# بررسی پاشمان ذرات اولیه خاک تحت تأثیر شیب با استفاده از باران‌های شبیه‌سازی شده

مهدی عبادی [۱]، علی‌رضا واعظی [۲]
۱-دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک و حفاظت خاک گروه علوم خاک دانشگاه زنجان ۲-دانشیار گروه علوم خاک دانشگاه زنجان

## چکیده
فرسایش پاشمانی، مرحله‌ی اولیه‌ی فرسایش آبی است که با بمباران سطح خاک بر اثر برخورد قطرات باران حاصل می‌شود.. در این پژوهش، میزان فرسایش پاشمانی ذرات اولیهبر روی یک خاک میان بافت در شیب‌های با تندی صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. فرسایش پاشمانی با استفاده از فلوم‌هایی به ابعاد ۵۰cm× ۳۲ cm و ارتفاع ۷cm تحت باران شبیه‌سازی شده با شدت ۴۵ میلی‌متر بر ساعت به مدت ۳۰ دقیقه اندازه‌گیری شد. تفاوت اساسی بین ذرات اولیه خاک از نظر ویژگی پاشمان‌پذیری وجود داشت. به طور کلی ذرات سیلت بیش‌ترین پاشمان‌پذیری و ذرات شن کمترین پاشمان‌پذیری را داشتند. میزان پاشمان ذرات خاک به شدت تحت تأثیر شیب قرار گرفت (p<۰۰۱/۰) و با افزایش شیب، میزان کل پاشمان افزایش یافت. ذرات شن بر خلاف دو ذره دیگر، کاهشی چشمگیر از نظر پاشمان‌پذیری با افزایش شیب نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: اندازه ذره، باران شبیه‌سازی شده، جرم ذره، خاک میان بافت

## مقدمه
ضربه قطرات باران اولین عامل فرساینده ذرات خاک است که منجر به تخریب خاکدانه‌ها و نهایتاً پدیده پاشمان(*splash*) می‌گردد. پاشمان ذرات عبارت است از انتقال ذرات خاک توسط قطرات باران برگشت یافته از سطح (Leguedois et al., ۲۰۰۵). نقش اصلی عمل پاشمان، جدایش ذرات خاک (*Detachment*) قبل از جابه‌جایی آنها توسط جریان سطحی (*Surface flow*) است (Morgan, ۲۰۰۷). میزان خاک پاشمان شده به شدت بارندگی، شیب سطح، ویژگی‌های قطره باران (سرعت سقوط، توزیع اندازه قطره) و ویژگی‌های خاک (چسبندگی، مقدار اولیه آب، زبری سطح خاک ) بستگی دارد (Planchon et al., ۲۰۰۰). یکی از مهمترین خصوصیات خاک که در فرسایش پاشمانی (*Splash erosion*) نقش دارد، بافت خاک است. هر چه ذرات تشکیل دهنده‌ی خاک ریزتر باشند، به دلیل نیروی چسبندگی بین ذرات، جدایش‌پذیری (*Detachability*) کمتر و در مقابل، حمل آسان‌تری خواهند داشت (Van dijk et al., ۲۰۰۲).
Legout و همکاران(۲۰۰۵) در تحقیقاتخود به این نتیجه رسیدند که بین پاشمان و درصد رس، سیلت و ماده آلی همبستگی منفیو با درصد شن همبستگی مثبت وجود دارد و هم‌چنینبین درصد رس و درصد سیلت با میانگین فاصله پاشمانهم‌بستگی منفی بهدست آوردند Fu .و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی میزان فرسایش در شیب‌های مختلف دریافتند که با افزایش درصد شیب، میزان ذرات پاشمان شده به سمت بالادست کاهش و میزان پاشمان بهسمت پایین دست افزایش پیدا می‌کند. برای جدایش ذرات خاك بایستی نیروی جداکننده ذرات خاك از قبیل نیروی قطرات باران بیشتر از نیروی مقاومت خاك در برابر جدایش باشد که با افزایش شیب افزایشمی‌یابد.جمالی و همکاران (۱۳۹۲) رابطه فرسایش پاشمانی و بافت خاك در کاربری‌های مختلف را با استفاده از دستگاه باران‌ساز درحوزه‌ی آبخیز چادگان بررسی کردند. آنها فرسایش پاشمانی را در دو شیب ۵ و ۱۵ درصد و شدت ثابت ۳ میلی‌متر در ساعت و در دو کاربری دیم و اراضی کشت‌شده اندازه‌گیری کردند. نتایج بدست آمده نشان داد که در مقادیر مختلف رس و شن در دو عمق ۱۰-۰ و ۳۰-۱۰ سانتی‌متر و در شیب‌های ۵ و ۱۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت.اکبری و همکاران ( ۱۳۹۲) در پژوهشی بر روی فرسایش پاشمانی و ویژگی‌های خاک در مناطق خشک به این نتیجه رسیدند که میزان پاشمان ذرات خاک رابطه معنی‌داری با دو ویژگی میانگین هندسی قطر ذرات و جرم مخصوص ظاهری خاکدانه داشت ومیزان پاشمان با افزایش درصد شن کاهش و با افزایش درصد ذرات سیلت و رس افزایش یافت.
اگر چه تحقیقات کلی در مورد نقش شدت باران یا درجه شیب بر وقوع کل فرسایش خاک انجام گرفته است لیکن تحقیقات دقیق در مورد سهم پدیده‌ی پاشمان در میزان یک فرسایش در شدت و شیب‌های مختلف به دقت مورد بررسی قرار نگرفته است و از سوی دیگر انتقال‌پذیری هر یک از ذرات اولیه یا حساسیّت آنها در مقابل این عامل فرساینده (پاشمان) به دقت شناخته نشده است.

