

کلید واژه‌ها: بافت خاک، شبیه‌سازی باران، شیب سطح،
ضربه قطرات باران، معادله رگرسیونی

**تغییرپذیری فرسایش پاشمانی از تندی شیب
و ویژگی‌های خاک**

مقدمه

فرسایش تحت تأثیر قطرات باران فرآیندی پیچیده از دیدگاه چگونگی جداسازی ذرات و انتقال آن‌ها است. فرسایش خاک یکی از عوامل اصلی تخریب زمین به ویژه در اراضی با پوشش گیاهی ضعیف در سراسر جهان است [۴۷]. فرسایش ناشی از قطرات باران به عنوان گام نخست در فرسایش خاک شناخته شده و باعث حرکت ذراتی از خاک می‌شوند که نیروی هم‌چسبی ضعیفی را نشان می‌دهند [۱۵]. فرسایش ناشی از قطرات باران موجب جداسازی و انتقال خاک کم عمق سطحی توسط پاشمان قطرات باران و جریان سطحی ناشی از آن می‌شود [۴۶]. اقلیم، پوشش سطحی، نوع خاک (خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک) و شیب اراضی به عنوان چهار عامل عمده موثر بر فرسایش پاشمانی در نظر گرفته می‌شوند [۱۲، ۲۲، ۲۴ و ۲۷]. بخش بزرگی از پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه فرسایش پاشمانی با استفاده از فنجان‌های پاشمان بدون بررسی درجه شیب انجام گرفته است [۱، ۸، ۲۸ و ۲۹]. فرسایش ناشی از قطرات باران از شکل‌های مهم فرسایش خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. در این مناطق دوره‌های طولانی مدت خشکی مانع از استقرار و حفظ پوشش گیاهی می‌شود [۱۸]. از سوی دیگر خاک‌های واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک اغلب کم عمق، با مواد آلی کم و ساختمان ضعیف می‌باشند [۱۹]. ویژگی‌های خاک از جمله عوامل مهم تعیین کننده شدت فرسایش ناشی از قطرات باران هستند [۱، ۸ و ۴۱]. در میان ویژگی‌های مختلف خاک، به نقش بافت خاک [۱۴ و ۴۶] و مواد آلی خاک [۳۲ و ۳۸] در اغلب پژوهش‌ها تأکید شده است. یوسفی و همکاران [۴۸] تغییرات زمانی فرسایش پاشمانی در شیب‌های مختلف و کاربری‌های کشاورزی و جنگل بررسی کردند و بیان داشتند با افزایش درجه شیب از ۵ به ۱۵ درصد فرسایش پاشمان ۱۱ درصد افزایش نشان داد. محمود آبادی و ارجمند سجادی [۲۶] بیان داشتند فرسایش در شیب‌های کمتر از ۱۰ درصد بیشتر به صورت ذرات پاشمان یافته است و در شیب‌های بالاتر از ۱۰ درصد انتقال ذرات جدا شده از سطح به شکل بار رسوب بیش از پاشمان است. مورگان [۲۸] هدررفت خاک توسط فرسایش بارانی را بررسی کرد و بیان کرد که خاک با بافت رسی کم‌ترین فرسایش‌پذیری و خاک با بافت شنی بیش‌ترین فرسایش‌پذیری را دارد. شیب زمین عامل مهم دیگری است

علی بلیانی^۱، علی‌رضا واعظی^۲ و هادی امامی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۰۲

چکیده

خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک به شدت تحت تأثیر تجمع نمک‌ها به‌ویژه گچ و کربنات‌ها هستند. خاک‌های این مناطق ذاتاً مواد آلی کم و ساختمان ناپایداری دارند. به‌علاوه پوشش گیاهی طبیعی سطح خاک‌ها ضعیف و سطح خاک در معرض عوامل فرساینده به‌ویژه ضربه قطرات باران قرار دارد. این پژوهش به‌منظور بررسی میزان فرسایش پاشمانی در ارتباط با درجه شیب در خاک‌های با خصوصیات مختلف انجام گرفت. در این راستا ۱۲ نوع بافت خاک در معرض بارانی با شدت ۴۰ میلی متر بر ساعت به مدت ۱۰ دقیقه در چهار درجه شیب (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) قرار گرفت. مجموعاً تعداد ۱۴۴ جعبه خاک به ابعاد ۳۵ سانتی‌متر × ۲۵ سانتی‌متر با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری ($P < 0.001$) بین خاک‌ها از نظر فرسایش پاشمانی خاک‌ها وجود داشت. در میان خاک‌ها، خاک سیلتی با میانگین ۲۴۴/۲۰ گرم بر متر مربع بالاترین و خاک شنی با میانگین ۶۵/۷۱ گرم بر متر مربع کم‌ترین مقدار فرسایش پاشمانی را داشتند. فرسایش پاشمانی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شیب سطح قرار داشت، فرسایش پاشمانی از شیب ۰ تا ۱۰ روند کاهشی و از شیب ۱۰ تا ۳۰ روند افزایشی را نشان داد. تحلیل رگرسیون خطی چندگانه نشان داد که فرسایش پاشمانی به‌طور معنی‌داری با ماده آلی، کربنات کلسیم معادل و گچ رابطه با ضریب تبیین ۰/۷۵ داشته است. بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان هدررفت خاک‌های متفاوت در مقابل فرسایش پاشمانی را می‌توان به‌طور اولیه با استفاده از معادله رگرسیونی و بر اساس این متغیرها برآورد کرد.

۱- نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان پست الکترونیک: alibalani63@gmail.com
۲- دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.
۳- استادیار گروه آمار، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان.

در این پژوهش نمونه‌های خاک از اراضی غیرکشاورزی استان‌های زنجان و فارس برداشت شد. از بین ۱۲ کلاس بافت خاک، ۱۱ کلاس بافت خاک از مناطق مختلف استان زنجان و تنها خاک با بافت سیلت (بدلیل عدم وجود اطلاع کافی جهت برداشت و سهولت دسترسی در استان فارس) از حوزه آبخیز پرسپولیس واقع در ۴۰ کیلومتری غرب شهرستان مرودشت استان فارس شناسایی شد. به طور متوسط مقدار ۸۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم از هر خاک از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متر برداشت شد. به منظور جداسازی سنگ و قلوه سنگ و آماده‌سازی نمونه‌های خاک، نمونه‌های خاک از الک شماره ۳/۸ اینچ (معادل ۱۰ میلی‌متر) عبور داده شد (جدول ۱).

