

## مطالعه آزمایشگاهی فرسایش پاشمانی در بافت‌های مختلف خاک با استفاده از شبیه ساز باران

افشین هنربخش\* - دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد.  
فریال حیوی - دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۲۵      تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۹/۱۲

### چکیده

فرسایش پاشمانی اولین مرحله پدیده فرسایش و عامل اصلی از دست رفتن حاصلخیزی خاک است که ارتباط مستقیمی با بافت خاک دارد. هدف از پژوهش حاضر مطالعه آزمایشگاهی فرسایش پاشمانی در کلاس‌های بافتی مختلف تحت شدت‌های بارش متفاوت با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران است. برای این منظور ۸۳ نمونه خاک از سه کلاس بافتی سبک، متوسط و سنگین خاک‌های منطقه شهرکرد استان چهارمحال و بختیاری استفاده شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل اسیدیته، شوری، بافت خاک، ماده آلی، کربنات کلسیم در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. شدت‌های ۶۵، ۹۵ و ۱۲۰ میلی‌متر در ساعات با دستگاه باران‌ساز موجود در پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری بر کلاس‌های بافتی خاک اعمال شد. قطر قطرات باران با روش گلوله‌ی آردی و فرسایش پاشمانی با استفاده کاسه‌های پاشمان طراحی مورگان (۱۹۷۸) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بین نرخ پاشمان در کلاس‌های بافتی در شدت‌های ۶۵ و ۱۲۰ میلی‌متر در ساعت تفاوت معنی‌داری وجود داشت درحالی‌که در شدت ۹۵ میلی‌متر بر ساعت تفاوت معنی‌داری بین نرخ پاشمان در کلاس‌های بافتی دیده نشد. درصد رس خاک با ضریب همبستگی  $0.388$  - بیشترین ارتباط را با نرخ پاشمان در شدت‌های مختلف داشت. ماده - آلی با شدت‌های ۶۵ و ۹۵ میلی‌متر همبستگی معنی‌دار بترتیب  $0.375$  - و  $0.255$  - داشت درحالی‌که با شدت ۱۲۰ میلی‌متر در ساعت همبستگی نشان نداد که می‌تواند بدلیل انرژی جنبشی زیاد و قطرات سنگین باران در شدت ۱۲۰ میلی‌متر در ساعت باشد.

واژگان کلیدی: شهرکرد، پاشمان، کاسه پاشمان، انرژی جنبشی باران، فرسایش.

## مقدمه

فرسایش خاک یکی از مهمترین مسائل زیست محیطی و کشاورزی در جهان محسوب می‌شود و تأثیرات مخربی بر تمام اکوسیستم‌های منابع طبیعی و تحت مدیریت انسان دارد (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹). با توجه به این که بیش از ۹۹/۷٪ غذا و کالری مردم جهان از بستر خاک تأمین می‌گردد، می‌توان اینگونه بیان کرد که پدیده‌ی فرسایش خاک، از مسائل بسیار مهم و خطری جدی برای امنیت غذایی و در نتیجه حیات بشر محسوب می‌گردد (پیمنتال، ۲۰۰۶). یکی از عوامل موثر در فرسایش خاک باران و رواناب سطحی ناشی از باران است. باران بیش از آنکه عامل ایجاد جریان سطحی باشد خود با ضربه‌ای که به خاک وارد می‌کند عاملی مهم در پراکندگی ذرات و آماده شدن آن جهت فرسایش به وسیله جریان سطحی است (صادقی‌فرد و همکاران، ۱۳۸۳). قطرات باران با شکستن خاکدانه‌ها و تشکیل سله ساختار خاک سطحی را تغییر می‌دهند. علاوه بر تغییر سطح خاک در اثر برخورد قطره‌ی باران، ذرات خاک را از محل پیدایش آن‌ها جدا کرده و این ذرات در صورت وجود عوامل انتقال مثل رواناب تا مسافت بسیاری حمل می‌شوند (کین جان و همکاران، ۲۰۰۸).

فرسایش پاشمانی اولین مرحله در فرایند فرسایش شناخته شده (که نتیجه بمباران سطح خاک به وسیله قطرات باران است کین جان و همکاران، ۲۰۰۸؛ ودیورا و همکاران، ۲۰۰۹). برخورد قطره باران به سطح خاک با شکستن خاکدانه‌ها و تشکیل یک لایه‌ی متراکم موجب تغییر در ساختمان خاک سطحی می‌شود. فرسایش پاشمانی مهمترین نوع فرسایش در اراضی کشاورزی است. تقریباً تمام عملیات کشاورزی در جهت افزایش فرسایش عمل می‌کنند. هر زمانی که پوشش گیاهی برداشت شود مانعی جهت جذب قطرات باران وجود نداشته و نتیجتاً فرسایش پاشمانی زیاده‌تر خواهد شد (خالدیان، ۱۳۸۶). تغییرات لایه‌ی سطحی خاک در اثر فرسایش پاشمانی به چشم دیده نمی‌شود. در اثر فرسایش پاشمانی لایه نازک خاک رویی که از نظر کشاورزی فعال‌ترین و حاصلخیزترین قسمت پوسته‌ی زمین است فرسوده شده و باروری خاک بطور چشمگیری کاهش می‌یابد. بعلاوه در اثر جدا شدن ذرات خاک و بسته شدن خلل و فرج‌ها قابلیت نفوذ آب و هوا در خاک کم می‌شود. همچنین در اثر شسته شدن ماده‌آلی خاکدانه‌ها ضعیف شده و بتدریج متلاشی می‌شوند که در نهایت ساختمان خاک تخریب و متراکم می‌گردد (آرمین، ۱۳۸۵).

ابزاری که برای اندازه‌گیری فرسایش پاشمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد بایستی قابلیت جمع‌آوری و اندازه‌گیری وزن کل ذرات خاک پاشمان شده به وسیله قطرات باران و با به عبارت دیگر رسوبات ناشی از پاشمان را دارا باشد. از بهترین روش‌های تعیین کمی فرسایش پاشمانی استفاده از کاسه پاشمان<sup>۱</sup> است (مورگان، ۱۹۸۱). اساس کار کاسه پاشمان بر اساس اختلاف وزن خاک قبل و بعد از بارش (برخورد قطرات باران) است. کاسه پاشمان با وجود سادگی نتایج دقیق و قابل تکراری را در اندازه‌گیری میزان پاشمان به دست می‌دهد. امروز استفاده از شبیه ساز باران در مطالعات مربوط به فرسایش و هیدرولوژی کاربرد فراوانی دارد. به ویژه در ارزیابی فاکتورهای موثر در فرسایش خاک نیاز به بارش با خصوصیات ثابت و تکرارپذیر است که به کمک باران‌سازها این مهم عملی شده است. باران‌سازها را می‌توان هم در مزرعه و هم در آزمایشگاه با کارایی و سرعت بالا استفاده نمود و نتایج قابل قبول و قابل تعمیمی به شرایط طبیعی را بدست آورد.

