

توزیع اندازه ذرات پاشمان در طول فلوام آزمایشگاهی تحت تأثیر شیبها و شدت‌های مختلف بارندگی

سید حمیدرضا صادقی^{۱*}، محبوبه کیانی هرچگانی^۲، حسین اسدی^۳

۱. استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران

۲. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس مازندران

۳. دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۶/۱۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۲/۴)

چکیده

جدایش و انتقال پاشمانی ذرات خاک به وسیله اثر قطرات باران به عنوان شروع فرآیند فرسایش آبی محسوب می‌شود. در نتیجه پاشمان، توزیع اندازه ذرات رسوبی ناشی از آن در مراحل دیگر فرآیند فرسایش بسیار مهم و تأثیرگذار ارزیابی شده است. حال آن‌که تغییرپذیری توزیع اندازه ذرات پاشمان در شرایط مختلف کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. لذا در تحقیق حاضر به بررسی اثر یک‌جانبه و متقابل شیب و شدت بارندگی در بالادست و پایین‌دست فنجان پاشمان به صورت جداگانه روی مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات رسوبی پاشمان شده با استفاده از آزمون تحلیل واریانس دوطرفه پرداخته شده است. همچنین گروه‌بندی مؤلفه‌ها با استفاده از آزمون توکی در نرم‌افزار RStudio انجام شد. نتایج آزمون تحلیل واریانس دوطرفه نشان داد که شدت‌های مختلف بارندگی تأثیر معنی‌داری بر همه مؤلفه‌ها غیر از ذرات کوچک‌تر از ۲ میکرون و چولگی ذرات رسوبی در بالادست فنجان پاشمان داشت؛ اما در پایین‌دست فنجان پاشمان همه مؤلفه‌ها غیر از D_{10} ، جورشدگی و کشیدگی ذرات رسوبی نسبت به شدت‌های مختلف بارندگی، شیب‌های مختلف و تعامل آن‌ها دارای اختلاف معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بودند که نتایج آزمون توکی نیز بیان‌گر تأثیرپذیری بیش‌تر متغیرهای مذکور از شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت نسبت به ۳۰ و ۶۰ میلی‌متر بر ساعت بود.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌ساز باران، مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات رسوب، نرم‌افزار RStudio

مقدمه

فرسایش آبی با جدایش و انتقال ذرات خاک به وسیله اثر قطرات باران در سطح خاک شروع می‌شود. در نتیجه فرآیند تخریب ناشی از اثر قطرات باران، ذرات خاک جدا شده، توسط یک یا برخی از فرآیندهای انتقال مثل پاشمان^۱ (ST)، یا انتقال درونی جریان ناشی از قطرات^۲ (RIFT) و یا جریان^۳ (FT) از محل اصلی خود دور می‌شوند. زمانی که انرژی جریان به حد آستانه (بحرانی) کندن و انتقال ذرات نرسیده باشد، ایجاد فرسایش (جدا شدن و انتقال) صرفاً در اثر برخورد قطرات باران^۴ (RIIE) است (Kinnell, 2005) که عامل اصلی در فرسایش بین‌شیاری نیز محسوب می‌شود. در نتیجه فرسایش ناشی از اثر قطرات باران توزیع مجدد ذرات جدا شده و تخریب ساختمان خاک سطحی رخ می‌دهد (Legout et al 2005; Kinnell, 2005; Zhang et al 2011). از دهه ۱۹۴۰

اندازه‌گیری کمی تخریب خاک و انتقال رسوبات ناشی از آن توسط قطرات باران با استفاده از فنجان‌های پاشمان (Ellison, 1944; Ekern, 1950; Terry, 1998; Legout et al 2005; Fu et al, 2011) و سپس توسعه مطالعات توسط محققان مختلف در آزمایشگاه و عرصه‌های طبیعی از دیدگاه‌های مختلف و در شیب‌ها (Torri and Poesen, 1992; Misra and Rose, 1995; Janeau et al 2003; Fu et al 2011 Gerits et al 1990; Barry et al 2010; Goebes et al 2014; Yusefi et al 2014) آغاز شده است و در دهه‌های اخیر مطالعات محدودی به توزیع اندازه ذرات پاشمان شده توسط انرژی قطرات باران و یا باران و باد به‌طور هم‌زمان پرداخته‌اند. توزیع اندازه ذرات پاشمان شده هم به خصوصیات خاک در مرحله شکستن خاک‌دانه‌ها و هم به خصوصیات بارندگی مخصوصاً انرژی جنبشی قطرات باران در مرحله انتقال و شیب دامنه وابسته می‌باشد. مطالعات زیادی در زمینه خاک‌دانه‌های خاک به‌عنوان یک عامل بسیار مهم و تأثیرگذار در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک (Huang et al 2010 and Falson et al 2012) و همچنین مؤثر در انتخاب اندازه ذرات پاشمان شده توسط قطرات باران (Leguédou and Bissonais,

* نویسنده مسئول: Sadeghi@modares.ac.ir

1. Transport by raindrop Splash (ST)
2. Raindrop-Induced Flow Transport (RIFT)
3. Transport by Flow (FT)
4. Raindrop Impact Induced Erosion (RIIE)

مواد و روش‌ها

از آنجایی که فرسایش پاشمانی بخش ابتدایی فرآیند تکاملی فرسایش خاک محسوب می‌شود، لذا برای درک صحیح این فرآیند و همچنین لحاظ مدت زمان‌های متفاوت فرسایش پاشمانی در شیب‌ها و شدت‌های مختلف بارندگی تا زمان شروع فرسایش بین‌شیاری، آماده‌سازی شرایط شبیه‌سازی آزمایش‌ها در پژوهش حاضر به صورت زیر انجام پذیرفت. برای این منظور ابتدا خاک مورد مطالعه در فلوم‌های آزمایشی بارگذاری و پس از ایجاد شرایط مناسب اجرایی به شرح ذیل، فنجان‌های فرسایشی در بخش‌های مورد نظر مستقر و آزمایش‌های مربوطه انجام شد.