جدول ۱- مختصات مکانی نمونه خاک‌های مورد پژوهش

Table 1. UTM coordinates of Soil samples sites

بافت خاک Soil texture	موقعیت جغرافیایی Geographic coordination	
	عرض Latitude	طول Longitude
رس Clay	241187	4094477
لوم رس Clay loam	242688	4093351
لوم سیلت Silt loam	268212	4063707
لوم رس سیلتی Silty clay loam	258654	4373310
لوم شنی Sandy loam	266661	4063139
لوم رس شنی Sandy clay loam	2683398	4063615
شن لومی Lomy sand	268706	4072213
شن Sand	242719	4093535
رس شنی Sandy clay	267069	4063632
رس سیلتی Silty clay	268274	4063746
لوم Loam	267749	4063478
سیلت Silt	3332263	650149

واحدهای آزمایشی

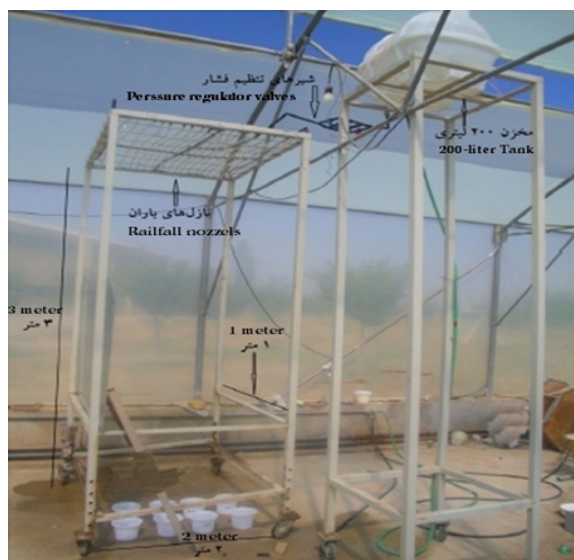
در این پژوهش از جعبه‌های پاشمان به ابعاد ۲۵×۳۵ با عمق پنج سانتی‌متر (این ابعاد مشابه با ابعاد ظروف پاشمان شیوه پژوهش وان دیجک و همکاران [۴۳] و ترومن و برادفورد [۴۰] بود) استفاده شد. جعبه‌های پاشمان دارای قابلیت نفوذ بوده و در کف آن‌ها از یک لایه فیلتر شنی به ضخامت ۲ سانتی‌متر استفاده شد (۴۲). جرم مخصوص ظاهری خاک به روش سیلندر [۳۵] تعیین شد.

که بر شدت جداسازی ذرات خاک توسط قطرات باران اثر می‌گذارد [۳۹، ۱۰، ۴۴]. در مورد اثر شیب در فرسایش ناشی از قطرات باران نتایج متناقضی گزارش شده است. برخی پژوهش‌گران بیان داشتند که بین افزایش شیب و فرسایش ناشی از قطرات باران ارتباط معنی‌داری وجود ندارد [۳ و ۳۹] در حالی که در برخی پژوهش‌های دیگر تأثیر معنی‌دار زاویه شیب بر فرسایش ناشی از قطرات باران گزارش شده است [۷، ۲۵، ۳۳، ۳۶]. کامالو و ریکسون [۱۱] تأثیر شیب را بر جدا شدن ذرات خاک و اثرات ترکیبی را بررسی و بیان داشتند که برای شیب‌های کم، پاشمان قطرات باران عامل غالب فرسایش است. باتنی و گریسمر [۲] تأثیر شیب و ناهمواری سطح را بر فرسایش بارانی را مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که اگرچه شیب به ظاهر از نظر آماری عاملی معنی‌دار بر هدررفت خاک بود، اما تأثیر کمی بر مقدار هدررفت خاک داشت. اکو و هرپیل [۴] نشان دادند که مقدار فرسایش بارانی با افزایش درصد شیب افزایش یافت و با افزایش ماده آلی، نفوذپذیری افزایش و مقدار رواناب و هدررفت خاک در تمام انواع خاک‌ها و شیب‌های مختلف کاهش یافت. کینل [۱۶] اثر شیب را بر غلظت رسوب در فرسایش بارانی را بررسی کرد و نشان داد فرسایش خاک در شیب‌های بیش از ۱۰ درصد افزایش و در شیب‌های ۱۰ درصد و کم‌تر کاهش یافت. فرسایش ناشی از قطرات باران یک خطر جدی برای زمین‌های کشاورزی به ویژه در زمین‌های شیب‌دار مناطق خشک و نیمه‌خشک است [۱۷ و ۱۸]. در اغلب تحقیقات در زمینه فرسایش پاشمانی، تعداد خاک‌های مورد بررسی محدود بوده و عمدتاً به بررسی خصوصیات بارز خاک (توزیع اندازه ذرات و محتوای ماده آلی) متمرکز شده است. فرسایش ناشی از قطرات باران مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل ضعف پوشش گیاهی در عرصه‌های طبیعی یا نبود پوشش زراعی مناسب در عرصه‌های کشاورزی اهمیتی دوچندان دارد [۲۱]. کمبود محتوای مواد آلی خاک، وجود کربنات کلسیم معادل زیاد و ناپایداری ساختمان خاک در این مناطق، موجب شده است مقاومت خاک در برابر فرآیندهای فرسایش آبی از جمله ضربه قطرات باران اندک باشد [۴۰]. از این رو بررسی قابلیت وقوع فرسایش ناشی از قطرات باران در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک برای پی بردن به حساسیت خاک‌های مختلف به فرسایش پاشمانی و شناسایی خاک‌های حساس ضروری است. این پژوهش با هدف مطالعه حساسیت خاک‌های با بافت مختلف تحت شرایط مختلف شیب و ویژگی‌های مهم خاک از نظر فرسایش پاشمانی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی

این پژوهش در ۱۲ نوع خاک با بافت مختلف در چهار سطح شیب تحت باران با شدت ثابت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت در سه تکرار در مجموع با ۱۴۴ واحد آزمایشی در قالب طرح فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی انجام شد. نمونه‌برداری خاک



شکل ۱- دستگاه باران‌ساز طراحی شده در گلخانه علوم خاک دانشگاه زنجان و استفاده شده در این پژوهش

Fig1. Rainfall simulator device designed in soil science greenhouse of Zanjan University was designed and used in this study

دستگاه باران‌ساز اعمال شد.