## مواد و روشها
این آزمایش بر روی یک خاک میان بافت با توزیع نسبتاً مساوی از ذرات اولیه (شن، سیلت و رس) در شیب‌های: صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصدبا سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط آزمایشگاهی به اجرا درآمد. برای ایجاد باران از دستگاه شبیه‌ساز باران با شدت ۴۵ میلی‌متر بر ساعت و به مدت ۳۰ دقیقه استفاده شد. هر واحد آزمایشی شامل تشتک فرسایشی به ابعاد ۵۰cm× ۳۲ cm و عمق ۷cm محتوی خاک میان بافت بود. ذرات پاشمان یافته به وسیله‌ی محافظ‌های آلومینیومی جمع‌آوریو پس از آون خشک کردن

بافت آنها اندازه‌گیری شد. همچنین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اصلی شامل: توزیعاندازهذراتبهروشهیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر، میانگینوزنیقطرخاکدانه(MWD) بهروشالکتر، درصدکربنآلیخاکبه روشوالکلی-بلک، درصدآهک بهروشخنثی‌سازی با اسید کلریدریک، pH خاک در گل اشباع با استفاده از pH متر و شوری خاک درعصارهاشباع با استفاده از EC متر تعیینشدند.تجزیه واریانس داده‌های مربوط به پاشمان در تیمارهای مختلف شیب با کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن و با نرم‌افزار SPSSانجام شد. رابطه بین میزان پاشمان ذرات و درجات شیب بر مبنای توابع ریاضی (خطی، لگاریتمی، نمایی و ...)با استفاده از نرم افزار Excel به دست آمد.

## نتایج و بحث

در جدول ۱ خلاصه‌ی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک اولیه آزمایش آمده است که نشان می دهد درصد ذراتشن، سیلت و رس تقریبا یکسان می‌باشدو بافت آنلوم رسی است. واکنشخاکدر محدوده خنثی و هدایت الکتریکی آندر محدودهغیر شور بود. خاک‌ها از نظر ماده آلی فقیر (کمتر از ۱ درصد) بوده با این وجود به واسطه داشتن مقدار نسبتاً بالایی کربنات کلسیم معادل (بیش از ۱۰ درصد)، جزء خاک‌های آهکی بود. پایین بودن میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به روش الك تر (۱۷/ ۰ میلی‌متر) بیانگر ناپایداری ساختمان خاک بود واز این رو مقاومت کمتری در برابر عوامل فرساینده از جمله ضربه قطرات باران داشتکه یکی از علل آن خاکورزی‌های پیاپی و محتوای پایین ماده آلی خاکمورد نمونه‌برداریبود.