- آماده‌سازی شرایط شبیه‌ساز باران

برای انجام پژوهش آماده‌سازی شرایط شبیه‌ساز باران و فرسایش خاک دانشگاه تربیت مدرس در سه شیب ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد و برای سه شدت بارش ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت و روی یک نمونه خاک برداشت‌شده از مراتع ییلاقی دامنه‌های شمالی البرز در حدفاصل جاده کدیر- کجور، با طول و عرض جغرافیایی نقطه نمونه‌برداری به ترتیب $44^{\circ} 51'$ و $24^{\circ} 36'$ انجام گرفت. نمونه خاک برداشت‌شده به آزمایشگاه منتقل و آماده‌سازی خاک مثل هوا خشک کردن تا حد رطوبت بهینه (Fox and Brayan, 1999) و حذف سنگ‌ریزه و بقایای گیاهی (Agassi and Bradford, 1999) انجام و از الک ۸ میلی‌متری عبور داده و به خوبی مخلوط شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مورد استفاده اندازه‌گیری شد که به اختصار در جدول (۱) ارائه شده است. قبل از انتقال خاک به درون فلوم، لایه زهکشی از جنس پوک معدنی به صورت تغییر تدریجی اندازه ذرات از بادامی تا ریزدانه از عمق به سطح به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر در کف فلوم تعبیه شد (Khaledi Darvishan et al, 2014). نمونه خاک موردنظر در دو لایه ۵ سانتی‌متری در فلوم ریخته شد و تا رسیدن به جرم مخصوص ظاهری خاک منطقه مادری (جدول ۱) با لوله پی‌وی‌سی پر شده از سیمان، غلطک زده شد (Hawke et al 2006). بعد از ریخته شدن لایه اول، خاک به صورت عرضی شیار داده شد تا از انقطاع بین لایه اول و دوم جلوگیری شود سپس آزمایش‌های مزبور در سه تکرار و در فلوم آزمایش و روی خاک‌های آماده‌شده اجرا شد. بعد از هر آزمایش ۳ تا ۷ سانتی‌متر از خاک موردنظر در فلوم برای آزمایش‌های بعدی تعویض شد (Armstrong et al 2011) در ادامه و قبل از شروع هر بار آزمایش، نمونه خاک برای رسیدن به رطوبت طبیعی منطقه با یک بارش غیر فرساینده با شدت ۵ میلی‌متر در ساعت مرطوب شد (Khaledi Darvishan et al, 2014).

همین راستا برخی مطالعات به بررسی انتقال انتخابی ذرات اولیه یا خاک‌دانه‌های پاشمان شده نسبت به نمونه خاک‌دانه‌های با اندازه مشخص پرداختند از جمله Sutherland et al (1996) که به بررسی قطر متوسط خاک‌دانه‌ها در پاشمان ناشی از قطرات باران در فلوم با سطح $0/18$ مترمربع و در سه شیب ۵، ۱۰ و ۱۵ درجه و در شدت حدود ۱۰۰ میلی‌متر بر ساعت پرداختند، آن‌ها قطر ذرات پاشمان شده را با استفاده از الک و در ۷ گروه بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که ذرات پاشمان شده دارای قطر متوسط ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرون بوده‌اند و اختلاف معنی‌داری بین قطر متوسط خاک‌دانه‌ها در شیب‌های مختلف وجود نداشت. همچنین Legout et al (2005) رابطه بین اندازه ذرات و فاصله ذرات پاشمان یافته در خاک‌های غرب فرانسه را بررسی کردند. برای این کار خاک‌دانه‌های با قطر ۳ تا ۵ میلی‌متری زیر دستگاه شبیه‌ساز باران قرار داده شدند. نتایج نشان داد که مقدار پاشمان خاک، فاصله خاک پاشمان یافته و توزیع اندازه ذرات خاک به پایداری ساختمان خاک بستگی دارد. بیش‌ترین مقدار پاشمان مربوط به ذرات شن و کم‌ترین آن مربوط به ذرات رس بود که علت این موضوع چسبندگی زیاد ذرات رس و استحکام ساختمان رس‌ها بیان شده است. در همین راستا Ma et al (2014) نیز به بررسی ارتباط بین پایداری خاک‌دانه‌ها و اندازه ذرات پاشمان شده در چهار نوع خاک در شدت بارش حدود ۶۰ میلی‌متر بر ساعت پرداختند. آن‌ها برای بررسی این ارتباط از آنالیز ابعادی^۱ و نسبت غنی‌شدگی^۲ استفاده و بیان نمودند که ذرات پاشمان شده به وسیله قطرات باران در دامنه ۰/۲۵ تا ۰/۵ و ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر قرار داشتند. جمع‌بندی سوابق تحقیق نشان می‌دهد که تاکنون تحقیق جامعی در خصوص توزیع اندازه ذرات رسوبی پاشمان شده ناشی از اثر قطرات باران، در عدم حضور جریان و روی نمونه خاک بدون عمل انتخابی خاک‌دانه‌ها در شیب‌ها و شدت‌های مختلف بارندگی و همچنین اثرات متقابل آن‌ها به‌طور جداگانه در جهت بالادست و پایین‌دست فنجان پاشمان گزارش نشده است. لذا تحقیق حاضر به بررسی اثرات شیب‌های مختلف فلوم آزمایشگاهی و شدت‌های مختلف بارندگی بر خصوصیات توزیع اندازه ذرات رسوبی پاشمان شده ناشی از اثر قطرات باران در بالادست و پایین‌دست فنجان پاشمان و با رعایت حداکثری مهارپذیری شرایط حاکم بر فرسایش خاک و دامنه‌ای گسترده از شدت باران و شیب فلوم پرداخته است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مورد استفاده در آزمایش‌ها

مقادیر	واحد	خصوصیات خاک
۳۱	درصد	ماسه
۵۵	درصد	توزیع اندازه به روش لیزری لای
۱۴	درصد	رس
۱/۴۶	گرم بر سانتی‌متر مکعب	جرم مخصوص ظاهری
۷/۶۵	-	واکنش (عصاره اشباع)
۷/۶۴	میلی‌زیمنس بر متر	هدایت الکتریکی (عصاره اشباع)
۱/۵۱	درصد	کربن آلی
۲/۵	درصد	کربنات کلسیم
۱/۳۸	میلی‌متر	میانگین وزنی قطر خاکدانه (الک خشک)
۰/۹۸	میلی‌متر	میانگین وزنی قطر خاکدانه (الک تر)

