

توسعه و ارزیابی فناوری‌های نوین تثبیت خاک در کاهش آبدوی و مهار فرسایش،

پایدار سازی دیواره زهکش‌ها و عرصه‌های پرشیب در

اراضی طرح ولایت خوزستان

فرود شریفی<sup>1</sup>، فریدون سلیمانی و سید احمد حسینی

دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان آموزش و تحقیقات؛ fs1338@yahoo.com

مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان آموزش و تحقیقات؛ frsolaimani@gmail.com

پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان آموزش و تحقیقات؛ shosseini@yahoo.com

دریافت: 97/2/24 و پذیرش: 97/6/18

## چکیده

هدف از این پژوهش، توسعه فناوری مناسب مقاوم‌سازی و پایدار سازی خاک و بررسی کارایی آن در آزمایشگاه و عرصه برای استفاده در منطقه یادشده بود. آزمون اثر روش‌های ابداعی روی آبدوی، کاهش رسوب و دستیابی به نوع و مناسب‌ترین روش برای پایدار سازی جداره جانبی کانال‌های شبکه آبیاری و زهکشی و کاهش فرسایش صورت گرفت. در این پژوهش، استفاده از روش‌های مختلف تثبیت خاک و مطالعه تغییرات آبدوی و مقاومت فرسایشی خاک دیواره‌ی کانال‌های زهکش و عرصه طبیعی به صورت آزمایشگاهی و صحرایی با استفاده از باران ساز صورت گرفت. افزودنی‌های متعدد مورد بررسی قرار گرفت. حداقل 340 آزمایش (با 15 نوع افزودنی اصلاح کننده) بر روی نمونه خاک منطقه انجام شد و تأثیر روش‌های بکارگیری شده آنالیز و ویژگی‌های مختلف اندازه‌گیری شد. در مطالعات آزمایشگاهی برای همه آزمایش‌ها، مقدار 25 کیلوگرم نمونه خاک در داخل تشتک‌های فلزی (به طول 100 و عرض 35 سانتی‌متر) قرار داده و به صورت دستی با اعمال فشردگی لازم تا رساندن به جرم مخصوص ظاهری خاک در طبیعت، فشرده شد. تیمارها در فلوام‌هایی با شیب 1 به 1/25 (مشابه شیب جانبی زهکش‌ها) و تحت بارندگی 30، 50 و 80 میلی‌متر بر ساعت (تداوم حداکثر نیم ساعت) شبیه‌سازی و سپس آزمون‌های مکمل به صورت صحرایی انجام شد. نتایج آزمایش نشان داد که بهبود دهنده‌ها منجر به کاهش 90 درصدی رسوب ناشی از باران شد. دو نوع از اصلاح کننده‌های LP و PC دارای بیش‌ترین تأثیر در کاهش میزان فرسایش از جداره کانال‌های زهکش بود. همچنین، مشخص شد افزایش غلظت تثبیت کننده‌های مورد استفاده در تمامی تراکم‌ها، تا سطح آستانه مشخصی در کاهش میزان رسوب خروجی تأثیر مثبت داشته است. اندازه‌گیری مقدار رواناب و هدررفت خاک نشان داد که افزودنی‌های مورد استفاده موجب توقف کامل هدررفت خاک و افزایش تولید رواناب نسبت به تیمار شاهد شد. کاربرد الیاف پلی‌پروپیلن در ترکیب با افزودنی پلیمری LP منجر به خود متراکم سازی و پایدار سازی خاک‌های ناپایدار شد و حتی با تداوم بیش از شش برابری زمان بارش بیشینه (تا سه ساعت)، همچنان پایدار ماند. فناوری مطالعه شده در این پژوهش به عنوان یکی از راه‌حل‌های بهینه کاهش و کنترل فرسایش و پایدار کردن خاک معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: باران ساز، دشت اراضی، رسوب، مقاومت برشی

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: تهران کیلومتر 8 جاده مخصوص، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، گروه هیدرولوژی و توسعه منابع آب

## مقدمه

یکی از مخرب‌ترین فرایندهایی که باعث خسارت قابل توجهی در طبیعت شده و در حال افزایش است، فرسایش آبی و تخریب کانال‌های خاکی است. رواناب حاصل از بارش با تمرکز در مسیرهای مستعد موجب تشکیل جریان در امتداد شیب زمین شده و در مرحله بعد موجب شیارهای فرسایشی و ایجاد خندق می‌شود. در ورودی به کانال‌های خاکی، فرسایش دیواره‌ها و پر شدن مجاری، باعث تخریب، اتلاف سرمایه و نیز توقف بهره‌برداری از عرصه و مشکلات بعدی می‌شود. رواناب سطحی و تولید رسوب به عنوان فرایندهای اصلی تخریب خاک در زیست‌بوم‌های خشک شناخته شده‌اند (کر، 2007). فرسایش یکی از مهم‌ترین عوامل تهدید کمیت و کیفیت خاک محسوب شده که پیامدهای ناخواسته آن را می‌توان به عنوان یکی از بزرگترین مشکلات امروزی زیست‌بوم‌های مختلف تلقی نمود (صادقی، 1389). از سویی، اثر فرایندهای مخرب خاک بر کیفیت آب مهم بوده و لازم است در زمینه فرسایش، آبشویی، آلودگی خاک و آلودگی صنعتی بررسی شود (جعفری و همکاران، 1390).

یکی از روش‌های حفاظت خاک استفاده از تثبیت‌کننده‌های مختلف مانند پلیمرهای شیمیایی یا معدنی است. کاربرد افزودنی‌های آلی و معدنی در مهار فرسایش خاک و ترکیب آنها با الیاف گیاهی و یا مصنوعی از جمله پژوهش‌هایی بوده که با نوآوری در عرصه کاربرد و تجاری سازی در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. استفاده از افزودنی‌های خاک شامل پلی‌اکریل‌آمید (PAM) آبیونی، یکی از روش‌هایی است که در عملیات حفاظت آب و خاک مورد توجه قرار گرفته است (گرین و استات، 2001). استفاده از ترکیبات پلیمری مانند PAM در مدیریت منابع آب و خاک در تحقیقات بسیاری نتایج مثبت استفاده از این ترکیب پلیمری در کاهش فرسایش و تثبیت شیب‌ها به اثبات رسیده است (لوی و همکاران، 1992؛ سیولد، 1994؛ چوادری و فلانگان، 1998؛ سپاسخواه و بذرافشان جهرمی، 2006؛ وستون و همکاران، 2009؛ جیانگ و همکاران، 2010؛ سپاسخواه و شهابی زاد، 2010؛ کومار ساها، 2011؛ شکفته و همکاران، 1384؛ و شهبازی و همکاران، 1384). عباسی و همکاران (1393) گزارش کردند که هیدرومالچ و پلی‌اکریل‌آمید موجب کنترل رواناب و رسوب در شرایط آزمایشگاهی می‌شود. نتایج لتز و همکاران (1992) نشان داد که پلیمرها با اتصال ذرات خاک به یکدیگر و همچنین با قرار گرفتن روی سطوح ذرات

می‌توانند نقش مهمی در کاهش فرسایش ایفا کنند. بارونیک و همکاران (1994) و سپاسخواه و بذرافشان جهرمی (2006) نشان دادند که کاربرد پلی‌اکریل‌آمید در سطح خاک به طور معنی‌داری میزان تخریب خاکدانه‌ها و فرسایش را کاهش می‌دهد. ایزرلو و همکاران (2015) نتایج بیش از 500 شبیه‌سازی بارش با یک شبیه‌ساز باران کوچک را (یکارگیری در غرب و شمال آفریقا و در جنوب و مرکز اروپا) ارائه دادند. اهداف پژوهش آنان بررسی قابلیت فرسایش‌پذیری خاک با توجه به پوشش، کاربری و بافت خاک‌های مختلف بود. نتایج 500 شبیه‌سازی بارش توسط این پژوهشگران نشان می‌دهد که با شدت بارش 40 میلی‌متر بر ساعت (تداوم 30 دقیقه) ضریب رواناب بین صفر تا 100 درصد و مقدار فرسایش بین صفر تا 500 گرم بر مترمربع تغییر می‌کند. صادقی و همکاران (2016) با بررسی اثر زغال زیستی (Biochar) ایجاد شده از ویناس (پساب صنعتی حاصل از تولید الکل از ملاس) بر تولید رواناب و هدررفت خاک در پلات‌های کوچک نتیجه گرفتند که زغال زیستی حاصل از ویناس به‌طور مؤثر می‌تواند رواناب و فرسایش را کاهش دهد.