**جدول ۱- ویژگی‌هایفیزیکی- شیمیایی خاك مورد مطالعه**

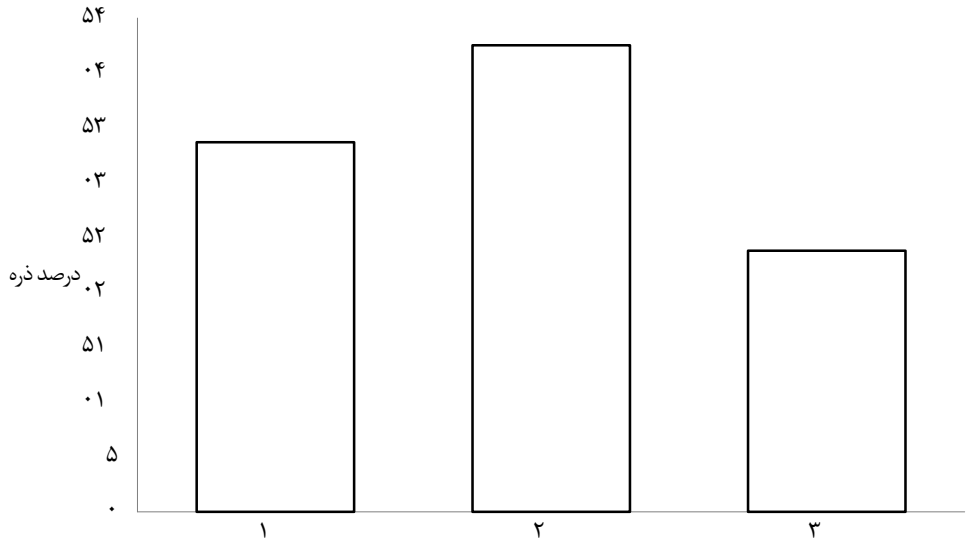
| ویژگی خاک | میانگین | انحراف معیار |
|---|---|---|
| شن (%) | ۵۸/۳۵ | ۲۷/۱ |
| سیلت (%) | ۷۸/۳۳ | ۱/۱ |
| رس (%) | ۶۳/۳۰ | ۶۳/۰ |
| جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) | ۳/۱ | ۵۲/۰ |
| میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب (میلی‌متر) | ۱۷/۰ | ۰۲/۰ |
| ماده‌آلی (%) | ۶۳/۰ | ۰۹/۰ |
| آهک (%) | ۸۷/۳۱ | ۴۵/۰ |
| واکنشخاک | ۲۸/۷ | ۰۱/۰ |
| هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) | ۳۲/۳ | ۰۵/۰ |

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که شیب سطحاثری معنی‌دار بر مقدار پاشمان ذرات اولیه خاک دارد(ذره شن ($p$<۰۰۱/۰)، سیلت ($p$<۰۰۱/۰) و رس ($p$<۰۰۱/۰) ) (جدول ۲).در حقیقت شیب از ویژگی‌های مهم سطح است که بر میزان پاشمان ذرات خاك اثر می‌گذارد و دلیل آن اضافه شدن نیروی جاذبه‌ی زمین به نیروهای قطرات باران وکاهش مقاومت خاکبا افزایش درجه شیب می‌باشد.یافته‌های Brodowski(۲۰۱۳)نیز به این مطلب اشاره می‌کند که با افزایش درصد شیب، میزان پاشمان افزایش معنی‌داری پیدا می‌کند.Iorkuو همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی میزان فرسایش پاشمانی را در شیب‌های ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درجه در ایالت مارکوردی بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که افزایش شیب تأثیری معنی‌دار روی میزان فرسایش پاشمانی ذرات خاک داشته است.

