبیعی نیز انجام و نتایج با مطالعات در سطح پلات مقایسه و ارزیابی گردد. به‌طور کلی با توجه به اثرات ملموس فرسایش خاک در شدت‌های بالا و مضاعف شدن مقادیر رواناب و رسوب در شیب‌های بالا حتی‌الامکان از شخم و کشت دیم غلات و حبوبات در اراضی شیبدار ممانعت گردد و به‌منظور بهره‌وری بیشتر با استفاده از روش‌های آبخیزداری و استحصال آب باران اقدام به کشت نهال در این اراضی گردد.

به‌طور کلی شدت بارندگی در پارامترهای مربوط به رواناب تأثیر بیشتری نسبت به درصد شیب نشان داد. شدت بارندگی نسبت به درصد شیب تأثیرگذاری بیشتری را در میزان رواناب داشته است ولی در مقایسه اثرات شدت بارندگی و شیب بر فرسایش، درصد شیب رابطه قوی‌تری را با میزان فرسایش ( $R^2=0/92$ ) نشان داده است. این پدیده به این علت است که شدت بارندگی در شیب‌های تند سبب افزایش میزان هدررفت خاک می‌گردد. در این رابطه جیانگ و همکاران (۵) نیز به نتایج مشابهی رسیدند.

در بررسی تأثیر توأم شدت بارندگی و درصد شیب مشخص گردید که بالاترین مقدار پارامترهای مربوط به رواناب و رسوب در تیمار مربوط به بارندگی ۱۱۰ میلی‌متر در ساعت و شیب ۲۵ درصد رخ داده است. بنابراین اثر ترکیبی دو عامل شدت بارندگی و درصد شیب دامنه بیشترین تأثیر را در تولید رواناب و رسوب داشته است.

نتایج آنالیز کیفی عناصر محصول در رواناب نسبت به مقادیر موجود در آب مصرفی نشان داد که غلظت یون‌های نیترات، آمونیوم، فسفر و پتاسیم در رواناب نسبت به مقادیر این یون‌ها در آب به ترتیب ۸۶، ۲/۵، ۱/۶ و ۳/۵ برابر گردیده است که بیشترین مقدار هدررفت به‌صورت نیترات بوده است. نیترژن بیش‌تر به‌صورت محلول و کم‌تر به‌صورت جامد حمل می‌شود به طوری که نلسون و همکاران (۱۶) طی تحقیق مشابهی هدر رفت غالب نیترژن را به شکل محلول گزارش داده‌اند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

انتقال فسفر در آب‌های جاری به‌صورت ذره‌ای و محلول رخ می‌دهد. همان‌گونه که توضیح داده شده به دلیل جذب فسفر به ذرات ریز خاک و مواد آلی، بیش‌ترین شکل هدر رفت فسفر به‌صورت متصل به ذرات رسوب یا ذره‌ای می‌باشید. به‌گونه‌ای که شکل ذره‌ای حدود ۷۰-۹۰ درصد هدر رفت فسفر در اراضی کشاورزی را شامل می‌شود و میزان انتقال فسفر محلول در رواناب بر اساس عمق مفید اثرگذاری باران در خاک سطحی می‌باشد این عمق توسط شدت بارش، شخم زمین و پوشش گیاهی دارای تغییرات نسبی است. نسبت میزان عناصر غذایی در رسوب و خاک نشان‌دهنده اثرات

## منابع

1. Abdinejad, P.C. and H.M. Faiznia Pairavan. 2013. An Assessment of Topography, Slope and Climate Effects on the Runoff Production within Marly Lands in Zanjan Province by using an Artificial Rain Simulator. *Journal of Watershed Management Research*, 17: 193-205.
2. Amiri, M. and H.R. Peyrovan. 2010. Relationship between Erosional type and Physico-Chemical Properties of Hamedan Marls. *JSCI*, 10(2): 729-746.
3. Chen, H., X. Zhang, M. Alba, D. Lu, R. Yan, Q. Ren, Z. Ren, Y. Yang, W. Zhao, P.L. Lin and X. Yang. 2018. *Catena*, 170: 141-149.
4. Hatch, L.K., J.E. Reuter and C.R. Goldman. 1999. Daily phosphorus variation in a mountain stream. *Water Resources Research*, 35(12): 3783-3791.
5. Jiang, F.Z., J. Zhan, M.K. Lin, H. Wang and Y. Huang. 2018. Rill erosion processes on a steep colluvial deposit slope under heavy rainfall In Flume Experiments With Artificial Rain. *Catena*, 169: 46-58.
6. Khazaei, M., S.H. Sadeghi, S.Kh. Mirenia and Y. Yazdani Moghaddam. 2012. the Effect of Forest Degradation on Soil and Sediment Nutrient Consumption in Kojour Forest Watershed Case Study) Tarbiat Modarres University. *Iranian Natural Ecosystems*, 3: 1-12 (In Persian).
7. Lal, R. 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical reviews in Plant Sciences*, 17(4): 319-464.
8. Lal, R. 1994. Soil erosion by wind and water: problems and prospects. In: Lal, R. (Ed). *Soil erosion research methods*. Soil and Water Conservation Society, 1-8 pp.