اندازه‌گیری فرسایش پاشمانی

برای اندازه‌گیری فرسایش پاشمانی، نمونه‌های خاک درون محفظه‌های گالوانیزه به ابعاد ۳۰ سانتی‌متر × ۵۰ سانتی‌متر × ۳۰ سانتی‌متر (به ترتیب عمق، طول و عرض) به منظور به دام انداختن ذرات خاک فرسایش یافته قرار گرفت. جعبه‌ها زیر دستگاه شبیه‌ساز باران در شیب معین قرار گرفتند. ذرات خاک خارج شده ناشی از فرسایش پاشمانی خاک‌ها جمع‌آوری و پس از گذاشتن در آون (دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت) جرم خاک فرسایش یافته (گرم بر مترمربع) تعیین شد. دقت برازش رگرسیون بر داده‌های مورد پژوهش استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

نرمال بودن توزیع آماری داده‌ها با تحلیل آماره‌های چولگی^۲ و کشیدگی^۳ و سپس نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شدند (جدول ۲). از نرم‌افزار SPSS ۲۰ جهت استخراج آماره‌های توصیفی استفاده شد. تجزیه واریانس داده‌ها، مقایسه میانگین‌ها و تفاوت آماری بین تیمارها (کلاس‌های بافت خاک و درجات شیب سطح) با استفاده از آزمون دانکن در محیط SAS 9.4 تحلیل شدند و سپس روابط رگرسیون خطی چندگانه^۴، رگرسیون ریدج^۵ و رگرسیون گام به گام^۶ با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS 20 و SAS 9.4 و نمودارهای فرسایش پاشمانی با نرم‌افزار SigmaPlot 12.0 (به سبب ابزار و امکانات بیش‌تر نسبت به اکسل)

در نمونه‌های خاک، درصد شن سیلت و رس به روش هیدرومتری [۷ و ۳۵] اندازه‌گیری و قطر هندسی اندازه میانگین هندسی اندازه ذرات (Dg) بر اساس روش شیرازی و بورسما [۳۴] تعیین شد. میزان سنگ‌ریزه خاک‌ها با جداسازی ذرات اولیه با قطر ۲ تا ۸ میلی‌متر محاسبه شد [۳۴]. میانگین وزنی قطر (MWD) خاک‌دانه‌های پایدار در آب بر حسب میلی‌متر از طریق مجموع خاک باقیمانده در چهار الک غوطه‌ور در آب (۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌متر) به دست آمد [۳۱]. مقدار ماده آلی خاک به روش والکلی و بلاک [۳۰] و درصد کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی [۳۰] تعیین شد. درصد گچ خاک با روش اندازه‌گیری هدایت الکتریکی تعیین شد [۳۵]. درصد سدیم تبادل (ESP) بر اساس نسبت سدیم تبادل تعیین شد [۳۵]. هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت (در خاک‌های ریز بافت) و بار افتان (در خاک‌های درشت بافت) تعیین شد [۳۰]. به منظور شبیه‌سازی باران، از شدت بارش ۴۰ میلی‌متر بر ساعت با مدت بارش ۱۰ دقیقه به صورت قراردادی استفاده شد این شدت و مدت بارش مشابه با شدت بارش در پژوهش صورت گرفته در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد [۲۳]. برای اعمال باران از یک دستگاه باران‌ساز با ابعاد یک در دو متر و ارتفاع باران‌ساز سه متر انتخاب شد. صفحه بارش دستگاه از ۵۰۰ قطعه نازل تشکیل شده بود و یکنواختی شدت ریزش قطرات باران با قرار دادن ظروف در جهت طولی و عرضی و جمع‌آوری حجم باران در مدت معین (۱۰ دقیقه به طور قراردادی) تنظیم شد (شکل ۱).

اعمال سطوح شیب به خاک‌ها

چهار سطح شیب غالب مناطق نمونه‌برداری شامل صفر (بدون شیب)، شیب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد بر روی نمونه‌های خاک در زیر

2. Skewness
3. Kurtosis
4. Multiple linear regression
5. Ridge regression
6. Stepwise regression

1. Mean weight diameter

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

Table2. Physical and chemical properties of the studied soils

بافت خاک	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	سنگریزه (درصد)	جرم مخصوص مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	قطر هندسی اندازه ذرات (میلی متر)	پایداری خاکدانه (میلی متر)	هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی متر بر روز)	درصد سدیم تبادلی (درصد)	ماده آلی (درصد)	کربنات کلسیم معادل (درصد)	گچ (درصد)
Soil texture	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Gravel (%)	Bulk density (g cm ⁻³)	Geometric particle-size diameter (mm)	Aggregate stability (mm)	Saturate hydraulic conductivity (Cm day ⁻¹)	Exchangeable sodium percentage (%)	Organic matter (%)	Calcium Carbonate Equivalent (%)	Gypsum (%)
Clay رس	12.35	24.35	63.30	0	1.07	0.01	0.38	41.54	9.12	1.01	25.00	3.88
Silty clay رس سیلتی	5.67	43.73	50.60	0	1.21	0.01	0.22	22.91	1.67	0.72	22.50	5.96
Silty clay loam لوم رسی سیلتی	19.00	45.56	35.44	0	1.27	0.02	0.15	19.79	1.70	0.67	20.25	0.91
Silt سیلت	4.00	84.00	12.00	0.01	1.25	0.02	0.10	44.09	3.34	0.61	48.75	6.58
Clay loam لوم رس	35.00	27.00	38.00	0	1.21	0.03	0.08	31.30	6.40	1.55	22.88	0.92
Silt loam لوم سیلت	27.00	53.00	20.00	0.01	1.30	0.04	0.00	24.32	7.07	0.24	34.00	1.51
Sandy clay رس شن	46.32	18.68	35.00	0.03	1.40	0.05	0.05	16.37	7.63	1.38	27.50	2.06
Loam لوم	40.00	37.00	23.00	0.03	1.35	0.05	0.05	14.93	5.30	1.25	4.50	0.94
Sandy clay loam لوم رس شن	65.00	9.00	26.00	0.04	1.42	0.12	0.00	36.93	4.34	1.01	26.25	2.16
Sandy loam لوم شن	72.00	18.00	10.00	0.04	1.43	0.26	0.00	73.47	6.21	0.81	18.75	1.04
Loamy sand شن لومی	75.00	21.00	4.00	0.05	1.50	0.34	0.00	89.66	5.90	0.69	12.00	1.42
Sand شن	95.00	3.00	2.00	0.05	1.68	0.80	0.00	518.15	2.30	0.47	2.50	0.64

مطلوب‌تر است. SSE مجموع مربعات خطا و SST مجموع مربعات کل است. هر چه R² بزرگ‌تر و VIF کوچک‌تر دقت روش‌ها بیشتر است [۵ و ۳۲].

