

## اندازه‌گیری فرسایش پاشمانی و رابطه آن با شدت بارندگی در استان کردستان

حسین خالدیان<sup>۱\*</sup> و سیدصابر شاهویی<sup>۲</sup>

### چکیده

قطرات باران پس از برخورد با زمین ذرات خاک را متلاشی می‌کند و به روند فرسایش آبی سرعت می‌بخشد. شدت و میزان تخریب ذرات خاک (پاشمان) به انرژی جنبشی قطرات باران بستگی دارد که خود تحت تأثیر شدت بارندگی است. برای به‌دست آوردن رابطه بین میزان فرسایش پاشمانی و شدت بارندگی در ایستگاه‌های هواشناسی استان کردستان با استفاده از کاسه‌های پاشمان که به‌همین منظور ساخته شده و در محل ایستگاه‌های هواشناسی نصب شده‌اند، ماسه‌های جابجا شده در مدت زمان مشخصی اندازه‌گیری شدند. شدت بارندگی برای پایه زمانی فوق از گراف‌های مربوطه استخراج و با استفاده از رابطه ویشمایر- اسمیت انرژی جنبشی باران محاسبه شد. رابطه‌نمایی بین شدت بارندگی و مقدار ماسه جابجا شده در ایستگاه مریوان نسبت به ایستگاه زرینه همبستگی بالاتری را نشان داد و در ایستگاه سقز معنی‌دار نبود.

**واژه‌های کلیدی:** شدت بارش، مقدار فرسایش پاشمانی، فرسایش خاک و استان کردستان.

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

۱- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سنندج.

۲- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.

\*نویسنده مسئول: [hkhaledian@yahoo.com](mailto:hkhaledian@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۴/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۳/۱۷

## مقدمه

$$Lose = 0.011(\sum E^{1.16}) \quad (1)$$

که در آن: E انرژی جنبشی قطرات باران (ژول بر مترمربع در میلی‌متر باران) و Lose میزان پاشمان<sup>۴</sup> خاک (گرم). آلیسون (۱۹۴۷) اندازه‌گیری پاشمان را با استفاده از کاسه مخصوص که توسط خود او طراحی شده انجام داده است. ماسه مورد استفاده استاندارد آلیسون دارای مش‌های ۶۰ تا ۷۰ بوده است (به نقل از لال، ۱۹۹۵).

اونچف (۱۹۷۴) در تحقیقات خود میزان شدت بارش بیشتر از ۱۰/۸ میلی‌متر در ساعت را فرسایش‌زا می‌داند به شرطی که حداقل ۹/۵ میلی‌متر بارندگی اتفاق افتاده باشد.

الدوره (۱۹۸۲) در تحقیقی که درباره تأثیر قطرات باران در جدا شدن ذرات خاک از هم انجام داده است نتیجه گرفت که عواملی مانند: درصد رس، میزان مواد آلی، مقدار سدیم و میزان نمک‌های محلول خاک بر پاشمان مؤثر هستند و به‌طور کلی نیروی برشی خاک بیشترین همبستگی را با میزان پاشمان خاک دارد.

اسکواز و جارت (۱۹۸۵) ضمن بررسی میزان پاشمان ناشی از بارندگی در ایالت پنسیلوانیا نتیجه گرفته‌اند که شدت فرسایش پاشمانی با توجه به مقاومت برشی خاک از ۲۶ تا ۱۴۹ کیلوگرم در هکتار در دقیقه به‌ازای یک میلی‌متر باران متفاوت است. بلوم و آغاسی (۱۹۹۴) در فلسطین اثرات انرژی قطرات باران را با توجه به ESP خاک بر روی نفوذپذیری و فرسایش بررسی کرده و نتیجه گرفتند که انرژی قطرات باران در فرسایش پاشمانی ۲-۳ برابر انرژی رواناب در فرسایش آبی است و هر چه مقدار سدیم بیشتر باشد میزان انرژی لازم برای پاشمان کمتر است. انرژی جنبشی مؤثر برای مقادیر زیاد سدیم ۲/۱ ژول بر متر مربع در میلی‌متر باران و برای مقادیر متوسط سدیم ۲-۴ و در مقادیر پایین سدیم ۴-۶ ژول بر متر مربع در میلی‌متر باران است. نوع و نحوه طبقه‌بندی میزان سدیم مشخص نشده است.