و شدت‌های مختلف مطابق شکل (۱) از زمان شروع بارندگی تا زمان جاری شدن رواناب به صورت پایش چشمی طی فرآیند تکاملی فرسایش صورت پذیرفت. برای اطمینان از عدم تأثیر پاشمان از رواناب، طی فرآیند تکاملی فرسایش، بعد از رسیدن اولین قطرات به سرریز فلوم، دهانه ظروف پاشمان سریعاً با قطعات ابری از پیش آماده‌شده پوشانده شد. ذرات خاک پاشمان شده در جهت بالادست و پایین‌دست ظروف فنجان پاشمان در بالا، وسط و پایین طول فلوم در سه شیب و در سه شدت در مجموع به تعداد ۲۷ نمونه در بالادست و ۲۷ نمونه در پایین‌دست برای اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات رسوبی مؤثر توسط دستگاه دانه‌بندی لیزری اندازه‌گیری شد و در نهایت بانک اطلاعاتی توزیع اندازه ذرات رسوبی در شرایط مختلف تهیه و سپس با استفاده از صفحه گسترده GRADISTAT مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات رسوبی مثل درصد ذرات کوچک‌تر از ۲ میکرون، ۲ تا ۶۳ میکرون، بزرگ‌تر از ۶۳ میکرون، میانه، میانگین، نما، چولگی، کشیدگی و جورشدگی به روش ژئومتریک Ward و Folk (Blott and Pye, 2001) محاسبه شد.

- تجزیه و تحلیل‌های آماری

پس از اندازه‌گیری مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات رسوبی مؤثر ناشی از پاشمان قطرات باران، بررسی اثر یک‌جانبه و متقابل شیب و شدت بارندگی در طول فلوم در بالادست فنجان پاشمان و پایین‌دست فنجان پاشمان به صورت جداگانه با استفاده از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه و گروه‌بندی متغیرها با استفاده از آزمون توکی^۱ در نرم‌افزار RStudio 3.1.3 انجام شد.

در آزمایش‌های شبیه‌سازی باران از آب چاه با $pH=7.27$ هدایت الکتریکی ۷۲۷ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر، اکسیژن محلول ۳۰/۷ درصد و فسفر ۰/۱۷ میلی‌گرم در لیتر و نترات ۴/۴۱ میلی‌گرم در لیتر برای شبیه‌سازی باران استفاده شد. همچنین برای اندازه‌گیری توان باران و محاسبه اثر شدت‌های مختلف بارش در پاشمان از معادله زیر (Shi *et al* 2013) استفاده شد:

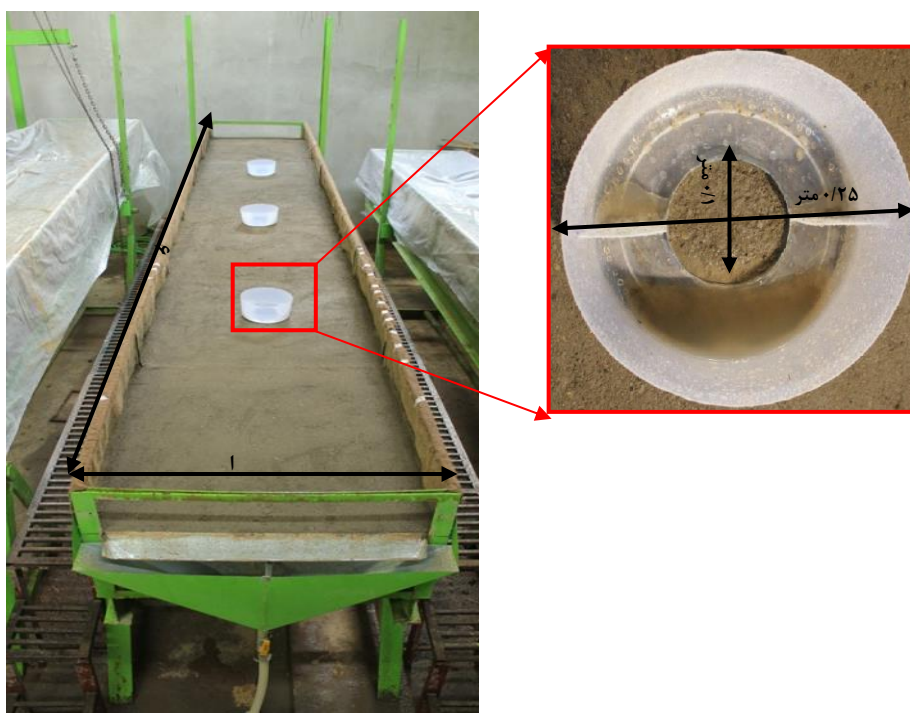
$$R = \frac{\rho I v^2 \cos \theta}{2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن، R بیان‌گر توان باران برحسب وات بر مترمربع، ρ چگالی آب برابر ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، I شدت باران برحسب متر بر ثانیه و v سرعت قطرات باران برحسب متر بر ثانیه و θ درجه شیب می‌باشد. طبق معادله (۱)، میانگین توان باران در شیب‌های ۳، ۹ و ۱۵ درجه و برای شدت‌های بارش ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت با میانگین اندازه قطرات باران به ترتیب ۱/۵، ۱/۵۷ و ۱/۵۸ میلی‌متر (Sadeghi *et al.*, 2013) و همچنین سرعت متناظر ۶/۸۶، ۶/۹۱ و ۶/۶۷ متر بر ثانیه (Khaledi Darvishan *et al.*, 2014) به ترتیب ۰/۱۹، ۰/۳۹ و ۰/۵۴ وات بر مترمربع به‌دست آمد.

- اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات پاشمان شده

برای اندازه‌گیری ذرات پاشمان شده و نمایش شرایط غالب بارندگی در جدا کردن و انتقال ذرات از سه فنجان پاشمان با قطر ۰/۲۵ متر و ارتفاع ۰/۱ متر (Khaledi Darvishan *et al* 2014) در بالا، وسط و پایین فلومی با طول و عرض ۶ در ۱ مترمربع به فاصله ۱/۵ متری از هم و در فاصله ۱/۵، ۳ و ۴/۵ متر از خروجی فلوم استفاده شد. برای اندازه‌گیری پاشمان میانگین مدت زمان اندازه‌گیری پاشمان در سه تکرار در شیب‌ها

1. Tukey's test



شکل ۱- فنجان پاشمان و فلوم مورداستفاده با موقعیت فنجان‌های پاشمان در پایین، وسط و بالادست فلوم

نتایج و بحث

کم پاشمان ذرات رسوبی مخصوصاً در شدت‌های ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت مشاهده نشد. هم‌چنین با دقت در نتایج مربوط به جورشدگی، چولگی و کشیدگی ذرات رسوبی در جدول‌های مذکور می‌توان به‌طور کلی اذعان نمود که توزیع ذرات رسوبی دارای جورشدگی بسیار ضعیف، کشیدگی کم و منحنی چولگی به سمت ذرات درشت‌تر بود.

