

اثر پلی‌اکریل‌آمید بر نرخ فرسایش پاشمانی در خاک‌های مختلف

با استفاده از شبیه‌ساز باران

- ❖ عطااله کاویان*؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ❖ فریال حیایوی؛ کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشگاه شهر کرد
- ❖ مهدی بروغنی؛ دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

فرسایش پاشمانی، نخستین مرحله در فرایند فرسایش، نتیجه بمباران سطح خاک به وسیله قطرات باران است. قطرات باران در هنگام برخورد به سطح خاک ذرات خاک را جابه‌جا و ساختمان خاک را تخریب می‌کنند. در این تحقیق به بررسی تأثیر مقادیر مختلف پلی‌اکریل‌آمید (۰، ۲، ۴، و ۶ کیلوگرم بر هکتار) بر مقدار فرسایش پاشمانی در سه بافت رسی، سیلتی رس، و شنی رسی لوم تحت شدت بارندگی ۹۵ میلی‌متر در ساعت با استفاده از باران‌ساز FEL3 و کاسه پاشمان در آزمایشگاه پرداخته شد. برای اندازه‌گیری نرخ فرسایش پاشمانی از فنجان پاشمان استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که بین بافت‌های مختلف، از لحاظ کاهش میزان پاشمان، هیچ اختلاف معنی‌دار آماری وجود ندارد. اثر تیمارهای مختلف به‌کاررفته پلی‌اکریل‌آمید در میزان فرسایش پاشمانی نشان داد در بافت شنی رسی لومی بین تیمار شاهد و تیمارهای ۴ و ۶ کیلوگرم بر هکتار اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد ($Pvalue=0.039$ و $Fvalue=4.5$) وجود دارد. همچنین، نتایج نشان داد میزان فرسایش پاشمانی به ترتیب ۴۲/۳ و ۵۲ درصد در تیمارهای ۴ و ۶ کیلوگرم بر هکتار در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافته است. یافته‌های این تحقیق برای مدیریت بهتر خاک‌های کشاورزی، ضمن تولید پایدار و حفاظت خاک، مفید است.

واژگان کلیدی: باران‌ساز FEL3، بافت خاک، پلی‌اکریل‌آمید، فرسایش پاشمانی، کاسه پاشمان

مقدمه

فرسایش خاک مشکل جهانی است که به طور جدی منابع طبیعی را تهدید می‌کند [۴۲]. یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی کشاورزی و تولید غذا در جهان است که در سال‌های اخیر با افزایش جمعیت و دگرگونی فعالیت‌های انسانی شدت یافته است، به گونه‌ای که هر ساله ۷۵ میلیارد تن خاک از اراضی فرسایش می‌یابد [۵، ۱۵، ۲۸، ۴۱]. فرسایش پاشمانی نخستین مرحله در فرایند فرسایش شناخته شده [۱۷، ۲۵، ۲۸، ۴۳] که نتیجه بمباران سطح خاک به وسیله قطرات باران است. قطرات باران به هنگام برخورد به سطح خاک بدون پوشش همانند یک بمب کوچک رفتار می‌کنند، ذرات خاک را جابه‌جا و ساختمان خاک را تخریب می‌کنند [۴۶]. یکی از متغیرهای مهم و درخور بررسی در رخداد فرسایش ویژگی‌های خاک است. برداشت ذرات خاک توسط فرایند پاشمان متأثر از چسبندگی، ویژگی‌های خاک مثل ماده آلی، و بافت است [۴۵]. یکی از روش‌های مبارزه با فرسایش خاک استفاده از تثبیت‌کننده‌های خاک، مانند پلیمرهای شیمیایی، است. پلیمرها، به منزله بهبوددهنده خاک، با بهبود ساختار خاک، باعث افزایش رشد گیاه، کاهش فرسایش آبی و بادی، و افزایش نگهداشت آب می‌شوند. پلیمرهای جاذب رطوبت انواع مختلفی دارند و، از نظر شیمیایی، در سه دسته - کوپلیمرهای نشاسته اکریلات، پلی‌اکریل آمیدها، و پلی‌واینیل الکل‌ها - دسته‌بندی می‌شوند [۱۱]. پلی‌اکریل آمید از مهم‌ترین و رایج‌ترین پلیمرهای مصنوعی محلول در آب است و مصرف آن در سال‌های اخیر، به دلیل سهولت فرایند تهیه مونومر اکریل آمید، رشد فراوانی داشته است [۳۴، ۳۶، ۳۷]. از ویژگی‌های این پلیمر قابلیت دستیابی به وزن‌های مولکولی بالا و متفاوت، قیمت مناسب، حلالیت در آب تحت شرایط گوناگون، و قابلیت تهیه آن به

صورت غیریونی، آنیونی، و کاتیونی است. ساختار ویژه این پلیمر استفاده از آن را، به عنوان پایدارکننده، لخته‌ساز، جاذب آب و رطوبت در صنایع نساجی و کاغذسازی، تصفیه آب و پساب، استخراج مواد معدنی، و ازدیاد برداشت چاه‌های نفت میسر می‌سازد. در میان پلیمرهای رایج قابل استفاده در مطالعات فرسایش خاک پلی‌اکریل آمید آنیونی مؤثرترین نوع در کنترل تشکیل سله و کاهش فرسایش خاک و رواناب است و طولانی‌ترین آثار باقی‌مانده در خاک را داراست [۳۶]. الیسون، در سال ۱۹۴۰، نخستین تحقیق جامع در زمینه فرسایش پاشمانی و مکانیسم عملکرد قطره باران بر سطح خاک را انجام داد [۱۰]. الیسون (۱۹۴۴) متوجه شد که عامل اصلی فرسایش ضربه قطرات باران به خاک لخت است و بیان کرد که فرسایش آبی فقط به دلیل جریان‌یافتن آب روی سطح خاک نیست، بلکه ضربه قطرات باران به خاک لخت بیشترین نقش را دارد [۲۹]. تشخیص اهمیت پاشمان قطره باران در فرسایش آبی، که پیشرفتی غیرمنتظره بود، فصل جدیدی در تحقیقات فرسایش خاک گشود و به توسعه مدل‌های پیش‌بینی فرسایش از قبیل USLE، EUROSEM، و RUSLE منجر گردید. در این مدل‌ها عامل فرساینده باران در قالب انرژی باران بیان شده بود. پس از این جهش بزرگ، مطالعه بر روی اثر قطرات باران و فرسایش پاشمانی حدوداً به مدت چهار سال متوقف شد. دلیل اصلی این وقفه پیچیدگی فرایندهایی بود که در طی یک لحظه کوتاه و در پی برخورد قطره باران رخ می‌داد و مطالعه آن مستلزم امکانات پیشرفته و ابزارهای دقیق بود [۱۰]. در مطالعه‌ای میزان فرسایش پاشمانی در چهار نوع خاک معرف چین و با استفاده از دستگاه باران‌ساز مصنوعی مقایسه شد و، با توجه به اینکه مشخصات خاک‌ها - به‌ویژه توزیع اندازه ذرات، درصد خاکدانه‌ها، و پایداری خاکدانه‌ها - در