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در جدول (۲) و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ۱۲ بافت خاک نشان داده شده است. خاک‌های مورد پژوهش از نظر وجود خاکدانه شرایط ضعیفی را نشان دادند. اسیدیته خاک‌ها کم‌تر از ۸/۵ و درصد سدیم قابل تبادل آنها کم‌تر از ۱۵ بود که این مقادیر غیر سدیمی بودن خاک‌ها را نشان داد [۳۵]. همان‌گونه که در جدول (۲) نشان

ترسیم شد. آماره (R²) ضریب تبیین و آماره هم خطی^۱ عامل تورم واریانس^۲ (VIF) (معادله‌های ۱ و ۲) به منظور ارزیابی منظور ارزیابی دقت برازش رگرسیون بر داده‌های مورد پژوهش استفاده شد.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{SSE}{SST} \right) \quad (1)$$

$$VIF = \frac{1}{(1-R^2)} \quad (2)$$

که در آن‌ها: R² ضریب تعیین می‌باشد که در محدوده صفر تا ۱ تغییر می‌کند. VIF عامل تورم واریانس واریانس است. هر چه R² به عدد ۱ نزدیک‌تر و VIF کوچک‌تر باشد، نتیجه به دست آمده

1. Collinearity statistics
2. Variance inflation factor

داده شده است درصد مواد آلی خاک‌ها عمدتاً کم‌تر از یک درصد بود [۱۹]. جرم مخصوص ظاهری خاک‌ها از ۱/۰۷ برای بافت رس تا ۱/۶۸ برای بافت شن متغییر بود (جدول ۲). خاک‌های مورد پژوهش از نظر درصد کربنات کلسیم معادل (بیش‌تر از ۱۰ درصد)، به جز بافت‌های لوم، لومی شنی و شنی عمدتاً در ردیف خاک‌های آهکی و در مواردی هم‌چنین به دلیل داشتن مقدار نسبتاً زیادی گچ (بیش‌تر از ۵ درصد) در ردیف عنوان خاک گچی-آهکی (سیلت و رس سیلتی) [۳۵] بودند.

فرسایش پاشمانی در خاک‌ها

فرض صفر مبنی بر نرمال بودن داده‌ها فرسایش پاشمانی با شاخص کولموگروف-اسمیرنوف معادل ۰/۰۷ در سطح ۰/۰۵ درصد تأیید شد. [۹].

جدول ۳- اثرات اصلی و متقابل متغیرها

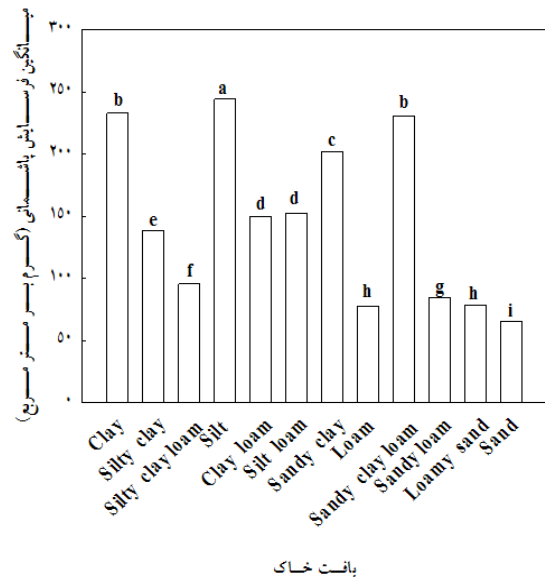
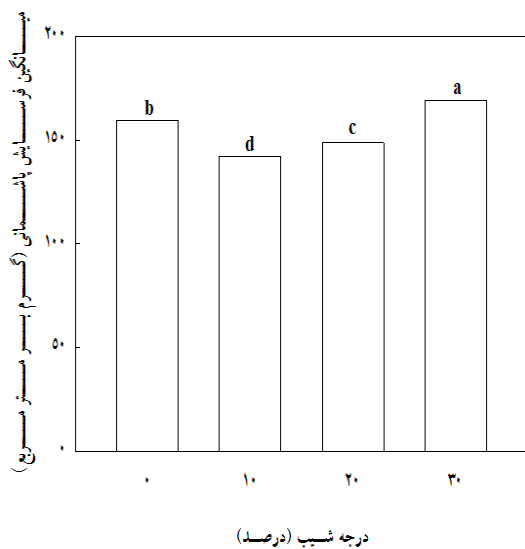
Table3. The main and interaction effects of variables

منبع Source	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean square	سطح معنی‌داری Level of Significance
بافت خاک Soil texture	11	1086.36	<0.001
درجه شیب Slope degree	3	113.48	<0.001
بافت خاک × درجه شیب ×Soil texture Slope degree	33	23	<0.001

تحلیل‌های آماری نشان داد که میزان فرسایش پاشمانی تحت تأثیر بافت خاک ($P < 0/001$)، شیب سطح ($P < 0/001$) و برهم‌کنش بین آن دو ($P < 0/001$) قرار داشتند (جدول ۳).

شکل (۲) نمودارهای ستونی میانگین فرسایش پاشمانی در چهار سطح شیب و ۱۲ کلاس بافت خاک را نشان می‌دهد. شیب ۳۰ درصد بالاترین و شیب ۱۰ درصد کم‌ترین میانگین فرسایش ناشی از قطرات باران را نشان دادند. این نتایج با یافته‌های محمودآبادی و ارجمند سجادی [۲۶] که بیان داشتند افزایش زاویه شیب بالاتر از ۱۰ درصد باعث افزایش بار رسوب می‌شود، مطابقت داشت. بالاتر بودن میانگین فرسایش پاشمانی در شیب ۳۰ درصد نسبت به سایر سطوح شیب مورد آزمایش ممکن است به این دلیل باشد که با افزایش زاویه شیب از صفر تا ۳۰ درصد، زاویه شیب از زاویه مقاومت در برابر حرکت ذرات ساکن بر سطح بزرگ‌تر شود و سقوط و حرکت رو