نتایج آزمون تجزیه واریانس دوطرفه برای بررسی اثرات شدت بارندگی، شیب و محل‌های قرارگیری فنجان پاشمان بر مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات رسوبی پاشمان ناشی از اثر قطرات باران در بالادست و پایین‌دست فنجان پاشمان در جدول (۴) ارائه شده است.

دقت در جدول (۴) دلالت بر تأثیرپذیری ذرات کوچک‌تر از ۲ میکرون از شیب در سطح احتمال ۹۵ درصد برای بالادست و پایین‌دست فنجان پاشمان داشت. هم‌چنین در پایین‌دست فنجان پاشمان ذرات کوچک‌تر از ۲ میکرون دارای تغییرپذیری در سطح احتمال ۹۵ درصد در تعامل عوامل شیب و شدت بارندگی بودند.

ذرات بزرگ‌تر از ۲ میکرون در بالادست فنجان رفتار متفاوتی نسبت به پایین‌دست فنجان پاشمان داشتند به‌طوری‌که در بالادست فنجان پاشمان ذرات بزرگ‌تر از ۲ میکرون از شدت بارندگی تأثیر پذیرفته و شیب و تعامل شدت بارندگی با شیب تأثیری در تغییرات ذرات بزرگ‌تر از ۲ میکرون نداشته‌اند.

نتایج میانگین و انحراف معیار مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات رسوبی مؤثر فرسایش ناشی از اثر قطرات باران در بالادست و پایین‌دست فنجان پاشمان و گروه‌بندی متغیرها با استفاده از آزمون توکی در جدول‌های (۲) و (۳) ارائه شده است. نتایج جدول (۲) و (۳) نشان‌دهنده تأثیرپذیری همه مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات رسوبی مؤثر غیر از درصد ذرات کوچک‌تر از ۲ میکرون و مؤلفه‌های D_{10} ، جورشدگی و چولگی از شیب ۱۵ درصد و شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت در پایین‌دست فنجان پاشمان نسبت به بالادست فنجان پاشمان بود. هم‌چنین مقایسه مقادیر میانگین مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات رسوبی در بالادست و پایین‌دست فنجان پاشمان در شیب ۵ درصد و در شدت‌های مختلف بارندگی بیان‌گر روند معکوس در اندازه ذرات از شدت ۳۰ به ۹۰ میلی‌متر بر ساعت است به‌طوری‌که در بالادست فنجان پاشمان با افزایش شدت بارندگی مقادیر ذرات رسوبی درشت‌تر کاهش و ذرات کوچک‌تر افزایش می‌یابد، در صورتی‌که در پایین‌دست عکس این روند مشاهده می‌شود؛ اما در شیب ۱۵ درصد با افزایش شدت بارندگی در بالادست نسبت به پایین‌دست فنجان پاشمان، ذرات کوچک‌تر و در پایین‌دست نسبت به بالادست فنجان پاشمان ذرات بزرگ‌تر افزایش داشتند. در شیب ۲۵ درصد در شدت‌های مختلف بارندگی روند مشخصی به‌دلیل پیچیدگی فرایندهای آن و مدت زمان بسیار

۲ میکرون در محتوای نمونه خاک اصلی (۱۴ درصد) و چسبندگی ذرات رس نیز در بی تفاوتی آن‌ها نسبت به شدت‌های مختلف بارندگی مؤثر بوده است. در صورتی که ذرات بزرگ‌تر از ۲ میکرون در بالادست فنجان پاشمان از شدت‌های مختلف بارندگی تأثیر پذیرفته و در پایین دست از شدت و شیب‌های مختلف و تعامل آن‌ها با هم تأثیر پذیرفته است.

در صورتی که ذرات بزرگ‌تر از ۲ میکرون در پایین دست فنجان پاشمان از شیب و شدت بارندگی و تعامل آن دو تأثیر پذیرفته است. به طور کلی می‌توان بیان کرد که تغییرات ذرات کوچک‌تر از ۲ میکرون در بالادست و پایین دست فنجان پاشمان ناشی از شیب‌های مختلف بوده و از شدت‌های مختلف بارندگی تأثیر نگرفته‌اند که البته به نحوی مقادیر کم درصد ذرات کوچک‌تر از

جدول ۲- میانگین و انحراف معیار مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات رسوبی مؤثر در بالادست فنجان پاشمان در شیب‌ها و شدت‌های مختلف بارندگی و گروه بندی متغیرها با استفاده از آزمون توکی در سطح اطمینان ۹۵ درصد