در پژوهشی دیگر کاویان و همکاران (1393)، با استفاده از شبیه‌ساز باران در آزمایشگاه، تأثیر مقادیر مختلف پلی‌اکریل‌آمید بر مقدار فرسایش پاشمانی را در سه خاک با بافت رسی، سیلتی رس، و شنی رسی لوم تحت شدت بارندگی 95 میلی‌متر در ساعت بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که بین بافت‌های مختلف (به غیر از بافت شنی رسی لومی)، از لحاظ کاهش میزان پاشمان، هیچ اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد. اثر تیمارهای مختلف به کاررفته پلی‌اکریل‌آمید در میزان فرسایش پاشمانی نشان داد در بافت شنی رسی لومی بین تیمار شاهد و تیمارهای چهار و شش کیلوگرم بر هکتار اختلاف معنی‌دار در سطح 95 درصد وجود دارد. همچنین، نتایج نشان داد میزان فرسایش پاشمانی به ترتیب 42.3 و 52 درصد در تیمارهای چهار و شش کیلوگرم بر هکتار در مقایسه با شاهد کاهش می‌یابد.

نتایج بررسی اثر خاک‌پوش کاه و کلش (0/5 گرم بر مترمربع) بر زمان شروع رواناب، فرسایش پاشمانی، مقدار رواناب و تولید رسوب در یک خاک شنی لومی در شدت‌های بارندگی 30، 50، 70 و 90 میلی‌متر بر ساعت نشان داد که این خاکپوش تغییرات معنی‌داری در سطح یک درصد بر خصوصیات رواناب و فرسایش خاک ایجاد می‌کند و حداکثر کاهش تولید رسوب در سطح 63/24 درصد در شدت بارندگی 90 میلی‌متر بر ساعت بوده است. حداکثر افزایش زمان شروع رواناب در شدت بارش

90 میلی‌متر بر ساعت و حداکثر کاهش ضریب رواناب در شدت‌های 30 و 90 میلی‌متر بر ساعت بوده است (غلامی و همکاران، 2013). لی و همکاران (2012) اثر مالچ‌های حصیری، بقایای برنج، خاک اره و گچ بر کاهش رواناب و رسوب را در دو شیب 10 و 20 درصد با شدت بارندگی 30 میلی‌متر بر ساعت بررسی نمودند و نتیجه‌گیری کردند که مالچ‌ها بطور مؤثری رواناب گلی را در اراضی شیب‌دار کاهش می‌دهند. آنان متوسط کاهش رواناب را در شیب‌های 10 و 20 درصد به ترتیب برابر با 85/5 و 73 درصد گزارش کردند.

آدامز (1996) در مطالعه سه ساله در تگزاس با بررسی اثر مالچ‌های کاه و کلشی، سنگریزه‌ای و خاک تیمار شده با دی متیل کلرید آمونیوم بر رواناب، فرسایش و تبخیر، نتیجه‌گیری نمود که رواناب خروجی از خاک آغشته به دی متیل کلرید آمونیوم بیشتر از خاک لخت است، ولی مالچ‌های کاه و کلشی و سنگریزه‌ای رواناب را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهند. در پژوهشی دیگر، کوکال و همکاران (2010) اثر مالچ کاه و کلش به میزان شش تن در هکتار و محلول پنج درصد پلی وینیل الکل در خاک‌های شخم خورده را بر فرسایش پاشمانی و نرخ نفوذ در دو نوع بافت خاک شنی لومی و سیلت لوم بررسی کردند. نتایج حاکی از کاهش تلفات پاشمان و افزایش نرخ نفوذ در خاک‌های لومی شنی نسبت به خاک‌های سیلت لوم است.

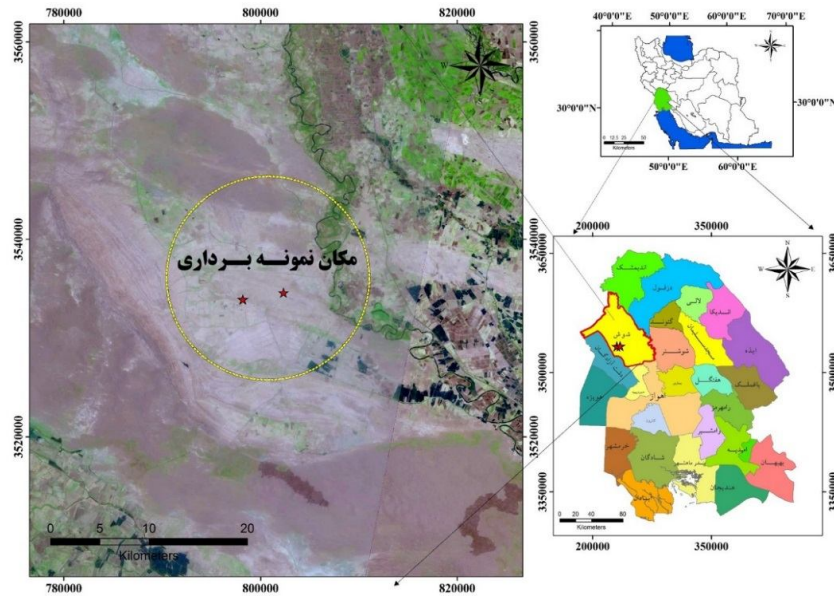
برای افزایش مقاومت بتن، آسفالت و اصلاح رفتار خاک‌های ناپایدار تلاش‌های زیادی با استفاده از افزودنی‌هایی مانند آهک، مواد قیری، نفتی، سیمانی، گیاهی، معدنی، پلیمری و استفاده از ژئوگرید، ژئوتکستایل تا آنکورج صورت گرفته است، اما هرکدام از این روش‌ها در تثبیت و پایدار سازی خاک محدودیت خاصی از جنبه‌های اقتصادی، اجرایی، زیست محیطی به همراه داشته و تاکنون نتوانسته‌اند به‌طور گسترده مورد استفاده واقع شوند. در چند سال گذشته از میان روش‌های متعدد افزایش پایداری خاک، روش استفاده از تثبیت‌کننده‌های خاک، به دلیل اقتصادی بودن و سهولت در کاربرد، مورد توجه قرار گرفته است. کاربرد گسترده اصلاح‌کننده‌هایی نظیر کاه و کلش برای شیب‌های واقع در حاشیه بزرگراه‌ها

این انگیزه را در بسیاری از پژوهشگران به وجود آورده تا فناوری‌هایی را که در برابر فرسایش دارای کاربرد ساده‌تر و مقاوم‌تری هستند، توسعه دهند. به نظر می‌رسد پژوهش کمی در ایران برای پایداری شیب‌های خاکی به‌منظور کاهش فرسایش و رسوب صورت گرفته باشد. هدف از این پژوهش ارزیابی روش مناسب افزایش پایداری خاک، با بررسی اثر تثبیت‌کننده‌های مختلف خاک بر روی آبدوی و هدررفت خاک، در خاک‌های ریزدانه غرب استان خوزستان است. از آنجایی که اغلب روش‌های موجود تثبیت خاک تحت تأثیر ویژگی‌های اقلیم، بارندگی، نوع خاک و در دسترس بودن نوع مواد بهبود دهنده از نظر هزینه و بهاء تمام شده متناسب با شرایط خاص مکانی می‌باشند، در این پژوهش هدف نهایی دستیابی به روش افزایش پایداری خاک، حفاظت از دیواره زهکش‌ها و کانال‌های خاکی و کاهش و کنترل فرسایش و آبدوی عرصه، متناسب با شرایط منطقه بدون محدودیت روش‌های گذشته است.