دیگر محققان به بررسی اثر مقادیر مختلف پلی‌اکریل آمید (۰، ۱۰، ۲۰، و ۳۰ کیلوگرم در هکتار) بر میزان رواناب و رسوب در سه نوع خاک با بافت‌های ماسه لومی، لوم، و لوم رسی تحت بارندگی‌هایی با شدت ۳۹ و ۷۹ میلی‌متر بر ساعت پرداختند. نتایج نشان داد که در شدت ۳۹ میلی‌متر بر ساعت خاک‌های لومی و ماسه لومی کمترین مقدار رسوب را در مقدار ۱۰ کیلوگرم در هکتار و خاک لوم رسی کمترین رسوب را در مقدار ۲۰ کیلوگرم در هکتار داشتند و شدت بارندگی ۷۹ میلی‌متر بر ساعت کمترین مقدار رسوب در تمام نمونه خاک‌ها در مقدار ۳۰ کیلوگرم در هکتار پلی‌اکریل آمید بود. و در مورد رواناب در بارش‌های ۳۹ و ۷۹ میلی‌متر بر ساعت کمترین مقدار رواناب در تیمار ۱۰ کیلوگرم در هکتار پلی‌اکریل آمید در تمام خاک‌ها مشاهده شد و در خاک شن لومی و تحت بارندگی ۳۹ میلی‌متر در ساعت هیچ‌گونه روانابی تولید نشد [۳۷]. همچنین، در تحقیقی دیگر، تأثیر پلی‌اکریل آمید در سه سطح ۱۰، ۲۰، و ۳۰ کیلوگرم در هکتار بر میزان فرسایش و رواناب خاک‌های شور-سدیمی در چهار نمونه خاک با بافت رسی و میزان شوری و قلیابیت متفاوت مطالعه شد. نتایج نشان داد که کلیه سطوح پلی‌اکریل آمید نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری در کاهش رواناب و خاک از دست‌رفته داشته است و مقدار ۳۰ کیلوگرم در هکتار پلی‌اکریل آمید در همه خاک‌ها دارای بیشترین تأثیر در کاهش رواناب و رسوب است، به طوری که رواناب را نسبت به شاهد ۹۸ درصد و رسوب را نسبت به شاهد ۸۶ درصد کاهش داد [۳۵].

با توجه به اهمیت فرسایش پاشمانی، به عنوان نخستین مرحله از فرسایش خاک، و لزوم دستیابی به روش‌های نوین و اقتصادی برای مبارزه با این چالش زیست‌محیطی و از آنجا که کلیه مطالعات انجام‌شده درباره میزان رواناب و رسوب بوده و به اثر این ماده

چهار نوع خاک مورد آزمون متفاوت بودند، میزان فرسایش پاشمانی هم در انواع خاک‌ها متفاوت به‌دست آمد [۲۸]. پژوهشگران در مطالعه‌ای دیگر اثر متقابل رس و ماده آلی را بر روی متلاشی‌شدن خاکدانه‌ها و مقدار پاشمان تحت تیمارهای مختلف رطوبتی برای ۶ نوع خاک کشاورزی مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد متلاشی‌شدن خاکدانه‌ها و مقدار پاشمان برای خاک با میزان رس متوسط و ماده آلی کم به طور معنی‌داری کمتر از این مقدار در خاک با محتوای رس بالا و ماده آلی کم است [۴۵]. بنابراین، یک آستانه محتوایی برای رس وجود دارد و فرض آنکه هرچه رس بالاتر باشد به دلیل قابلیت سیمانی‌شدن مکانیسم برداشت و فرسایش کاهش می‌یابد رد گردید. در زمینه کاربرد مواد مختلف در کنترل فرسایش خاک مطالعات زیادی صورت گرفته است، از این رو، تحقیقاتی که در زمینه کاهش فرسایش و رواناب با استفاده از مواد مختلف انجام شده است به شرح ذیل است:

در طی تحقیقی، اثر نسبت‌های ۰، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۳، و ۰/۰۰۵ (گرم بر گرم) پلی‌وینیل‌الکل در تثبیت خاک در خاک‌های رسی، لوم رسی ماسه‌ای، و ماسه‌ای بررسی شد. نتایج نشان داد مقدار ۰/۰۰۵ گرم بر گرم از این ماده در خاک رسی بیشترین تأثیر را در تثبیت خاکدانه‌ها دارد و تا ۹۵ درصد خاک را نسبت به نمونه شاهد تثبیت می‌کند [۲۶]. پژوهشگران به بررسی آثار سطوح مختلف پلی‌اکریل آمید (۰، ۱، ۲، ۴، و ۶ کیلوگرم در هکتار) در شیب‌های مختلف (۲/۵، ۵، و ۷/۵ درصد) با شبیه‌ساز باران پرداختند. نتایج نشان داد در شیب‌های تند (۷/۵ درصد) مقدار ۶ کیلوگرم در هکتار برای کاهش رواناب بیشترین تأثیر را دارد و مقدار ۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین تأثیر را در کاهش فرسایش در شیب‌های ۵ و ۷/۵ درصد دارد [۳۳]. در پژوهشی

در میزان فرسایش پاشمانی تا کنون توجه نشده است، این پژوهش به بررسی تأثیر مقادیر مختلف ماده پلی اکریل آمید (۰، ۲، ۴، ۶ کیلوگرم در هکتار) در کنترل فرسایش پاشمانی در سه بافت رسی، سیلتی رس، و شنی رسی لوم تحت شدت بارندگی ۹۵ میلی‌متر در ساعت با استفاده از باران‌ساز FEL3 می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

معرفی عرصه تحقیق

منطقه مورد مطالعه در محدوده شهرهای شهر کرد و سامان در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. منطقه شهر کرد به دلیل داشتن خاک‌هایی با بافت سنگین و منطقه سامان به دلیل داشتن خاک‌هایی با بافت سبک‌تر انتخاب شدند. جدول ۱ ویژگی‌های کلی این دو منطقه را به اختصار نشان می‌دهد.