مؤلفه‌ها	شیب (درصد)			۱۵			۲۵		
	شدت بارندگی (میلی متر بر ساعت)	۳۰	۶۰	۹۰	۶۰	۹۰	۳۰	۶۰	۹۰
<۲ میکرون (درصد)	۵/۴۳±۲/۱۷a	۵/۹۲±۱/۰۴a	۶/۰۵±۳/۸۲a	۳/۸۴±۱/۸۷a	۶/۶۵±۱/۹۳a	۷/۵۴±۱/۶۳a	۷/۳۲±۳/۴۱a	۸/۱۸±۳/۵۵a	۱۰/۳۹±۱/۳۱a
۲ تا ۶۳ میکرون (درصد)	۴۴/۰۷±۱۰/۱۶۳a	۵۵/۵۶±۵/۸۷a	۶۲/۹۵±۱۱/۶۳a	۴۴/۱۵±۲۱/۷۵a	۳۹/۴۲±۹/۲۲a	۷۱/۹۷±۱۱/۷۴a	۴۹/۲۷±۷/۹۳a	۴۷/۴۴±۲۷/۵۶a	۶۸/۳۲±۸/۸۵a
>۶۳ میکرون (درصد)	۵۰/۶۰±۱۲/۷۵a	۳۸/۵۲±۶/۴۰a	۳۱/۰۰±۹/۴۶a	۵۲/۰۱±۱۹/۹ab	۵۳/۹۳±۱۰/۸۴b	۲۰/۵۰±۲/۳۸a	۴۳/۰۷±۸/۱۴a	۴۴/۳۸±۳۱/۱۱a	۲۱/۲۹±۷/۹۳a
D ₁₀ (میکرون)	۵/۶۱±۲/۸۴a	۴/۷۱±۱/۱۲a	۴/۳۸±۲/۵۸a	۷/۴۳±۲/۳۵a	۴/۷۳±۲/۴۴a	۳/۳۶±۱/۲۱a	۴/۹۳±۴/۶۴a	۳/۴۸±۱/۹۱a	۱/۸۳±۰/۴۰a
D ₅₀ (میکرون)	۱۰۰/۹۴±۱۲/۷۵a	۴۲/۷۴±۸/۷۴a	۳۴/۴۲±۶/۱۴a	۱۱۸/۵۵±۶۷/۶۴a	۱۱۸/۹۳±۱۰۵/۰۷a	۲۸/۹۵±۳/۸۲a	۵۰/۰۲±۱۳/۶۵a	۱۲۲/۲۰±۹۰/۴۳a	۲۳/۵۹±۴/۴۸a
D ₉₀ (میکرون)	۵۰۰/۹±۲۲۲/۴۹a	۳۲۱/۴۶±۹۶/۹a	۲۰۷/۷۴±۹۰/۵a	۴۶۰/۵۵±۲۰/۴۳a	۴۸۳/۹۳±۱۷۴/۳۸a	۱۲۷/۲۱±۲۸/۵a	۳۹۸/۱۱±۱۱۳/۹۲a	۴۰۱/۷±۲۹۶/۶۷a	۱۴۴/۸۱±۶۸/۹a
متوسط (میکرون)	۷۷/۸۴±۴۶/۳۵a	۴۶/۵۹±۱۰/۳۴a	۳۲/۸۸±۸/۲۹a	۸۲/۹۰±۳۳۲/۴۵a	۷۸/۸۸±۴۷/۳۱a	۲۴/۵۱±۴/۲۸a	۵۱/۶۳±۲۰/۳۵a	۶۷/۵۹±۴۶/۶۱a	۲۰/۴۳±۴/۷۶a
جورشدگی (میکرون)	۵/۹۳±۰/۳۶a	۵/۳۹±۰/۴۸a	۴/۸۴±۱/۶۱a	۴/۹۸±۱/۶۰a	۶/۵۹±۱/۰۹a	۴/۱۷±۰/۵a	۶/۶۲±۱/۷۷a	۶/۰۶±۱/۴۴a	۵/۴۳±۱/۱۱a
چولگی (میکرون)	-۰/۲۴±۰/۱۴a	-۰/۰۶±۰/۰۶a	-۰/۱۳±۰/۱۰a	-۰/۲۷±۰/۲۷a	-۰/۳۳±۰/۱۹a	-۰/۲۴±۰/۰۷a	-۰/۱۱±۰/۲۲a	-۰/۴۷±۰/۰۸b	-۰/۲۱±۰/۰۶ab
کشیدگی (میکرون)	۰/۹۳±۰/۱۶a	۱/۰۹±۰/۱۳a	۱/۱۶±۰/۱۶a	۱/۱۵±۰/۳۵ab	۰/۹۷±۰/۱۰b	۱/۵۰±۰/۰۸a	۰/۹۶±۰/۱۳b	۰/۹۹±۰/۱۵ab	۱/۲۴±۰/۰۴a

جدول ۳- میانگین و انحراف معیار مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات رسوبی مؤثر در پایین دست فنجان پاشمان در شیب‌ها و شدت‌های مختلف بارندگی و گروه بندی متغیرها با استفاده از آزمون توکی در سطح اطمینان ۹۵ درصد

مؤلفه‌ها	شیب (درصد)			۱۵			۲۵		
	شدت بارندگی (میلی متر بر ساعت)	۳۰	۶۰	۹۰	۶۰	۹۰	۳۰	۶۰	۹۰
<۲ میکرون (درصد)	۷/۱۷±۱/۷۹a	۵/۲۹±۰/۸۳a	۶/۷۱±۱/۲۳a	۵/۰۴±۱/۰۱a	۴/۷۸±۲/۷۴a	۸/۸۵±۱/۴۲a	۶/۹۴±۳/۸۷a	۱۳/۸۶±۴/۷۱a	۹/۷۰±۳/۰۰a
۲ تا ۶۳ میکرون (درصد)	۴۶/۵۱±۸/۳۷a	۴۶/۷۷±۲/۹۳a	۵۶/۸۲±۲/۹۲a	۳۳/۰۶±۵/۲۹a	۲۵/۵۲±۹/۷۰a	۶۳/۸۵±۳/۱۳b	۵۰/۲۳±۲۱/۷۹a	۷۰/۸۸±۷/۶۴a	۵۹/۲۳±۶/۰۲a
>۶۳ میکرون (درصد)	۴۵/۹۸±۱۰/۱۲a	۴۷/۹۴±۲/۷۶a	۳۶/۴۷±۲/۷۶a	۶۱/۹۰±۴/۴۰a	۶۹/۷۰±۱۲/۴۳a	۲۷/۳۰±۱/۷۵b	۴۲/۸۲±۲۱/۵a	۱۵/۲۶±۱۱/۹۲a	۳۱/۰۶±۸/۲۸a
D ₁₀ (میکرون)	۳/۵۱±۱/۲۴a	۵/۹۹±۱/۱۶a	۳/۹۵±۰/۸۳a	۶/۰۲±۲/۰۸a	۱۴/۶۵±۱۶/۹۷a	۲/۵۲±۰/۷۷a	۴/۵۹±۲/۹۳a	۱/۴۶±۱/۰۵a	۲/۳۸±۱/۳۱a
D ₅₀ (میکرون)	۶۱/۶۳±۲۹/۹۸a	۵۸/۰۹±۶/۱۳a	۳۹/۰۷±۳/۵۳a	۱۴۳/۳۷±۵۷/۸۶ab	۲۱۲/۱۲±۸۷/۰۱a	۲۹/۲۲±۳/۷۷b	۱۱۳/۸۵±۱۳/۱۲a	۱۶۰/۹±۱۲/۹۷a	۳۱/۰۸±۱۲/۷۸a
D ₉₀ (میکرون)	۳۹۲/۹۰±۱۶۹/۰۹a	۳۶۶/۵۰±۵۰/۲۶a	۲۵۷/۱۲±۲۲/۱۲a	۵۳۴/۸۸±۴۵/۸۸a	۶۲۳/۱۱±۱۰۱/۹۴a	۱۹۷/۴۱±۴۱/۰۳b	۳۹۷/۶۳±۲۵۷/۵۸a	۱۰۶/۶۵±۸۱/۷۶a	۲۲۰/۳۹±۲۸/۸۸a
متوسط (میکرون)	۵۱/۹۳±۲۲/۱۹a	۵۹/۹۴±۴/۰۷a	۳۸/۹۲±۲/۸۱a	۹۱/۱۱±۱۱/۵۸ab	۱۴۱/۴۸±۷۸/۹۷a	۲۷/۱۴±۱/۵۰b	۶۱/۷۸±۵۰/۴۴a	۱۵/۱۷±۱۱/۱۵a	۲۸/۶۴±۱۰/۴۸a
جورشدگی (میکرون)	۶/۵۴±۰/۱۵a	۵/۲۰±۰/۷۸a	۵/۳۵±۰/۸۰a	۵/۹۵±۰/۹۴a	۵/۷۰±۱/۹۷a	۵/۶۱±۱/۰۰a	۶/۱۹±۲/۶۲a	۵/۱۳±۰/۵۹a	۶/۱۲±۰/۷۱a
چولگی (میکرون)	-۰/۲۳±۰/۰۲a	-۰/۱۲±۰/۰۴b	-۰/۱۳±۰/۰۳b	-۰/۳۸±۰/۲۳a	-۰/۴۸±۰/۰۵a	-۰/۱۷±۰/۰۷a	-۰/۲۹±۰/۳۰a	-۰/۱۲±۰/۰۹a	-۰/۱۷±۰/۰۷a
کشیدگی (میکرون)	۰/۹۷±۰/۱۲a	۰/۹۹±۰/۰۴ab	۱/۱۹±۰/۰۷b	۰/۹۵±۰/۰۶a	۱/۰۰±۰/۰۵a	۱/۳۰±۰/۱۴b	۱/۱۵±۰/۰۴a	۱/۱۸±۰/۱۲a	۱/۱۶±۰/۰۲a