### مواد و روش‌ها

#### ویژگی‌های منطقه مورد پژوهش

منطقه مورد پژوهش اراضی سیلانی رسی با بافت خاک ریزدانه واقع در طرح ولایت (احیاء اراضی خوزستان، بخشی از حوزه آبخیز کرخه بنام دشت اریض واقع در جنوب شهرستان شوش، در شمال غرب استان خوزستان) است. اراضی این منطقه بخشی از اراضی 550 هزار هکتاری طرح ولایت بوده که عملیات مختلف زیرساختی و توسعه‌ای در آن در حال اجرا و تسطیح اراضی و شبکه‌های آبیاری و زهکشی در آن انجام شده است. در این منطقه در بدو اقدامات توسعه‌ای مشخص شد که بخش‌های تسطیح و تجهیز شده به دلیل ناپایداری با بارش و آبدوی مورد تخریب واقع شده و با توجه به نوع بافت خاک (لوم رسی شنی، که درصد سیلت بالا و رس پایین دارد و جزء خاک‌های حساس به فرسایش هستند) خسارات زیادی به این اراضی وارد آمده است. شکل‌های (1) و (2) به ترتیب موقعیت و وضعیت تخریب منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل 1- موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل 2- تخریب شیروانی زهکش روباز به دلیل فرسایش خاک

### ویژگی‌های خاک و نمونه برداری

عواملی که در اندازه و ثبات خاکدانه‌ها و در نتیجه در کاهش فرسایش مؤثرند شامل بافت خاک، نوع یونها در کمپلکس کاتیون تبادلی، نوع کانی‌های رس، مواد آلی و نوع مواد سیمانی موجود در خاک است. تعداد 35 نمونه خاک برداشت و آزمایش‌های ترکیبی در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انجام شد. خاک مورد مطالعه دارای جرم مخصوص ظاهری  $1/45$  و جرم مخصوص حقیقی  $2/33$  گرم بر سانتی متر مکعب، با 54 درصد رس، 29 درصد سیلت و 17 درصد رس خاکی رس شنی-لومی است. نتایج آزمایش‌های خاک منطقه در جدول (1) ارائه شده است.

### شدت، مدت بارندگی و فراوانی وقوع

شدت بارندگی به دو صورت در فرسایش اثر می‌گذارد. نخست آن که وقتی شدت زیاد است خاک قدرت جذب آب را ندارد و در نتیجه آبدوی بوجود می‌آید، دیگر آن که هرچه شدت بارندگی بیشتر باشد، قطر قطره و انرژی جنبشی آن

بیشتر خواهد بود که این مکانیسم در طول آزمایش نیز مشاهده شد. شدت و فراوانی وقوع باران مهم‌ترین عامل فرسایش، رسوب و آبدوی است. مدت یا تداوم، شدت، و فراوانی وقوع تعیین کننده چگونگی این پدیده‌هاست. بر اساس استانداردهای موجود عمر مفید و مورد انتظار تاسیسات زهکشی را بین 25 تا 50 سال در نظر گرفته و تداوم بارشی که موجب تخریب آن شود را بارش با تداوم 30 دقیقه در نظر می‌گیرند. اصولاً در در مهندسی ارقام کرانه‌ای بدترین حالت را برای بالا بردن ایمنی بیشتر در نظر می‌گیرند. بدین دلیل شدت یا مقدار بارش به ازای یک تداوم سی دقیقه‌ای و با دوره بازگشت 25 تا 50 سال به عنوان معیار (بارش طرح) از منحنی شدت، مدت، فراوانی ایستگاه‌های موجود در خوزستان استخراج شد. لذا شدت بارندگی به میزان 30، 50 و 80 میلی‌متر بر ساعت و با تداوم حدود 30 دقیقه (مبنای استاندارد) مبنای انجام آزمایش‌ها قرار گرفت.

جدول 1- نتایج آزمایش‌های خاک

عمق 5-0 سانتی‌متر	عمق 15-5 سانتی‌متر	پارامتر
6/9	10/5	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)
7	7	اسیدیته
0/18	0/11	کربن آلی (درصد)
2/7	0/95	فسفر قابل جذب (پی پی ام)
115	110	پتاسیم (پی پی ام)
21	54/5	سدیم (میلی اکی والانت بر لیتر)
39	41	منیزیم (میلی اکی والانت بر لیتر)
20	28	کلسیم محلول (میلی اکی والانت بر لیتر)
47	78	کلر (میلی اکی والانت بر لیتر)
1	3	بیکربنات (میلی اکی والانت بر لیتر)

### آماده‌سازی محیط آزمایشگاهی شبیه‌ساز بارش و عرصه

این پژوهش با استفاده از دو دستگاه شبیه‌ساز باران ثابت آزمایشگاهی و قابل حمل صحرایی انجام شد. به منظور تعیین تأثیر افزودنی‌های مختلف، بر پارامترهای مقاومت فرسایشی دیواره‌ی جانبی زهکش‌های منطقه، پس از عبور خاک از الک 4/75 میلی‌متری، به مقدار تقریبی 25 کیلوگرم درون تشتک‌های طراحی شده به ابعاد 0/1×0/33×1 متر ریخته شد. پس از صاف نمودن، تسطیح و فشردن خاک تا لبه تشتک فلوم، نسبت به پاشش و اسپری نمودن مواد تثبیت‌کننده و مالچ‌های زیستی مختلف، در سه غلظت متفاوت اقدام شد. سپس تشتک‌ها در فلومی شیب پذیر (قابل تنظیم از صفر تا 100 درصد) به عمق 10 سانتی‌متر قرار داده شدند. شکل (3) نمایی از فلوم، تشتک و دستگاه شبیه‌ساز باران را نشان می‌دهد.

### واسنجی یکنواختی بارش

باران مهم‌ترین عامل فرسایش، رسوب و آبدوی است. مدت یا تداوم، شدت و فراوانی وقوع تعیین‌کننده چگونگی این پدیده‌هاست. لذا، شدت یا مقدار بارشی که به ازای یک تداوم سی دقیقه‌ای و با دوره بازگشت 25 تا 50 سال به عنوان معیار (بارش طرح) از منحنی شدت، مدت، فراوانی ایستگاه-های موجود در خوزستان استخراج شد. حداکثر شدت بارندگی ثبت شده در اهواز حدود 65 میلی‌متر در ساعت برآورد شده است. آزمایش‌های یکنواختی بارش، تعیین اندازه قطر قطرات و تنظیم شدت‌های مختلف بارش نیز با اعمال تغییرات لازم در دستگاه کنترل الکترونیکی و شیر برقی متصل به نازل‌های باران-ساز صورت گرفت. در ادامه شبیه‌سازی بارش در شدت‌های مورد نیاز که با استفاده از دستگاه کنترل الکترونیکی متصل به شیر برقی‌ها (تعیین‌شده در ورودی نازل‌ها) قابل کنترل است، انجام شد. به طوری که در انجام هر آزمایش، بستر خاک بدون پوشش (تیمار شاهد) و خاک حاوی پوشش‌های مختلف در معرض سه شدت بارندگی به میزان 30، 50 و 80 میلی‌متر بر

ساعت قرار می‌گرفت. مدت‌زمان انجام هر آزمایش 30 دقیقه در نظر گرفته شد زیرا در طی مدت بادشده مقدار غلظت رسوب در رواناب به حالت تعادل می‌رسید. در حالت تعادل یا حالت ماندگار، تغییرات مقدار رسوب خارج‌شده از قیف خروجی فلوم نسبت به زمان تقریباً ثابت می‌شود. میزان شدت نفوذ آب در خاک نیز به وسیله یک لوله پلاستیکی که در کف تشتک فلزی تعبیه‌شده بود جمع‌آوری شد. برای تعیین یکنواختی شدت بارش در سطح کرت از داده‌های اندازه‌گیری شده شدت بارندگی استفاده شد. برای برآورد ضریب یکنواختی از رابطه کریستین سن (سپاسخواه و بذرافشان جهرمی، 2006) استفاده شد.