روش نمونه‌برداری و آزمایش‌های

فیزیکوشیمیایی خاک

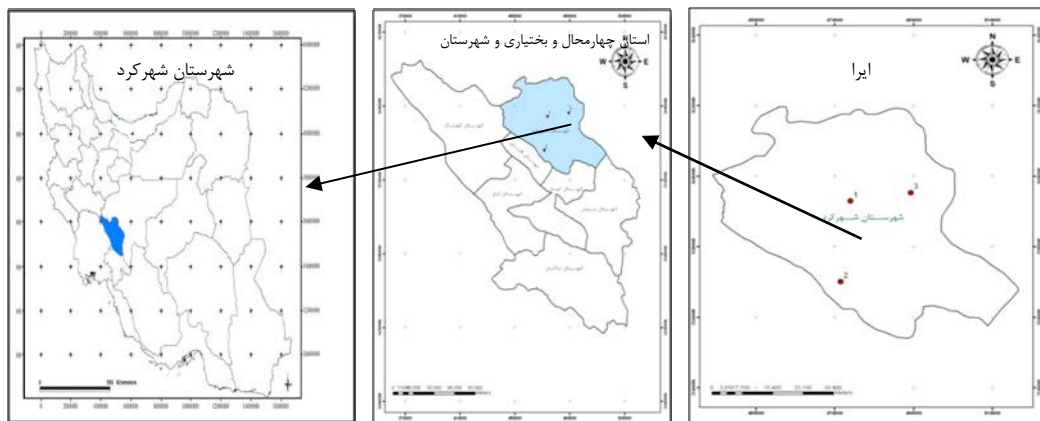
در این مطالعه، پس از نمونه‌گیری‌های مختلف، ۳

نمونه خاک با بافت متفاوت و سایر خصوصیات تقریباً مشابه انتخاب شد. به دلیل بررسی فرسایش پاشمانی و از آنجا که این نوع فرسایش در سطح خاک اثر می‌گذارد و موجب ازدست‌رفتن حاصلخیزی خاک می‌شود، نمونه‌های خاک از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری اراضی زراعی برداشت گردید [۳، ۳۴، ۴۳، ۴۵]. شکل ۱ شمایی از نقاط نمونه‌برداری در استان چهارمحال و بختیاری را نشان می‌دهد. نمونه‌ها به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه شهر کرد انتقال یافت و، پس از هواخشک شدن، به دو قسمت تقسیم شد:

— یک قسمت برای آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد.
— قسمت اعظم آن برای آزمایش‌های پاشمان به وسیله باران‌ساز از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شد [۲۸] و به آزمایشگاه پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور انتقال یافت.

جدول ۱. مشخصات کلی مناطق نمونه‌برداری

مشخصات منطقه	شهر کرد [۲۰]	سامان [۴۰]
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۲۰۶۰	۱۹۰۰
میانگین سالیانه بارندگی (میلی‌متر)	۳۲۰٫۹	۲۹۸٫۸
میانگین درجه حرارت سالیانه (درجه سانتی‌گراد)	۱۲٫۵	۱۴
طبقه‌بندی آب و هوا به روش گوسن	استپی سرد	استپی سرد
رژیم حرارتی خاک	مزیک	مزیک
رژیم رطوبتی خاک	زریک	زریک
پوشش گیاهی زراعی منطقه	چغندر، شبدر، یونجه، گندم، جو، و سیب‌زمینی	کشت علوفه، اراضی باغات، گندم، و جو



شکل ۱. موقعیت مناطق نمونه‌برداری در استان چهارمحال و بختیاری



شکل ۲. نمایی از کاسه پاشمان مورد استفاده

ظروف، یک عدد گاز در انتهای آن قرار داده شد. سپس، کاسه‌های پاشمان با نمونه‌های خاکی، که در هوای آزاد خشک شده و از الک ۴mm عبور کرده بود، پُر شد و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا نمونه‌های خاک کاملاً خشک شوند.

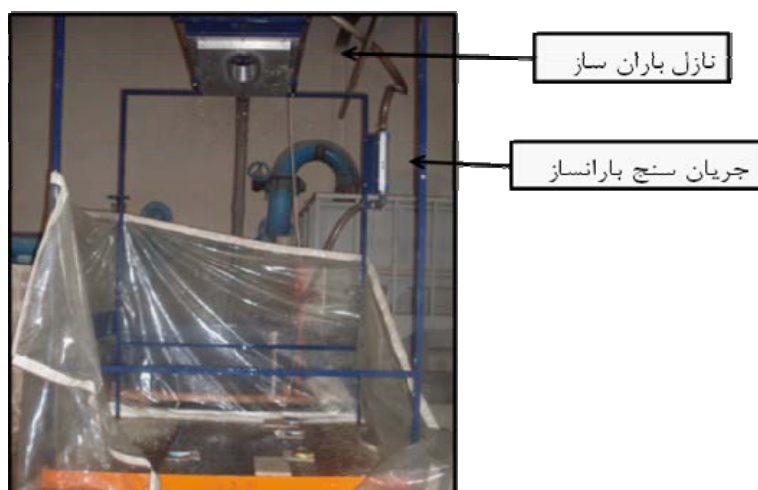
پس از خشک‌شدن نمونه‌های خاک، وزن اولیه آن‌ها اندازه‌گیری شد و ۲۰ میلی‌لیتر پلی‌اکریل آمید آنیونی با وزن مولکولی زیاد، که با غلظت‌های ۰/۲، ۰/۴، و ۰/۶ گرم در مترمربع تهیه شده بود، به طور یکنواخت به سطح نمونه‌ها اضافه شد. یک نمونه از هر کدام از خاک‌ها نیز، به عنوان شاهد، با اضافه کردن ۲۰ میلی‌لیتر آب شهری تهیه شد. برای هر تیمار ۳ تکرار آماده شد و نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند تا اینکه ماده به طور همگن روی سطوح خاک پخش شود [۳۷].

pH خاک در گل اشباع توسط پ-هاش‌متر [۱۴]، هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج [۳۱] در مجاورت معرف ارتوفنانترولین [۲۵]، و بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد [۹، ۸، ۲۸].

آماده‌سازی نمونه‌ها برای آزمایش‌های

شبیه‌سازی باران

به منظور آزمایش‌های پاشمان از کاسه‌های پاشمان استفاده شد [۲۴، ۲۸، ۳۲، ۳۸]. این کاسه‌ها بر اساس کاسه‌های پاشمان مورگان طراحی و ساخته شده‌اند [۲۲]. این کاسه‌ها ۲/۵ سانتی‌متر ارتفاع، ۱۰ سانتی‌متر قطر، و ۷۸/۵ سانتی‌متر مربع مساحت دارند. در کف آن‌ها حفره‌های کوچکی به منظور زهکشی آب نفوذیافته در خاک تعبیه شده است. برای جلوگیری از خارج‌شدن خاک از منافذ کاسه، قبل از پُر کردن



شکل ۳. مشخصات ظاهری باران ساز FEL3

شبیه ساز باران

برای شبیه سازی باران از باران ساز مدل FEL3 موجود در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور استفاده شد [۲، ۱۲، ۲۱]. باران ساز مدل FEL3 یک باران ساز صفحه گردان است و با تغییر در زاویه دیسک نازل باران ساز توزیع خوبی از اندازه قطرات باران و انرژی جنبشی حاصل از آن ایجاد می کند. این دستگاه دارای ۲٫۶۵ متر ارتفاع، ۲٫۳ متر عرض، و ۱٫۶ متر طول است و نازل آن از نوع 30 1.1/H است (شکل ۳).