9. Lal, R. 1996. Deforestation and land-use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. Runoff, soil erosion and nutrient loss. *Land Degradation Development*, 7: 99-119.
10. Liu, Q.Q., L. Chen and J.C. Li. 2001. Influences of slope gradient on soil erosion. *Applied Mathematics and Mechanics*, 22(5): 510-519.
11. Makki, S., P. Rezaee, H.R. Peyrowan. 2016. Assessing the effective factors on water erosion in Marly deposits of Mishan and Aghajary formations in the west of Bandar Abbas. *E.E.R.*, 6(1): 30-51
12. Mohammad. A.G. and M.A. Adam. 2010. The impact of vegetative cover type on runoff and erosion under different land uses. *Catena*, 81: 97-103.
13. Morgan, R.P.C. 2005. *Soil erosion and conservation*, Blackwell, Oxford, 316 p.
14. Mosaffaie, J. and A. Talebi. 2014. A Statistical View to the Water Erosion in Iran. *Extension and Development of Watershed Management*, 2(5): 9-17.
15. Mosaffaie, J., D. Nikkami, and A. SalehPour Jam. 2019. Watershed Management in Iran: History, Evolution and Future Needs. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(2): 283-300. doi:10.22092/ijwmse.2018.121169.1459
16. Nelson, P.N., E. Cotsaris, J.M. Oades. 1996. Nitrogen, phosphorus, and organic carbon in streams draining two grazed catchments. *Journal of Environmental Quality*, 25: 1221-1229.
17. Nikkami, Davood. 2006. Soil erosion and crop production in rainfed wheat lands. *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*.
18. Ramayi, A.R., A.W. Khalid Darwish and M. Arab Khedri. 2016. Effects of rainfall intensity and slope on erosion process in rainfed meadows of Golestan province. *Ecohydrology*, 3(3): 293-301 (In Persian).
19. Ramos, M.C. and J.A. Martinez-Casasnovas. 2006. Nutrient losses by runoff in vineyards of the Mediterranean Alt Penedes region (NE Spain). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113: 356-363.
20. Sadeghi, S.M., N. Safaian and S. Ghanbari. 2005. Investigation of the role of land use on soil erosion type and severity (Case study: Kasilian Watershed), *Journal of Agricultural Engineering Research*, 26: 85-98 (In Persian).
21. Sadeghi, S.R.H., M.S. Zarif Moazam and S.K. Mirmia. 2011. Impact of Steepness and Slope Direction on Surface Runoff and Sedimentation from Small Experimental Plots in Kojour Watershed. *Journal Water and Soil*, 25(3): 583-592 (In Persian).
22. Siadat, H. 1998. *Iranian Agriculture and Salinity*. Soil & Water Research Institute of Iran. 6 p.
23. Tian, P., X. Xu, C. Pan, K. Hsu, T. Yang. 2017. Impacts of rainfall and inflow on rill formation and erosion processes on steep hillslopes. *Journal of Hydrology* -doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.02.051>.
24. Troeh, F., J.A. Hobbs, R.L. Donahue. 1991. *Soil and water conservation*. 2<sup>nd</sup> ed. Prentice Hall, New Jersey. pp356.
25. Vaezi1, A.R., M. Bagheri and K. Afsahi. 2018. Effects of Tillage Direction and Plant Density on soil and water Loss in a Rainfed Land of a Semi-arid Region. *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 22(3): 29-41 (In Persian).
26. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. *Predicting rainfall erosion losses*. USDA Agricultural Research Service Handbook 537.
27. Young, R.A., A.E. Onless and C.K. Mutchler. 1986. Chemical and physical enrichments of sediment from cropland. *Transformation*, 11: 165-169.
28. Yousefi Fard, M., A. Jalalian and H. Khademi. 2007. Estimation of Soil and Nutrient Loss Due to Change in Rangeland Use Using Artificial Rainfall. *Agriculture and Natural Resources Science and Technology*, 40: 93-106 (In Persian).
29. Zarif Moazam, M., S.H. Sadeghi and S.K. Mirmia. 2016. Variability of Interactions between Some Soil Properties and Runoff Generation Time (Case Study: Kojoor Watershed). *Journal of Watershed Management Research*, 7(13): 1-11.
30. Zhang, J., M. Yang, X. Deng, Z. Liu and F. Zhang. 2019. The effects of tillage on sheet erosion on sloping fields in the wind-water erosion crisscross region of the Chinese Loess Plateau. *Soil & Tillage Research*, 187: 235-245.
31. Zhang, Q., Z. Wang, B. Wu, N. Shen and J. Liu. 2018. Identifying sediment transport capacity of raindrop-impacted overland flow within transport-limited system of interrill erosion processes on steep loess hillslopes of China. *Soil & Tillage Research*, 184: 109-117.
32. Zheng, F., X. He, X. Gao, C. Zhang and K. Tang. 2005. Effects of erosion patterns on nutrient loss following deforestation on the Loess Plateau of China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 108: 85-97.
33. Zougmore, R., A. Mando and L. Stroosnijder. 2009. Soil nutrient and sediment loss as affected by erosion barriers and nutrient source in semi-arid Burkina Faso. *Arid Land Research and Management*, 23(1): 85-101.