برای اندازه‌گیری قطر قطرات باران شبیه‌سازی‌شده، روش گلوله آردی استفاده شد. این روش در سه گام، ایجاد قطرات مصنوعی با اندازه مشخص، چکاندن قطرات مصنوعی از ارتفاع چهار متری و تهیه منحنی واسنجی بر اساس رابطه بین جرم گلوله آرد و قطر قطره و نمونه‌گیری از باران در شدت‌های مختلف و تعیین اندازه و توزیع اندازه قطرات صورت گرفت. نمونه‌گیری در سه محل از طول فلوم به فواصل یک و نیم متر و در سه تکرار برای شدت‌های مختلف بارش شبیه‌سازی انجام شد. بر این اساس قطر قطرات بین 1/9 تا 2/4 میلی‌متر به دست آمد. به طور متوسط قطر قطرات بارشی حدود 2/2 میلی‌متر در نظر گرفته شد. در ادامه آزمایش‌های مربوط به تنظیم شدت‌های مختلف بارش، با اعمال تغییرات لازم در دستگاه کنترل الکترونیکی و شیر برقی متصل به نازل‌ها صورت گرفت. بدین منظور با قرار دادن چند ظرف به صورت شبکه‌ای در زیر نازل‌های سامانه شبیه‌ساز بارش در مدت‌زمان معین، حجم آب داخل ظروف را تقسیم‌بندی بر سطح آنها نموده، و عمق حاصله تقسیم‌بندی مدت‌زمان انجام آزمایش شد. در نهایت با تکرار این آزمایش‌ها، و اطلاعات دستگاه تایمینگ، شدت بارندگی‌های مختلف برحسب میلی‌متر بر ساعت تأمین شد. نمایی از نحوه اندازه‌گیری و تنظیم شدت بارش و یکنواختی بارش روی زمین و فلوم شیب‌دار در شکل (4) نشان داده شده است.



شکل 3- نمایی از فوم، تشک‌های فلزی (به طول 100، عرض 35 و ارتفاع 6 سانتیمتر) و دستگاه شبیه‌ساز باران

### آماده‌سازی شبیه‌ساز بارش صحرائی

به منظور شبیه‌سازی بارش در عرصه از دستگاه شبیه‌ساز باران صحرائی (ثقلی) به عرض 80 و طول 120 سانتی‌متر استفاده شد. در قسمت تحتانی مخزن آب شبیه‌ساز نازل‌ها قرار دارد که ارتفاع آن از سطح کورت 150 سانتی‌متر است. سامانه روی یک چهارپایه فلزی نصب می‌شود که مخزن بر روی این پایه فلزی به صورت دورانی حرکت می‌کند. نیروی محرکه آن با استفاده از یک موتور کوچک با برق 12 ولت تأمین و برای پر کردن مخزن از یک واترپمپ کوچک استفاده شود. چهارپایه فلزی هم از طریق پیچ‌های تعبیه شده و هم از طریق پایه‌های با قابلیت تنظیم ارتفاع، برای تراز نمودن مخزن آب قابل تنظیم است. همچنین، یک کورت فلزی که در انتها دارای یک ناودانی جمع‌کننده رواناب و هدررفت خاک است (با سطح یک مترمربعی)، در زیر سامانه در خاک قرار داده می‌شود. شکل (5) سامانه شبیه‌ساز باران و متعلقات مربوط به آن را نشان می‌دهد.

این پژوهش در بافت خاک لوم رسی شنی، با دو شدت بارندگی 30 و 50 میلی‌متر بر ساعت، دو شیب 7.5 درصد (میان 5-10 درصد) و 12.5 درصد (میان 10-15 درصد) و با تیمارهای شاهد، پلی‌اکریل آمید در دو سطح سه و شش گرم در مترمربع (حزبای و همکاران، 1391) و مالچ پلیمری پارسیان (Pc) هرکدام با سه تکرار در عرصه انجام شد. شدت‌های بارش بر اساس تحلیل باران نمود ایستگاه سینوپتیک اهواز و شوش و شیب‌ها بر اساس نقشه شیب و شیب‌های غالب منطقه که رواناب حاصل از این شیب‌ها اراضی زراعی را تخریب می‌کرد، انتخاب شد. از مالچ پلیمری و پلی‌اکریل آمید به صورت محلول در

آب به سبب مؤثر بودن بهتر آن در مهار فرسایش و غالب‌ترین شکل مصرف (شومیکر، 2009؛ ژنگ، 2011) استفاده شد. هرکدام از مقادیر مورد استفاده پلی‌اکریل آمید در 200 میلی‌لیتر از آب حل شد. مالچ نیز به مقدار 100 میلی‌لیتر در یک لیتر آب رقیق شد. محلول آماده شده با استفاده از یک دستگاه سم‌پاش برقی به صورت یکنواخت روی خاک اسپری شد. در نهایت به لحاظ پخش همگن ماده در خاک بعد از گذشت 24 ساعت از زمان اسپری کردن، بارش باران بر روی کرت‌ها اجرا و نمونه‌برداری انجام شد.

مدت زمان تداوم بارش برای هر تیمار نیم ساعت بود. پس از استقرار کورت فلزی (شکل 5) در شیب مورد نظر، با اعمال تیمارهای آزمایش شامل شاهد،  $P_3$ ،  $P_6$  و  $P_C$  بر خاک کورت (اصلاح‌کننده‌های مورد استفاده در این بخش شامل اصلاح‌کننده (LP، مالچ 4)، پلی‌اکریل آمید آنیونی در دو سطح 3 و 6 گرم در مترمربع ( $P_3$  و  $P_6$ ) و مالچ پلیمری پارسیان ( $P_C$ ) بود). در مرحله بعد استقرار دستگاه باران‌ساز بر روی کورت و تنظیم لوله فشار در ارتفاع محاسبه شده برای تعیین شدت بارش مورد نظر و آغاز آزمایش صورت گرفته، و زمان شروع و خاتمه با کرنومتر ثبت می‌شد. به محض مشاهده رواناب در سطح کورت مدت زمان سپری شده از لحظه شروع آزمایش به عنوان آستانه شروع رواناب ثبت شد. پس از آن با گام زمانی پنج دقیقه مقادیر رواناب و هدررفت خاک در ظروف جداگانه جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل و روند تغییرات رواناب- هدررفت خاک طی گام‌های زمانی و در بازه زمانی نیم ساعته بررسی و نمودارهای حاصله ترسیم شد.