مطالعات زیادی در مورد فرسایش پاشمانی صورت پذیرفته است. از جمله آرمین (۱۳۸۵) تاثیر عوامل شیب، بافت خاک، شدت و مدت باران بر فرسایش خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران را بررسی کرد. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر حجم رواناب و وزن رسوب در سطوح مختلف شیب، شدت و مدت باران وجود داشت. کاویان و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی شماری از متغیرهای موثر در رواناب و فرسایش خاک اراضی جنگلی محدوده‌ی شهرستان ساری با استفاده از شبیه‌ساز باران پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که متغیرهای رطوبت پیشین خاک، ماده‌آلی، وزن مخصوص ظاهری و درصد شن به ترتیب بیشترین تاثیر را در تولید رواناب دارند. کین جان و همکاران (۲۰۰۸) میزان فرسایش

پاشمانی را در چهار نوع خاک چین با استفاده از باران‌ساز و کاسه‌ی پاشمان مورد مطالعه قرار دادند. نشان آن‌ها نشان داد خاکدانه‌های دارای محتوای ماده‌آلی زیاد کمترین مقدار فرسایش پاشمانی را دارند. بعلاوه آن‌ها دریافتند با افزایش ذرات درشت پایداری خاک کاهش یافته و فرسایش پاشمانی افزایش می‌یابد.

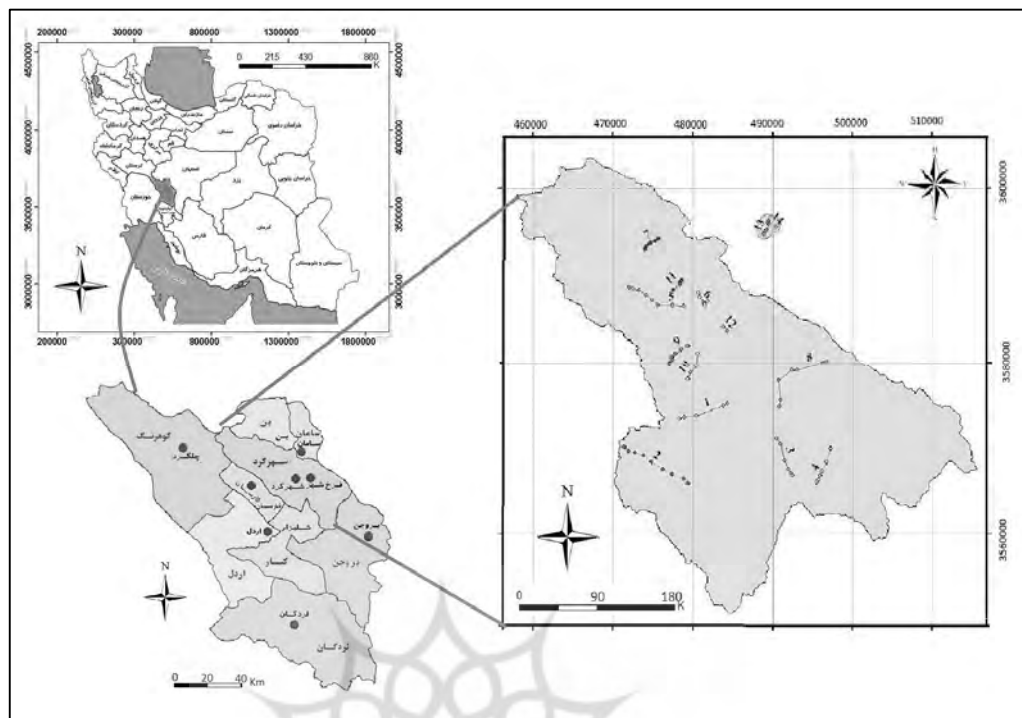
واعظی و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی میزان پاشمان در زنجان که با شدت ۴۰ میلی‌متر در ساعت و در بازه‌های زمانی ۷/۵ دقیقه‌ای انجام شد دریافتند که میزان پاشمان تا زمان ۴۵ دقیقه افزایش و پس از آن افزایش معنی‌داری حاصل نگردید. خلیلی مقدم و همکاران (۱۳۹۳) اثر شوری و قلیائیت، شیب و شدت بارش بر نرخ فرسایش پاشمانی خاک‌های استان خوزستان را با استفاده از دستگاه جام پاشمانی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش شوری و قلیائیت میزان کربن آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها کاهش یافت. آن‌ها بیان کردند که افزایش شوری و قلیائیت می‌تواند منجر به افزایش وقوع فرسایش پاشمانی گردد. یوسفی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی آزمایشگاهی تخریب خاکدانه‌ها و فرسایش پاشمانی در شرایط مختلف شدت و مدت بارندگی در خاک‌های منتخب حوضه دشتگل مسجده‌سلیمان پرداختند. نتایج نشان داد با افزایش مدت زمان بارش، میزان پاشمان و تخریب خاکدانه‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافت. نتایج این پژوهش بیانگر آن است که با افزایش شدت بارندگی، فرسایش پاشمانی و درصد تخریب خاکدانه‌ها به ترتیب ۱/۳ و ۱/۳۳ برابر شد.