برای مطالعه دقیق فرسایش خاک، بارانی که توسط دستگاه تولید می شود باید کاملاً مشخصاتی شبیه به باران های طبیعی داشته باشد. این مشخصات شامل شدت بارش، یکنواختی شدت بارش، اندازه قطرات باران، و سرعت برخورد قطرات باران است. بدین منظور، برای اجرای آزمایش ها با استفاده از این باران ساز شدت ۹۵ میلی متر بر ساعت شبیه سازی شد و ویژگی های این بارش بررسی گردید.

به منظور برآورد ضریب یکنواختی بارش از روش کریستنسن [۷]، قطر قطرات از روش گلوله آردی (۱) [۳، ۴، ۷]، و انرژی جنبشی نیز از رابطه ۱

استفاده شد [۱۲، ۴۴].

$$KE = 11/87 + 8/73 \log 10 I \quad \text{رابطه (۱)}$$

$KE =$ انرژی جنبشی بر حسب ژول بر مترمربع در میلی متر باران؛
 $I =$ شدت بارندگی به میلی متر بر ساعت.

اندازه گیری نرخ پاشمان

پس از کالیبراسیون باران ساز و توزین نمونه های خشک شده در آون و تیمار کردن آنها با ماده پلی اکریل آمید، نمونه ها در زیر باران شبیه سازی شده با شدت ۹۵ میلی متر بر ساعت به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفتند. برای هر تیمار ۳ تکرار انجام شد. پس از اتمام بارش، نمونه ها مجدداً به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد قرار دادند تا وزن ثانویه آنها محاسبه شود.

میزان فرسایش پاشمانی در واحد زمان و واحد سطح را نرخ فرسایش پاشمانی می نامند [۱۹] و بر اساس رابطه ۲ محاسبه می شود [۲۸]:

$$S = \frac{Dt_2 - Dt_1}{(t_2 - t_1)A} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$S =$ نرخ پاشمان بر حسب گرم بر دقیقه در مترمربع؛

دو طرفه سنجش شد. همه محاسبات آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد.

نتایج

جدول ۲. نتایج متغیرهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک کشاورزی مورد بررسی را نشان می‌دهد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف پلی‌اکریل آمید در خاک‌های مختلف، نمونه‌های خاک انتخاب شده در این پژوهش دارای کلاس‌های بافت مختلف هستند. همچنین، نتایج حاصل از کالیبراسیون شبیه‌ساز باران در جدول ۳ و اشکال ۴ و ۵ نشان داده شده است. در نهایت، شدت بارندگی ۹۵ میلی‌متر بر ساعت شدت مناسب برای آزمایش‌ها در نظر گرفته شد. قطر متوسط قطرات باران شبیه‌سازی شده در این شدت ۱/۴۸ میلی‌متر محاسبه شد و انرژی جنبشی باران شبیه‌سازی شده با استفاده از رابطه ۱ برابر $29 \text{ j/m}^2\text{.mm}$ به دست آمد.

Dt_1 و Dt_2 = رسوب تولید شده در بین زمان‌های t_1 و t_2 بر حسب گرم؛

t_1 و t_2 = زمان بارش بر حسب دقیقه؛

A = سطح کاسه پاشمان به مترمربع.

با استفاده از این رابطه میزان فرسایش پاشمانی در هر نمونه محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری

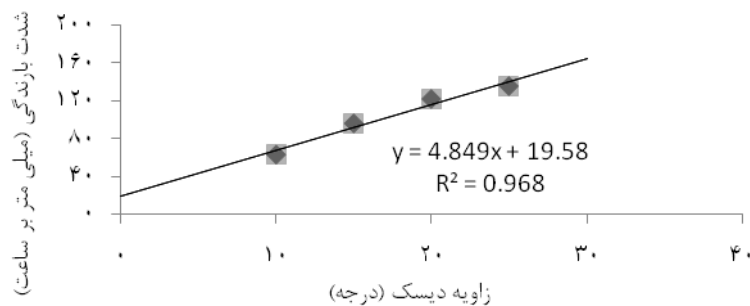
پس از جمع‌آوری و ثبت داده‌ها در محیط نرم‌افزاری Excel برای تجزیه آماری از نرم‌افزار SPSS 15 استفاده شد. در نخستین مرحله تست عادی بودن داده‌ها با بهره‌گیری از آزمون کولوموگروف-اسمیرنوف انجام شد. سپس، میزان تأثیر و معنی‌داری مقادیر مختلف پلی‌اکریل آمید بر مقدار فرسایش پاشمانی در هر بافت با استفاده از مقایسه میانگین‌ها و روش آنالیز واریانس یک‌طرفه و بررسی هم‌زمان دو فاکتور بافت و تیمارهای مختلف پلی‌اکریل آمید بر فرسایش پاشمانی با به‌کارگیری آنالیز واریانس

جدول ۲. نتایج آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

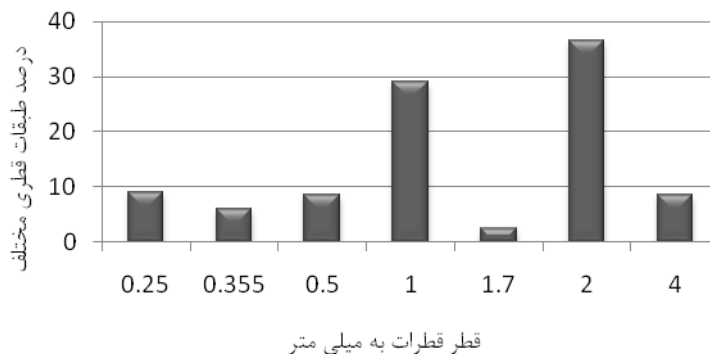
Class	sand%	silt%	clay%	OC %	caco3%	EC($\mu\text{s/cm}$)	pH	محل نمونه‌برداری	شماره نمونه
Clay	۲۰٫۷۰	۳۷٫۳۰	۴۲	۰٫۰۶	۷٫۵۰	۱۰۷٫۹۰	۸٫۴۹	تومانک	۱
silty clay	۱۴٫۴۰	۴۴	۴۱٫۶	۰٫۰۹	۳٫۵۰	۱۲۴٫۵	۸٫۰۰	هفشجان	۲
sandy clay loam	۵۳٫۸۴	۲۱٫۲۸	۲۴٫۸۸	۰٫۲۰	۸٫۵۰	۱۶۸٫۱	۷٫۴۵	چمالی بعد از سامان	۳

جدول ۳. رابطه بین شدت بارندگی و زاویه دیسک شبیه‌ساز باران

ضریب یکنواختی	شدت بارندگی به میلی‌متر بر ساعت (y)	زاویه دیسک به درجه (x)
۷۸٫۶	۶۳٫۵	۱۰
۸۸٫۷۷	۹۶٫۴	۱۵
۹۰٫۵۳	۱۲۲٫۱	۲۰
۹۱٫۷۶	۱۳۵٫۷	۲۵



