مطالعه آزمایشگاهی اثر شوری و قلیائیت، شیب و شدت بارش بر نرخ فرسایش پاشمانی خاک در خاک‌های منتخب استان خوزستان

بیژن خلیلی مقدم [۱*]، زهرا قربانی [۱] و احسان شهبازی [۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۱۱)

چکیده

عوامل گوناگونی بر نرخ فرسایش پاشمانی تأثیر دارند که یکی از آنها میزان و نوع نمک می‌باشد. هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر شوری و قلیائیت خاک بر قابلیت فرسایش پاشمانی در شیب‌های متفاوت بود. این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار با استفاده از دستگاه جام پاشمانی چندمتغیره اجرا شد. عامل اول شامل شوری و قلیائیت در چهار سطح (EC=۲، SAR=۲؛ EC=۲۴، SAR=۱۵؛ EC=۵۶، SAR=۴۲ و EC=۱۱۳، SAR=۴۷)، عامل دوم شدت بارندگی در دو سطح (۲/۵ و ۳/۵ میلی‌متر بر دقیقه) و عامل سوم شیب در دو سطح (۵ و ۱۵ درصد) بود. نتایج نشان داد که با افزایش شوری و قلیائیت میزان کربن آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها کاهش یافت. اثر سطوح گوناگون شوری و قلیایی، شیب و شدت بارندگی بر نرخ فرسایش پاشمانی بالادست، پایین‌دست و کل فرسایش پاشمانی معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر متقابل شیب-شوری و قلیائیت، شدت بارندگی- شوری و قلیائیت و شیب-شدت بارندگی- شور و قلیائیت بر نرخ فرسایش پاشمانی بالادست، پایین‌دست و کل فرسایش پاشمانی معنی‌دار بود. بنابراین به‌نظر می‌رسد که افزایش شوری و قلیائیت همراه با کاهش کربن آلی و پایداری خاکدانه‌ها سبب افزایش امکان وقوع فرسایش پاشمانی گردید.

واژه‌های کلیدی: دستگاه پاشمانی چندمتغیره، شوری و قلیائیت، فرسایش پاشمانی

۱ . گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
۲. گروه اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: moghaddam623@yahoo.ie

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.10.7]

مقدمه

خاک‌های شور و قلیا به اندازه‌ای نمک و قلیائیت تبادلی دارند که رشد بیشتر گیاهان را با مشکل مواجه می‌نمایند و شرایط فیزیکی نامطلوبی برای این خاک‌ها ایجاد می‌کنند (۱). اگرچه تاکنون میزان دقیق خاک‌های متأثر از نمک در ایران شناخته نشده است، ولی برآوردهای اخیر نشان می‌دهد که ۳۴ میلیون هکتار یا نزدیک به ۲۰ درصد از مساحت خاک‌های کشور متأثر از نمک می‌باشند که از این مقدار ۲۵/۵ میلیون هکتار دارای شوری کم تا متوسط و ۸/۵ میلیون هکتار را خاک‌های بسیار شور تشکیل می‌دهند (۱۶ و ۱۸). خاک‌های با شوری زیاد در فلات مرکزی، خوزستان و دشت‌های ساحلی جنوبی و دشت ساحلی خزر در ایران قرار دارند (۱۶ و ۱۸). قلیایی شدن خاک، باعث تخریب ساختمان خاک و کاهش پایداری خاکدانه‌ها می‌شود که ممکن است منجر به افزایش فرسایش‌پذیری خاک گردد (۴).

فرسایش پاشمانی (Splash erosion)، تابعی از ویژگی‌های بارش، خاک، پستی و بلندی، پوشش زمین و سرعت باد می‌باشد (۲۸). پژوهشگران معتقدند که بارندگی، مهم‌ترین عامل موثر در ایجاد فرسایش خاک است. سرعت ضربه قطرات باران به‌سطح بدون پوشش گیاهی، مقدار زیادی انرژی جنبشی ایجاد می‌نماید که باعث می‌شود مواد محلول خاک به‌آسانی در آب باران حل شوند (۲۲). مرموت و همکاران (۲۵) طی پژوهشی نشان دادند که نرخ پاشمان ذرات، تابع شدت بارندگی می‌باشد و به این نتیجه رسیدند که نرخ فرسایش پاشمانی با شدت بارندگی زیاد (۱۰۰ میلی‌متر بر ساعت) ۳/۸ برابر بیشتر از شدت بارندگی کم (۴۰ میلی‌متر بر ساعت) است. افزایش شدت بارندگی باعث می‌شود قطرات درشت‌تر با انرژی بیشتری به ذرات خاک برخورد کنند و در نتیجه میزان فرسایش پاشمانی به مراتب بیشتر گردد (۳). شی و همکاران (۳۱) نشان دادند که علاوه برشدت بارندگی، نوع خاک به طور معنی‌داری، ضریب رواناب و میزان فرسایش بین شیاری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بوما و امیسون (۱۲) نشان دادند که فرسایش‌پذیری رگولیت تخریب نشده تا حد زیادی تابع پارامترهای شیمیایی نظیر شوری و نسبت جذب سدیم است. آغاسی و همکاران (۸) اثرات انرژی قطرات باران را با توجه به درصد سدیم تبادلی خاک روی نفوذپذیری و فرسایش بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که انرژی جنبشی قطرات باران در فرسایش پاشمانی دو تا سه برابر انرژی رواناب در فرسایش آبی است و هر چه مقدار سدیم بیشتر باشد میزان انرژی لازم برای پاشمان کمتر است. الدوره و بردفورد (۹) در پژوهشی که درباره تأثیر قطرات باران در جدا شدن ذرات خاک انجام دادند، دریافتند که عواملی مانند درصد رس، میزان ماده آلی، مقدار سدیم و میزان نمک‌های محلول خاک بر پاشمان مؤثر هستند.

وان و همکاران (۳۴) فرسایش پاشمانی یک خاک اکسی‌سول را در شرایط آزمایشگاهی(شیب‌های ۴، ۹، ۱۸، ۲۷ و ۳۶ درصد) تحت شدت بارندگی ثابت ۶۵ میلی‌متر بر ساعت مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که نرخ پاشمان ذرات پایین‌دست شیب و کناری با زیاد شدن شیب افزایش یافت در حالی که نرخ فرسایش پاشمانی بالا دست شیب کاهش یافت که به دلیل تغییرات نیروهای برخورد قطرات باران با شیب می‌باشد و به‌طور کلی، پاشمان کل ذرات با افزایش شیب رابطه‌ای خطی داشت. در سطوح شیب‌دار مقدار ذراتی که در اثر برخورد قطرات باران به پایین‌دست شیب پرتاب شدند بیش از ذراتی بود که به بالادست شیب پرتاب شدند. بنابراین جابجایی مواد به سمت پایین دست شیب بود. هرچه درجه شیب بیشتر بود، این نسبت افزایش یافت.