با توجه به اثرات زیان‌آور فرسایش خاک بخصوص در کشاورزی و حاصلخیزی خاک، ارزیابی میزان فرسایش پاشمانی خاک‌های منطقه شهرکرد که از مناطق مهم کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری محسوب می‌شود از اهمیت بسزایی برخوردار است. در منطقه‌ی مورد مطالعه کشت غلات و عمدتاً گندم و جو به صورت دیم رایج است. لذا نقش فعالیت‌های کشاورزی در این منطقه جهت ارتزاق ساکنین نقش حیاتی است. همچنین بدلیل مطالعات انگشت شمار صورت گرفته در زمینه فرسایش پاشمانی در استان چهارمحال بختیاری، در این پژوهش سعی شد تا به مطالعه فرسایش پاشمانی به عنوان آغازگر فرایند فرسایش در بافت‌های مختلف خاک و شدت‌های مختلف بارندگی پرداخته شود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبخیز شهرکرد به وسعت ۱۲۴۸ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی ۴۵۸۳۶۵ و ۵۱۵۶۲۳ و عرض‌های جغرافیایی ۳۵۵۰۹۷۲ و ۳۶۰۳۵۳۲ (بر حسب سیستم جهانی<sup>۱</sup>) منطقه‌ی کوچکی از حوضه آبخیز سامان واقع در استان چهارمحال و بختیاری است (شکل ۱). متوسط ارتفاع منطقه ۲۰۶۰ متر از سطح دریا و میانگین سالانه بارندگی ۳۲۱ میلی‌متر است. میانگین درجه حرارت سالانه منطقه مورد مطالعه ۱۲/۵ درجه سانتیگراد و از حداقل ۸- تا ۳۴ درجه سانتیگراد متغیر است. فیزیوگرافی عمده منطقه شامل دشت‌های آبرفتی دامنه‌ای، اراضی پست، واریزه‌های بادبزی سنگریزه‌دار و آبرفت‌های بادبزی سنگریزه‌دار است. بر اساس طبقه‌بندی تاکسونومی خاک‌های منطقه در دوره اینسپتی‌سول و انتی‌سول قرار می‌گیرند. عمده محصولات کشاورزی در منطقه معمولاً چغندرقد، یونجه، گندم و جو است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و مکان‌های نمونه‌برداری در ایران و استان چهارمحال و بختیاری را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و مکان‌های نمونه‌برداری در ایران، استان چهارمحال - بختیاری و شهرکرد

### نمونه‌برداری

از آنجائی که فرسایش پاشمانی مهترین نوع فرسایش در اراضی کشاورزی است، لذا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارتس<sup>۱</sup> مربوط به تابستان سال ۲۰۱۶ و پایش زمینی اراضی کشاورزی مشخص و نمونه‌های خاک از این اراضی برداشت شد. ۱۴ ترانکست در منطقه بطوری که تقریباً تمام حوضه را پوشش دهد انتخاب شد و در مجموع ۸۳ نمونه خاک برداشت و موقعیت مکان‌های نمونه‌برداری ثبت گردید. بدلیل اثر فرسایش پاشمانی بر خاک سطحی، نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری برداشت شد (ودیورا و مکاران، ۲۰۰۹). نمونه‌های برداشت شده به دو بخش تقسیم شد. قسمتی از نمونه برای اندازه‌گیری برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی به آزمایشگاه منتقل و ضمن عبور از الک ۲ میلی‌متری هواخشک شدند. در نمونه‌های هوا خشک شده خصوصیات بافت خاک به روش هیدرومتر (گی و بادر، ۱۹۸۶)، اسیدپته گل اشباع با دستگاه اسیدپته متر (کلوت، ۱۹۸۲)، شوری عصاره گل اشباع با دستگاه هدایت سنج (رودز، ۱۹۸۴)، ماده آلی به روش سوزاندن تر با استفاده از بیکرمات پتاسیم در مجاورت اسید سولفوریک غلیظ (نلسون و سومرز، ۱۹۸۲) و کربنات کلسیم خاک به روش تیتراسیون با هیدروکسیدسدیم (کلوت، ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شدند. بخش دیگر نمونه‌های خاک برای انجام آزمایش‌های مربوط به اندازه‌گیری فرسایش پاشمانی از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شد (کین جان و همکاران، ۲۰۰۸) و به آزمایشگاه پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انتقال یافت.

### اندازه‌گیری فرسایش پاشمانی

#### شبییه‌ساز باران

در این پژوهش از باران‌ساز مدل FEL3 موجود در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری استفاده گردید. باران‌ساز مدل FEL3 یک باران‌ساز صفحه گردان است که توزیع خوبی از اندازه‌ی قطرات باران و انرژی جنبشی حاصل از آن را ایجاد

<sup>۱</sup> - Google Earth

می‌کند (شکل ۲). باران‌ساز دارای ارتفاع ۲/۶۵، عرض ۲/۳ و طول ۱/۶ متر است که دارای پمپ ساتریفوژ، لوله‌ای انتقال آب، پمپ برق، صفحه گردان و دستگاه اندازه‌گیری است.

برای کالیبراسیون باران‌ساز با استفاده از شاقول صفحه آزمایش دقیقاً زیر نازل باران‌ساز قرار داده شد و شبکه‌ای از ظروف شماره‌گذاری شده روی صفحه آزمایش قرار گرفت. باران‌ساز با فشار ۰/۴ بار، سرعت چرخش دیسک ۱۰۰ دور در دقیقه و زاویه دیسک ۱۰ درجه برای مدت ۱۰ دقیقه به کار انداخته شد. حجم باران با استفاده از استوانه‌ی مدرج اندازه‌گیری و آزمایش برای زوایه‌های ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه تکرار شد. آزمایش‌ها برای هر زاویه در ۴ تکرار انجام شد و میانگین ۴ تکرار برای هر ظرف بدست آمد. میزان شدت بارش در هر ظرف و یکنواختی شدت در هر زاویه با استفاده از رابطه‌ی زیر بدست آمد:

$$I = \frac{Q}{A \times t} \times 600 \quad (1)$$

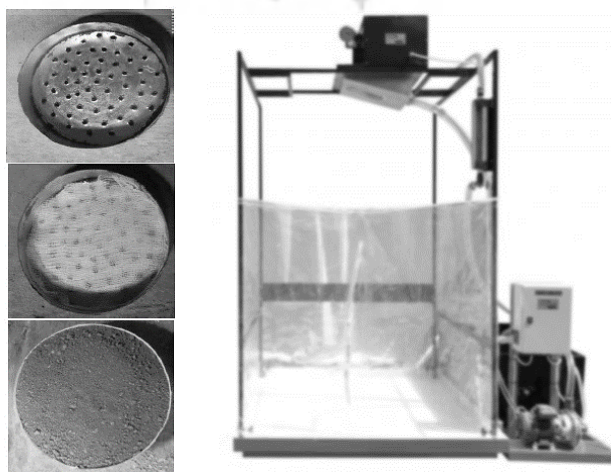
که در این معادله I شدت باران ( $\text{mm h}^{-1}$ )، حجم آب جمع‌آوری شده در هر ظرف (mm)، A سطح مقطع ظرف ( $\text{cm}^2$ ) و t زمان (min) است. پس از انجام آزمایش‌ها در نهایت شدت‌های ۶۵، ۹۵ و ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت برای انجام آزمایش انتخاب شدند.