شکل ۴. رابطه بین شدت بارندگی و زاویه دیسک شبیه‌ساز باران FEL3



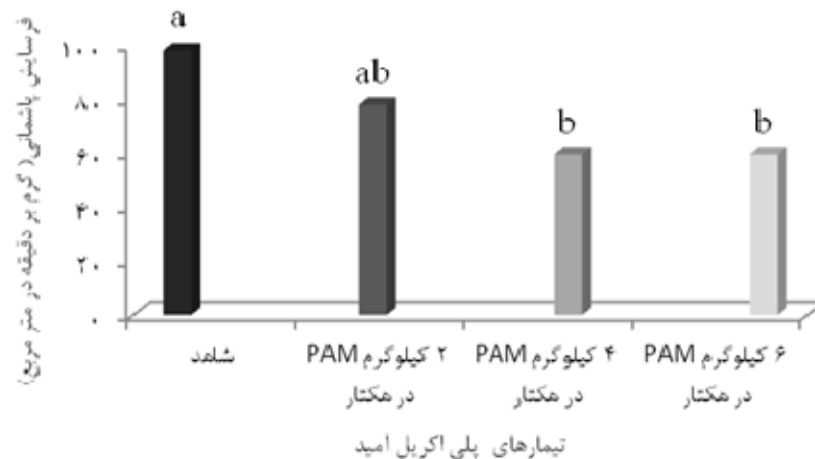
شکل ۵. طبقات قطری مختلف تولیدشده توسط شبیه‌ساز باران در شدت ۹۵ میلی‌متر بر ساعت

جدول ۴. آزمون آنالیز واریانس مربوط به مقایسه میزان فرسایش پاشمانی در بافت‌ها و تیمارهای مختلف پلی‌اکریل آمید

Sig	F	میانگین مربعات	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات	منابع تغییرات
۰/۴۱۲	۰/۹۲	۴۸۴/۵	۲	۹۶۹	بافت‌های مختلف
۰/۰۰۴*	۵/۸	۳۰۶۳/۴	۳	۹۱۹۰	تیمارهای PAM
۰/۶۳۴	۰/۷۲	۳۸۱/۵	۶	۲۲۸۹	تیمار* بافت
-	-	۵۲۶/۴	۲۴	۱۲۶۳۳/۷	خطا

پاشمان تأثیر معنی‌داری را نشان داد. همچنین، بررسی هم‌زمان متغیرهای مستقل بافت و تیمار نیز حاکی از آن است که اختلاف معنی‌دار آماری بین این دو متغیر در تقابل با یکدیگر وجود ندارد. سپس، برای بررسی چگونگی اختلاف بین تیمارهای مختلف پلی‌اکریل آمید از آزمون دانکن استفاده شد.

برای بررسی معنی‌داری تأثیر متغیرهای مستقل بافت و تیمارهای مختلف پلی‌اکریل آمید بر فرسایش پاشمانی از روش آنالیز واریانس دوطرفه استفاده شد. جدول ۴ نتایج آن را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که بین بافت‌های مختلف، از لحاظ کاهش میزان پاشمان، هیچ اختلاف معنی‌دار آماری وجود ندارد. در مقابل، اثر تیمارهای مختلف پلی‌اکریل آمید بر نرخ

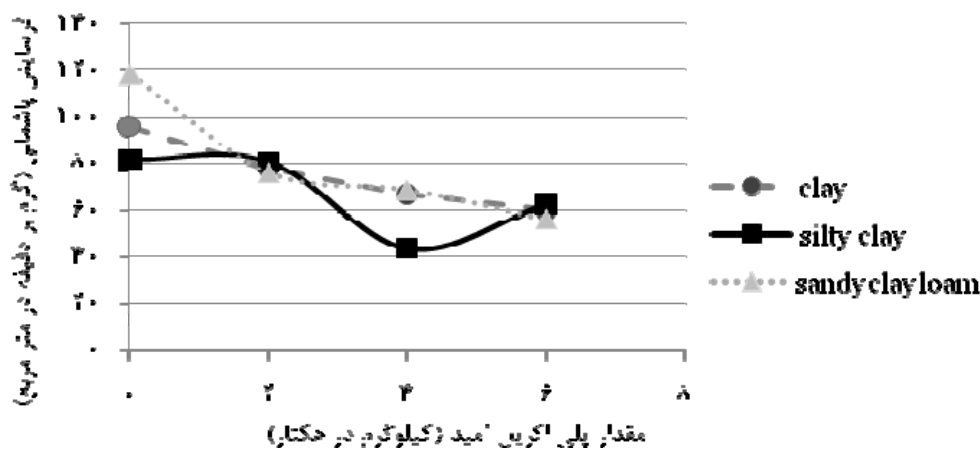


شکل ۶. نتایج آزمون دانکن مربوط به بررسی چگونگی اختلاف بین تیمارهای مختلف پلی‌اکریل آمید

تجربه دانکن استفاده شد؛ جداول ۵ تا ۷ نتایج آن را نشان می‌دهد. بر طبق این نتایج، بین تیمارهای مختلف پلی‌اکریل آمید در بافت‌های رسی و سیلتی رس حتی با گرفتن \ln و \log نیز هیچ‌گونه اختلاف معناداری مشاهده نشد. نتایج استخراج‌شده از جدول ۷ و شکل ۸ نشان می‌دهد که با گرفتن \ln از مقادیر فرسایش پاشمانی در بافت شنی رسی لوم تفاوت بین تیمارهای مختلف پلی‌اکریل آمید، از نظر آماری، معنادار است؛ به این صورت که بین تیمار ۱ با تیمارهای ۳ و ۴ اختلاف معنادار وجود دارد، اما تیمار ۲ در مقایسه با تیمارهای ۱، ۳، ۴ اختلاف معناداری ندارد.

شکل ۶ نتایج آن را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که بین تیمار ۱ (نمونه شاهد) با تیمارهای ۳ و ۴ (مقادیر ۴ و ۶ کیلوگرم پلی‌اکریل آمید در هکتار) اختلاف معنی‌دار وجود دارد. اما تیمار ۲ (مقدار ۲ کیلوگرم در هکتار پلی‌اکریل آمید) با هیچ‌یک از تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری ندارد.