شکل 4- اندازه‌گیری و تنظیم شدت و یکنواختی بارش روی زمین و فلوم شیب‌دار



شکل 5- سامانه شبیه‌ساز باران صحرایی و متعلقات آن

مدرج اندازه‌گیری و در فرم یادداشت‌برداری آزمایشگاهی ثبت و باقیمانده رواناب و رسوب با ترازوی دیجیتال وزن کشی و در داخل آون با دمای 70 درجه به مدت 72 ساعت گذاشته شد تا کاملاً خشک شود. پس از وزن‌کشی

بعد از جمع‌آوری نمونه‌های رواناب و هدررفت خاک در عرصه و انتقال آن به آزمایشگاه، نمونه‌ها به مدت 48 ساعت اجازه پیدا کرد تا ته‌نشین شود. بدین صورت رواناب تا حد ممکن جداسازی و با استفاده از استوانه

مجدد و اندازه‌گیری‌های لازم میزان دقیق هدررفت خاک از هر کرت محاسبه شد. سرانجام تجزیه و تحلیل با استفاده از طرح آماری اسپلیت پلات و سپس با روش رگرسیون گام به گام مدل‌سازی مقدار تولید رواناب و هدررفت خاک انجام شد.

## نتایج

### هدررفت خاک و رواناب

در جدول (2) مقایسه‌ای از میانگین مقدار هدررفت خاک به تفکیک در شیب، شدت بارش و استفاده از تثبیت کننده‌های مختلف ارائه شده است. میانگین مقدار هدررفت خاک در شیب‌های 7/5 و 12/5 درصد و شدت بارش‌های 30 و 50 میلی‌متر بر ساعت در سطح یک درصد دارای اختلاف معنی‌داری هستند. میانگین مقدار هدررفت خاک در تیمار شاهد در سطح یک درصد دارای اختلاف معنی‌داری با تیمارهای اصلاح‌کننده  $P_3$ ،  $P_6$  و  $P_c$  هست. همچنین، تیمارهای اصلاح‌کننده  $P_3$ ،  $P_6$  و  $P_c$  در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری با همدیگر ندارند ولی در سطح یک درصد دارای اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد هستند (جدول 2). همان‌طور که در جدول یادشده مشاهده می‌شود، مقدار هدررفت خاک در تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری با اصلاح‌کننده  $P_3$ ،  $P_6$  و  $P_c$  دارد و تیمارهای اصلاح‌کننده  $P_3$ ،  $P_6$  و  $P_c$  هدررفت خاک نداشته و در یک گروه قرار می‌گیرند.

الگوی تغییرات مقدار هدررفت خاک و رواناب برای میانگین تکرارها در تیمارهای مختلف در شکل (6) ارائه شده است. بر اساس این شکل، در هیچ یک از اصلاح-

کننده‌ها هدررفت خاک در تیمارهای مختلف مشاهده نشده است. جدول (3) نتایج استفاده از انواع اصلاح‌کننده روی نمونه خاک منطقه موردپژوهش در شدت بارش 80 میلی‌متر بر ساعت را نشان می‌دهد. جدول (4) مقادیر رسوب خشک حاصل از فرسایش تیمارهای مورد بررسی در شدت بارندگی بیشینه را نشان می‌دهد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که شیب، شدت بارش، اثر متقابل شیب و شدت بارش؛ اصلاح‌کننده، اثر متقابل شیب و اصلاح‌کننده، اثر متقابل شدت بارش و اصلاح‌کننده و اثرات متقابل شیب، شدت بارش و اصلاح‌کننده در سطح پنج درصد معنی‌دار هستند.

الگوی تغییرات مقدار رواناب در تمامی تیمارهای در نظر گرفته شده حاکی از آن است که مقدار رواناب مربوط به اصلاح‌کننده‌های  $P_3$ ،  $P_6$  و  $P_c$  نسبت به رواناب شاهد افزایش داشته است. در شیب 7/5 درصد-شدت 30 میلی‌متر بر ساعت روند تغییرات هدررفت خاک شاهد با رواناب شاهد همخوانی ندارد (شکل 6)، این در حالی است که در سایر حالت‌ها تغییرات هدررفت خاک شاهد با مقدار رواناب شاهد در 15 دقیقه اول بارش همخوانی داشته، سپس با افزایش رواناب، هدررفت خاک کاهش یافته است. در شکل (7) مقایسه مقاومت برشی در تیمار شاهد و خاک حاوی انواع اصلاح‌کننده در سه سطح اختلاط استفاده‌شده منعکس شده است. در شکل (8) روند کلی تأثیر هر یک از اصلاح‌کننده‌ها در کاهش میزان رسوب در مقایسه با تیمار شاهد در دو شدت بارش نشان داده شده است.

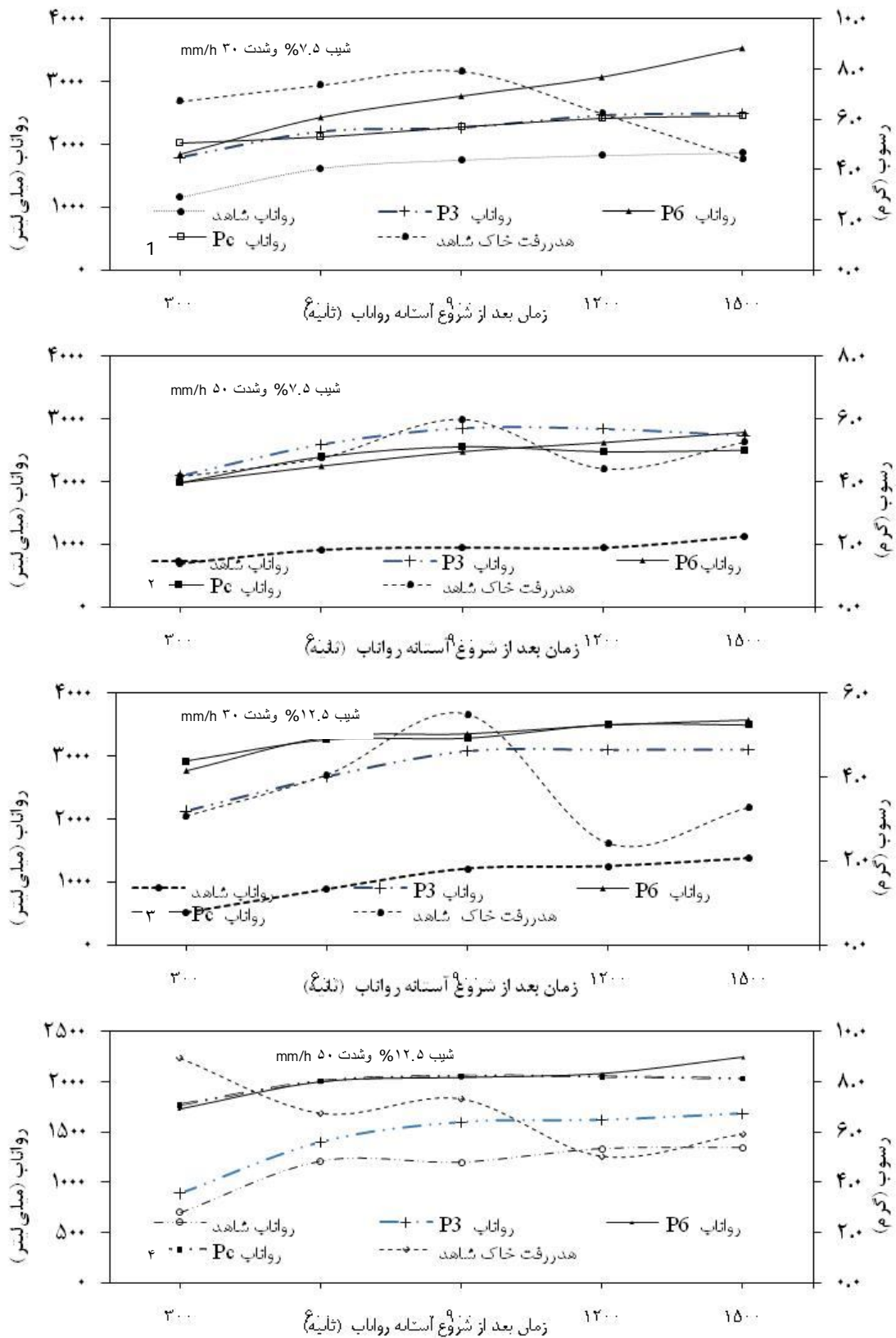
جدول 2- مقایسه میانگین مقدار هدررفت خاک به تفکیک در شیب، شدت بارش