#### کاسه پاشمان

کاسه‌های پاشمان بر اساس طرح مورگان (۱۹۷۸) و با استفاده از قوطی‌های بازیافتی ساخته شدند. این کاسه‌ها دارای ارتفاع ۲/۵ سانتی‌متر و قطر ۱۰ سانتی‌متر و مساحت ۷۸/۵ سانتی‌متر مربع هستند. کاسه‌ها با خاک‌های هوا خشک شده و عبور کرده از الک ۴mm پر و برای مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد قرار داده شدند. پس از خشک شدن وزن اولیه هر کاسه با ترازوی دیجیتالی با دقت میلی‌گرم اندازه‌گیری شدند. کاسه‌ها در زیر باران‌ساز کالیبره شده به مدت ۱۰ دقیقه با شدت‌های ۶۵، ۹۵ و ۱۲۰ میلی‌متر قرار گرفتند. بعد از اتمام بارش نمونه‌ها مجدداً برای مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد قرار گرفتند و پس از خشک شدن وزن ثانویه هر کاسه اندازه‌گیری شد. نرخ پاشمان با استفاده از رابطه‌ی لای و همکاران (۱۹۹۸) محاسبه شد:

$$S = \frac{D_{t2} - D_{t1}}{(t_2 - t_1)A} \quad (2)$$

که در این معادله S نرخ پاشمان ( $\text{g min}^{-1} \text{m}^{-2}$ )،  $D_{t2}$  و  $D_{t1}$  رسوب تولید شده در بین زمان‌های  $t_2$  و  $t_1$  (g)،  $t_2$  و  $t_1$  زمان بارش (min) هستند.



شکل ۲- دستگاه شبیه‌ساز باران مدل FEL3 (سمت راست) و کاسه‌های پاشمان (سمت چپ)

### اندازه‌گیری قطر قطرات باران

قطر قطرات باران از روش گلوله‌ی آردی استفاده گردید. در این روش از ظروف پلاستیکی با سطح مقطع مستطیلی به ابعاد ۱۵ در ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. لایه‌ای به ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر از آرد گندم در داخل هر ظرف ریخته و ظروف برای چند ثانیه در زیر باران‌ساز با شدت‌های مختلف قرار داده شدند. ظروف بعد از قرارگرفتن هر ظرف در معرض بارندگی مقداری آرد روی ظرف پاشیده شد تا از تبخیر باران جلوگیری شود و گلوله‌های آردی بعد از خشک شده شکل گردی به خود بگیرند. ظروف برای ۲۴ ساعت در آزمایشگاه هوا خشک شده و از الک‌های ۵، ۱۰، ۱۲، ۱۸، ۳۵، ۴۵ و ۶۰ مش عبور داده شدند. در نهایت با استفاده از رابطه‌ی اسلین و ولنتاین (۱۹۷۸) قطر قطره‌ی باران متناظر با قطر گلوله‌ی آردی بدست آمد:

$$D_d = 0.985 D_f^{1.02} \quad (3)$$

که در این معادله  $D_d$  قطر قطره‌ی باران (mm) و  $D_f$  قطر گلوله آردی (mm) است.

### تجزیه و تحلیل آماری

تست نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن و در سطح ۹۵ درصد و بررسی همستگی فرسایش پاشمانی با متغیرهای خاک با استفاده از آزمون پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS 15 انجام شد.

### نتایج و بحث

#### خلاصه آماری

نمونه‌های خاک در سه کلاس بافتی سبک (درصد رس کمتر از ۳۰)، متوسط (درصد رس بین ۳۰ تا ۴۰) و سنگین طبقه‌بندی (درصد رس بیشتر از ۴۰) شدند. جدول ۱ خلاصه آماری ویژگی‌های خاک در سه کلاس بافتی سبک، متوسط و سنگین را نشان می‌دهد. بافت سنگین با میانگین ۰/۸۶ درصد بیشترین مقدار ماده‌آلی و بافت سبک با میانگین ۰/۳۹ درصد کمترین مقدار ماده‌آلی را دارد و میزان ماده آلی در بافت سنگین بطورمعنی‌داری بیشتر از دو بافت دیگر است ( $p < 0.05$ ). علت این امر بدلیل وجود ذرات رس بیشتر، سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی<sup>۱</sup> بیشتر و در نتیجه ایجاد پیوند هیدروژنی با ماده‌آلی است. بافت متوسط با داشتن میانگین ۲۶/۷ درصد بیشترین مقدار کربنات کلسیم را دارد. مقدار شوری در بافت سبک بیشتر از بافت‌های متوسط و سنگین است.

جدول ۱: خلاصه آماری ویژگی‌های خاک در سه کلاس بافتی

انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	ویژگی‌های خاک	طبقه بافت
۰/۴۸	۷/۵۳	۸/۲۱	۶/۶۰	pH	
۱۲۱/۶	۲۳۳/۲	۴۹۲/۰	۱۱۷/۱	EC(μs/cm)	
۹/۱	۱۳/۴	۳۱/۰	۲/۰	%CaCO <sub>3</sub>	بافت سبک
۰/۱۸	۰/۳۹	۱/۱۰	۰/۳۴	%OM	n=۹
۳/۱	۱۹/۸	۲۶/۹	۱۴/۹	%Clay	
۶/۷	۲۲/۲	۳۱/۳	۱۳/۳	% Silt	

<sup>۱</sup>- Cation Exchange Capacity

۹۱/۲	۵۸/۱	۷۱/۸	۴۱/۸	% Sand	بافت متوسط n = ۲۹
۰/۲۹	۸/۱۰	۸/۶۰	۷/۴۲	pH	
۴۹/۹	۱۵۷/۶	۲۹۴/۶	۱۱۱/۳	EC(μs/cm)	
۱۴/۳	۲۶/۷	۶۳/۷	۷/۰	% CaCO <sub>3</sub>	
۰/۳۰	۰/۸۶	۳/۱۰	۰/۱۲	% OM	
۳/۲	۳۶/۱	۴۰/۰	۲۸/۸	% Clay	
۶/۶	۳۵/۹	۵۱/۸	۲۴/۰	% Silt	
۸/۳	۲۷/۹	۴۴/۴	۱۲/۵	% Sand	
۰/۲۳	۸/۱۹	۸/۵۳	۷/۴۷	pH	
۳۸/۲	۱۴۶/۷	۲۸۴/۹	۱۰۲/۱	EC(μs/cm)	
۱۱/۵	۱۸/۴	۵۹/۷	۲۵/۰	% CaCO <sub>3</sub>	بافت سنگین n = ۴۵
۰/۴۵	۰/۶۷	۴/۷۱	۰/۰۵	% OM	
۳/۸۴	۴۶/۳	۵۳/۰	۴۰/۴	% Clay	
۴/۸	۳۵/۷	۴۴/۰	۲۷/۳	% Silt	
۴/۷	۱۸/۳	۲۸/۷	۸/۴	% Sand	