بیسال (۱۹۶۰) وزن خاک جابه‌جا شده را تابعی از نوع خاک، قطر قطره و سرعت حد می‌داند، با توجه به این نکته سرعت برخورد قطرات خود تابع قطر قطرات است لذا میزان ذرات جابه‌جا شده بستگی به نوع خاک و قطر قطرات دارد. از

در بسیاری از مدل‌های مربوط به اندازه‌گیری فرسایش آبی عاملی مانند میانگین بارندگی سالیانه در نظر گرفته می‌شود، در صورتی که شدت بارندگی و ضربه قطرات باران تأثیر به‌مراتب بیشتری دارد. تحقیقات نشان داده است که اثر قطرات باران عامل اصلی در فرسایش صفحه‌ای<sup>۱</sup> خاک محسوب می‌شود (راسل ۱۹۸۶). اثرات ناشی از برخورد قطرات باران همراه با فرسایش و تخریب و جدا شدن ذرات خاک هم نقش دارند. هرچند میزان بارندگی سالیانه در هر ناحیه‌ای تأثیر مستقیم بر میزان فرسایش دارد اما خصوصیات مهم‌تری مانند اندازه قطرات باران و سرعت و تعداد آنها (شدت بارندگی) نیز هست که در شدت و ضعف فرسایش باران<sup>۲</sup> مؤثر است و نقش مهم‌تری نسبت به میزان بارندگی سالیانه در فرآیند فرسایش دارند. نمونه بارز فرسایش در اراضی زیر پوشش تک درخت است، که دارای لاشبرگ نیست و بارش‌های آرام با ریزش بر روی این پوشش سبب ایجاد قطرات درشت می‌شود و قطرات از ارتفاع زیاد سقوط کرده، به‌دلیل بالا بودن جرم و سرعت قطره سبب فرسایش در زیرتاج پوشش درخت می‌شود. از این‌رو روش‌هایی که متکی بر شاخص شدت بارندگی است اهمیت زیادتری نسبت به سایر خصوصیات باران می‌توانند داشته باشند. افزایش شدت بارندگی باعث می‌شود قطرات درشت‌تر با انرژی بیشتری به ذرات خاک برخورد کنند در نتیجه میزان فرسایش پاشمانی<sup>۳</sup> به‌مراتب بیشتر خواهد بود. بسیاری از دانشمندان و متخصصین فرسایش خاک معتقدند که درک درست از فرسایش ناشی از پاشمان قطرات به عصر مبارزات بی‌حاصل با فرسایش خاتمه می‌دهد و دوره نوید بخشی را برای حل معضل با توجه بیشتر به کنترل بیولوژیک خاک در مقابل پاشمان فراهم کرده است (زچار ۱۹۸۲).

انرژی قطرات باران عامل اصلی از هم پاشیدگی خاکدانه‌های خاک است. و میزان آن تابع قطر قطرات، شدت و انرژی جنبشی باران است. کینل (۲۰۰۳) در بررسی خود در استرالیا معادله‌ی نمایی بین میزان خاک متلاشی شده در اثر ضربه قطرات باران و انرژی جنبشی را به‌صورت زیر ارائه کرده است:

1- Sheet erosion  
2-Rainfall erosivity  
3 - Splash erosion

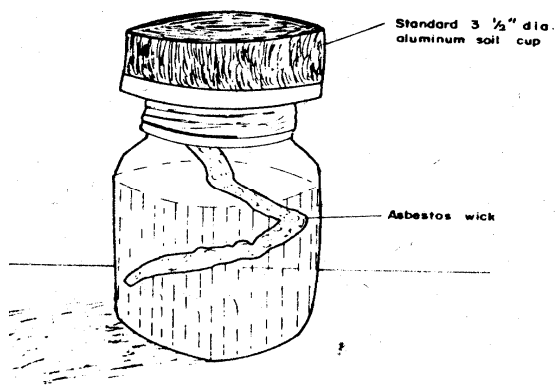
4- Splash rate

برای اجرای این طرح از بارندگی‌های طبیعی استفاده شد و تعدادی از ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان کردستان به‌عنوان محل اجرا انتخاب و کار ثبت داده‌ها در آنها انجام گرفت. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی محل اجرای طرح در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی محل اجرای طرح در استان کردستان

نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)		مختصات جغرافیایی	
	طول	عرض	طول شرقی	عرض شمالی
مریوان	۱۲۸۷	۹۷۴	۴۶.۱۲	۳۵.۳۱
زربنه	۲۱۴۲	۳۸۹	۴۶.۵۵	۳۶.۰۴
سقز	۱۵۲۲/۸	۵۲۰	۴۶.۱۶	۳۶.۱۵

برای اندازه‌گیری میزان پاشمان با الگوگرفتن از پیاله‌های پاشمان آلیسون (شکل ۱)، قوطی‌هایی از جنس ورق گالوانیزه طراحی و ساخته شد. این قوطی‌ها دارای دو قسمت مجزا هستند که بخش فوقانی آنها به‌ابعاد ۹۹×۹۵ و ارتفاع ۵۰ میلی‌متر برای قرار گرفتن ماسه ساخته شده‌اند و درون آنها سوراخ کوچکی قرار گرفته‌است که با فتیله (یا پنبه) به بخش تحتانی متصل شده است. بخش پایینی دارای ابعاد ۱۰۵×۱۰۵ و ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متر است و مقداری آب درون آن ریخته شده تا از طریق فتیله ماسه را مرطوب نگه دارد و ضمناً آب اضافی مخزن فوقانی (محل قرارگرفتن ماسه) را به مخزن پایین هدایت کند و از غرقاب شدن ماسه‌ها جلوگیری کند (شکل ۲).



شکل ۱- کاسه پاشمان آلیسون

آنجایی که جنس خاک بستگی به عواملی از قبیل میزان هوموس و مواد آلی، جنس سنگ بستر و غیره دارد، از این‌رو با فرض ثابت بودن جنس خاک تنها عامل مؤثر در پاشمان همان اندازه قطرات است. آلیسون (۱۹۴۴) برای پاشمان رابطه سه مجهولی را ارائه داده که براساس آن فرسایش خاک تابعی از عوامل سرعت، شدت و قطر قطره بود. در روابط ارائه شده دیگر نیز پاشمان تابعی از شدت بارندگی است. تینگ (۲۰۰۸) در تحقیقی نتیجه گرفته که میزان پاشمان با شدت بارندگی و برخی خصوصیات فیزیکی خاک از جمله وزن مخصوص و قطر ذرات بستگی دارد.

ویشمایر و اسمیت (۱۹۵۸) معادله زیر را برای محاسبه انرژی جنبشی ارائه کرده‌اند:

$$EB = 11.9 + 8.73 \times \log_{10}(I) \quad (2)$$

که در آن EB انرژی جنبشی ( $\text{jm}^2\text{mm}^{-1}$ ) و I شدت بارندگی (میلی‌متر در ساعت) است. تحقیقات نامبردگان بر اندازه توزیع قطراتی که لاوز و پارسون (۱۹۴۳) در واشینگتن به‌دست آورده‌اند استوار بود و اصولاً معادله ۲ برای شدت‌های زیاد (بیشتر از ۷۶ میلی‌متر بر ساعت) ارائه شده است. هودسون (۱۹۶۵) معادله زیر را برای زیمبابوه به‌دست آورد:

$$EB = 29.86(1 - 4.29I - 1) \quad (3)$$

هودسون (۱۹۹۳) برای مناطق حاره این معادله را به‌دست آورده است.