گزارش شده است که در شیب ۱۰ درصد، حدود ۷۵ درصد از ذرات خاک جدا شده به طرف پایین‌دست پرتاب می‌شود و در این شرایط ۵۰ درصد ذرات خاک جدا شده از محل خود جابه‌جا خواهند شد (۵). پارلاک و پارلاک (۲۸) و توری و پوسن (۳۳) اثر شیب بر نرخ جداشدن ذرات خاک در اثر برخورد قطرات باران را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که با زیاد شدن درجه شیب، نرخ پاشمان افزایش می‌یابد. قدیر و پیان (۲۱) به این نتیجه رسیدند که فرسایش پاشمانی سطوح

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.10.7]

شیب‌دار نسبت به‌سطوح افقی دارای زاویه پرتاب قطرات (به‌سمت پایین‌دست شیب)، کمتر از بالادست شیب می‌باشند ولی نرخ جدا شدن (و نه انتقال) ذرات توسط قطرات، مشابه سطوح افقی است. در سطوح شیب‌دار توزیع سرعت قطرات در جهت مختلف شیب متفاوت است و قطرات درشت‌تر بیشتر به‌سمت پایین‌دست پرتاب می‌شوند بنابراین فرسایش پاشمانی پایین‌دست شیب بیشتر از بالادست شیب است.

از آنجایی که استان خوزستان دارای پتانسیل سیل‌خیزی زیادی است به‌نظر می‌رسد که وجود خاک‌های شور و قلیا (حدود ۱۷ درصد) فاقد پوشش گیاهی با شدت بارندگی زیاد خوزستان، زمینه‌ای مناسب برای ایجاد فرسایش پاشمانی و وقوع سیل فراهم نماید. بنابراین این نوع فرسایش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. تاکنون هیچ گزارشی در این زمینه ارائه نشده است، بنابراین این پژوهش جهت نیل به اهداف زیر در این نوع خاک‌ها در شرایط آزمایشگاهی انجام شد:

۱- بررسی اثر سطوح مختلف شور و قلیائیت بودن خاک بر نرخ فرسایش پاشمانی

۲- بررسی اثر شیب بر نرخ کل فرسایش پاشمانی و فرسایش پاشمانی در بالادست و پایین‌دست شیب

۳- بررسی اثر شدت بارندگی بر نرخ فرسایش پاشمانی

مواد و روش‌ها

شرح منطقه مورد بررسی

استان خوزستان در جنوب غرب کشور در محدوده جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است. دامنه تغییرات ارتفاع استان از صفر تا نزدیک ۴۰۰۰ متر نوسان دارد و استان را به دو بخش جلگه‌ای به مساحت حدود ۴۱۰۰۰ کیلومتر مربع و کوهستانی به مساحت بیش از ۲۶۰۰۰ کیلومتر مربع تقسیم کرده است. استان خوزستان به‌علت وجود اختلاف ارتفاع زیاد مناطق مختلف و وجود خلیج فارس از شرایط آب و هوایی گوناگونی تشکیل شده که بخش عمده‌ای از آن در نواحی جلگه‌ای از اقلیم بیابانی و خشک و نیمه‌خشک تشکیل شده و در ارتفاعات به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ضعیف و نیمه‌مرطوب تغییر می‌کنند. میانگین درجه حرارت استان خوزستان در تیرماه حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد و در دی ماه حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میانگین بارندگی در جنوب غربی استان کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر، ناحیه اهواز بیش از ۲۰۰ میلی‌متر، دامنه‌های شمالی استان بیش از ۳۰۰ میلی‌متر و به طرف ارتفاعات شمال شرقی استان به تدریج افزایش یافته تا به ۱۰۰۰ میلی‌متر می‌رسد (۷). خاک‌های این استان عمدتاً دارای بافت ریز (لوم رسی، لوم سیلتی و لوم رسی سیلتی) و ۱۷ درصد از این خاک‌ها را خاک‌های شور و قلیائیتی تشکیل می‌دهد (۲۹).

نمونه‌برداری خاک و آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی

تعداد۱۰۰ نمونه خاک از لایه رویین نیمرخ خاک در ارتفاعات مختلف استان با کاربری‌های گوناگون (مرتع، کشاورزی، دیم) و سطوح مختلف شور و قلیائیت (۰/۵ تا ۱۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) از کشت و صنعت هفت‌تپه (Calcic Haplustepts)، کشت و صنعت کارون (Typic Haplustepts)، دشت آبادان (Typic Haplosalids)، دشت ایذه (Typic Haplustepts، Typic Ustifluvent و Typic Calciustepts)، مزرعه دانشگاه کشاورزی رامین (Fluventic Haplustepts)، غرب رودخانه کارون (Oxyaquic Haplustept، Acric Haplaquept و Oxiaquic Ustifluvent) و شرق رودخانه کارون (Typic Haplustept، Typic Aquisalids، Gypsic Aquisalids و Oxyaquic Ustifluvent) برداشت گردید (۲) و پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی انجام گردید. توزیع اندازه ذرات (بافت خاک) به‌روش هیدرومتری (۲۰)، چگالی ظاهری خاک به‌روش کلوخه و پارافین (۱۰) و پایداری خاکدانه‌ها به‌روش الک تر (۲۴) اندازه‌گیری شد. قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (Electrical Conductivity, EC) به‌وسیله دستگاه هدایت‌سنج

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.10.7]

الکتریکی (۳۰)، اسیدیته خاک در گل اشباع خاک (۳۲)، مقدار کربنات کلسیم معادل به‌روش تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک (۲۷)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به‌روش استخراج با محلول استات سدیم یک مولار با اسیدیته ۸/۲ (۱۵)، کربن آلی خاک به‌روش والکی- بلاک (۳۴)، گچ به‌روش رسوب در استن (۲۷)، مقدار کلسیم و منیزیم محلول به‌روش کمپلکسومتری و سدیم محلول خاک به‌روش شعله‌سنجی (۶) اندازه‌گیری گردید. نسبت جذب سدیم (Sodium Adsorption Ratio, SAR) و درصد سدیم تبادلی (Exchangeable Sodium Percentage, ESP) به‌وسیله داده‌های اندازه‌گیری شده محاسبه شدند. سپس با توجه به‌نتایج به‌دست آمده چهار سطح شوری و قلیائیت برای نمونه‌ها درنظر گرفته شد (جدول ۱). پس از جداسازی نمونه‌ها بر اساس EC و SAR (جدول ۱)، نمونه‌هایی که در یک گروه یا سطح قرار گرفتند به‌مقدار یکسان با یکدیگر مخلوط شده و برای اعمال آزمایش‌های فرسایش پاشمانی در قالب طرح آماری آماده گردیدند.