### مقایسه پاشمان در شدت‌های مختلف بارش

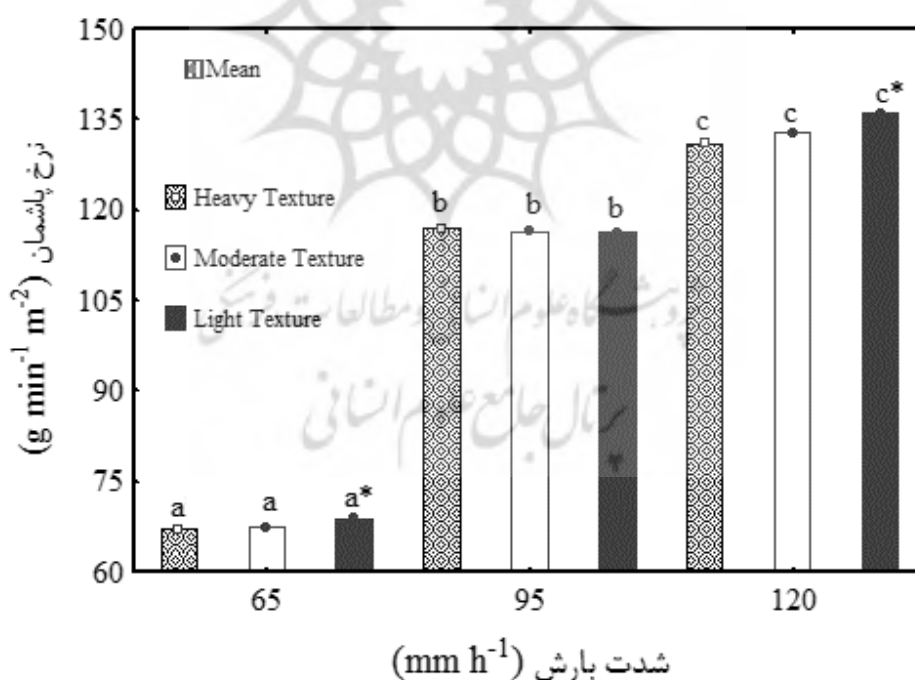
قطر متوسط قطرات باران شبیه‌سازی شده در شدت‌های ۶۵، ۹۵ و ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت با استفاده از روش میانگین وزنی به ترتیب ۱/۲، ۱/۴۸ و ۱/۵۷ میلی‌متر بود که هر سه شدت تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند. مقدار D<sub>50</sub> آن‌ها نیز در شدت‌های ۶۵ و ۹۵ میلی‌متر بر ساعت ۱ میلی‌متر و برای شدت ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت ۱/۷ میلی‌متر محاسبه شد. همه تیمارهای بافتی و شدت بارندگی از توزیع نرمالی برخوردار بودند ( $p > 0.05$ ). میزان نتایج حاصل از اندازه‌گیری فرسایش پاشمانی در هر یک از ۳ گروه بافتی خاک و در شدت‌های مختلف شبیه‌سازی شده در جدول ۲ و شکل ۳ نشان داده شده است. شکل ۳ نشان می‌دهد که هرچه میزان شدت بارش افزایش می‌یابد میزان پاشمان نیز افزایش خواهد یافت که با نتایج حاصل از پژوهش خالدیان (۱۳۸۶) و محمد و همکاران (۲۰۱۰) همخوانی دارد. با افزایش شدت بارش اندازه و وزن قطرات افزایش می‌یابد که در نتیجه آن انرژی جنبشی افزایش یافته و منجر به از هم پاشیده شدن خاکدانه‌های بیشتری می‌گردد. با افزایش خاکدانه‌های متلاشی شده نرخ پاشمان نیز افزایش می‌یابد (آقاسی و لوی، ۱۹۹۱).

میانگین مقدار پاشمان در شدت ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت و بافت سبک با ۱۱۳/۱۳ بیشترین مقدار و در شدت ۶۵ میلی‌متر بر ساعت و بافت متوسط کمترین مقدار را داراست (جدول ۲). در بافت سنگین با تغییر شدت بارش از شدت ۶۵ به ۹۵ و ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت، نرخ پاشمان را به ترتیب ۱/۴ و ۱/۷ برابر افزایش داد (جدول ۲). در بافت متوسط با تغییر شدت بارش از شدت ۶۵ به ۹۵ و ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت به شدت ۹۵ و ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت و از شدت ۹۵ به ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت به ترتیب منجر به افزایش ۱/۴، ۱/۸ و ۱/۳ برابر در میزان پاشمان شده است (جدول ۲). در خاک‌های بافت سبک، تغییر در شدت بارش از ۶۵ به ۹۵ و ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت باعث افزایش ۱/۳ و ۱/۷ برابر در میزان پاشمان شده است (جدول ۲). در همه شدت‌های ۶۵ و ۱۲۰ میلی‌متر میزان پاشمان در بافت سبک به طور معنی‌داری بیشتر از دو بافت متوسط و سنگین است (شکل ۳). وجود اختلاف معنی‌دار بین بافت‌های سبک با متوسط و سنگین را می‌توان ناشی به کاهش نیروی چسبندگی بین ذرات خاک در بافت سبک ارتباط داد که با نتایج پژوهش گامیره و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد. با سنگین تر شدن بافت خاک میزان رس و در نتیجه چسبندگی و مقاومت به پاشیده شدن افزایش می‌یابد. بعلاوه میزان ماده‌آلی در بافت‌های متوسط و سنگین از بافت سبک بیشتر بوده که خود عامل مهم دیگری در افزایش چسبندگی ذرات خاک در این بافت‌هاست.

جدول ۲: مقادیر فرسایش پاشمانی بافت‌های مختلف در شدت‌های شبیه‌سازی شده ( $\text{g min}^{-1}\text{m}^{-2}$ )

بافت	شدت بارش ( $\text{mm h}^{-1}$ )	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
سبک n = ۹	۶۵	۴۴/۱	۱۰۱/۲	۶۴/۶	۱۷/۲
	۹۵	۳۵/۶	۱۴۷/۳	۸۴/۲	۳۵/۵
	۱۲۰	۹۱/۲	۱۶۱/۲	۱۱۳/۱	۲۱/۱
متوسط n = ۲۹	۶۵	۲۲/۷	۸۲/۹	۵۱/۱	۱۴/۱
	۹۵	۳۷/۵	۱۲۴/۶	۷۲/۵	۲۶/۷
	۱۲۰	۷۵/۴	۱۴۱/۶	۹۴/۴	۱۴/۹
سنگین n = ۴۵	۶۵	۱۵/۹	۸۶/۲	۵۲/۱	۱۴/۶
	۹۵	۲۹/۱	۱۲۴/۹	۷۶/۷	۲۴/۵
	۱۲۰	۵۲/۵	۱۶۹/۳	۹۰/۳	۲۱/۲

در شدت‌های ۶۵ و ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت تفاوت معنی‌داری بین مقدار پاشمان در بافت‌های متوسط و سنگین وجود ندارد ( $p > 0.05$ ). در شدت ۹۵ میلی‌متر بر ساعت تفاوت معنی‌داری بین مقدار پاشمان در بافت‌های مختلف وجود ندارد ( $p > 0.05$ ). عدم وجود اختلاف معنی‌دار نرخ پاشمان بافت‌های متوسط و سنگین با یکدیگر را می‌توان بدلیل مشابهت کلاس‌های بافتی دانست زیرا که منطقه شهرکرد عمدتاً دارای بافت سنگین و با درصد رس بالاست، بنابراین عدم وجود اختلاف معنی‌دار در میزان پاشمان قابل توجیه است.