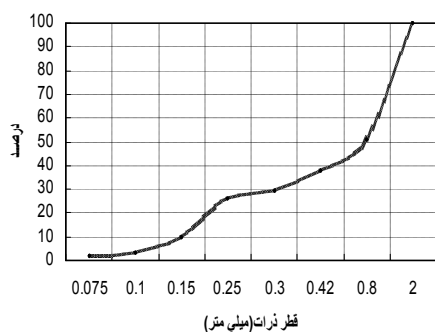
$$KE = 29.8 - (127.5/I) \quad (4)$$

از معادله هودسون برای بارندگی‌های بیشتر از ۲۵ میلی‌متر بر ساعت استفاده می‌شود. برای بارندگی‌های کمتر از ۲۵ میلی‌متر بر ساعت از روابط دیگر استفاده می‌شود.

راسل (۱۹۸۶) در استرالیا بین انرژی جنبشی باران و شدت بارندگی معادله زیر را ارائه کرد:

$$E = 0.00805I - 0.0305 \quad (5)$$

که در آن: E انرژی جنبشی ( $\text{j/m}^2\text{mm}^{-1}$ ) و I شدت بارندگی (mm/h) است.



شکل ۳- دانه‌بندی ماسه مورد استفاده برای محاسبه پاشمان



شکل ۲- کاسه‌های مورد استفاده اندازه‌گیری پاشمان

جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری پاشمان در ایستگاه هواشناسی

ردیف	مدت (دقیقه)	مربوآن	
		اندازه پاشمان یا ماسه جابجا شده (گرم در ساعت)	شدت بارندگی (میلی‌متر در ساعت)
۱	۷	۲/۳	۱/۸
۲	۵	۱/۳	۲/۴
۳	۲۰	۱/۴	۴/۵
۴	۱۵	۲/۲	۶/۴
۵	۲۰	۰/۹	۱/۹
۶	۲۵	۰/۴	۱/۸
۷	۹	۰/۴	۰/۹
۸	۵	۱/۱	۰/۸
۹	۲۰	۰/۳	۱/۲
۱۰	۱۰	۲/۱	۶
۱۱	۱۵	۰/۹	۹/۳
۱۲	۹۰	۰/۲۲	۰/۶
۱۳	۴۰	۳/۲	۱۲
۱۴	۶۰	۱/۴	۳/۸
۱۵	۴۵	۰/۷	۵/۷
۱۶	۴۰	۰/۵	۴

### نتایج و بحث

معادلات همبستگی نمایی بین میزان ماسه جابجا شده (گرم در ساعت) و شدت بارندگی (میلی‌متر در ساعت) در ایستگاه‌های هواشناسی محل تحقیق در جدول ۳ ارائه شده‌است. همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود معادلات نمایی به‌دست آمده رابطه بین شدت بارندگی و مقدار ماسه جابجا شده در ایستگاه مریوان ضریب همبستگی بالاتری را نشان می‌دهد. این معادله برای شدت بارندگی کم‌تر از ۱۰ میلی‌متر در ساعت مناسب است. با توجه به تجزیه و تحلیل

هنگام بارندگی تعدادی از کاسه‌های پاشمان که درون آنها ماسه ریخته شده بود درون سینی به ابعاد ۴۵×۳۵ سانتی‌متر<sup>۱</sup> قرار داده شد و در معرض بارندگی قرار گرفتند و زمان شروع بارندگی و پایان آن (یا هنگامی که کاسه‌ها از زیر باران خارج شدند) در جداول مربوطه وارد شد. پس از آن ماسه‌های جابجا شده که درون سینی قرار گرفته‌اند جمع‌آوری و برای خشک شدن و توزین به آزمایشگاه منتقل و با ترازوی دیجیتال با دقت ۱ میلی‌گرم توزین شدند. نمودار دانه‌بندی ماسه مورد استفاده که از نوع ماسه رودخانه‌ای با مش متوسط ۶۷ و  $d_{50}$  برابر ۰/۸۵ میلی‌متر و وزن مخصوص ۱/۶۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود در شکل ۳ نشان داده شده است. در این تحقیق، وزن ماسه جابجا شده (مقدار پاشمان) و شدت بارندگی برای ۱۵۲ مورد بارندگی ثبت شد (جدول ۲).