اندازه‌گیری آزمایشگاهی نرخ فرسایش پاشمانی

دستگاه پاشمانی چندمتغیره (Multiple Splash Set)

برای اندازه گیری فرسایش پاشمانی، دستگاه پاشمانی چندمتغیره (ثبت اختراع ۷۲۴۹۴-۱۳۹۰/۰۸/۳۰) طراحی و ساخته شده است (شکل ۱). این دستگاه از سیستم شبیه‌ساز باران، تامین شیب و حرکت چرخشی نمونه تشکیل شده است. سیستم شبیه‌سازی باران شامل پمپ الکتریکی به ارتفاع هیدرولیکی ۳ متر و دبی ۱ لیتر بر دقیقه، لوله‌های تلسکوپی با ارتفاع قابل تغییر از۱/۵ تا ۳ متر، شیر کنترل کننده دبی و نازل می‌باشد. به‌منظور ایجاد همپوشانی کامل باران با نمونه خاک با توجه به ابعاد سیلندر حاوی نمونه (۱۰×۱۰ سانتی‌متر طبق الگوی مورگان، ۱۹۸۱) قطر نازل ۱۵ سانتی‌متر درنظر گرفته شد. از سیستم تامین شیب برای تولید شیب موردنظر و زاویه دادن به استوانه حاوی نمونه و از سیستم حرکت چرخشی نمونه (به‌وسیله یک دستگاه الکتروموتور) برای اینکه قطرات باران به یک نقطه اثبات نکنند، استفاده شد. این دستگاه هم‌چنین دارای دو استوانه شامل استوانه اصلی و استوانه نمونه می‌باشد. استوانه اصلی، استوانه‌ای به ارتفاع و قطر ۳۰ سانتی‌متر است که استوانه نمونه با قطر ۱۰ سانتی‌متر داخل آن قرار می‌گیرد و فرسایش حاصل از باران ایجاد شده توسط این استوانه جمع‌آوری می‌شود. این استوانه توسط دو تیغه به دو بخش بالای شیب و پایین شیب تقسیم شده است که می‌تواند پاشمان در بالادست و پایین دست شیب را تفکیک کند. در کف استوانه اصلی در هریک از بخش‌های بالای شیب و پایین شیب، سوراخ‌هایی تعبیه شده که خاک پاشمان شده حاصل در بالا دست و پایین دست شیب را به‌طور مجزا جمع‌آوری می‌کنند. بنابراین با این دستگاه می‌توان، نرخ کل فرسایش پاشمانی، فرسایش پاشمانی بالادست شیب و پایین‌دست شیب را در شیب و شدت بارندگی مختلف بر روی خاک‌های دست خورده و دست نخورده اندازه‌گیری نمود.

اندازه‌گیری نرخ فرسایش پاشمانی

برای اندازه‌گیری فرسایش پاشمانی، نمونه‌های مربوط به هر سطح شور و قلیائیت (جدول ۱) با هم ترکیب شدند و در نهایت یک نمونه ترکیبی یکسان برای هر سطح به‌دست آمد. نمونه‌های ترکیبی در ۳ تکرار، تحت شدت بارندگی‌های ۲/۵ و ۳/۵ میلی‌متر بر دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه و شیب‌های ۵ و ۱۵ درصد قرار گرفتند. سپس رواناب بخش بالادست و پایین‌دست به‌طور مجزا جمع‌آوری شد و در دمای ۱۰۵ درجه در آون خشک و توزین گردید و نرخ کل فرسایش پاشمانی و اجزای آن با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد(۲۵). در این آزمایش سرعت باد یا سرعت چرخش استوانه نمونه در حدی درنظر گرفته شد که قطرات باران توزیع یکنواختی بر سطح خاک داشته باشند و از برخورد متوالی قطرات به یک نقطه ثابت در سطح خاک جلوگیری شود.

$$S_t = \frac{S_u + s_d}{T * A} \qquad [1]$$

S_t : نرخ فرسایش پاشمانی کل برحسب گرم بر دقیقه بر متر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.10.7]

جدول ۱ سطوح گوناگون شور و قلیائیت خاک‌های منطقه

سطح شور و قلیائیت	یانگین		
	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	SAR	ESP (درصد)
L۱	۲	۲	۳
L۲	۱۵	۲۴	۲۱
L۳	۵۶	۴۲	۴۲
L۴	۱۱۳	۴۷	۴۷



شکل ۱. دستگاه پاشمانی چندمتغیره، الف: میله تلسکوپی، چهارچوب، استوانه اصلی و نمای داخلی از نحوه قرارگیری استوانه نمونه‌گیری در داخل استوانه اصلی، ب: الکتروپمپ، قطره‌ساز میله تلسکوپی و استوانه اصلی و نحوه قرارگیری شیب‌سنج روی چهارچوب

مربع، S_u : وزن خاک پاشمان شده در بالای شیب برحسب گرم، S_d : وزن خاک پاشمان شده در پایین شیب برحسب گرم، A: سطح مقطع استوانه نمونه به متر مربع، T: زمان بارش برحسب دقیقه.

تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش فاکتوریل سه عاملی شامل عامل اول شوری و قلیائیت در چهار سطح (SAR=۲، EC=۲؛ SAR=۲۴، EC=۱۵؛ SAR=۴۲، EC=۵۶ و SAR=۴۷، EC=۱۱۳) (جدول ۱)، عامل دوم شدت بارندگی در دو سطح (۲/۵ و ۳/۵ میلی‌متر بر دقیقه) و عامل سوم شیب با دو سطح (۵ و ۱۵ درصد) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. محاسبات آماری نتایج به‌وسیله نرم‌افزارهای SAS 9.1 و SPSS/ver.16 صورت گرفت.

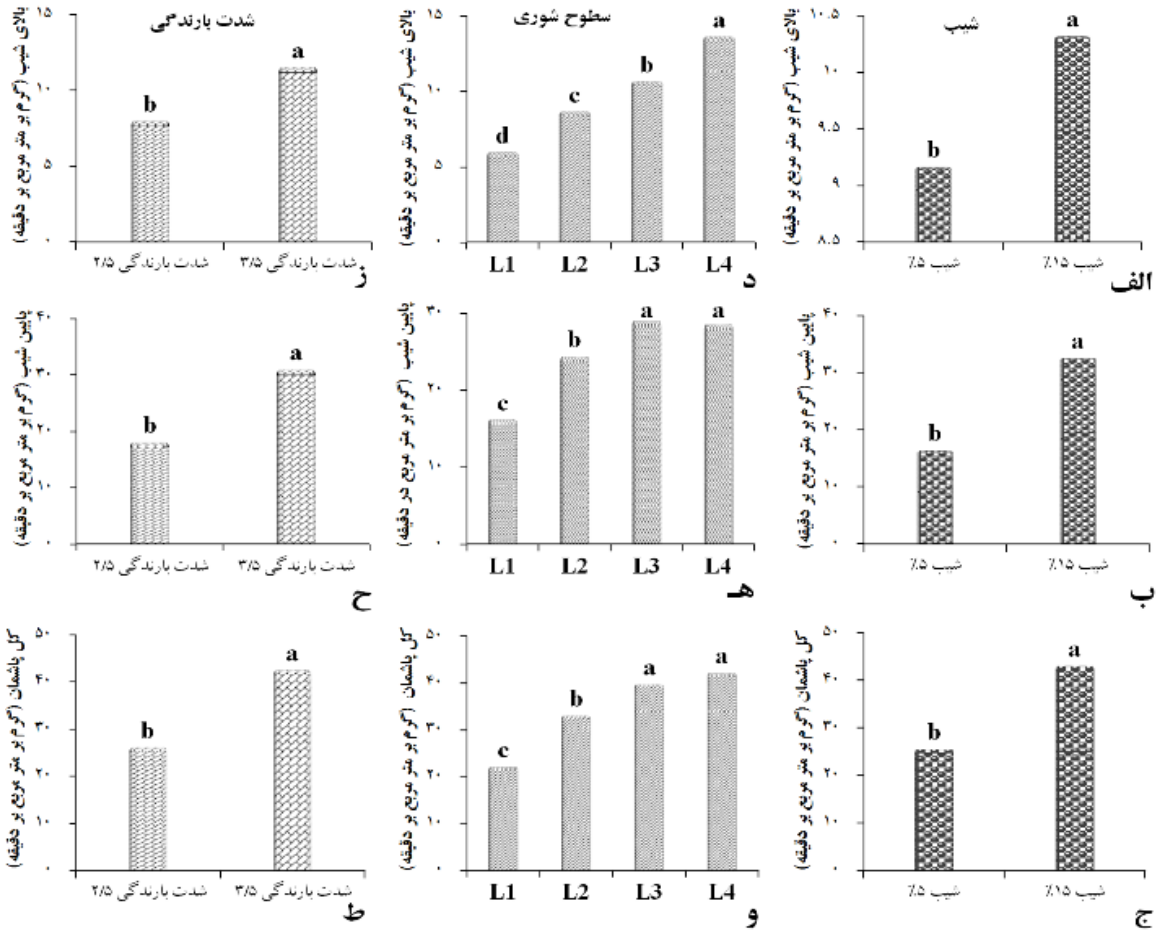
نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک

در جدول ۲ مقادیر کمینه، بیشینه، میانگین و واریانس برخی از ویژگی‌های فیزیکی وشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه بر اساس سطوح گوناگون شوری و قلیائیت (SAR=۲، EC=۲؛

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.10.7]



شکل۲. مقایسه میانگین‌های سطوح مختلف شیب (الف، ب، ج)، شوری و قلیائیت (د، هـ و) و شدت بارندگی (ز، ح، ط) برای نرخ فرسایش پاشمانی بالادست، پایین‌دست و کل فرسایش پاشمانی با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد

SAR=۲۴، EC=۱۵؛ SAR=۴۲، EC=۵۶ و SAR=۴۷، EC=۱۱۳) آورده شده است. با افزایش سطح شوری و قلیائیت خاک، میزان کربن آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها کاهش یافته است. پژوهشگران معتقدند که شوری خاک سبب افزایش فشار اسمزی خاک و ایجاد خشکی فیزیولوژیک می‌گردد و بنابراین ممکن است رشد گیاه را محدود کند (۱). از طرفی سدیم باعث پراکنش خاکدانه‌ها می‌شود و این دو عامل یعنی کاهش کربن آلی و پراکنش ساختمان خاک در اثر افزایش سدیم، سبب ناپایداری خاکدانه‌ها و کاهش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها می‌گردد. هم‌بستگی منفی زیادی بین میزان قابلیت هدایت الکتریکی و کربن آلی (در سطح آماری یک درصد با r =-۰/۷۳) و نیز هم‌بستگی منفی بالایی بین EC و MWD (در سطح آماری یک درصد با r=-۰/۸) وجود داشت. هم‌چنین هم‌بستگی بین میزان ESP و کربن آلی (در سطح آماری یک درصد با r=-۰/۷۹) و نیز بین ESP و MWD (در سطح آماری یک درصد با r=-۰/۸۷) وجود داشت. همین روند در مورد ظرفیت تبادل کاتیونی نیز صدق می‌نماید، زیرا که این پارامتر نیز تابع کربن آلی است و هم‌بستگی معنی‌داری بین این دو پارامتر مشاهده شد (در سطح آماری یک درصد با r=۰/۴). دنونی و همکاران (۱۷) به این نتیجه رسیدند که پایداری خاکدانه‌ها هم‌بستگی زیادی با میزان ماده آلی خاک دارد. چگالی ظاهری و کربنات کلسیم روند خاصی از خود نشان نداده‌اند.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.10.7]

جدول۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

		پایداری خاکدانه‌ها (گرم بر میلی‌لیتر محلول)	گچ (درصد)	کربنات کلسیم معادل (درصد)	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بر کیلوگرم)	درصد سدیم تبادلی (درصد)	نسبت جذبی سدیم	سدیم محلول (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	منیزیم محلول (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	کلسیم محلول (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	رس (درصد)	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	کربن آلی (درصد)	میانگین وزنی قطر خاکدانه (میلی‌متر)	
L1 (EC=۲ dS m⁻¹ ، SAR=۲)	کمینه	۱/۳	۰۰/۰	۲۹	۱۲/۹	۰۰/۰	۰/۰۲	۰/۰۵	۱/۵۰	۳/۲	۲۸	۰/۶۱	۷/۳	۰/۴۸	۰/۹۴	
	بیشینه	۱/۶	۰/۰۶	۴۲	۲۲/۳	۷/۶	۵/۵	۱۱/۳	۱۴/۹	۲۵	۴۴	۳/۹	۸/۱	۰/۷۸	۱/۶	
	میانگین	۱/۵	۰/۰۱	۳۹/۲	۱۶/۳	۳/۱	۲/۲	۵/۲	۵	۹/۵	۴۰/۱	۲	۷/۷	۰/۶۴	۱/۳	
	واریانس	۰/۰۰۹	۰/۰۰	۲۱/۹	۷/۵	۵	۲/۶	۱۲/۳	۱۷/۸	۴۸/۷	۱۷/۷	۱/۲	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۳	
L2 (EC=۴ dS m⁻¹ ، SAR=۱۵)	کمینه	۱/۳	۰/۰۰	۳۹	۸/۵	۳/۴	۲/۳	۹/۶	۷/۴	۱۰/۶	۲۵	۴/۰۶	۷/۴	۰/۲۳	۰/۴۶	
	بیشینه	۱/۵	۱/۵	۴۲	۲۵/۸	۶۱/۹	۱۰۸/۴	۱۷۵/۳	۱۷۱/۲	۸۳/۲	۵۹/۵	۳۷/۸	۸/۵	۰/۵۷	۱/۵	
	میانگین	۱/۴	۰/۳۵	۴۰/۶	۱۵/۱	۲۰/۹	۲۴/۳	۷۸/۷	۳۲/۷	۳۰/۱	۴۳	۱۵/۲	۷/۸	۰/۴۲	۰/۹۲	
	واریانس	۰/۰۰۴	۰/۲۵	۱/۲	۲۱/۲	۳۰۰/۵	۱۰۹۵	۲۷۲۰/۵	۱۶۸۵	۲۷۷/۳	۶۷	۱۱۴/۲	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۸	
L3 (EC=۵۶ dS m⁻¹ ، SAR=۴۲)	کمینه	۱/۲	۰/۱۲	۳۶	۸/۱	۳۱/۱	۳۰/۱۴	۲۹۰/۴	۵۹/۲۰	۴۴	۳۳/۳	۴۵	۷/۷	۰/۲۰	۰/۴۶	
	بیشینه	۱/۵	۶	۴۲	۲۱/۵	۴۹/۵	۶۵/۴	۵۴۷/۴	۱۴۸	۱۰۰	۵۴	۶۸	۸/۴	۰/۵۱	۰/۸۲	
	میانگین	۱/۴	۱/۴	۴۰/۲	۱۳/۲	۴۱/۸	۴۹/۷	۴۰۷/۷	۹۷/۷	۶۵/۷	۴۲/۳	۵۵/۸	۸/۱	۰/۳۳	۰/۷۰	
	واریانس	۰/۰۱	۵/۱	۴/۴	۲۲/۳	۶۶/۷	۲۴۴/۴	۹۹۰۶/۹	۱۲۰۵/۹	۳۵۹/۸	۵۷/۷	۸۳/۴	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۲	
L4 (EC=۱۱۳ dS m⁻¹ ، SAR=۸۶)	کمینه	۱/۳	۰/۰۲	۳۴	۶/۸	۲۵/۶	۲۲/۹	۳۵۵/۲	۳۴	۲۹/۶	۳۲	۸۳/۸	۷/۳	۰/۲۳	۰/۴۳	
	بیشینه	۱/۶	۶/۴	۴۲	۱۶/۳	۷۰/۳	۱۵۷/۵	۱۱۳۹/۹	۵۳۴/۴	۳۶۰	۴۵/۸	۱۵۸/۹	۸/۵	۰/۳۸	۰/۹۱	
	میانگین	۱/۴	۱/۶	۴۰	۱۱	۴۶/۵	۶۶/۱	۷۶۷/۶	۲۲۱/۴	۱۴۶/۸	۳۸	۱۱۳/۱	۷/۸	۰/۳۱	۰/۶۶	
	واریانس	۰/۰۰۷	۴/۸	۵/۳	۵/۲	۱۴۶/۸	۱۴۹۵/۸	۴۷۹۷۲/۴	۱۴۹۹۱/۶	۱۰۵۶۱/۴	۱۵/۷	۴۱۵/۷	۰/۱۷	۰/۰۰۲	۰/۰۲	