به پایین ذرات به واسطه جریان ناشی از قطرات باران آغاز می‌شود [۲۰]. بررسی شدت وقوع فرسایش پاشمانی در خاک‌های مختلف نشان داد که خاک سیلتی با میانگین ۲۴۴/۲ گرم بر متر مربع بالاترین میزان فرسایش پاشمانی و خاک شنی با میانگین ۶۵/۷۱ گرم بر متر مربع کم‌ترین میانگین فرسایش پاشمانی را نشان دادند. نقش نوع خاک در تغییر شدت فرسایش پاشمانی در پژوهش‌های پیشین نیز اشاره شده است این نتایج با یافته‌های سایر پژوهش‌گران [۱، ۶ و ۲۴۵] مطابقت داشت. کاهش میزان فرسایش پاشمانی خاک شنی شاید به این دلیل باشد که مقاومت در برابر حرکت ذره روی سطح به طور کلی با افزایش اندازه ذره افزایش می‌یابد. با این وجود در بسیاری از موارد با کاهش اندازه ذرات، مقاومت در برابر حرکت دوباره افزایش یافت. این نتایج با یافته‌های مورگان [۲۸] که گزارش داد فرسایش پاشمانی خاک رسی کم‌ترین و خاک شنی بیش‌ترین تحت باران با شدت بارندگی ۸۰ میلی‌متر بر ساعت می‌باشد، مطابقت نداشت. به نظر می‌رسد دلیل این تفاوت به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و شرایط آزمایشی متفاوت خاک‌های مورد مطالعه در این دو پژوهش مرتبط باشد. به طور کلی برای ذرات دانه ریز (رسی) در حالت مرطوب به دلیل افزایش چسبندگی و ذرات دانه درشت (شنی) در حالت خشک به دلیل افزایش اصطکاک، مقاومت در برابر حرکت در روی سطوح شیب‌دار افزایش می‌یابد [۲۰] به همین دلیل انتظار می‌رفت خاک دانه ریز رسی در برابر جریان ناشی از قطرات باران در روی شیب مقاومت بالاتری از سایر ذرات از خود نشان دهد و میزان فرسایش پاشمانی آن نسبت به سایر بافت‌ها کم‌تر باشد، با این وجود میزان فرسایش پاشمانی این بافت خاک بالاتر از بسیاری از بافت‌ها مورد پژوهش به جز خاک سیلتی بود که این موضوع می‌تواند به تأثیر انرژی بر انتقال ذرات ریزتر و توان کم‌تر آن برای ذرات درشت‌تر مرتبط باشد (شکل ۲ ب). افزایش فرسایش پاشمانی بافت رسی علاوه بر اندازه ذرات به سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش نیز می‌تواند مرتبط باشد [۱]. با برخورد قطرات باران بر سطح خاک در حالت بدون اعمال شیب جداسازی ذرات از توده اصلی و پراکنش این ذرات به اطراف مشاهده شد که این حالت در همه واحدهای آزمایشی مشابه بود. با این وجود هنگامی که جعبه‌ها در حالت شیب‌دار قرار گرفتند جداسازی ذرات خاک توسط قطره باران همراه با انتقال ذرات توسط جریان ناشی از قطره باران برای برخی از خاک‌های از جمله رسی، سیلتی، لوم رسی و لوم سیلتی مشاهده شد. این نتایج با نتایج مطالعات مروری کینل [۱۴] که بیان می‌دارد پراکنش و انتقال ذرات در فرسایش پاشمانی تحت تأثیر چندین فرآیند متفاوت می‌باشد، مطابقت داشت. هر چه بافت خاک ریزتر باشد از رسی تا شنی همانگونه که در جدول (۱) نشان داده شده است هدایت هیدرولیکی آن خاک کم‌تر و در نتیجه سرعت نفوذ آب در خاک کاهش نشان داد و مشاهده پدیده انتقال ذرات توسط جریان ناشی از قطرات باران بالاتر بود. با وجود آن که هدایت هیدرولیکی خاک سیلت بیش‌تر از خاک رس بود به دلیل



b (ب)

a (الف)

شکل ۲- میانگین فرسایش پاشمانی برای بافت‌های خاک (الف) و سطوح شیب (ب) (ستونهای با حروف یکسان از لحاظ آماری اختلافی معنی دار را نشان ندادند)

Figure 2. Mean of the splash erosion for soil textures (a) and slope degrees (b) (no significant among columns with the same letters)

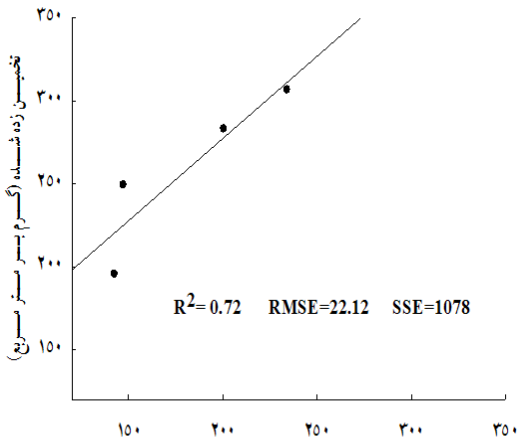
ظروف پاشمان منتقل کردند مرتبط باشد. و این گونه توجیه نمود که افزایش اندکی در سطح شیب باعث کاهش تعداد قطرات باران وارد شده بر سطح جعبه‌های خاک شده است و شدت پراکنش ذرات خاک در اثر اصابت قطرات باران کاهش یافته است. به علاوه در شیب ۱۰ درصد جریان‌های ضعیف ناشی از قطرات باران در هیچ یک از بافت‌های مورد پژوهش مشاهده نشد. با افزایش شیب از ۱۰ تا ۳۰ درصد کاهش تعداد قطرات وارد بر سطح مشاهده شد. با این وجود جریان‌های ضعیف ناشی از قطرات باران در سطح شیب ۲۰ درصد و به طور محسوس‌تر در سطح شیب ۳۰ درصد به ویژه در خاک‌های ریزبافت‌تر سیلتی، رسی، رسی شنی و لومی رسی شنی مشاهده شد. این نتایج با یافته‌های کامالو و ریکسون [۱۰] و ویلاونگ و همکاران [۴۴] مطابقت داشت. آنها گزارش دادند که با افزایش شیب علاوه بر تأثیر قطرات باران بر جداسازی ذرات خاک جریان‌های ناشی از قطرات باران نیز بر جداسازی ذرات اثر می‌گذارند. هم‌چنین این نتایج با نتایج گزارش شده توسط سعیدی و همکاران (۳۳) و یوسفی و همکاران (۴۸) که بیان داشتند افزایش شیب افزایش پاشمان را به دنبال دارد مشابهت داشت، با این وجود به دلیل آنکه خاک‌های مورد بررسی این پژوهشگران از تنوع بافتی برخوردار نبوده، چگونگی تأثیر زاویه شیب بر خاک‌های با ویژگی‌های متفاوت چندان مورد توجه قرار نگرفته است. به نظر می‌رسد دلیل بالا بودن فرسایش پاشمانی خاک‌های ریزبافت‌تر در شیب‌های تندتر به تأثیر توامان قطرات باران و جریان‌های ناشی از قطرات باران مرتبط باشد. ویلاونگ و همکاران [۴۴] نشان دادند فرسایش پاشمانی خاک شنی در یک