در پایین دست فنجان پاشمان دارای اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد نسبت به شدت‌های مختلف بارندگی، شیب‌های مختلف و تعامل آن با شدت بارندگی بود. در همین راستا مؤلفه D₉₀ در بالادست فنجان پاشمان دارای اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد در شدت‌های مختلف بارندگی و عدم اختلاف معنی دار در شیب‌ها و تعامل شیب با شدت بود. در صورتی که مؤلفه D₉₀ در پایین دست فنجان پاشمان

دقت در جدول (۴) نشان دهنده تأثیر پذیری مؤلفه D₁₀ در بالادست فنجان پاشمان از شدت بارندگی بوده و دارای اختلاف معنی دار (P>۰/۰۵) بود در صورتی که D₁₀ در پایین دست فنجان هیچ گونه تغییری را نسبت به شدت بارندگی، شیب و تعامل آن‌ها با یکدیگر نشان نداد. متغیر D₅₀ در بالادست فنجان پاشمان دارای اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد نسبت به شدت‌های مختلف بارندگی بود در صورتی که مؤلفه D₅₀

هم نسبت به اثر یک‌جانبه و متقابل شیب و شدت‌های مختلف بارندگی دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بود. هم‌چنین شیب‌های مختلف بارندگی، شیب‌های مختلف و تعامل شیب با شدت در سطح احتمال بیش‌تر از ۹۵ درصد بود.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس دوطرفه بررسی اثرات شدت بارندگی و شیب و تعامل آن‌ها بر مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات رسوبی مؤثر فرسایش ناشی از اثر قطرات باران در بالادست و پایین‌دست فنجان پاشمان

مؤلفه‌ها	بالادست فنجان پاشمان			پایین‌دست فنجان پاشمان		
	آماره‌های توصیفی	شدت	شیب	شدت × شیب	شدت	شیب
< ۲ میکرون (درصد)	درجه آزادی	۲	۲	۴	۲	۴
	آماره F	۲/۲۴	۳/۶۲	۰/۴۱	۱/۴۹	۶/۴۸
سطح معنی‌داری		۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۸۰	۰/۲۵	۰/۰۰۷
		۰/۰۳				
۲ تا ۶۳ میکرون (درصد)	درجه آزادی	۲	۲	۴	۲	۴
	آماره F	۶/۹۲	۰/۱۲	۰/۶۶	۷/۶۷	۹/۵۷
سطح معنی‌داری		۰/۰۰۶	۰/۸۸	۰/۶۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
		۰/۰۰۴				
> ۶۳ میکرون (درصد)	درجه آزادی	۲	۲	۴	۲	۴
	آماره F	۷/۴۶	۰/۳۷	۰/۶۴	۷/۵۷	۱۱/۴۳
سطح معنی‌داری		۰/۰۰۴	۰/۶۸	۰/۶۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰
		۰/۰۰۲				
D ₁₀ (میکرون)	درجه آزادی	۲	۲	۴	۲	۴
	آماره F	۲/۹۷	۱/۳۴	۰/۲۸	۱/۳۰	۱/۶۵
سطح معنی‌داری		۰/۰۷	۰/۲۸	۰/۸۸	۰/۲۹	۰/۲۲
		۰/۳۳				
D ₅₀ (میکرون)	درجه آزادی	۲	۲	۴	۲	۴
	آماره F	۳/۵۷	۰/۶۴	۱/۱۴	۴/۰۳	۴/۸۴
سطح معنی‌داری		۰/۰۴	۰/۵۳	۰/۳۶	۰/۰۳	۰/۰۲
		۰/۰۵				
D ₉₀ (میکرون)	درجه آزادی	۲	۲	۴	۲	۴
	آماره F	۸/۱۷	۰/۱۶	۰/۴۸	۸/۱۸	۷/۴۹
سطح معنی‌داری		۰/۰۰۲	۰/۸۵	۰/۷۴	۰/۰۰	۰/۰۰
		۰/۰۰				
متوسط (میکرون)	درجه آزادی	۲	۲	۴	۲	۴
	آماره F	۵/۷۳	۰/۶۰	۰/۶۵	۴/۲۱	۵/۸۴
سطح معنی‌داری		۰/۰۱	۰/۵۵	۰/۶۲	۰/۰۳	۰/۰۱
		۰/۰۳				
جورشدگی (میکرون)	درجه آزادی	۲	۲	۴	۲	۴
	آماره F	۲/۵۵	۱/۰۷	۰/۹۱	۱/۰۹	۰/۰۱
سطح معنی‌داری		۰/۱۱	۰/۳۶	۰/۴۸	۰/۳۵	۰/۹۸
		۰/۸۷				
چولگی (میکرون)	درجه آزادی	۲	۲	۴	۲	۴
	آماره F	۱/۰۰	۲/۱۷	۲/۴۷	۲/۵۱	۴/۷۳
سطح معنی‌داری		۰/۳۸	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۲
		۰/۲۱				
کشیدگی (میکرون)	درجه آزادی	۲	۲	۴	۲	۴
	آماره F	۸/۸۴	۲/۱۸	۱/۶۲	۳/۱۹	۱/۰۸
سطح معنی‌داری		۰/۰۰۲	۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۰۶	۰/۳۶
		۰/۴۷				