سپس با استفاده از نرم‌افزار Excel روابط همبستگی بین شدت بارندگی و وزن ماسه جابجا شده به تفکیک برای ایستگاه‌های هواشناسی محل تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از نرم‌افزار SAS ضرایب همبستگی و شاخص‌های متداول خطا برای روابط به‌دست آمده محاسبه شد.

۱- ابعاد این سینی‌ها استاندارد خاصی ندارد و جهت سهولت از این نوع استفاده شد. در هنگام کار از چند تا از آنها می‌توان هم‌زمان استفاده کرد.

جدول ۶- شاخص‌های خطا برای رابطه پاشمان و شدت بارندگی

ایستگاه سقز				
F	میانگین حداقل	مجموع مربعات خطا	درجه آزادی	منبع تغییرات
۱/۳۴ n.s.	۱۴/۵۵	۱۴/۵۵	۱	مدل
	۳/۷	۶۶/۸۸	۱۸	خطا
		۸۱/۴۴	۱۹	کل

$$MSE = 1.92$$

n.s. رابطه معنی دار نیست.

به‌طور کلی نتایج حاصل از اندازه‌گیری فرسایش پاشمانی، رابطه منطقی و ریاضی بین میزان متلاشی شدن ذرات ماسه را با شدت بارندگی مشخص کرده است. تحقیقات نشان می‌دهد که اندازه پاشمان به شدت بارندگی بستگی دارد. در این تحقیق نیز نتیجه غیر قابل انتظار نبوده است، منتهی شدت همبستگی به عوامل متعددی بستگی دارد. آلیسون برای پاشمان رابطه سه مجهولی سرعت، شدت و قطر قطره را ارائه داده است که با توجه به تأثیر متقابل عوامل مربوطه، می‌توان نتیجه یکسانی گرفت. در روابط ارائه شده دیگر نیز که در سابقه تحقیق بیان شده، پاشمان تابعی از شدت بارندگی است. به‌طور خلاصه با توجه به این نکته میزان پاشمانی در واحد زمان تابع شدت است و چنانچه پایه زمانی موردنظر طولانی‌تر شود، نوسانات شدت بارندگی بیشتر است. بنابراین هر چه پایه زمانی در نظر گرفته شده برای آزمایش اندازه‌گیری پاشمان کوتاه‌تر باشد، دقت نتایج بیشتر است. هر چند داده‌های به‌دست آمده در ایستگاه سقز از نظر آماری رابطه معنی‌داری نداشته‌اند، این بیانگر عدم رابطه شدت- پاشمان نیست، بلکه در شرایط فعلی استفاده از این رابطه در ایستگاه مذکور توصیه نمی‌شود تا تحقیقات دیگری نتایج به‌دست آمده را تکمیل کند.

### سپاسگزاری

این مقاله حاصل کار پژوهشی بوده و مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان کردستان و پژوهشکده حفاظت خاک و آب‌خیزداری تأمین هزینه اجرای این تحقیق را بر عهده داشته‌اند، بدین‌وسیله از دست اندرکاران محترم آن مراکز تقدیر و تشکر می‌شود. از کارکنان محترم اداره کل و

آماری، شاخص‌های خطا و ضرایب معادلات نشان داده شده در جدول ۳، برای ایستگاه‌های محل تحقیق ارائه شده است (جدول ۴ و ۵). همان‌طوری که ملاحظه می‌شود رابطه بین شدت بارندگی و اندازه پاشمان ایستگاه‌های هواشناسی مریوان و زرینه به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار است. در ایستگاه سقز رابطه ارائه شده معنی‌دار نبوده است.