**جدول ۲- تجزیه واریانس تغییرات پاشمان ذرات اولیه تحت تأثیر شیب سطح**

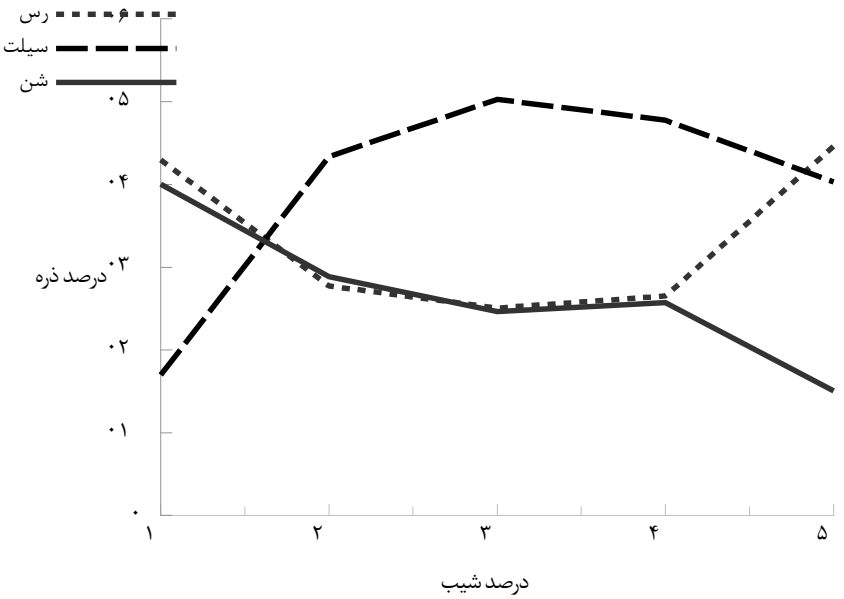
| منبع تغییر | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | F | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|---|
| پاشمان شن | ۱۰۲/۱۴۱۷ | ۴ | ۲۷۵/۳۵۴ | ۹۱۸/۷ | $p$<۰۰۱/۰ |
| پاشمان سیلت | ۸۱۲/۹۱۹۵ | ۴ | ۹۵۳/۲۲۹۸ | ۴۰۴/۶۲ | $p$<۰۰۱/۰ |
| پاشمان رس | ۱۲۷/۵۸۱۷ | ۴ | ۲۸۲/۱۴۵۴ | ۵۱۴/۴۴ | $p$<۰۰۱/۰ |

بررسی درصد ذرات خاک پاشمان یافته در اثر ضربه قطرات باران نشان داد که بیش‌ترین ذره پاشمان یافته سیلتو کم‌ترین ذره، شن بود(شکل ۱ ).ذرات شن به دلیل جرم و اندازه‌ی بزرگ‌تر و همچنین افزایش نفوذپذیری خاک و ذرات رس هم به دلیل خاصیّت چسبندگی، پاشمان‌پذیری کمتری دارند ولی ذرات سیلت (۵۰-۲ میکرون) هم از نظر اندازه و هم چسبندگی مقاومت کمی در برابر پاشمان دارند. نتایج آزمایشات Iorkuو همکاران (۲۰۱۲) نیز این مطلب را تأیید می‌کند.




**شکل ۱- مقایسه میانگین پاشمان پذیری ذرات اولیه خاک تحت باران‌های شبیه‌سازی شده**

شکل ۲ تأثیر شیب سطح بر میزان پاشمان ذرات اولیه رانشان می دهد که منحنی شن (الف)حالت نزولی دارد وکمترین میزان پاشمان در شیب ۴۰ درصد (۴۴/۱۹) می‌باشد . منحنی ذرهسیلت (ب)به طور کلی با افزایش شیب حالت افزایشی را نشان می‌دهد ولی در شیب‌های بالا (۳۰-۴۰ درصد) کاهش می‌یابد منحنی رس (ج) حالت مشخصی ندارد و الگوی یکنواخت ندارد. یوسفی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی فرسایش پاشمانی در شیب‌ها و کاربری‌های مختلف پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که با افزایش شیب از ۵ به ۱۵ درصد، میزان پاشمان از ۰۵/۲۶ گرم بر مترمربع به ۸۹/۲۸ گرم بر مترمربع رسید.