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.10.7]
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]

اثر سطوح مختلف شیب، شدت بارندگی و شوری و قلیائیت بر نرخ فرسایش پاشمانی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۳ آمده است. این جدول نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین دو سطح شیب بر نرخ فرسایش پاشمانی بالادست، پایین‌دست و کل فرسایش پاشمانی وجود دارد. با توجه به شکل ۲ (الف، ب ، ج) مشاهده می‌شود که فرسایش بالادست، پایین‌دست و کل فرسایش پاشمانی بین سطوح شیب ۵ و ۱۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند. فرسایش پایین‌دست در شیب ۱۵ درصد ۱/۹۹ برابر، فرسایش پاشمانی بالادست ۱/۱۲ برابر و کل فرسایش پاشمانی ۱/۶۸ برابر نسبت به شیب ۵ درصد افزایش داشته است. در شیب ۵ درصد نرخ پاشمان در بالادست شیب ۹/۱ گرم بر متر مربع بر دقیقه بوده که بسیار کمتر از پایین شیب (۱۶/۴ گرم بر متر مربع در دقیقه) می‌باشد. این نشان می‌دهد که نرخ پاشمان در پایین‌دست شیب بسیار بیشتر از بالادست شیب می‌باشد. وان و همکاران (۳۵) هم در مطالعه‌ای آزمایشگاهی به این نتیجه رسیدند که با افزایش شیب از ۴ به ۳۶ درصد فرسایش پاشمانی زیادتر می‌شود و فرسایش پاشمانی پایین‌دست بیشتر از بالادست است. با افزایش شیب و تاثیر نیروی جاذبه، ذرات با وزن فیزیکی بیشتر نسبت به‌سایر ذرات، بیشتر به پایین شیب حرکت می کنند و هم‌چنین تعداد ذراتی که در اثر پاشمان به پایین پرتاب می شوند بیش از تعداد ذراتی است که به‌سمت بالا پرتاب می شوند زیرا به‌علت نیروی جاذبه زمین، ذرات به نیروی زیادی نیاز دارند تا بتوانند به بالادست شیب حرکت کنند. و از طرفی در سطوح شیب‌دار، وزنی از قطره باران که در بالای شیب اثر می‌گذارد کمتر از پایین شیب است (۳۳)، از اینرو تعداد ذرات و وزن ذراتی که به پایین شیب پرتاب می شوند بیشتر از بالای شیب است. بنابراین پاشمان به پایین شیب بیشتر از بالای شیب است و این نسبت با افزایش شیب افزایش می یابد. نتایج بانسی و همکاران (۱۱) نشان داد که میزان پاشمان در پایین دست شیب بیشتر از بالادست شیب است و هم‌چنین قدیری و پاین (۲۱) بیان کردند که قطرات درشت‌تر بیشتر به‌سمت پایین دست پرتاب می‌شوند. لذا، پاشمان رو به پایین بیشتر است.

اثر سطوح مختلف شور و قلیائیت شامل L۱ ،L۲،L۳،L۴ بر نرخ فرسایش پاشمانی بالادست، پایین‌دست و کل فرسایش پاشمانی در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). همانگونه که در شکل ۲ (د، هـ و) مشاهده می‌شود در سه سطح L۲، L۳ و L۴ به ترتیب فرسایش پاشمانی بالادست، ۱/۴۵، ۱/۷۸ و ۲/۲۸ برابر، فرسایش پاشمانی پایین‌دست، ۱/۵، ۱/۷۹ و ۱/۷۶ برابر و فرسایش پاشمانی کل، ۱/۴۹، ۱/۷۹ و ۱/۹ برابر نسبت به خاک با سطح L۱ افزایش نشان داده است. هم‌چنین تفاوت بین میانگین فرسایش پاشمانی پایین دست و کل فرسایش پاشمانی سطوح L۳ و L۴ با دو سطح L۱ و L۲ معنی‌دار شد (شکل ۲: د، هـ و). این نتایج نشان‌دهنده این است که در شوری‌های زیاد، اثر سدیم در پراکنش خاک‌دانه‌ها و افزایش فرسایش پاشمانی کاهش می‌یابد. نتایج آغاسی و همکاران (۸) بیانگر این مطلب است که شوری و میزان سدیم بر فرسایش پاشمانی مؤثرند که با این نتایج مطابقت دارد.