هم‌چنین تعامل آن‌ها بود. هم‌چنین دقت در نتایج مربوط به چولگی ذرات رسوبی ناشی از پاشمان در بالادست فنجان پاشمان بیان‌گر تأثیرپذیری آن در سطح معنی‌دار ($P > 0.05$) از تعامل شیب و شدت‌های مختلف بارندگی داشت در صورتی‌که در پایین‌دست فنجان پاشمان چولگی فقط تحت تأثیر شیب‌های مختلف در سطح احتمال ۹۵ درصد بود. در نهایت متغیر کشیدگی ذرات رسوبی در بالادست و پایین‌دست فنجان پاشمان تحت تأثیر شدت بارندگی در سطح احتمال به‌ترتیب بیش‌تر از

به‌طورکلی درباره مؤلفه‌های D_{90} ، D_{50} و متوسط اندازه ذرات می‌توان گفت در بالادست فنجان پاشمان از شدت‌های مختلف بارندگی و در پایین‌دست از شدت‌های مختلف بارندگی، شیب‌های مختلف و تعامل آن با شدت‌های مختلف تأثیر پذیرفته‌اند.

دقت در نتایج مربوط به جورشدگی در جدول (۴) بیان‌گر عدم تأثیرپذیری جورشدگی در بالادست و پایین‌دست فنجان پاشمان از شدت‌های مختلف بارندگی، شیب‌های مختلف و

نتیجه‌گیری

افزایش مطالعه و درک بیش‌تر پویایی توزیع اندازه ذرات رسوبات باعث بهبود درک فرآیند فرسایش خاک و تولید رسوب و در نهایت مدل‌سازی فرسایش و هم‌چنین ارتقاء دانش انتقال آلودگی و مواد غذایی از اراضی کشاورزی و مرتعی در آبراهه‌ها خواهد شد و از آنجا که جدایش و انتقال ذرات رسوبی ناشی از پاشمان و در نتیجه توزیع اندازه ذرات پاشمان ناشی از قطرات باران به‌عنوان آغازین مراحل فرآیند فرسایش آبی محسوب می‌شود می‌تواند بسیار مهم و حائز اهمیت در فهم و تحلیل‌ها رخدادهای مراحل بعدی فرآیند فرسایش خاک باشد. لذا در تحقیق حاضر به بررسی اثرات شدت بارندگی، شیب و تعامل آن‌ها بر مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات رسوبی پاشمان شده ناشی از اثر قطرات باران در بالادست و پایین‌دست فنجان پاشمان در شرایط آزمایشگاهی پرداخته شد. تحقیق بیان‌گر تأثیرپذیری اکثر مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات در بالادست فنجان پاشمان از شدت‌های مختلف بارندگی و در پایین‌دست فنجان پاشمان از شدت و شیب‌های مختلف و تعامل‌ها بود. نتایج این مطالعه اهمیت بررسی و مطالعه توزیع اندازه ذرات رسوب ناشی از پاشمان و افزایش درک مکانیسم انتقال آن‌ها در شیب‌ها و شدت‌های مختلف مخصوصاً در خاک‌های با خصوصیات مختلف را به‌عنوان یک امر ضروری در شناخت مراحل آغازین فرآیند فرسایش خاک و در نتیجه پیش‌بینی و مدیریت مسائل مربوط به فرسایش خاک و انتقال مواد غذایی و آلودگی‌های همراه توزیع ذرات رسوبی را بیان نموده و می‌تواند راهگشای بسیاری از مسائل مربوط به کنترل و حفاظت خاک محسوب شود.

REFERENCES

- Agassi, M. and Bradford, J. M. (1999). Methodologies for interrill soil erosion studies. *Soil and Tillage Research*, 49(4), 277-287.
- Armstrong, A., Quinton, J. N., Heng, B. C. P. and Chandler, J. H. (2011). Variability of interrill erosion at low slopes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(1), 97-106.
- Asadi, H., Ghadiri, H., Rose, C. W., Rouhipour, H., (2007a). Interrill soil erosion processes and their interaction on low slopes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(5), 711-724.
- Asadi, H., Ghadiri, H., Rose, C. W., Yu, B., Hussein, J., (2007b). An investigation of flow-driven soil erosion processes at low streampowers. *Journal of Hydrology*, 342(1), 134-142.
- Barry, D. A., Sander, G. C., Jomaa, S., Heng, B. C. P., Parlange, J. Y., Lisle, I. G. and Hogarth, W. L. (2010). Exact solutions of the Hairsine-Rose precipitation-driven erosion model for a uniform grain size soil. *Journal of Hydrology*, 389 (3-4), 399-405.

۹۵ و کم‌تر از ۹۵ درصد بود.