### و اصلاح‌کننده‌های مختلف

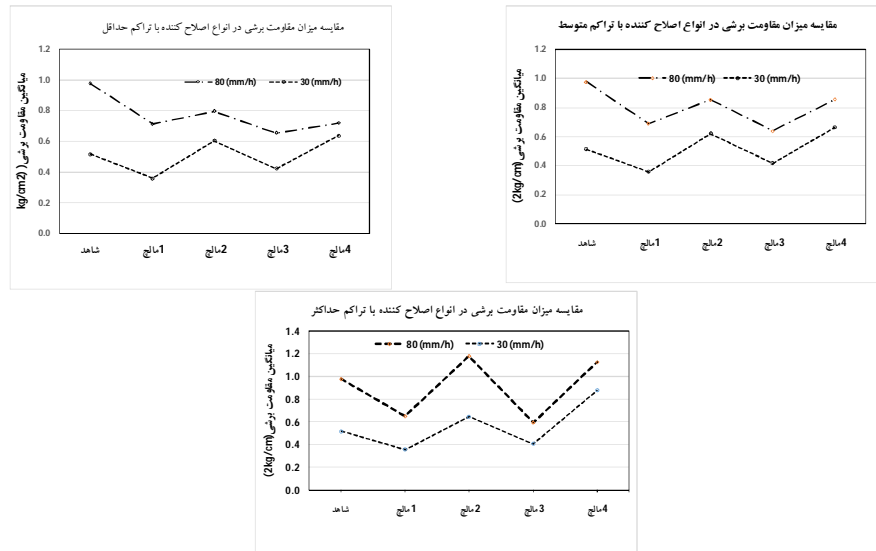
تیمار	سطح	اختلاف میانگین سطوح	خطای استاندارد
شیب	7/5 12/5	2/885**	0/188
شدت	30 50	0/621**	0/188
شاهد	اصلاح	$P_3$	0/267
		$P_6$	0/267
		$P_c$	0/267
کننده		$P_6$	0/267
		$P_3$	0/267
		$P_c$	0/267

علامت \*\* نشانگر معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح 1 درصد است

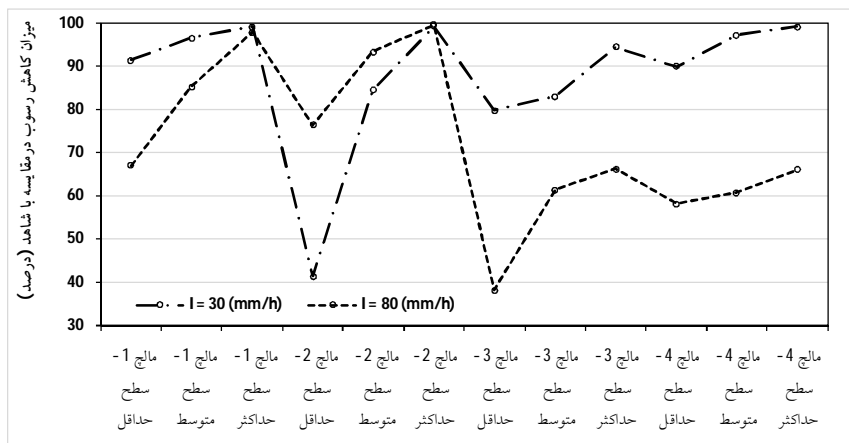
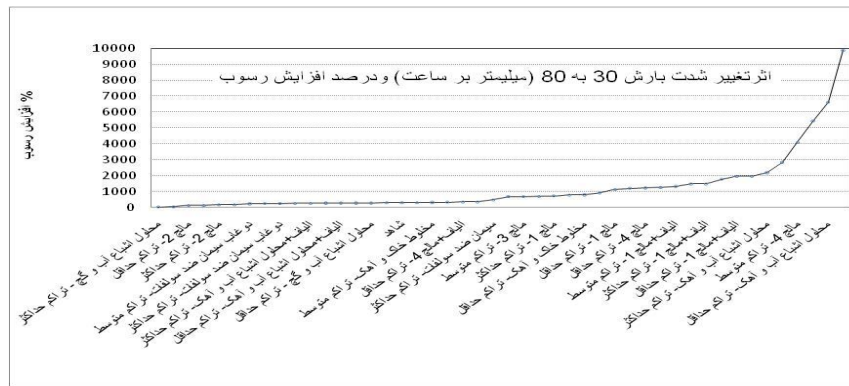




شکل 6- تغییرات مقدار هدررفت خاک و رواناب برای شیب 7/5 تا 12/5 درصد و شدت‌های 30 و 50 میلی‌متر بر ساعت



شکل 7- مقایسه میزان مقاومت برشی در تیمار شاهد و خاک حاوی انواع اصلاح‌کننده در سه سطح اختلاط استفاده شده



شکل 8- روند کلی تأثیر هر یک از اصلاح‌کننده‌ها در کاهش میزان رسوب در مقایسه با تیمار شاهد در دو شدت بارش

تراکم  $10 \text{ (gr/m}^2\text{)}$ ، بیشترین میزان فرسایش را در این شدت بارندگی ایجاد نموده است. نتایج حاصل از میزان رسوب‌دهی روی تیمار شاهد و تیمارهای مورد آزمایش در تراکم‌های متفاوت، به دلیل

همان‌گونه که مشاهده می‌شود تیمار اصلاح‌کننده 4 تراکم  $100 \text{ (cc/m}^2\text{)}$ ، حداقل میزان فرسایش در شدت بارندگی بیشینه را کسب نموده و تیمار ملات الیاف با

پنج درصد معنی‌دار هستند. در جدول (5) مقایسه میانگین مقدار رواناب تولیدی با روش LSD به تفکیک در شیب‌ها، شدت‌های بارش و اصلاح‌کننده‌های مختلف ارائه شده است. میانگین مقدار رواناب تولیدی در شیب‌های 7/5 و 12/5 درصد و شدت بارش‌های 30 و 50 میلی‌متر بر ساعت در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی‌داری هستند (جدول 5). در جدول (5) اختلاف میانگین سطوح نشانگر تفاوت آمار رواناب در ستون دوم از ستون سوم است که بر اساس این اختلاف گروه‌ها تعیین می‌شوند. در شکل (9) مقایسه میانگین مقدار رواناب و رسوب تولیدی سه نوع اصلاح‌کننده در مقایسه با شاهد ارائه شده است.