هم‌چنین جدول ۳ نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین این دو شدت بارندگی در سطح یک درصد وجود دارد. در شکل ۲ (ز) با افزایش میزان بارندگی نرخ فرسایش پاشمانی بالادست از ۷/۹۷ به ۱۱/۵ گرم بر متر مربع در دقیقه یعنی ۱/۴۴ برابر افزایش یافته است. همان‌طور که در شکل ۲(ح) مشاهده می‌شود فرسایش پایین‌دست شیب، با افزایش شدت بارندگی از ۱۸/۱ به ۳۱ گرم بر متر مربع بر دقیقه یعنی ۱/۷۱ برابر افزایش یافت. در شکل ۲ (ط)، با افزایش شدت بارندگی نرخ کل پاشمان ذرات خاک ۱/۶۳ برابر افزایش یافت. این نتایج با پژوهش‌های سایر محققین مطابقت دارد. رفاهی (۵)، ما و همکاران (۲۳) و مرموت و همکاران (۲۵) طی پژوهش‌های انجام شده به این نتیجه رسیدند که هرچه شدت بارندگی بیشتر شود، قطر قطره بیشتر می‌گردد. فرسایش پاشمانی بارشی با شدت ۱۰۰ میلی‌متر بر ساعت ۳/۸ برابر شدت بارندگی ۴۰ میلی‌متر بر ساعت می‌باشد. از طرفی نتایج قدیر و پیان (۲۱) هم این نتایج را تأیید می‌نماید که فرسایش پاشمانی پایین‌دست

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.10.7]

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عامل‌های مورد مطالعه

		میانگین مربعات		
	درجه آزادی	بالادست شیب	پایین‌دست شیب	کل پاشمان
شیب	۱	۱۵/۹۸*	۳۱۸۸/۴۴**	۳۶۵۵/۹۵**
شدت بارندگی	۱	۱۵۰/۱۷**	۱۹۹۴/۴۷**	۳۲۳۹/۱۷**
شور و قلیائیت	۳	۱۲۵/۷۰**	۱۲۷۹/۶۸**	۹۶۵/۱۹**
شیب- شدت بارندگی	۱	۰/۰۳۵^{ns}	۱۰۰/۳۷*	۹۶/۶۳^{ns}
شیب- شور و قلیائیت	۳	۶/۰۱۵^{ns}	۲۰۳/۷**	۲۳۴/۵۴**
شدت بارندگی- شور و قلیائیت	۳	۸/۴۹$^{\times}$	۱۵۷/۳۰**	۲۳۸/۰۹**
شیب- شدت بارندگی- شور و قلیائیت	۳	۹/۹۹$^{\times}$	۱۷۳/۶۰**	۲۴۱/۴۴**
خطا	۳۲	۲/۷۹	۱۶/۶۵	۲۷/۹۶۹
ضریب تغییرات (%CV)		۱۷/۱۶	۱۶/۶۲	۱۵/۴۲

** معنی‌دار در سطح ۱٪ * معنی‌دار در سطح ۵٪ و ^{ns} غیرمعنی‌دار

بیشتر از فرسایش بالادست می‌باشد. شدت بارندگی‌های بالا، به‌علت افزایش توانایی قطرات باران در جدایش ذرات خاک و نیز افزایش جدایش‌پذیری ذرات درشت تر، پاشمان افزایش می‌یابد. خالدیان و همکاران (۳) و فرناندز و همکاران (۱۹) نتایج مشابهی را گزارش کردند.

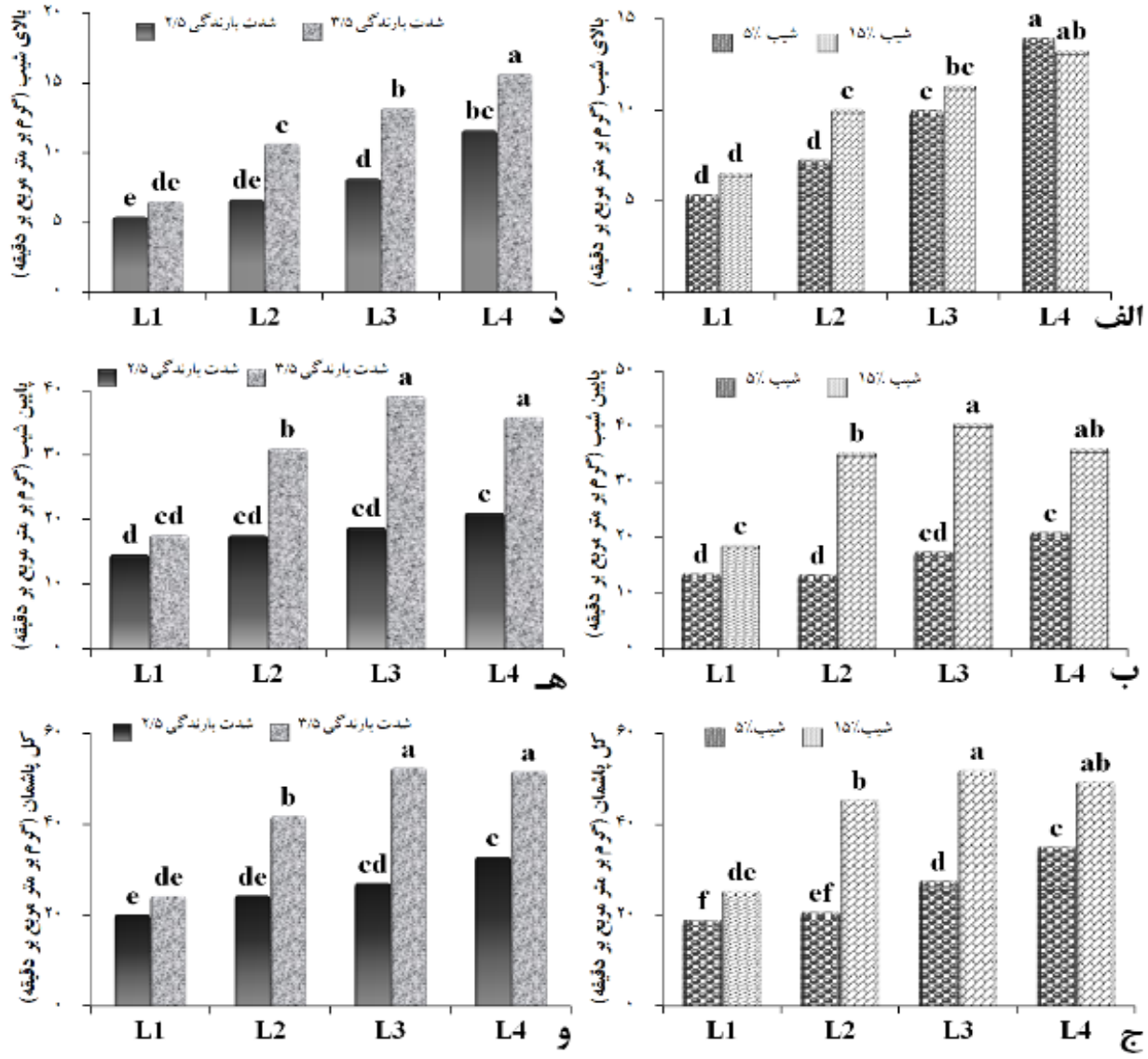
بررسی اثر متقابل شیب- شوری و قلیائیت، شدت بارندگی- شوری و قلیائیت و شیب-شدت بارندگی- شوری و قلیائیت بر فرسایش پاشمانی