شکل ۷ چگونگی روند تأثیر مقادیر مختلف پلی‌اکریل آمید بر میزان فرسایش پاشمانی در بافت‌های مختلف را نشان می‌دهد. به منظور بررسی وجود اختلاف بین تیمارهای پلی‌اکریل آمید، در هر بافت به صورت جداگانه آنالیز واریانس انجام شد و در صورت مشاهده اختلاف معنی‌دار از آزمون پس از



شکل ۷. بررسی روند فرسایش پاشمانی در مقادیر مختلف پلی‌اکریل آمید در خاک‌های مختلف

جدول ۵. نتایج آنالیز واریانس یکطرفه برای بررسی اختلاف بین تیمارها در بافت رسی

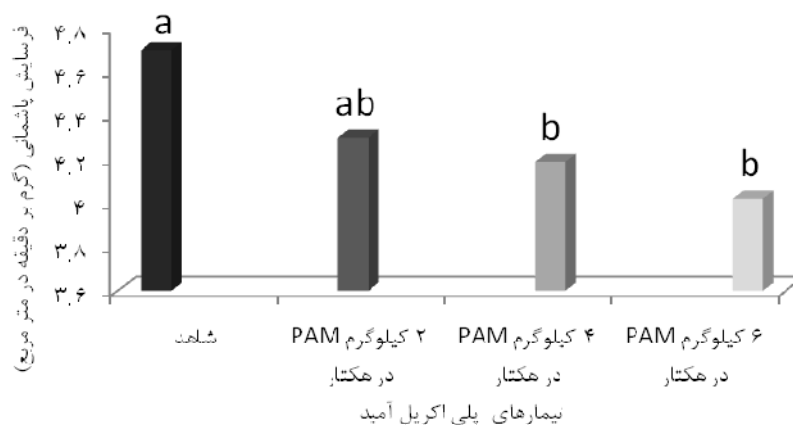
منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات	F	sig
بین تیمارها	۲۱۴۶٫۶	۳	۷۱۵٫۵	۲٫۱۸	۰٫۱۶۸
خطا	۲۶۲۶٫۳	۸	۳۲۸٫۲	-	-
کل	۴۷۷۳٫۹	۱۱	-	-	-

جدول ۶. نتایج آنالیز واریانس یکطرفه برای بررسی اختلاف بین تیمارها در بافت سیلتی رس

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات	F	sig
بین تیمارها	۲۸۸۴٫۸	۳	۹۶۱٫۶	۱٫۳۳	۰٫۳۲۹
خطا	۵۷۴۹٫۸	۸	۷۱۸٫۷	-	-
کل	۸۶۴۳٫۶	۱۱	-	-	-

جدول ۷. نتایج آنالیز واریانس یکطرفه برای بررسی اختلاف بین تیمارها در بافت شنی رسی لوم با گرفتن ln

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات	F	Sig
بین تیمارها	۰٫۸۳۷	۳	۰٫۲۷۹	۴٫۵	۰٫۰۳۹*
خطا	۰٫۴۹۵	۸	۰٫۰۶۲	-	-
کل	۱٫۳۳	۱۱	-	-	-



شکل ۸. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در بافت شنی رسی لوم با گرفتن ln

بحث و نتیجه گیری

سه خاک با بافت متفاوت و سایر پارامترهای تقریباً مشابه انتخاب شد. ماده آلی، آهک، و EC از فاکتورهای تأثیرگذار خاک در فرسایش می‌باشند. با توجه به جدول ۲، درمی‌یابیم که این فاکتورها برای هر سه نوع خاک، به جز تفاوت اندک در آهک و EC، تقریباً یکسان‌اند و فقط در کلاس بافت متفاوت‌اند.

جدول ۲ خصوصیات خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد، یکی از اهداف این پژوهش بررسی تأثیر ماده پلی‌اکریل آمید در خاک‌هایی با بافت مختلف است. بر این اساس،

در بررسی نتایج حاصل از کالیبراسیون شبیه‌ساز باران FEL3 و با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که رابطه بین زاویه دیسک و شدت بارندگی به صورت خطی است، به طوری که اگر فشار، جریان، و سرعت دیسک ثابت در نظر گرفته شود، شدت باران شبیه‌سازی شده با زاویه دیسک ارتباط مستقیم دارد، که نتایج حاصل از پژوهش آرمین [۲] را تأیید می‌کند. باران طبیعی شامل توزیع وسیعی از اندازه قطرات باران است که از نزدیک صفر تا حداکثر ۷ میلی‌متر می‌رسد. قطر متوسط قطره بین ۱ تا ۳ میلی‌متر برای باران‌های فرسایش‌دهنده مناسب است [۱۶]. بنابراین، با توجه به شکل ۵، وجود طبقات قطری مختلف کارایی بالای این شبیه‌ساز را در شبیه‌سازی بارانی نزدیک به باران طبیعی، از نظر قطر قطرات، نشان می‌دهد. بر طبق این شکل، بیشترین فراوانی قطر قطرات در شدت ۹۵ میلی‌متر بر ساعت متعلق به قطرات با اندازه ۱ و ۲ میلی‌متر است.

از آنجا که کلیه مطالعات صورت گرفته در زمینه تأثیر پلی‌اکریل آمید بر فرسایش خاک، متمرکز بر میزان رواناب و رسوب تولیدی بوده و نقش این ماده تا کنون در فرسایش پاشمانی مطالعه نشده است، در مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق نیز از این دست مطالعات استفاده شده است.

همان‌گونه که از جدول ۴ مشخص می‌شود، در بررسی تأثیر متغیر خاک در میزان فرسایش پاشمانی، از نظر آماری، اختلاف معناداری مشاهده نشد. علت این موضوع را می‌توان ناشی از نزدیک بودن طبقات کلاس‌های بافت در خاک‌های مورد مطالعه دانست. از آنجا که خاک‌های منطقه شهر کرد عمدتاً دارای بافت رسی و سنگین‌اند و خاک‌های مورد مطالعه در گروه خاک‌های سنگین تا متوسط سنگین قرار می‌گیرند، فقدان رابطه معنادار امری توجیه‌پذیر است. البته، با توجه به شکل ۷، بین مقادیر پاشمان در بافت‌های

مختلف تفاوت وجود دارد و بیشترین میزان پاشمان اختصاص دارد به خاک شنی رسی لومی که دارای بافت سبک‌تری نسبت به سایر نمونه‌هاست، اما، همان‌گونه که ذکر شد، این تفاوت معنادار نیست. دی‌هایوتر (۱۹۸۵) بیان کرد که بین محتوای شن ریز افق A و میزان فرسایش رابطه آماری معناداری وجود دارد. بر طبق مطالعات ایشان، لایه سطحی خاک با میزان رس کمتر از ۲۰ درصد فرسایش‌پذیرتر از لایه سطحی خاک‌هایی با محتوای رس بالاتر از ۲۰ درصد است [۲۳]. که نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های ایشان همخوانی دارد و تیمار شاهد بافت رس در مقایسه با بافت سیلتی رس مقدار فرسایش پاشمانی بیشتری را به خود اختصاص داده است. بر طبق مطالعات رپ [۳۰]، با افزایش محتوای رس نیروی چسبندگی بین ذرات خاک افزایش می‌یابد، قابلیت نفوذ و هدایت هیدرولیکی خاک کاهش می‌یابد، و نیروی برشی و قابلیت حمل خاک افزایش می‌یابد. همچنین، سامر (1957) عامل اصلی در ایجاد سله سطحی خاک را بالابودن محتوای رس خاک معرفی می‌کند. بنابراین، عامل بالاتربودن مقدار فرسایش پاشمانی در خاک رسی را نسبت به سیلتی رس می‌توان ناشی از سرعت بالاتر تشکیل سله سطحی در خاک رسی دانست [۲۳]. همچنین، مقادیر EC این دو بافت متفاوت‌اند. در خاک سیلتی رس، به دلیل بالاتربودن EC خاک، خاک‌دانه‌های بیشتری ایجاد می‌شود و این خاک‌دانه‌ها در برخورد قطرات باران ثبات بیشتری دارند و، در نتیجه، مقاومت بیشتری به فرسایش از خود نشان می‌دهند؛ این نتایج مطالعات لنتز [۱۸] را تأیید می‌کند.