شکل ۳: میانگین مقادیر فرسایش پاشمانی بافت‌های مختلف در شدت‌های مختلف شبیه‌سازی شده ( $\text{g min}^{-1}\text{m}^{-2}$ )

### همبستگی پاشمان با ویژگی‌های خاک

همبستگی بین فرسایش پاشمانی و خصوصیات خاک حاصل از آزمون پیرسون در جدول ۳ آمده است. بین اسیدیته و نرخ پاشمان در شدت بارش ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت ارتباط معنی‌دار منفی وجود دارد (جدول ۳ و شکل ۴). وجود همبستگی منفی معنی‌دار بین درصد کربنات کلسیم و نرخ پاشمان در شدت ۹۵ میلی‌متر بر ساعت نشان‌دهنده‌ی اثر مثبت کربنات



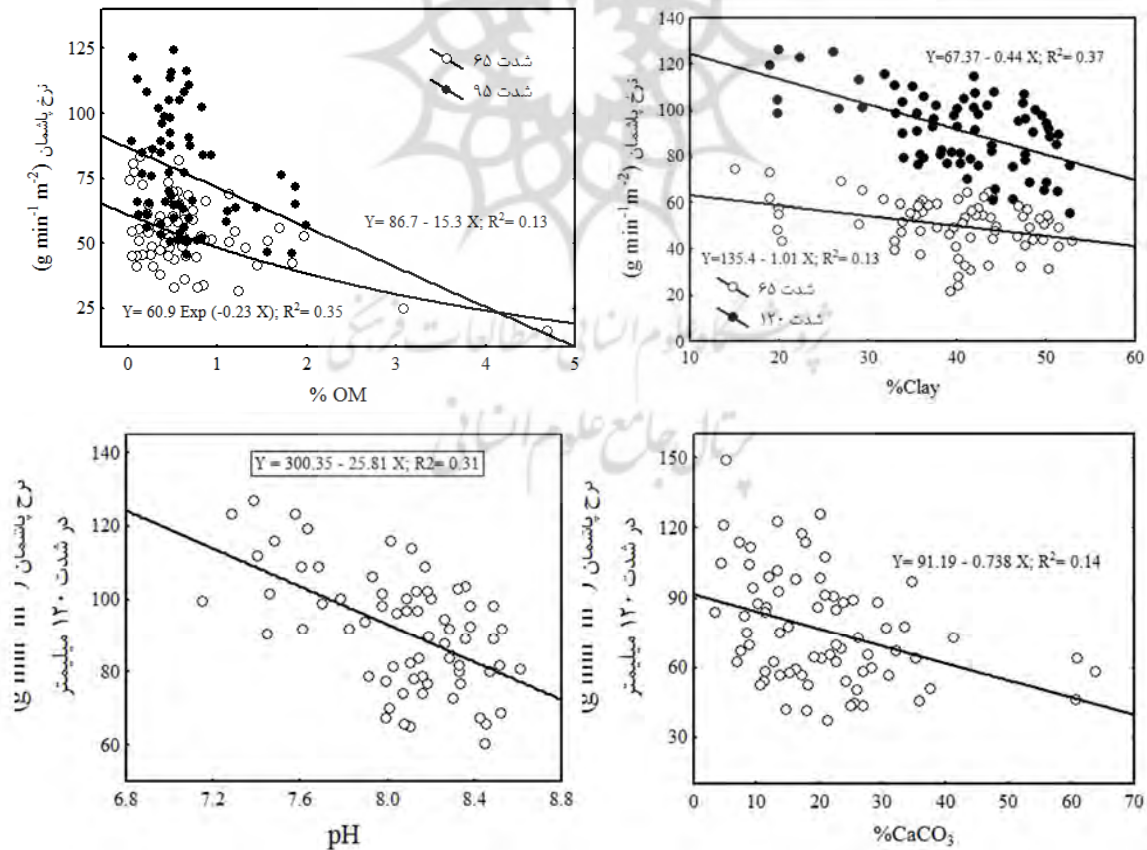
کلسیم در پایداری خاکدانه‌هاست (جدول ۳ و شکل ۴). کربنات کلسیم مانند سیمان موجب افزایش و ایجاد ساختمان در خاک و در نتیجه افزایش نفوذپذیری و کاهش رواناب می‌شود (اسماعیل‌نژاد، ۱۳۸۵).

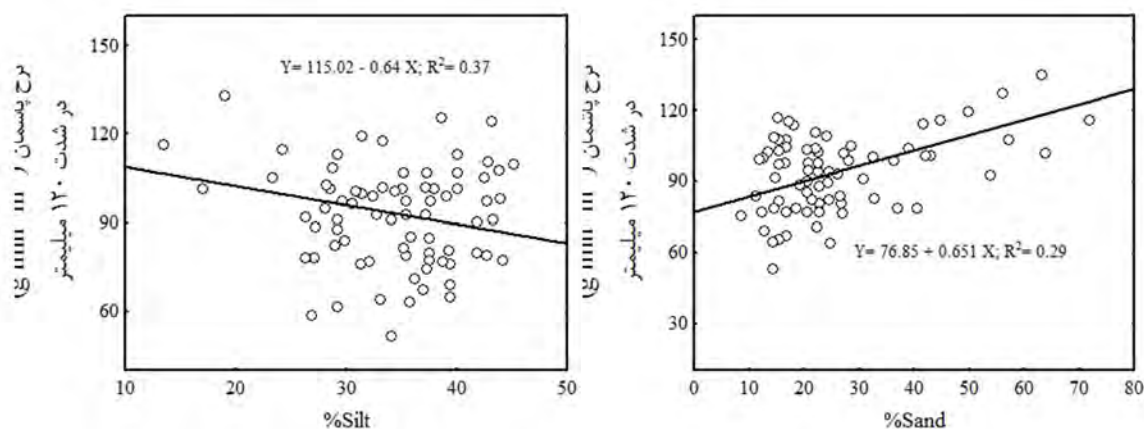
جدول ۳- ماتریس همبستگی بین خصوصیات نمونه‌های خاک و نرخ پاشمان در شدت‌های مختلف بارش