**شکل ۲- تأثیر شیب سطح بر میزان پاشمان ذرات شن (الف)، سیلت (ب) و رس (ج)**

## منابع


جمالی، ع الف.، مروتی، الف. و هاشمی، ف. ۱۳۹۲. رابطه‌ی کاربری اراضی با فرسایش و بافت خاک در حوزه ی آبخیز چادگان.نهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۹-۷.

اکبری، س.، واعظی، ع. و محمدی، م،ح. ۱۳۹۲. رابطه‌ی بین فرسایش پاشمانی و ویژگی‌های خاک در برخی خاک‌های مناطق نیمه‌خشک. کنفرانس بین المللی مدلسازی گیاه، آب، خاک و هوا، ۲، ۶-۵.

یوسفی، الف.، فرخیان فیروزی، الف. و مقدم، ب. ۱۳۹۲. استفاده از دستگاه چند متغیره جهت تعیین میزان فرسایش پاشمانی. دومین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست، ۲، ۶-۵.

Brodowski R. ۲۰۱۳. Soil detachment caused by divided rain power from raindrop parts splashed downward on a sloping surface. Catena, ۱۰۵, ۵۲-۶۱.

Fu S., Liu B., Liu H. and Xu, L. ۲۰۱۱. The effects of slope on inter rill erosion at short slopes. Catena, ۸۴,۲۹-۳۴.

Iorkua S.A., Oche, C.Y. ۲۰۱۲. Effects of rainfall intensity and slope angle on splash erosion in Makurdi, Benue State. Global journal of pure and applied science, ۱۸:۳-۴.

Legout C., Leguedois S., Le Bissonnais Y. and Malam Issa O. ۲۰۰۵. Splash distance and size distributions for various soils. Geoderma, ۱۲۴: ۲۷۹-۲۹۲.

Leguedois S., Plannchon O., Legout C., and Bissonnais Y.L. ۲۰۰۵. Splash projection distance for aggregated soils: theory and experiment. Soil Science Society of America Journal, ۶۹: ۳۰-۳۷.

Morgan R. P. C. ۲۰۰۷. Field studies of rainsplash erosion. Earth Surf. Process, ۳: ۲۹۵-۲۹۹.

Planchon O., Esteves M., Silvera N., Lapetite J.M.۲۰۰۰. Raindrop erosion of tillage induced microrelief: Possible use of the diffusion equation. Soil Tillage Res, ۵۶: ۱۳۱-۱۴۴.

Van dijk A.I.J.M., Mecsters A.G.C.A. and Bruijnzeel L.A. ۲۰۰۲. Exponential distribution Theory and The inter pration of splash detachment and transport experiment. Soil Science Society of America Journal, ۶۶: ۱۴۶۶-۱۷۴۳.



**Abstract**

Splash erosion is recognized as the first stage in the process of erosion that results in bombardment of the soil's surface with rain drops. In this study, splash erosion was determined in a medium soil texture on different slope steepness consisted of zero, ۱۰, ۲۰, ۳۰, and ۴۰% using the completely randomized design with three replicates. The splash rate was determined with the help of flumes with ۳۲ cm ۵۰ cm dimensions with ۷ cm height exposed to simulated rainfalls, ۴۵ mm $h^{-1}$ for ۳۰ min. Substantial difference was found among the primary soil particles in the splashability characteristics. In general, clay had the highest splash rate and sand appeared the lowest value. The splash rate was strongly affected by the slope steepness ($p< ۰.۰۰۱$). With an increase in the slope steepness, the splash rate significantly increased. Sand fraction contrary to other soil fractions showed lower spashability with increasing slope steepness.