در نهایت نتایج آزمون تجزیه واریانس دوطرفه برای بررسی اثرات شدت بارندگی، شیب و تعامل آن‌ها بر خصوصیات توزیع اندازه ذرات رسوبی ناشی از اثر قطرات باران در بالادست و پایین‌دست فنجان پاشمان نشان داد همه مؤلفه غیر از ذرات کوچک‌تر از ۲ میکرون با توجه به چسبندگی زیاد ذرات رس و استحکام ساختمان رس‌ها (Legout *et al* 2005) و چولگی ذرات رسوبی نسبت به شدت‌های مختلف بارندگی در بالادست فنجان پاشمان دارای اختلاف معنی‌دار بوده که نتایج جدول (۳) نیز بیان‌گر تأثیرپذیری بیش‌تر مؤلفه‌های مذکور از شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت نسبت به ۳۰ و ۶۰ میلی‌متر بر ساعت بوده است که می‌توان به افزایش توان جریان از ۰/۱۹ به ۰/۵۴ وات بر مترمربع از شدت بارش ۳۰ تا ۹۰ میلی‌متر بر ساعت برای انتقال ذرات بزرگ‌تر از ۲ میکرون نسبت داد. در پایین‌دست فنجان پاشمان همه مؤلفه‌ها غیر از D_{10} چورشدگی و کشیدگی ذرات رسوبی نسبت به شدت‌های مختلف بارندگی، شیب‌های مختلف و تعامل آن‌ها دارای اختلاف معنی‌دار بودند در صورتی‌که در بالادست فنجان پاشمان مؤلفه‌ها تنها از شدت‌های مختلف بارندگی تأثیر پذیرفته و شیب‌های مختلف و تعامل آن با شدت‌های مختلف بارندگی تأثیری معنی‌داری بر مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات رسوبی نداشتند که با توجه به بررسی جداگانه توزیع اندازه ذرات در بالادست و پایین‌دست فنجان پاشمان درباره مطالعه Sutherland *et al* (1996) می‌توان بیان نمود که تأثیرپذیری توزیع اندازه ذرات از شیب در جهت‌های مختلف فنجان پاشمان متفاوت می‌باشد.

- Blott, S.S., Pye, K., (2001). Gradstat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 10 (26), 1237-1248.
- Ekern, P. C. (1950). Raindrop impact as a force initiating soil erosion. *Soil Science Society of America Proceedings*, 15, 7-10.
- Ellison, W. D. (1944). Studies of raindrop erosion. *Agricultural Engineering*, 25 (4), 131-136.
- Falsone, G., Bonifacio, E., Zanini, E., (2012). Structure development in aggregates of poorly developed soils through the analysis of the pore system. *Catena*, 95, 169-176.
- Fox, D. M., Bryan, R. B., (1999). The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient. *Catena*, 38(3), 211-222.
- Fu, S., Liu, B., Liu, H. and Xu, L. (2011). The effects of slope on interrill erosion at short slopes. *Catena*, 84, 29-34.
- Gerits, J. J. P., DeLima, J. L. M. P. and Van Den Broek, T. M. W. (1990). Overland flow and

- erosion. In: Anderson, M.G., Burt, T.P. (Eds.), *Process Studies in Hillslope Hydrology*. Wiley, Chichester, pp. 173–214.
- Goebes, P., Seitz, S., Geißler, C., Lassu, T., Peters, P., Seeger, M., Nadrowski, K. and Scholten, T. (2014). Momentum or kinetic energy – How do substrate properties influence the calculation of rainfall erosivity? *Journal of Hydrology*, 517, 310–316.
- Hawke, R. M., Price, A. G. and Bryan, R. B. (2006). The effect of initial soil water content and rainfall intensity on near-surface soil hydrologic conductivity: a laboratory investigation. *Catena*, 65(3), 237-246.
- Huang, L., Wang, C. Y., Tan, W. F., Hu, H. Q., Cai, C. F., Wang, M. K., (2010). Distribution of organic matter in aggregates of eroded Ultisols, Central China. *Soil Tillage Research*, 108 (1), 59–67.
- Janeau, J. L., Bricquet, J. P., Planchon, O. and Valentin, C. (2003). Soil crusting and infiltration on steep slopes in northern Thailand. *European Journal of Soil Science*, 54, 543–553.
- Khaledi Darvishan, A., Sadeghi, S. H. R., Homae, M. and Arabkhedri, M. (2014). Measuring sheet erosion using synthetic color contrast aggregates. *Hydrological Processes*, 28(15), 4463-4471.
- Kinnell, P. I. A. (2005). Raindrop impact induced erosion processes and prediction: A review. *Hydrological Processes*, 19, 2815–2844.
- Legout, C., Leguedois, S., Le Bissonnais, Y., Malam, I.O., (2005). Splash distance and size distributions for various soils. *Geoderma*, 124 (3), 279–292.
- Leguédois, S., Le Bissonnais, Y., (2004). Size fractions resulting from an aggregate stability test, interrill detachment and transport. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29 (9), 1117–1129.
- Ma, R. M., Li, Z. X., Cai, C. F., Wang, J. G., (2014). The dynamic response of splash erosion to aggregate mechanical breakdown through rainfall simulation events in Ultisols (subtropical China. *Catena*, 121: 279-287.
- Misra, R. K. and Rose, C. W. (1995). An examination of the relationship between erodibility parameters and soil strength. *Australian Journal of Soil Research*, 33, 715–732.
- Sadeghi, S. H. R., Abdollahi, Z. and Khaledi Darvishan, A. V. (2013). Experimental comparison of some techniques for estimating Natural Rain Drop Size Distribution in Caspian Sea Southern Coast, Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 58(6), 1374-1382.
- Shi, Z. H., Yue, B. J., Wang, L., Fang, N. F., Wang, D., and Wu, F. Z. (2013). Effects of mulch cover rate on interrill erosion processes and the size selectivity of eroded sediment on steep slopes. *Soil Science Society of America Journal*, 77(1), 257-267.
- Sutherland, R. A., Wan, Y., Ziegler, A. D., Lee, C. T., & El-Swaify, S. A. (1996). Splash and wash dynamics: an experimental investigation using an Oxisol. *Geoderma*, 69(1), 85-103.
- Terry, J. P. (1998). A rain splash component analysis to define mechanisms of soil detachment and transportation. *Australian Journal of Soil Research*, 36, 525–542.
- Torri, D. and Poesen, J. (1992). The effect of soil surface slope on raindrop detachment. *Catena*, 19, 561–578.
- Vermang, J., Demeyer, V., Cornelis, W., Gabriëls, D., (2009). Aggregate stability and erosion response to antecedent water content of a loess soil. *Soil Science Society American Journal*, 73 (3), 718–726.
- Yusefi, A., Farrokhian Firouzi, A. and Khalili Moghadam, B. (2014). Evaluation of temporal variation of splash erosion in different slopes and agricultural and forest land uses. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 3(3), 11-20. (In Farsi)
- Zhang G. H., Liu G. B., Wang G. L., Wang Y. X., (2011). Effects of vegetation cover and rainfall intensity on sediment-bound nutrient loss, size composition and volume fractal dimension of sediment particles. *Pedosphere*, 21(5): 676-684.