پایین بودن خاصیت چسبندگی خاک سیلت نسبت به خاک رس نیروی مقاومت ذرات سیلت در برابر حرکت روی سطوح شیب‌دار کم‌تر از بافت رسی بود [۴۷] و مقدار هدررفت بافت سیلت بیش‌تر از بافت رس مشاهده شد. به علاوه همواره بخشی از ذرات خاک که در اثر برخورد قطرات باران از توده اصلی خاک جدا می‌شود به صورت جریان برگشتی مجدداً به سطح تیمارهای بازگشت می‌نمایند [۱۳]. در این پژوهش جریان‌های ناشی از قطرات باران بر سطح خاک‌ها مانند سیلتی، رسی، لوم رسی شنی و لوم رسی مشاهده شد، این جریان‌ها ذرات خاک پاشمان یافته برگشتی بر سطح جعبه‌های پاشمان را با خود حمل و به داخل جعبه‌های پاشمان منتقل کردند. به نظر می‌رسد دلیل افزایش میزان فرسایش پاشمانی خاک‌های با بافت رسی، سیلتی، رسی شنی و لوم رسی شنی به این پدیده مرتبط باشد. با این وجود در خاک‌های درشت بافت مانند شنی، شنی لومی و لومی شنی جریان‌های ناشی از قطرات باران بر سطح جعبه‌های خاک مشاهده نشد. به علاوه هنگامی که سطوح شیب بر تیمارهای مورد آزمایش اعمال شد مشاهده شد که تعداد قطرات باران وارد شده بر سطح جعبه‌های خاک با افزایش زاویه شیب کاهش می‌یابد [۳۶]. با افزایش شیب از صفر به ۱۰ درصد کاهش فرسایش پاشمانی و با افزایش شیب از ۱۰ درصد به ۲۰ تا ۳۰ درصد افزایش فرسایش پاشمانی مشاهده شد (شکل ۲ الف). دلیل این تغییرات ممکن است به انتقال ذرات از پیش جدا شده و ذرات بازگشتی به سطح توسط جریان‌های ضعیف سطحی که هر چند توان جدا کردن ذرات از توده خاک را نداشتند با این وجود ذرات از پیش جدا شده را به درون

$$\begin{aligned} \text{Splash erosion} &= -3.74 + (3.69 \times \text{Lime}) + (13.14 \times \text{Gypsum}) - (3.11 \times \text{OM}) + (3.84 \times \text{Sand}) \\ &\quad - (0.53 \times \text{Clay}) - (41.07 \times \text{Pb}) - (642.27 \times \text{Dg}) + (0.56 \times \text{Ks}) \quad R^2 = 0.93 \quad S_{\text{Est}} \\ &= 8.04 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Splash erosion} &= 19.21 + (3.21 \times \text{Lime}) + (5.79 \times \text{Gypsum}) - (47.23 \times \text{OM}) \quad R^2 = 0.75 \quad S_{\text{Est}} \\ &= 55.54 \end{aligned} \quad (4)$$

حاصل شده می باشد (شکل ۳).



اندازه گیری شده (گرم بر متر مربع)

شکل ۳- مقادیر برآورد شده و اندازه گیری شده فرسایش پاشمانی برای چهار خاک با بافت سیلتی، رسی شنی، رسی و لومی

Fig3. Estimated and measured amounts of splash erosion textures of with silt, sand clay, clay and loam for four soil

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که فرسایش پاشمانی به شدت تحت تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، شیب سطح و برهم کنش بین آن دو قرار دارد. بیشترین و کمترین میزان فرسایش پاشمانی به ترتیب در خاک سیلتی و شنی مشاهده شد. تغییرات فرسایش پاشمانی در خاک‌های مورد بررسی تحت تأثیر درصد کربنات کلسیم معادل، درصد گچ و درصد مواد آلی قرار دارد. به طور کلی میزان فرسایش پاشمانی در شیب ۱۰ درصد به دلیل اصابت تعداد قطرات کم‌تر بر سطح خاک کم‌ترین مقدار بود. در شیب ۳۰ درصد به دلیل افزایش زاویه شیب و به دنبال آن کاهش ضریب اصطکاک ذرات از پیش جدا شده با سطح خاک فرسایش پاشمانی بیش‌ترین مقدار بود. تغییرات فرسایش پاشمانی با افزایش شیب سطح در خاک‌های با بافت ریز بسیار بارز بود. این موضوع به دلیل تأثیر بارز شیب بر کاهش نفوذ آب به خاک، افزایش وقوع جریان‌های ناشی از قطرات باران و همچنین کاهش اصطکاک ذرات با سطح و در نتیجه ناپایداری ذرات در این خاک‌ها بود. به طور کلی این پژوهش نشان می‌دهد که خاک سیلتی حساس‌ترین خاک به فرسایش پاشمانی است و ویژگی‌های خاک از عوامل مهم تعیین کننده شدت فرسایش

منطقه مرطوب در ژاپن در شیب ۹ درصد با شدت بارش ۷۰ میلی‌متر در ساعت به مدت ۱۰ دقیقه برابر ۷۰ گرم بر متر مربع می‌باشد. که این مقدار برابر فرسایش پاشمانی خاک شنی در شیب ۱۰ درصد تحت شدت بارندگی ۴۰ میلی‌متر بر ساعت به مدت ۱۰ دقیقه مناطق خشک و نیمه خشک (مورد پژوهش) می‌باشد.

رابطه شدت فرسایش پاشمانی و ویژگی‌های خاک برای ارائه مدل رگرسیونی خطی چندگانه از میانگین داده‌های فرسایش پاشمانی ۱۲ بافت خاک به عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های خاک به عنوان متغیرهای مستقل استفاده شد. عدم همبستگی بین خطاها و نرمال بودن متغیر وابسته شروط اولیه برای استفاده از رگرسیون خطی ساده یا چندگانه است [۳۳]. آماره دوربین واتسون داده‌ها برابر ۲/۴۹ بود که نشان دهنده عدم همبستگی خطاها (استقلال خطاها) بود. شاخص کولموگروف-اسمیرنوف برابر ۰/۰۸ بود و نشان داد که داده‌های فرسایش پاشمانی از توزیع نرمال پیروی می‌کنند [۳۷]. آماره هم‌خطی عامل تورمی واریانس^۱ (VIF) هنگامی که از مدل رگرسیونی خطی چندگانه استفاده شد برای درصد شن، جرم مخصوص ظاهری، قطر هندسی اندازه ذرات و هدایت هیدرولیکی اعداد بالاتر از ۱۰ را نشان داد. $VIF < 10$ منجر به پدیده هم خطی مدل رگرسیونی خطی چندگانه شد. جهت رفع این مشکل از روش رگرسیون ریدج (معادله ۳) و رگرسیون گام به گام (معادله ۴) به منظور کاهش شاخص VIF متغیرهای مستقل به کم‌تر از ۱۰ و تصحیح ضرایب مدل استفاده شد.