اثر متقابل شور و قلیائیت و شیب بر فرسایش پاشمانی پایین‌دست و کل فرسایش پاشمانی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). ولی این اثر متقابل برای فرسایش پاشمانی بالادست معنی‌دار نشد. براساس شکل ۳ (الف) فقط در سطح L۲ بین سطوح مختلف شیب اختلاف معنی‌دار وجود دارد ولی در بقیه سطوح افزایش معنی‌داری مشاهده نگردید و نرخ افزایش تقریبا یکسان بود که این خود باعث معنی‌دار نشدن اثر متقابل شیب و شوری گردید (جدول ۳). هم‌چنین طبق شکل ۳ (ب) در شیب ۵ درصد با افزایش میزان شور و قلیائیت از سطح L۱ به سطح L۴ فرسایش پاشمانی پایین‌دست ۱/۵ برابر افزایش یافت در حالی که در شیب ۱۵ درصد افزایش نرخ پاشمان پایین‌دست ۱/۹ برابر بوده است. شکل ۳ (ج) نشان می‌دهد که در شیب ۵ درصد با افزایش میزان شوری از سطح L۱ به سطح L۴ نرخ پاشمان کل ۱/۸۴ برابر افزایش یافت در صورتی که در شیب ۱۵ درصد نرخ پاشمان کل به میزان ۱/۹۵ برابر افزایش یافته است. فرسایش پاشمانی بالادست، پایین‌دست و کل فرسایش پاشمانی در سطح L۲، L۳ و L۴ با افزایش شیب به ترتیب در بالادست ۱/۳۸، ۱/۱۳ و ۰/۹۵ برابر، در پایین‌دست ۲/۶۳، ۲/۳۱ و ۱/۷۱ برابر و کل فرسایش پاشمانی ۲/۱۹، ۱/۸۸ و ۱/۴ برابر افزایش داشته است. مقایسات نتایج نشان داده است که سطح شوری و قلیائیت L۲ بیشترین نرخ پاشمان را با افزایش شیب نشان داده است.

اثر متقابل شور و قلیائیت و شدت بارندگی بر فرسایش پاشمانی بالادست، پایین‌دست و کل فرسایش پاشمانی به‌ترتیب در سطح آماری ۵، ۱ و ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). در سطح L1 با افزایش شدت بارندگی فرسایش پاشمانی و اجزاء آن افزایش معنی‌داری نداشته است ولی فرسایش پاشمانی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.10.7]



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل شیب×شوری و قلیائیت (الف، ب، ج)، شدت بارندگی× شوری و قلیائیت (د، هـ و) برای نرخ فرسایش پاشمانی بالادست، پایین‌دست و کل با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد

بالادست، پایین‌دست و کل فرسایش پاشمانی در سطح L۲، L۳ و L۴ با افزایش شدت بارندگی به ترتیب در بالادست ۱/۶، ۱/۶۱ و ۱/۳۴ برابر، در پایین‌دست ۱/۷۶، ۲/۰۷ و ۱/۷ برابر و کل فرسایش پاشمانی ۱/۷۱، ۱/۹۳ و ۱/۵۷ برابر نسبت به‌سطح L۱ افزایش داشته است. همان‌طور که در شکل ۳ (د) مشاهده می‌شود به‌ترتیب در سطح L۱، L۲، L۳ و L۴ با افزایش شدت بارندگی از ۲/۵ تا ۳/۵ میلی‌متر بر دقیقه نرخ پاشمانی بالادست به‌میزان ۱/۲، ۱/۶، ۱/۶ و ۱/۳ برابر افزایش یافته است. این نشان می‌دهد که در سطح L۲ و L۳ افزایش نرخ پاشمان بالادست حداکثر بوده است. هم‌چنین در پایین‌دست شیب (شکل۳، هـ) در سطوح مختلف شوری و قلیائیت با افزایش شدت بارندگی، نرخ فرسایش پاشمانی پایین‌دست به‌ترتیب به‌میزان ۱/۲، ۱/۷۶، ۲/۱ و ۱/۷ افزایش یافته است. در سطوح شوری L۱ ، L۲ ، L۳ و L۴ افزایش شدت بارندگی از ۲/۵ به ۳/۵ میلی متر بر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.10.7]

دقیقه، منجر به افزایش نرخ کل پاشمان (شکل۳، و) به میزان ۱/۲، ۱/۷، ۱/۹ و ۱/۵ برابرگردیده است. به‌طور کلی در سطح شوری و قلیائیت L۳ ، با افزایش شدت بارندگی نرخ پاشمان در قسمت‌های بالادست و پایین‌دست و نرخ کل پاشمان نسبت به‌سطوح دیگر بیشتر بوده است. در نتیجه می‌توان گفت که افزایش شوری و قلیا ئیت به بیش از ۵۶ دسی زیمنس بر متر نه تنها باعث افزایش معنی دار فرسایش پاشمانی نگردیدند، بلکه روند کاهشی از خود نشان داده است. بسیاری دانشمندان نشان دادند که مقدار ماده آلی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین‌کننده پایداری خاکدانه‌ها در خاک است. کانتن و همکاران (۱۴) نشان دادند که ماده آلی خاک رابطه خطی مثبتی با تعداد قطرات باران مورد نیاز برای شکستن خاکدانه‌ها دارد. خاک‌های مورد مطالعه دارای مقدار کمی ماده آلی می‌باشند. به طور کلی، زمانی که شوری خاک زیاد باشد، باعث ایجاد تغییرات حجمی در توده خاک می‌شود و با توجه به کم بودن ماده آلی، پایداری خاکدانه کاهش می‌یابد. چرخه‌های مکرر انحلال و کریستاله شدن نمک در طول فرآیند تر و خشک شدن، ساختمان خاک را تحت تأثیر قرار داده و مقاومت خاک را نسبت به فرسایش کاهش می‌دهد (۱۵).

نتیجه‌گیری

افزایش شوری و قلیائیت موجب کاهش کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و پایداری خاکدانه گردید و نرخ کل فرسایش پاشمانی، فرسایش بالادست و پایین‌دست با افزایش شیب، شدت بارندگی و شور و قلیائیت افزایش یافته است و نرخ پاشمان ذرات پایین‌دست شیب، بیشتر از بالادست گردید. اثرات متقابل شیب، شدت بارندگی و شوری و قلیائیت بر فرسایش پاشمانی معنی‌دار بوده است. در سطوح مختلف شور و قلیائیت با افزایش شیب و نیز افزایش شدت بارندگی، میزان فرسایش پاشمان و اجزای آن افزایش معنی‌داری داشته است. بنابراین فرسایش پاشمانی از مهم‌ترین نوع فرسایش در اراضی شور و قلیائیتی خوزستان با شدت بارندگی زیاد می‌باشد و توجیهی برای سیل‌خیزی این استان می‌تواند باشد.

منابع مورد استفاده

۱. افیونی، م.، ر. مجتبی‌پور، و ف. نوربخش. ۱۳۷۶. *خاک‌های شور و قلیائیتی (و اصلاح آنها)*. انتشارات نشر ارکان. اصفهان.

۲. جعفری، س. و ح. نادیان. ۱۳۹۰. مطالعه تکامل خاک‌ها در یک ردیف پستی و بلندی (Toposequence) در استان خوزستان. گزارش نهایی طرح شماره ۱۷-۸۵. دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.