شدت	اسیدیته	EC(μs/cm)	% CaCO <sub>3</sub>	% OM	% Clay	% Silt	% Sand
۶۵ میلی‌متر بر ساعت	۰/۲۰۴	۰/۱۰۸	-۰/۰۴۹	-۰/۳۷۵**	-۰/۲۲۳*	-۰/۱۱۷	۰/۲۰۸
۹۵ میلی‌متر بر ساعت	-۰/۱۵۶	-۰/۱۰۴	-۰/۲۳۷*	-۰/۲۵۵*	-۰/۰۷۶	-۰/۱۸۳	۰/۱۱۶
۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت	-۰/۳۲۲**	۰/۱۰۲	۰/۱۹۸	-۰/۰۵۸	-۰/۳۸۸**	-۰/۲۲۳*	۰/۳۷۵**

\* و \*\* معنی‌داری به ترتیب در سطح ۰/۹۵ و ۰/۹۹

ماده‌آلی خاک دارای تاثیر معنی‌دار منفی در شدت‌های ۶۵ و ۹۵ میلی‌متر در ساعت است (جدول ۳). چنانچه در شکل ۴ نشان داده شده است پاشمان در شدت‌های ۶۵ و ۹۵ میلی‌متر بر ساعت به ترتیب بصورت خطی و نمایی با افزایش ماده‌آلی کاهش می‌یابد. ماده‌آلی با بهبود ساختمان خاک و افزایش پایداری خاکدانه‌ها و در نتیجه افزایش نفوذپذیری موجب کاهش تخریب خاکدانه‌ها و پاشمان خاک می‌شود. ماده‌آلی با ایجاد پیوند بین ذرات رس خاک و افزایش مقاومت خاکدانه‌ها موجب پایداری در برابر جدا شدن توسط عوامل فرسایش‌دهنده مانند آب و باد می‌گردد.





شکل ۴: رابطه‌ی بین ویژگی‌های خاک و نرخ پاشمان در شدت‌های مختلف

در شدت ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت به دلیل انرژی زیاد قطرات باران اثر کاهش‌ی ماده آلی بر نرخ فرسایش خاک اگرچه مشاهده می‌شود ولی معنی‌دار نیست (جدول ۳). همبستگی منفی معنی‌دار بین نرخ پاشمان و ماده آلی خاک توسط پژوهشگرانی از جمله لگوت و همکاران (۲۰۰۵)، کین جان و همکاران (۲۰۰۸)، واعظی و همکاران (۲۰۱۱) و رضایی پاشا (۱۳۹۰) گزارش شده است. همبستگی معنی‌دار منفی بین درصد رس و نرخ پاشمان در شدت‌های ۶۵ و ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت دیده شد (جدول ۳) که با نتایج ودیویرا و همکاران (۲۰۰۹) و زارع‌خورمیزی (۱۳۸۹) همخوانی دارد. روند خطی کاهش‌ی میزان پاشمان با افزایش درصد رس در هر دو شدت ۶۵ و ۱۲۰ در شکل ۳ کاملاً مشخص است. رس در ایجاد حالت چسبندگی ذرات خاک و تشکیل خاکدانه نقش مهمی دارد بطوریکه اگر مقدار رس خاک کمتر از ۱۰ درصد باشد تقریباً ساختمانی بوجود نخواهد آمد و در صورت تشکیل ساختمان هم پایداری کافی در خاکدانه‌ها وجود ندارد و در اثر فرسایش خاکدانه‌ها به سرعت متلاشی می‌شوند. از طرفی هم اگر میزان رس بیشتر از ۴۰ درصد باشد خاکدانه‌های کوچکی ایجاد می‌شود که به آسانی فرسوده می‌شوند (رفاهی، ۱۳۸۵). در پژوهش حاضر محتوای رس بین دو بازه ۱۰ و ۴۰ درصد قرار دارد لذا خاکدانه‌های تشکیل شده در برابر ضربه‌ی قطرات مقاوم هستند.

سیلت با نرخ پاشمان در شدت ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت همبستگی منفی معنی‌داری داشت (جدول ۳) که روند کاهش‌ی میزان پاشمان در شکل ۳ آمده است. این روند منفی در شدت‌های ۶۵ و ۹۵ میلی‌متر بر ساعت نیز علیرغم غیرمعنی‌دار شدن مشاهده شد. اگرچه رفاهی (۱۳۸۲) خاک‌های با میزان سیلت بین ۴۰ تا ۶۰ درصد را فرسایش‌پذیرترین خاک‌ها می‌داند ولی در پژوهش حاضر درصد رس کم خاک‌ها اثر منفی بر نرخ پاشمان داشته است. این همبستگی منفی بین درصد سیلت و فرسایش پاشمانی توسط لگوت و همکاران (۲۰۰۵)، و بهاتاچاریا و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش شده است. بین درصد شن و نرخ پاشمان در شدت ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت همبستگی مثبت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۳ و شکل ۴). اگرچه ذرات شن در مقایسه با ذرات رس و سیلت به دلیل داشتن قطر بزرگتر و وزن بیشتر نیازمند نیروی بیشتری برای حمل در طی فرآیند فرسایش است. اما آنچه در فرآیند پاشمان نقش مهم‌تری را ایفا می‌کند خاصیت چسبندگی بیشتر ذرات است. بنابراین ذرات شن به دلیل عدم وجود نیروی چسبندگی کافی حساسیت زیادی در برابر قطره‌ی باران داشته و با افزایش درصد شن در خاک بر نرخ فرسایش پاشمانی نیز افزوده می‌شود. لگوت و همکاران (۲۰۰۵) و کین جان و همکاران (۲۰۰۸) نتایج مشابهی را در پژوهش‌های خود گزارش کردند.