که در آن‌ها: Lime، Gypsum، OM، Sand، Clay، Pb، Dg و Ks به ترتیب درصد کربنات کلسیم معادل، درصد گچ، ماده آلی، درصد شن، درصد رس، درصد سنگ‌ریزه، جرم مخصوص ظاهری (g/cm³)، قطر هندسی اندازه ذرات و هدایت هیدرولیکی (cm/day) و S_{Est} خطای استاندارد تخمین می‌باشد. مدل رگرسیونی ریدج (معادله ۳) مشکل هم خطی چندگانه مدل رگرسیونی خطی چندگانه را نداشت. با این وجود کاربرد مدل رگرسیونی ریدج با تعداد متغیرهای ورودی زیاد دشوار و پیچیده به نظر می‌رسد. بنابراین استفاده از مدل‌های رگرسیونی گام به گام با تعداد ورودی کم‌تر مفید به نظر می‌رسد (معادله ۴). از برآزش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ۴ نمونه خاک با بافت‌های سیلتی، رسی، لومی و رسی شنی که در ایجاد معادله نهایی استفاده نشده بود جهت ارزیابی معادله (۴) استفاده شد و میزان فرسایش پاشمانی تخمین زده شده این خاک‌ها با ضریب تبیین ۰/۷۲ و ریشه میانگین مربعات خطای ۲۲/۱۲ حاصل شد که نشان از دقت مناسب معادله (۴) با ۷۲ درصد اطمینان از نتایج

1. Variance inflation factor (VIF)

10. Kamalu, C. and Rickson, R. J. 1994. The effect of slope length and inclination on the separate and combined actions of rain splash and runoff. In *Conserving soil resources: European perspectives. Selected papers from the first international congress of the European society for soil conservation.* (pp. 143-149). CAB INTERNATIONAL.

11. Kay, B.D. and, Angers D.A. 1999. Soil structure. In: Sumner ME (ed.) *Handbook of Soil Science.* CRC Press, Boca Raton, FL. A229-A276.

12. Kiani harchegani, M. Sadeghi H.R. and, Asadi H. 2015. Comparative analysis of the effects of rainfall intensity and experimental plot slope on raindrop impact induced erosion (RIIE). *Iranian Journal of Soil and Water Research.* 46(4): 631-640 (in Persian).

13. Kinnell P.I.A. 2011. The source of sediment transported by raindrop induced saltation. *Journal of Hydrology.* 410: 31-38

14. Kinnell, P.I.A. 2005. Raindrop-impact-induced erosion processes and prediction: a Review. *Hydrological Processes.* 19: 2815-2844.

15. Kinnell, P.I.A. 2009. The influence of raindrop induced saltation on particle size distributions in sediment discharged by rain-impacted flow on planar surfaces. *Catena.* 78: 2-11.

16. Lado, M. Paz A. and Ben-hur, M. 2004. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation and soil loss. *Soil Science Society American Journal.* 68: 935-942.

17. Lal, R. 1990. *Soil Erosion in the Tropics: Principles and Management.* McGraw-Hill, 580 pp.

18. Lal, R. 1994. *Soil erosion research methods.* CRC Press.

20. Lal, R. 2000. Physical management of soils of the tropics: priorities for the 21st century. *Soil Science.* 165(3): 191-207.

21. Lanza, N. L. Newsom, H. E. and Osterloo, M. M. 2011. The Systematic Effects of Martian Gravity on Hillslope Materials and Mass Movement Processes. In *Lunar and Planetary Institute Science Conference Abstracts (Vol. 42, p. 2383).*

22. Lazaro, R., Rodrigo, F.S., Gutierrez, L., Domingo, F., and J., Puigdefabregas. 2001. Analysis of a 30-year rainfall record (1967-1997) in semi-arid SE Spain for implications

پاشماني در خاک‌های منطقه خشک و نیمه‌خشک است. در پایان جهت پژوهش‌های آتی ۱. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی تأثیر افزایش توأمان طول شیب و زاویه شیب به همراه زبری سطح خاک بر میزان فرسایش ناشی از قطرات باران در بافت‌های مختلف خاک مورد بررسی قرار گیرد. ۲. پیشنهاد می‌شود علاوه بر زاویه شیب تأثیر محتوای رطوبت پیشین خاک و اثرات متقابل این دو عامل بر میزان فرسایش پاشماني بافت‌های مختلف خاک مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

1. Battany, M. C., and Grismer, M. E. 2000. Rainfall runoff and erosion in Napa Valley vineyards: effects of slope cover and surface roughness. *Hydrological Processes.* 14(7): 1289-1304.

2. Chaplot, V.A.M. and Bissonnais, Y. Le. 2003. Runoff features for interrill erosion at different Rainfall intensities, slope lengths, and gradients in an agricultural loessial hill slope. *Soil Science Society American Journal.* 67: 844-851.

3. Ekwue, E.I. and Harrilal, A. 2010. Effect of soil type, peat, slope, compaction effort and their interactions on infiltration, runoff and raindrop erosion of some Trinidadian soils. *Biosystem Engineering.* 105: 112-118.

4. El-Dereny, M. and Rashwan, N. I. 2011. Solving multicollinearity problem using ridge regression models. *Int. J. Contemp. Math. Sciences.* 6(12): 585-600.

5. Fan, J. C. and Wu, M. F. 1999. Effects of soil strength, texture, slope steepness and rainfall intensity on interrill erosion of some soils in Taiwan. In 10th International Soil Conservation Organization meeting, Purdue University, USDA-ARS national soil erosion research laboratory.

6. Fu, S. Liu, B. Liu, H. and Xu, L. 2011. The effect of slope on interrill erosion at short slopes. *Catena.* 84 (1): 29-34.

7. Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1. In: physical and mineralogical methods.* Soil Science Society American Journal, Madison, WI. Pp.383-411.

8. Jabarifar, M. Khalili Moghadam, B. and Bagheri Bodaghabadi, M. 2016. Modeling of Splash Erosion using Fuzzy Logic Approach in Part of Northern Karoon Basin. *Water and Soil Science.* 75: 187-199 (in Persian).

9. Joanes, D. N. and Gill, C. A. 1998. Comparing measures of sample skewness and kurtosis. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician).* 47(1):