۳. خالدیان، ح. و س. ص. شاهویی. ۱۳۸۹. اندازه‌گیری فرسایش پاشمانی و رابطه آن با شدت بارندگی در استان کردستان. مجله‌ی پژوهش آب ایران ۴(۶): ۲۴-۱۹.

۴. دردی‌پور، ا.، ح. قدیری و ج. حسین. ۱۳۸۶. اثر شوری و قلیائیت بر فرسایش‌پذیری، انتقال رسوب و کیفیت پایاب حاصله در سه نوع خاک مختلف. مجله‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ۱۴(۴): ۵۲-۴۱.

۵. رفاهی، ح. ۱۳۸۸. *فرسایش آبی و کنترل آن*. چاپ ششم. انتشارات دانشگاه تهران. تهران.

۶. غازان‌شاهی، ج. ۱۳۸۵. *آنالیز خاک و گیاه*. انتشارات آییژ. تهران.

۷. قاسمی، م. م. و ع. سپاسخواه. ۱۳۸۳. پیش‌بینی بارندگی سالانه استان خوزستان از روی زمان وقوع رگبارهای پاییزه. مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۸(۱):۱۰-۱.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.10.7]

8. Agassi, M., D. Bloem and M. Ben-Hur. 1994. Effect of drops energy and soil and water chemistry on infiltration and erosion. Water Resour. Res. 30:1187-1194.
9. AL-Durrah, M. M. and J. M. Bradford. 1982. Parameters for describing soil detachment due to single waterdrop impact. Soil Sci. Soc. Am. J. 46(4):836-840.
10. Blake, G. R. and K. H. Hartge. 1986. Methods of soil analysis. Bulk Density. PP. 363-376 *In:* Part 1. Physical and Mineralogical Methods, 2nd ed., Soil Science Society America Madison, WI.
11. Bancy, M. M. 1994. Splash transport of soil on a slope under various crop covers. Agr. Water Manage. 26:59-66.
12. Bouma, N. A. and A. C. Imeson. 2000. Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on badland surfaces at Petrer, Spain. Catena. 40:147-171.
13. Cantón, Y., A. Solé-Benet, C. Asensio, S. Chamizo and J. Puigdefábregas. 2009. Aggregate stability in range sandy loam soils Relationships with runoff and erosion. Catena 77:192–199.
14. Cantón, Y., A. Solé-Benet and R. La´zaro. 2003. Soil–geomorphology relations in gypsiferous materials of the Tabernas Desert (Almeria, SE Spain). Geoderma 115: 193– 222.
15. Chapman, H. D. 1965. Methods of soil analysis. Cation exchange capacity. part2. PP. 891-901. *In*: C. A. Black(ed). Am. Soc. Agron. Madison, WI.
16. Cheraghi, S. A. M., Y. Hasheminejhad and M. H. Rahimian. 2007. An overview of the salinity problem in Iran: Assessment and monitoring technology. Advances in assessment and monitoring of salinization and status of biosaline agriculture. World soil resources reports. Report of an expert consultation held in Dubai, United Arab Emarates. ISSN 0532-0488. 21. P.
17. De Noni, G., D. Blavet, J. Y. Laurent, Y. L. Bissonnais and J. Asselin. 2002. Proposal of soil indicators for spatial analysis of carbon stocks evolution. 17th. WCSS. 14-21 August. Thiland. PP. 1-13.
18. Emadodin, I., D. Narita and H. Bork. 2012. Soil degradation and agricultural sustainability: an overview from Iran. Environment, Development and Sustainability. Springer Netherlands. 14:611-625.
19. Fernández-Raga M., R. Fraile, J. J. Keizer, MEV. Tiejiero, A. Castro, C. Palencia, A. I. Calvo, J. Koenders and R. Marques. 2010. The kinetic energy of rain measured with an optical disdrometer: An application to splash erosion. Atmospheric Res. 96: 225–240.
20. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Method of soil analysis. Particle size analysis. PP. 383-411. *In:* Klute, A. (Ed.), Part. 1. In: physical and mineralogical methods. Soil Sci. Soc. Am.
21. Ghadir, H. and D. Payne. 1988. The formation and characteristics of splash following raindrop impact on soil. Soil Sci. 39: 563-575.
22. Jarraud, M. 2005. Climate and Land Degradation. World Meteorological Organization. Geneva. Switzerland. p. 11.
23. Ma, T., C. Zhou, T. Zhu and Q. Cai. 2008. Modeling raindrop impact and splash erosion processes within a spatial cell: a stochastic approach. Earth Surface Processes and Landforms. 33:712–723.
24. Marquez, C. O., V. J. Garcia, C. A. Cambardella, R. C. Schultz and T. M. Isenhart. 2004. Aggregate-size stability distribution and soil stability. Soil Sci. Soc. Am. J. 68:725–735.
25. Mermut, A. R., S. H. Luk, M. J. M. RiSmkens and J. W. A. Poesen. 1997. Soil loss by splash and wash during rainfall from two loess soils. Geoderma. 75: 203-214.
26. Morgan, R. P. C. 1981. Field measurement of splash erosion. Erosion and Sediment Transport Measurement, Proceeding of the Florence Symposium, IAHS Pub. 133: 373-382.
27. Loeppert, R. H. and D. L. Suarez. 1996. Methods of soil analysis: carbonate and gypsum. PP. 437-474. *In:* Bigham, J. M. and J. M. Bartels (Eds.), Part 3. Chemical Methods. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, WI.
28. Parlak, M. and A. O. Parlak. 2010. Measurement of splash erosion in different cover crops. Turk. J. Field Crops. 15: 169-173.
29. Qureshi, A. S., M. Qadir, N. Heydari, H. Turral and A. Javadi. 2007. A review of management strategies for salt-prone land and water resources in Iran. Colombo, SriLanka: International Water Management Institute. 30. p.
30. Rhoades, J. D. 1996. Methods of soil analysis. Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solid. Part 3. Chemical Methods. PP. 417-435. *In*: sparks, D. L. (Ed.), Soil Sci. Soc. Am. Inc. Book series, No. 5, Madison, WI.
31. Shi, Z. H., F. L. Yan, L. Li, Z. X. Li and C. F. Cai. 2010. Interrill erosion from isturbed and undisturbed samples in relation to topsoil aggregate stability in red soils from subtropical China. Catena. 81: 240–248.
32. Thomas, G. W. 1996. Methods of soil analysis. Soil pH and soil Acidity. PP. 475-490. *In*: sparks, D. L. (Ed.), Part 3. Chemical Methods. Soil Sci. Soc. Am. Inc. Madison, WI.
33. Torri, D. and J. Poesen. 1992. The effect of soil surface slope on raindrop detachment. Catena. 19: 561–577.
34. Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. Soil Sci. 63:251-263.
35. Wan, Y., S. A. El-Swaify and R. A. Sutherland. 1996. Partitioning interrill splash and wash dynamics: a novel laboratory approach. Soil Technol. 9: 55-69.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.10.7]