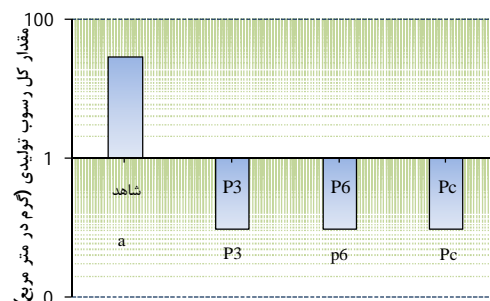
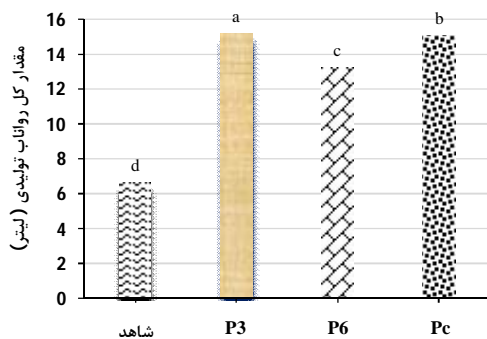
افزایش شدت بارش از 30 به 80 میلی‌متر در ساعت در شکل (8) ارائه شده است. به‌طور نمونه نتایج نشان داد نسبت میزان فرسایش روی تیمار شاهد مورد پژوهش در شدت بارندگی 80 در مقایسه با شدت بارندگی 30 میلی‌متر بر ساعت، حدود سه برابر بیشتر است. مقایسه میزان رسوب در تیمار شاهد و خاک حاوی انواع مواد تثبیت‌کننده در سه سطح استفاده‌شده در شکل (9) نشان داده شده است.

#### رواناب تولیدی

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که شیب، شدت بارش، اثر متقابل شیب و شدت بارش؛ پلیمر، اثر متقابل شیب و اصلاح‌کننده، اثر متقابل شدت بارش و اصلاح‌کننده و اثرات متقابل شیب، شدت بارش و اصلاح‌کننده در سطح

جدول 3- نتایج استفاده از انواع اصلاح‌کننده روی نمونه خاک منطقه در شدت بارش 80 میلی‌متر بر ساعت

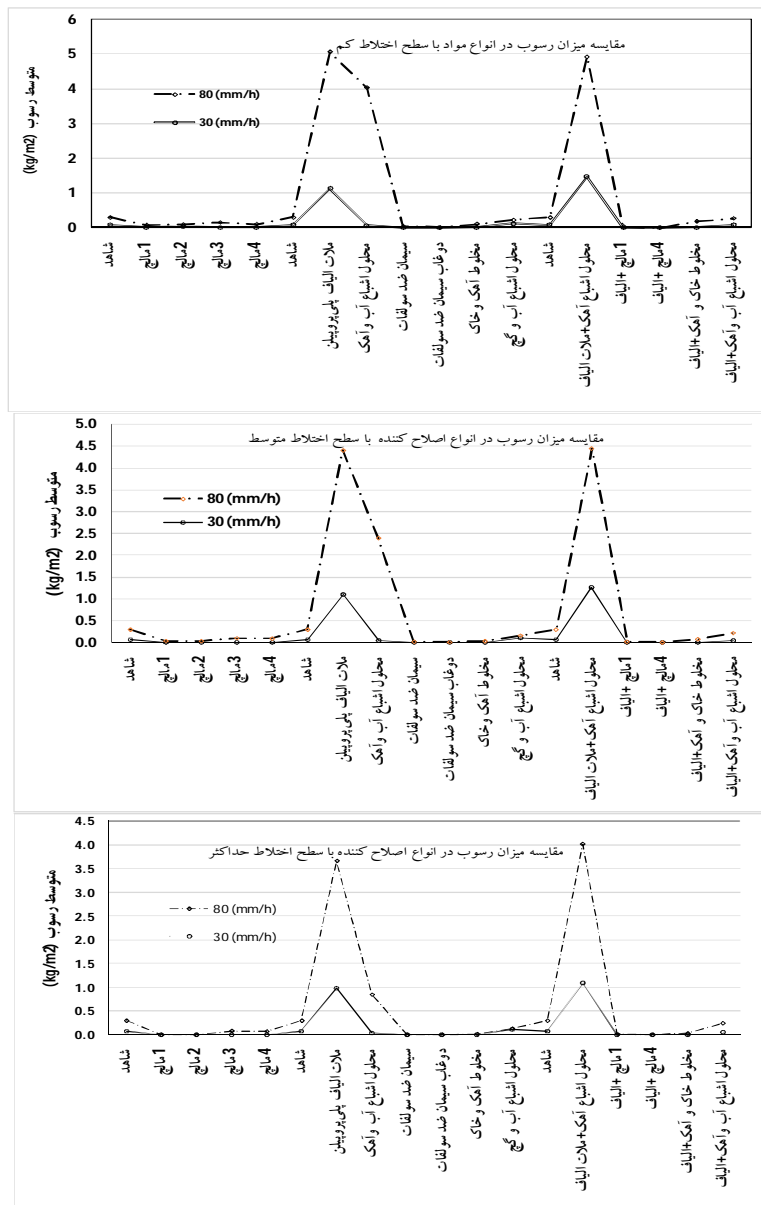
شماره اصلاح‌کننده	تراکم ( $gm^{-2}$ )	متوسط رسوب ( $kgm^{-2}$ )	شدت رواناب ( $mmh^{-1}$ )	قدرت جریان ( $wm^{-2}$ )	شدت نفوذ ( $mmh^{-1}$ )	میانگین مقاومت برشی ( $kgcm^{-2}$ )
1	500	0/074	9/270	2/021	4/471	0/463
	750	0/033	7/522	1/642	4/610	0/332
	1000	0/005	7/010	1/528	4/981	0/291
	50	0/053	14/829	3/233	3/908	0/191
2	75	0/015	12/724	2/774	3/169	0/232
	100	0/001	10/541	2/298	1/920	0/535
	50	0/138	14/348	3/128	2/100	0/232
	100	0/086	13/100	2/856	5/163	0/222
3	150	0/075	5/864	1/287	5/714	0/188
	50	0/093	10/625	2/316	10/168	0/082
	75	0/087	8/346	1/819	6/134	0/193
	100	0/075	4/759	1/037	4/225	0/249



شکل 9- میانگین مقدار رواناب و رسوب تولیدی در مقایسه با شاهد در سه نوع اصلاح‌کننده