یافته‌های حاصل از شکل ۶ حاکی از آن است که، با افزایش میزان ماده پلی‌اکریل آمید در نمونه‌های خاک، مقدار فرسایش پاشمانی به طور معناداری کاهش می‌یابد. البته، بین تیمارهای ۳ و ۴ اختلاف

پلی‌اکریل آمید بر روی خاک‌دانه‌ها جذب می‌شود و موجب افزایش پایداری و خاصیت چسبندگی آن‌ها می‌شود. مولکول‌های پلی‌اکریل آمید به داخل کلوخه‌های خاک داخل نمی‌شوند و در سطح خاک باقی می‌مانند؛ این امر باعث جلوگیری از شکاف در سطح خاک و پایداری کلوخه‌ها می‌شود. در خاک‌هایی که در معرض باران قرار می‌گیرند خرد شدن خاک‌دانه‌ها نخستین فرایندی است که به تشکیل سله منجر می‌شود. این ماده، به علت وزن مولکولی زیادش، نمی‌تواند به درون خاک‌دانه‌ها نفوذ کند و در روی سطح آن‌ها باقی می‌ماند و باعث می‌شود که خاک در اثر ضربه قطرات باران متلاشی نشود و به فرسایش مقاوم باشد. بنابراین، همان‌طور که نشان داده شد، با اضافه شدن پلیمرهای جاذب رطوبت به خاک میزان فرسایش کاهش پیدا کرد؛ این نتایج با تحقیقات شهبازی و همکاران [۳۵]، شکفته و همکاران [۳۷]، و ازتاس [۲۶] مطابقت دارد.

با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت که ماده پلی‌اکریل آمید در کاهش میزان فرسایش پاشمانی نقش مؤثری دارد و، با افزایش غلظت این ماده، میزان پاشمان در خاک‌های مختلف کاهش می‌یابد. با توجه به اهمیت فرسایش پاشمانی، به منزله نخستین مرحله در شروع فرسایش و فقدان تحقیقات جامع در کشور، در این زمینه پیشنهاد می‌شود تأثیر متغیرهایی مانند شدت بارش، مدت بارندگی، و بافت‌های مختلف در این نوع فرسایش بررسی شود. همچنین، علاوه بر لزوم تحقیقات کامل‌تر در خصوص چگونگی تأثیر ماده پلی‌اکریل آمید بر میزان فرسایش پاشمانی، نقش سایر پلیمرهای شیمیایی و مکمل‌های دیگر خاک نیز بررسی شود.

معناداری مشاهده نشد و، با توجه به جنبه اقتصادی بحث، مقدار پلی‌اکریل آمید ۴ کیلوگرم در هکتار تیمار بهینه معرفی می‌شود که با نتایج سپاسخواه و بذرافشان جهرمی [۳۴] و آسه و همکاران [۱] همخوانی دارد.

بر طبق شکل ۷، در همه بافت‌ها، با افزایش میزان ماده پلی‌اکریل آمید، مقدار فرسایش پاشمانی کاهش می‌یابد. در واقع، بیشترین میزان فرسایش پاشمانی در هر ۳ بافت در تیمار شاهد مشاهده شد و با افزایش سطح تیمار پلی‌اکریل آمید این مقادیر کمتر شد و در مقدار ۴ و ۶ کیلوگرم در هکتار به کمترین مقدار رسید. شیب تغییرات میزان پاشمان در تیمارهای مختلف پلی‌اکریل آمید در بافت رسی نسبت به بافت‌های دیگر کمتر است، یعنی تیمارهای مختلف پلی‌اکریل آمید تأثیر کمتری در تغییر میزان فرسایش پاشمانی در این بافت داشته‌اند. دلیل این امر آن است که چون رس دارای سطح ویژه بسیار بالایی است و خاک‌دانه‌های بیشتری دارد، در نتیجه، برای بررسی تأثیر این ماده در بافت رس، باید تیمارهایی با مقادیر و اختلاف بیشتر آزمایش شوند [۳۵]. نتایج حاصل از جداول ۵ تا ۸ نشان می‌دهد که تأثیر تیمارهای مختلف پلی‌اکریل آمید در میزان فرسایش پاشمانی فقط در بافت شنی رسی لومی معنادار شده است، به این صورت که مصرف ۲، ۴، و ۶ کیلوگرم در هکتار پلی‌اکریل آمید میزان فرسایش پاشمانی را نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۳۵/۵، ۴۲/۳، و ۵۲ درصد کاهش می‌دهد. با توجه به نقش پلی‌اکریل آمید، به عنوان ماده جاذب رطوبت، خاک شنی، به دلیل قابلیت نگهداری آب کمتر، واکنش بهتری به خاک رسی در مقابل کاربرد پلی‌اکریل آمید نشان داد، در نتیجه، قابلیت کاربرد آن در خاک‌های رسی کمتر از خاک‌های لومی و شنی است.