## Effects of Rainfall and Slope Components on Runoff and Soil Erosion in Dry Lands (Case Study: Gachsaran Dry Lands)

Majid Khazaei<sup>1</sup>, Reza Bayat<sup>2</sup> and Iman Saleh<sup>3</sup>

1- Assistant Professor of Forests, Rangelands and Watershed Management Engineering Department, Kohgiluyeh & Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kohgiluyeh & Boyerahmad, Iran (Corresponding Author: khazayi64@gmail.com)

2- Assistant Professor of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran

3- Assistant Professor of Forests, Rangelands and Watershed Management Engineering Department, Kohgiluyeh & Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kohgiluyeh & Boyerahmad, Iran

Received: 30 September, 2020 Accepted: 28 January, 2021

### Extended Abstract

**Introduction and Objective:** Low efficient sloping rainfed lands are one of land uses being exposed to severe erosion in Iran which is definitely one of important sediment sources for rivers and reservoirs. These lands are most sensitive to erosion while being plowed and fallow. This period in most regions of Iran coincides with the rainy season. A large part of rainfed agricultural lands of Gachsaran city is much erodible while the income of many residents of this area is from agriculture. Therefore, the aim of this study is to investigate the impact of various rainfall intensities in different slopes on the amount of erosion and runoff in rainfed lands of Gachsaran city in Kohgiluyeh & Boyerahmad Province.

**Material and Methods:** First, the soil surface was saturated in order to prepare the environment for the experiment. Then, rainfall intensities of 33, 64 and 110 mmh<sup>-1</sup> on three slopes of 6, 12 and 25% were generated using a rainfall simulator. Therefore, nine treatments with four replications were analyzed. Runoff and sediment were collected using special containers and transferred to the laboratory. After data collection, statistical analyses of runoff and sediment were conducted by SPSS software and analysis of variance method along with Duncan test. The other analyses were also accomplished in terms of the effect of factors on the amount of runoff, sediment, quality elements of water, soil and sediment.

**Results:** Comparison of mean of the studied parameters showed significant ( $p < 0.05$ ) effect of rainfall intensity and slope percentage on the amount of runoff and sediment; so that, the rainfall intensity of 110 mmh<sup>-1</sup> caused runoff and sediment 4 and 1.7 times higher than the 33 mmh<sup>-1</sup>. Also, the slope 25% caused runoff and sediment 2.3 and 1.7 times higher than the 6% on the three measured slopes. Comparison of the results of rainfall intensity and slope impact on the studied components indicated that rainfall intensity has a more considerable impact than the slope percent, on the amount of runoff and sediment. Also, measuring the amount of nutrients in soil and sediment indicated the impact of soil erosion on nutrient transport and reducing fertility; so that, higher amount of carbon, phosphorus and potassium in the collected sediments than the soil.

**Conclusion:** According to the results, slope percent and rainfall intensity have a significant effect on runoff and sediment production independently and in interaction with each other, in the experimental plots. Based on the result analysis of sediment concentration, only high amounts of rainfall intensity affect sediment concentration and weight of sediment. Moreover, increase of slope caused amount, volume and runoff coefficient; but this increase of runoff in the slope of 25% was much higher than the slopes of 6 and 12%. So, as the slope increases, the runoff will also increase.

**Keywords:** Dry land, Erosion, Plot, Runoff, Simulator