جدول ۳- روابط همبستگی به‌دست آمده برای ایستگاه‌ها

نام ایستگاه هواشناسی	رابطه همبستگی*
مریوان	$W = 0.6597(I)^{0.4196}$
زرینه	$W = 0.9532(I)^{0.521}$
سقز	$W = 0.3053(I)^{0.5115}$

\*W اندازه پاشمان و I شدت بارندگی

جدول ۴- شاخص‌های خطا و ضرایب رابطه همبستگی پاشمان و شدت بارندگی ایستگاه مریوان

ایستگاه مریوان				
F	میانگین حداقل	مجموع مربعات خطا	درجه آزادی	منبع تغییرات
۹/۶۱ **	۴/۴۵۳	۴/۴۵۳	۱	مدل
	۰/۴۶۳	۶/۴۹۱	۱۴	خطا
		۱۰/۹۴۵	۱۵	کل

$$R^2 = 0.42$$

$$MSE = 0.68$$

\*\*در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار است

جدول ۵- شاخص‌های خطا و ضرایب رابطه همبستگی پاشمان و شدت بارندگی ایستگاه زرینه

ایستگاه زرینه				
F	میانگین حداقل	مجموع مربعات خطا	درجه آزادی	منبع تغییرات
۳/۹*	۰/۹۴۴	۰/۹۴۴	۱	مدل
	۰/۷	۲۸/۲۹	۴۰	خطا
		۲۹/۲۳	۴۱	کل

$$R^2 = 0.41$$

$$MSE = 1.92$$

\*در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی‌دار است.

ایستگاه‌های هواشناسی استان کردستان به خاطر همکاری آنها تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از آقای مهندس رحمن ابن عباسی به خاطر راهنمایی تجزیه و تحلیل آماری تشکر می‌شود.

### منابع

- ۱- قدیری ح. ۱۳۷۲. حفاظت خاک. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. چاپ سوم. ۴۷۰ ص.
- 2- Agassi M. Bloem D and Ben-Hur D. 1994. Effect of drops energy and soil and water chemistry on infiltration and erosion. *Water Resources Research* 30(4):1187-1193.
- 3- AL-Durrah M.M. and Bradford J.M. 1982. Parameters for describing soil detachment due to single waterdrop impact. *Soil Science Society of American Journal* 46(4):836-840.
- 4- Bisal F. 1960. The effect of raindrop size and impact velocity on sand splash. *Canadian Journal of Soil Science* 40:242-245.
- 5- Ellison W.D. 1944. Studies of raindrop size erosion. *Agricultural Engineering* 25:131-136.
- 6- Kinnel P.I.A. 2003. Event erosivity factor and errors in erosion predictions by some empirical models. *Australian Journal of Soil Research* 211:991-1003.
- 7- Lal R. and Elliot W. 1995. Soil erosion research methods. Soil and Water Conservation Society St. Lucie Press. USA.
- 8- Onchev N.G. 1984. Universal index for calculating rainfall erosivity in soil erosion and conservation (Sofia, Bulgaria). *Soil Sci. and Agrochem* 9(2):424-431.
- 9- Rosewell C.J. 1986. Rainfall kinetic energy in eastern Australia. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 25(11):1695-1701.
- 10- Schultz J.P. Jarrett A.R. and Hoover J.R. 1985. Detachment and splash of a cohesive soil by rainfall. *Trans. of the ASAE* 28(6):1878-1884.
- 11- Smith A.S. 1993. Marked point processes models of raindrop-size distributions. *Journal of Applied Meteorology* 32(2):284-295.
- 12- Ting M. Chenghu Z. Tongxin Z. and Qiangguo C. 2008. Modeling raindrop impact and splash erosion processes within a spatial cell: a stochastic approach. *earth surf. Process Landforms* 33:712-723.
- 13- Zachar D. 1982. Soil erosion development in soil science. Elsevier Scientific, Amsterdam. 547.