36. Shirazi, M. A. and Boersma, L. 1984. A unifying quantitative analysis of soil texture. *Soil Science Society of America Journal*. 48(1): 142–147.
37. Soil Survey Staff. 2014. *Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report No. 51, Version 2.0. R. Burt and Soil Survey Staff (Ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
38. Tabachnick, B. G. and Fidell, L. S. 2007. *Using multivariate statistics*, 5th. Needham Height, MA: Allyn and Bacon
39. Tejada, M. and Gonzalez, J. L. 2006. The relationships between erodibility and erosion in a soil treated with two organic amendments. *Soil and Tillage Research*. 91(1): 186–198.
40. Torri, D. and Poesen, J. 1988. The effect of cup size on splash detachment and transport measurements. Part II: field measurements. *Catena*, Suppl. 12: 113–126.
41. Torri, D. and Poesen, J. 1992. The effect of soil surface slope on raindrop detachment. *Catena*. 16:561–578.
42. Truman, C. C. and Bradford, J. M. 1990. Effect of antecedent soil moisture on splash detachment under simulated rainfall. *Soil Science*. 150(5): 787–798.
43. Vaezi, A. R. Hasanzadeh, H. and Cerdà, A. 2016. Developing an erodibility triangle for soil textures in semi-arid regions, NW Iran. *CATENA*. 142: 221–232.
44. Vaezi, A. Akbari, S. and Mohamadi, M. 2015. Study of rainfall processes in calcareous soils aggregates under laboratory conditions in NW Zanzan, Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 45(1):87-94 (in Persian).
45. Van Dijk, A.I.J.M. Bruijnzeel, M. and Eisma, E.H. 2003. A methodology to study rain splash and Wash processes under natural rainfall. *Hydrol. Process*. 17: 153–167.
46. Vilayvong K. Yasufuku N. and Ishikura, R. 2016. Rainfall-induced soil erosion and sediment sizes of a residual soil under 1D and 2D rainfall experiments. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 218: 171 – 180.
47. Watung, R.L. Sutherland, R. A. and Swaify, S.A. 1996. Influence of rainfall energy flux density and antecedent soil moisture content on splash transport and aggregate enrichment ratios for a Hawaiian Oxisol. *Soil Technology* 9: 251-272.
48. Wei, H. Nearing, M.A. Stone, J.J. Guertin, D.P. Spaeth on vegetation. *Journal of Arid Environments*. 48: 373–395.
23. Le Bissonnais, Y., Renaux, B., and H. Delouche. 1995. Interactions between soil properties and moisture content in crust formation, runoff and interrill erosion from tilled loess soils. *Catena*. 25(1): 33-46
24. under rainfall conditions using the run off-on-out method. *Journal of Hydrology*. 396(1):24–32.
25. Lu, J. Zheng, F. Li, G. Bian, F. and an, J. 2016. The effects of raindrop impact and runoff detachment on hillslope soil erosion and soil aggregate loss in the Mollisol region of Northeast China. *Soil and Tillage Research*. 161: 79-85.
26. Lungu. M. Panaitescu, L. and Niță, S. 2011. Aridity, climatic risk phenomenon in Dobrudja. *Present environment and sustainable development*. 5(1): 179-190.
27. Mahmoodabadi, M. and Arjmand, S. S. 2016. Effects of rain intensity, slope gradient and particle size distribution on the relative contributions of splash and wash loads to rain-induced erosion. *Geomorphology*. 253:159-167.
28. Modarres, R. and de Paulo Rodrigues da Silva, V. 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments*. 70: 344–355.
30. Morgan, R.P.C. 2001. A simple approach to soil loss prediction: a revised Morgan- Morgan-Finney model. *Catena*. 44 (4): 305–322.
31. Moss, A. J. and Green, P. 1983. Movement of solids in air and water by raindrop impact. Effects of drop-size and water-depth variations. *Soil Research*. 21(3): 257-269.
32. Page, A.L. Miller, R.H. and Jeeney, D.R. 1992. *Methods of soil analysis, part 2. Chemical and Mineralogical Properties*. Soil Science Society American Publication, Madison (1159 pp.).
33. Ramos. M. C. Nacci, S. and Pla, I. 2003. Effect of raindrop impact and its relationship with aggregate stability to different disaggregation forces. *Catena*. 53(4): 365-376.
34. Rezaie Pasha, M. Kavian, A. and Vahabzade, GH. 2012. Experimental study of splash erosion and its relation with some soil properties in three adjacent land uses (a case study: Kasilian Watershed) *Journal of Water and Soil Science* 15(58): 257-269(in Persian).
35. Saedi, T. Shorafa, M. Gorji, M. and Moghadam, B. K. 2016. Indirect and direct effects of soil properties on soil splash erosion rate in calcareous soils of the central Zagross, Iran: A laboratory study. *Geoderma*. 271: 1-9.

50. Yusefi, A. Farrokhian Firouzi, A. and Khalili Moghaddam, B. 2014. Evaluation of temporal variation of splash erosion in different slopes and agricultural and forest land uses. *Journal of Water and Soil Resources Conservation* 3(3): 11-20 (in Persian).

K.E. Pierson, F.B. Nichols, M.H. and Moffett, C.A. 2008. A new splash and sheet erosion equation for rangelands. *Soil Science Society American Journal* 73:1386-1392.

49. Wuddivira, M.N. Stone R.J. and. Ekwue, E.I. 2009. Clay, organic matter, and wetting effects on splash detachment and aggregate breakdown under intense rainfall. *Soil Science Society American Journal*. 73: 226–232.

*Abstract***Variability of Splash Erosion from Slope Gradient and Soil Properties**A. Baliani¹, A.R. Vaezi² and H. Emami³

Received:2016/11/10 Accepted : 2017/07/24

Soils in arid and semi-arid regions are strongly affected by the accumulation of salts, especially carbonates and gypsum. The soils are inherently low in organic matter content and in consequence unstable in the structure which declines the soil's resistance to water erosion processes. Moreover, the soils are weakly covered with natural vegetation cover which exposes surface soil to erosive factors, particularly raindrop impact. Therefore, this study was conducted to investigate the splash erosion rate in relation to slope gradient in the soils with different properties. Toward this, twelve soil texture classes were exposed to simulated rainfalls with 40 mm per hour in intensity for 10-min in four slope gradients (0, 10, 20, and 30%). A total of 144 experimental soil boxes with 25 cm × 35 cm in dimensions were investigated using the completely randomized block design. The results of this study showed that significant difference was found among the soils in splash erosion ($P < 0.001$). Among the soils, the highest splash erosion rate was observed in Silt (244.20 gram m⁻²), while sand showed the lowest value (65.71 gram m⁻²). Splash erosion rate was significantly affected by slope gradient. Splash erosion showed a decreasing trend from 0 to 10 slope degrees and increasing trend from 10 to 30 slope degrees. Significant correlations were found between splash erosion and sand, clay, geometric mean particle diameter, bulk density, saturated hydraulic conductivity, organic matter, calcium bicarbonate equivalent and gypsum. Multiple linear regression analysis indicated that the splash erosion was significantly related to the Organic matter, Calcium Carbonate Equivalent and gypsum with a coefficient of determination of 0.75. The soil's susceptibility of arid and semi-arid regions to splash erosion can be initially estimated using a regression equation based on these variables.

Keywords: *Soil texture, Surface slope, Raindrop impact, Rainfall simulation, Regression equation.*

1. Zanjan University PhD student of Soil Science, Agriculture Faculty, University of Zanjan Corresponding author Email: alibaliani63@gmail.com

2. Associate Professor of Soil Science, Agriculture Faculty, University of Zanjan

3. Assistant Professor of Statistics Department- Science Faculty- University of Zanjan