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تأثیر بافت خاک و بارش در شدت‌های مختلف بر فرسایش پاشمانی در خاک‌های کشاورزی منطقه شهرکرد با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد بطور کلی با افزایش شدت بارش میزان تخریب خاکدانه‌ها و پاشمان خاک افزایش یافت. بین نرخ پاشمان در شدت ۹۵ میلی‌متر در ساعت کلاس‌های بافتی خاک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. نتایج همچنین نشان داد که درصد رس خاک با ضریب همبستگی  $-0/388$  - بیشترین همبستگی را با نرخ پاشمان دارد. بعد از درصد رس ماده‌آلی و درصد شن بیشترین همبستگی را نرخ پاشمان در شدت‌های مختلف داشت. بیشترین میزان نرخ پاشمان در خاک‌های بافت سبک دیده شد که با توجه به پایین بودن درصد ماده‌آلی در این کلاس بافتی لزوم توجه بیشتری برای کنترل فرسایش پاشمانی وجود دارد. وجود همبستگی منفی معنی‌دار ( $-0/375$ ) بین ماده‌آلی خاک و نرخ پاشمان نشان می‌دهد که با اعمال روش‌های احیا و تقویت پوشش گیاهی که منجر به افزایش درصد ماده‌آلی خاک می‌شود می‌توان تأثیر فرسایش قطرات باران و در نتیجه فرسایش پاشمانی را تا حد معنی‌داری کاهش داد. توصیه می‌شود که در پژوهش‌های آینده علاوه بر ارزیابی شدت‌های مختلف بارش و کلاس‌های مختلف بافتی انواع پوشش گیاهی در جلوگیری از فرسایش پاشمانی را نیز بررسی کرد.

### تشکر و قدرانی

بدین وسیله از دانشگاه شهرکرد بخاطر تأمین هزینه‌های مالی این پژوهش کمال قدردانی را داریم.

### منابع

- آرخی ص. و نیازی ی. ۱۳۸۹. بررسی کاربرد *GIS* و *RS* برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل *RUSLE* (مطالعه موردی: حوضه بالا دست سد ایلام). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، سال هفدهم، شمار اول، صص. ۲۸-۱.
- آرمین م. ۱۳۸۵. تعیین اثر شیب دامنه، بافت خاک، شدت و مدت بارندگی در مقدار فرسایش خاک با استفاده از دستگاه باران‌ساز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- اسماعیل‌نژاد ل. ۱۳۸۵. بررسی ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و مینرالوژی مارن‌ها و اثر آن‌ها بر فرسایش خاک در جنوب استان گیلان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.
- خالدیان ح. ۱۳۸۶. اندازه‌گیری فرسایش پاشمان با استفاده از کاسه‌ی پاشمان. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج. صص. ۱۱۸۰-۱۱۹۱.
- خلیلی‌مقدم ب، قربانی ز و شهبازی ا. ۱۳۹۳. مطالعه آزمایشگاهی اثر شوری و قلیائیت، شیب و شدت بارش بر نرخ فرسایش پاشمانی خاک در خاک‌های منتخب استان خوزستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال هجدهم، شماره شصت و نه، صص. ۱۱۷-۱۲۹.
- رضایی‌پاشا م. ۱۳۹۰. مطالعه اثر کاربری اراضی بر تخریب در حوزه آبخیز کسلیان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- زارع‌خوری میزی م. ۱۳۸۹. اثر شیب و خصوصیات خاک در تولید رواناب و فرسایش خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چهل‌چای استان گلستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- صادقی‌فرد د، جباری ا و غیاثیان ح. ۱۳۸۳. پهنه‌بندی ضریب فرسایش پاشمانی باران در ایران. اولین کنگره مهندسی عمران، ۲۲ تا ۲۴ اردیبهشت ماه، دانشگاه صنعتی شریف.

- کاویان ع.ا، آزموده ع، سلمیانی ک، و وهاب‌زاده ق. ۱۳۸۹. تأثیر ویژگی‌های خاک بر رواناب و فرسایش خاک در ارضی جنگلی. نشریه مرتع و آبخیزداری ایران، مجله منابع طبیعی ایران، سال شصت سه، شماره ۱، صص. ۱-۱۳.
- یوسفی ا، فرخیان فیروزی ا و خلیلی مقدم ب. ۱۳۹۴. بررسی آزمایشگاهی تخریب خکدانه‌ها و فرسایش پاشمانی در شرایط مختلف شدت و مدت بارندگی در خاک‌های منتخب دشتگل مسجد سلیمان. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، سال بیست و دوم، شماره ۲، صص: ۱۷۵-۱۹۱.
  - Agassi M. and Levy G.J. 1991. Stone cover and rain intensity - Effects on infiltration, erosion and water splash, *Australian Journal of Soil Research* 29(4):565 – 5757.
  - Bhattacharyya R. Fullen M.A. Davis K. and Booth C.A. 2010. Use of palm-mat geotextiles for rain splash erosion control. *Geomorphology* 119:52-61.
  - Gee G.W. and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. In: A Klute. *Methods of*
  - Klute A. 1982. Soil acidity and lime requirement, In: E.O. Mclean (Ed), *Methods of soil analysis, Part 2. Soil Science Society of America Journal, Madison, Wisconsin*. pp. 199-223.
  - Lai R. Bium W.H. Valentie C. and Stewart B.A. 1998. *Methods for assessment of soil degradation. Advances in Soil Science*. 558p.
  - Legout C. Legue' dois S. Le Bissonnais Y. and Malam Issa O. 2005. Splash distance and size distributions for various soils. *Geoderma* 124:279-292. Gumiere S.J. Bissonnais Y.L. Raclot D. 2009. Soil resistance to interrill erosion: Model parameterization and sensitivity. *Catena* 77:274-284.
  - Mohamed A.M. Elbasit A. Yasuda H. Salmi A. Anyoji H. 2010. Characterization of rainfall generated by dripper-type rainfall simulator using piezoelectric transducers and its impact on splash soil erosion. *Earth Surface Processes & Landforms* 35:466-475.
  - Morgan R.P.C. 1981. Field measurement of splash erosion. *Erosion and Sediment Transport Measurement, Proceedings of the Florence Symposium, June. Florence, Italy, IAHS Publ. no. 133*.
  - Nelson D.W. and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter In: A.L. Page. R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis. Part 2. Soil Science Society of America Journal, Madison, Wisconsin*. pp. 539-579.
  - Pimental D. 2006. Soil erosion: A food and environmental threat. *Environment, Development and Sustainability* 8: 119-137.
  - Qinjuan C. Qiangguo C. and Wenjun M. 2008. Comparative study on rain splash erosion of representative soils in China, *Chin Geographical Science* 18(2):155-161.
  - Rhoades J.D. 1984. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: D.L. Sparks, *Methods of soil analysis, Part 3. Chemical methods. Agronomy 9, Soil Science Society of America Journal, Madison, Wisconsin*. pp. 417-435.
  - soil analysis. Part 1. *America Society Agronomy*, pp. 383-411.
  - 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 of America Journal* 73(1):226-232.