References

- [1] Aase, J.K., Bjerneberg, D.L. and Sojka, R.E. (1998). Sprinkler irrigation runoff and erosion control with polyacrylamide- Laboratory test. *Soil Science Society of America Journal*, 62, 1681-168.
- [2] Armin, m. (2006). *Appointment effect land slope, soil texture, rainy period and intensity at soil erosion quantity with used rainfall simulator*, Master Science thesis in field of Watershed Management. Agriculture Science and Natural Resource University of Gorgan. 110p.
- [3] Arnaez, J., Lasanta, T., Ruiz-Flano, P. and Ortigosa, L. (2007). Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. *Soil and Tillage Research*, 93, 324-334.
- [4] Asseline, J. and Valentin, C. (1978). Construction et mise au point d'un infiltrometre a` aspersions. *Cahiers Orstom, Se`rie Hydrologie*, 15, 321-349.
- [5] Bayramin, I.O., Baskan, D. and Parlak, M. (2003). Soil erosion assessment with CONA model: case study Beypazri area. *Turk Journal of Agriculture*, 27, 105-116.
- [6] Brown, A.G. and Quine, T.A. (1999). *Fluvial processes and environmental change*. John Wiley and Sons Publications, 413p.
- [7] Christiansen, J.E. (1941). The uniformity of application of water by sprinkler systems. *Agricultural Engineering*, 22, 89-92.
- [8] Ekue, 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. *Biosystems Engineering*, 105, 112-118.
- [9] Gee, G.W. and Bauder, J.W. (1986). Particle size analysis, In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 1. *American Society of Agronomy*, 12, 383-411.
- [10] Ghadiri, H. (2006). Raindrop Impact and Splash Erosion. *Encyclopedia of Soil Science*.7
- [11] Ghasemi, M. and Khoshkhai, M. (2007). Effects of superabsorbent polymer on irrigation interval and growth and development of Chrysanthemum. *Oloum & Fonoune Baghebani*, 8(2), 65-82.
- [12] Jayawardena, A.W. and Rezaur, R.B. (1999). Evaluation of an interrill soil erosion model using laboratory catchment data. *Journal of Hydrological Processes*, 13, 89-100.
- [13] Kinnell, P.I.A. (2005). Rain drop- impact- induced erosion processes and prediction: a review. *Hydrological Processes*, 19, 2815-2844.
- [14] Klute, A. (1982). Soil pH and lime requirement, In: Mclean, E.O. (Ed), *Methods of Soil Analysis*. Part 2. *Soil Science Society of America Journal*. Madison, Wisconsin, pp. 199-223.
- [15] Lafen, J.M. and Roose, E.J. (1998). Methodologies for assessment of soil degradation due to water erosion. In: Law, R., Balum, W.E., Valentine, C. (Eds.), *Soil degrading*, CRC press, Bo Ca Ration, 320p.
- [16] Lal, R. (1994). *Soil erosion research methods*. (Ed), Soil and Water Conserve. Soc. Ankeny, Iowa.
- [17] Leguedois, S., Plannchon, O., Legout, C. and Bissonnais, Y.L. (2005). Splash projection distance for aggregated soils: theory and experiment. *Soil Science Society of American Journal*.69, 30-37.
- [18] Lentz, R.D., Shainberg, I., Sojka, R.E. and Carter, D.L. (1992). Preventing irrigation furrow erosion with small application of polymers. *Soil Science Society of American Journal*, 56, 1926-1932.
- [19] Luk, S.H. and Cai, Q.G. (1990). Laboratory experiments on crust development and rainsplash erosion of Loess soils, China. *Catena*, 17(3), 261-276.
- [20] Mehnatkesh, A. (1999). *Quality, quantity and economic evaluation of Shahrekord lands proportion for important agricultural products*. Pedology master science thesis, Senate Isfahan University.
- [21] Molodi, Z. (2000). *Appointment soil erodibility coefficient in six series soil of Bajgah (Fars province) using rainfall simulator*. Irrigation & drainage master science thesis, Shiraz University.
- [22] Morgan, R.P.C. (1987). Field studies of rain splash erosion. *Earth surface Processes and Landforms*, 3(3), 295-299.

- [23] Mulibana, N.E. (2001). *Analysis and synthesis of data on relationships between soil factors and soil erosion in South Africa*. M.Sc. Agric., Univ. Pretoria.
- [24] Mohamed, A.M., Elbasit, A., Yasuda, H., Salmi, A. and 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.
- [25] Nelson, D.W. and Sommers, L.E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter, In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R., *Methods of soil analysis*. Part 2. Soil Science Society of America Journal. Madison, Wisconsin, pp. 539-579.
- [26] Oztas, T., Ozbek, A.K. and Aksakal, E. (2002). *Structural developments in soil treated with Polyvinylalcohol*. International conference on sustainable Land Use and Management. Soil Science. Soc. of Turkey Int. Symp, pp. 143-148.
- [27] Pla, S.I. (2003). *Erosion research in Latin America*. In: Gabriel, D., Comelis, W., (Eds). Proceeding of International Symp, 25 Year of Assessment of Erosion, Ghent, Belgium, pp. 19-27.
- [28] Qinjuan, C., Qianguo, C. and Wenjun, M. (2008). Comparative study on rain splash erosion of representative soils in China. *Chin Geography Science*, 18 (2), 155-161.
- [29] Rafahi, H.Gh. (2003). *Water Erosion and Conservation*, University of Tehran press, 671p.
- [30] Rapp I. (1998). *The effects of soil properties and experimental conditions on the rill erodibilities of selected soils*. Ph.D. Agric., Univ. Pretoria.
- [31] Rhoades, J.D. (1984). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks, D.L., *Methods of Soil Analysis*. Part 3. Chemical Methods. Agronomy 9, Soil Science Society of America Journal. Madison, Wisconsin, pp. 417-435.
- [32] Savat, J. and Poesen, J. (1981). Detachment and transportation of loose sediments by raindrop splash: Part 2. Detachability and transport ability measurements. *Catena*, 8(1), 19-41.
- [33] Sepaskhah, A.R. and Bazrafshan-Jahromi, A.R. (2006). Controlling runoff and erosion in sloping land with polyacrylamide under a Rainfall Simulator. *Biosystems Engineering*, 93, 497-474.
- [34] Sepaskhah, A.R. and Mahdi-Hosseinabadi, Z. (2008). Effect of polyacrylamide on the erodibility factor of a loam soil. *Biosyste Engineering*, 99, 598-603.
- [35] Shahbazi, A., Sarmadyan, F., Rafahi, H.Gh. and Gorji, M. (2005). Polyacrylamide effects on erosion and runoff of salty- Sodium soils. *Oloume Keshavarzi Iran*, 36(5), 1103-1112.
- [36] Shainberg, I., Levy, G.J., Rengasamy, P. and Frenkel, H. (1991). Aggregate stability and seal formation as affected by drops impact energy and soil amendments. *Soil Science Society of America Journal*, 154, 113-118.
- [37] Shekofteh, H., Rafahi, H.Gh. and Gorji, M. (2005). Polyacrylamide effects on erosion and runoff of soils. *Oloume Keshavarzi Iran*, 36(1), 177-186.
- [38] Sutherland, R.A. and Zeigler, A.D. (1998). The influence of the soil conditioner 'Agri-SC' on splash detachment and aggregate stability. *Soil & Tillage Research*, 45, 373-387.
- [39] Stroosnijder, L. (2005). Measurement of erosion: Is it possible? *Catena*, 64, 162-173.
- [40] Tavakoli, M. (2006). *Effect of aspect and slope condition on biological factors of soil quality in almond gardens of Saman area, Shahrekord*. Pedology master science thesis, Shahrekord University.
- [41] Toy, T.J., Foster, G.R. and Renard, K.G. (2002). *Soil erosion*. John Wiley and Sons Pub, 338p.
- [42] Tripathi, R.P. and Singh, H.P. (2001). *Soil erosion and conservation*. New Delhi: New Age International Limited Publication. India, 210 p.
- [43] van Dijk, A.I.J.M., Bruijnzeel, L.A. and Eisma, E.H. (2003). A methodology to study rain splash and wash processes under natural rainfall. *Journal of Hydrology*, 17, 153-167.
- [44] Wischmeier, W. H. and Smith, D.D., (1958). Rainfall energy and its relationship to soil loss, *Trans. Am. Geophys. Union* 39.
- [45] 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 American Journal*, 73(1), 226-232.