جدول 4- مقدار رسوب خشک حاصل از فرسایش تیمارهای مورد بررسی در شدت بارندگی بیشینه

مقدار رسوب (گرم بر متر مربع)	نسبت اختلاط	نام تیمار
1	100 (gr/m <sup>2</sup> )	مالچ 2- سطح حداکثر
2	10 (gr/m <sup>2</sup> )+100 (cc/m <sup>2</sup> )	الیاف+مالچ 4- سطح حداکثر
3	4/5 (kg/m <sup>2</sup> )	دوغاب سیمان ضد سولفات - سطح حداکثر
3	10 (gr/m <sup>2</sup> )+75 (cc/m <sup>2</sup> )	الیاف+مالچ 4- سطح متوسط
4	3 (kg/m <sup>2</sup> )	دوغاب سیمان ضد سولفات - سطح متوسط
4	1/5 (kg/m <sup>2</sup> )	دوغاب سیمان ضد سولفات - سطح حداقل
4	10 (gr/m <sup>2</sup> )+50 (cc/m <sup>2</sup> )	الیاف+مالچ 4- سطح حداقل
5	1000 (gr/m <sup>2</sup> )	مالچ 1- سطح حداکثر
5	6 (kg/m <sup>2</sup> )	سیمان ضد سولفات - سطح حداکثر
9	10 (gr/m <sup>2</sup> )+1000 (cc/m <sup>2</sup> )	الیاف+مالچ 1- سطح حداکثر
9	4/5 (kg/m <sup>2</sup> )	سیمان ضد سولفات - سطح متوسط
11	10 (gr/m <sup>2</sup> )+750 (cc/m <sup>2</sup> )	الیاف+مالچ 1- سطح متوسط
15	4400 (gr/m <sup>2</sup> )	مخلوط خاک و آهک - سطح حداکثر
15	75 (gr/m <sup>2</sup> )	مالچ 2- سطح متوسط
24	3300 (gr/m <sup>2</sup> )	مخلوط خاک و آهک - سطح متوسط
27	10 (gr/m <sup>2</sup> )+4400 (gr/m <sup>3</sup> )	الیاف+مخلوط خاک و آهک - سطح حداکثر
29	13/5 (lit/m <sup>2</sup> )	محلول اشیاع آب و گچ - سطح حداکثر
30	10 (gr/m <sup>2</sup> )+500 (cc/m <sup>2</sup> )	الیاف+مالچ 1- سطح حداقل
33	750 (gr/m <sup>2</sup> )	مالچ 1- سطح متوسط
42	3 (kg/m <sup>2</sup> )	سیمان ضد سولفات - سطح حداقل
43	9 (lit/m <sup>2</sup> )	محلول اشیاع آب و گچ - سطح متوسط
53	50 (gr/m <sup>2</sup> )	مالچ 2- سطح حداقل
67	10 (gr/m <sup>2</sup> )+3300 (gr/m <sup>3</sup> )	الیاف+مخلوط خاک و آهک - سطح متوسط
74	500 (gr/m <sup>2</sup> )	مالچ 1- سطح حداقل
75	150 (gr/m <sup>2</sup> )	مالچ 3- سطح حداکثر
75	100 (gr/m <sup>2</sup> )	مالچ 4- سطح حداکثر
86	100 (gr/m <sup>2</sup> )	مالچ 3- سطح متوسط
87	75 (gr/m <sup>2</sup> )	مالچ 4- سطح متوسط
93	50 (gr/m <sup>2</sup> )	مالچ 4- سطح حداقل
95	2200 (gr/m <sup>2</sup> )	مخلوط خاک و آهک - سطح حداقل
103	10 (gr/m <sup>3</sup> )+5333 (gr/m <sup>2</sup> )	محلول اشیاع آب و گچ - سطح حداقل
132	10 (gr/m <sup>3</sup> )+5333 (gr/m <sup>2</sup> )	الیاف+محلول اشیاع آب و آهک - سطح حداکثر
138	50 (gr/m <sup>2</sup> )	مالچ 3- سطح حداقل
160	10 (gr/m <sup>3</sup> )+4000 (gr/m <sup>2</sup> )	الیاف+محلول اشیاع آب و آهک - سطح متوسط
172	10 (gr/m <sup>2</sup> )+2200 (gr/m <sup>3</sup> )	الیاف+مخلوط خاک و آهک - سطح حداقل
195	10 (gr/m <sup>3</sup> )+2666 (gr/m <sup>2</sup> )	الیاف+محلول اشیاع آب و آهک - سطح حداقل
222	-	شاهد
810	16 (lit/m <sup>2</sup> )	محلول اشیاع آب و آهک - سطح حداکثر
2351	12 (lit/m <sup>2</sup> )	محلول اشیاع آب و آهک - سطح متوسط
2678	20 (gr/m <sup>3</sup> )	مالات الیاف پلی پروپیلن - سطح حداکثر
2916	10 (cc/m <sup>2</sup> )+ 6 (lit/m <sup>2</sup> )	مالات الیاف+محلول اشیاع آب و آهک - سطح حداکثر
3189	7/5 (cc/m <sup>2</sup> )+ 6 (lit/m <sup>2</sup> )	مالات الیاف+محلول اشیاع آب و آهک - سطح متوسط
3315	15 (gr/m <sup>3</sup> )	مالات الیاف پلی پروپیلن - سطح متوسط
3438	5 (cc/m <sup>2</sup> )+ 6 (lit/m <sup>2</sup> )	مالات الیاف+محلول اشیاع آب و آهک - سطح حداقل
3927	10 (gr/m <sup>3</sup> )	مالات الیاف پلی پروپیلن - سطح حداقل
3969	8 (lit/m <sup>2</sup> )	محلول اشیاع آب و آهک - سطح حداقل



شکل 10- مقایسه میزان رسوب در تیمار شاهد و خاک حاوی انواع مواد تثبیت کننده در سه سطح استفاده شده

جدول 5- مقایسه میانگین مقدار رواناب تولیدی به تفکیک در شیب، شدت بارش

تیمار		سطح	اختلاف میانگین سطوح	خطای استاندارد
شیب	7/5	12/5	-3215.878*	37/7
	30	50	-3696.045*	37/7
اصلاح کننده	شاهد	P <sub>3</sub>	-8547.619*	53/32
		P <sub>6</sub>	-6655.953*	53/32
		P <sub>c</sub>	-8429.286*	53/32
		P <sub>6</sub>	1891.667*	53/32
		P <sub>3</sub>	118.333*	53/32
		P <sub>c</sub>	-1773.333*	53/32
		P <sub>6</sub>		

علامت \* نشانگر معنی دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح پنج درصد است

مقدار هدررفت خاک در تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار با اصلاح‌کننده  $P_3$ ، مالچ  $P_6$  و مالچ  $P_c$  دارد و تیمارهای اصلاح‌کننده  $P_3$ ،  $P_6$  و  $P_c$  هدررفت خاک نداشته و در یک گروه قرار می‌گیرند.

آزمایش میدانی و شبیه سازی شده نتایج مشابهی داشته و بیشترین تأثیر در کاهش میزان فرسایش، مربوط به کاربرد اصلاح‌کننده شماره یک به میزان 89 درصد است. در تیمارهای مربوط به کاربرد مواد اصلاح‌کننده خاک، تیمار دوغاب سیمان ضد سولفات به میزان حدود 98 درصد بهترین تأثیر را در کاهش رسوب داشت. نتایج ثابت نمود کاربرد جداگانه تیمار ملات الیاف پلی‌پروپیلن و تیمار محلول اشباع آب-آهک، نه تنها سبب کاهش رسوب نمی‌شوند، بلکه کاربرد ترکیبی این دو ماده در مقایسه با تیمار شاهد، تا حدود 15 برابر می‌تواند باعث افزایش رسوب شود. به‌طورکلی نتایج آزمایش‌ها تأیید نمود تیمارهایی که به‌صورت ملات به‌ویژه ملات خاک و الیاف پلی‌پروپیلن تهیه می‌شود در زمینه کنترل فرسایش نمی‌تواند مؤثر باشند، بلکه باعث افزایش میزان رسوب‌دهی نیز می‌شوند. آزمایش‌ها اثبات نمود مهم‌ترین مزیت کاربرد الیاف پلی‌پروپیلن افزایش پایداری خاک و جلوگیری از ریزش خاک جداگانه جانبی کانال است، به‌طوری‌که این تیمار تا شش برابر مدت‌زمان بارش بیشینه، همچنان پایداری خود را حفظ نمود.

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تثبیت‌کننده‌های خاک می‌توانند نقش مؤثری در کاهش رسوب از جداگانه جانبی کانال‌های زهکش و عرصه‌های فرسایش‌پذیر داشته باشند. نتایج آزمایش‌های انجام‌شده بر روی خاک دشت اریض با بافت شنی لومی نشان داد که وجود پوشش تثبیت‌کننده منجر به کاهش رسوب ناشی از باران تا بیش از 90 درصد شده است. به‌طوری‌که با افزایش درصد تراکم تثبیت‌کننده‌های 1 تا 4 میزان رسوب به ترتیب در هرکدام از آزمون‌ها حدود 8، 58، 15 و 10 درصد کاهش می‌یابد. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌ها نقش اساسی در تفاوت بین رسوب تولیدی در تیمار شاهد و تجهیز شده با تثبیت‌کننده دارد. نتایج مشخص نمود بین مقادیر رسوب تیمار شاهد و تیمار مالچ‌ها برای نمونه خاک در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار وجود دارد. این نتایج با پژوهش شکفته (1380) که تأثیر پلی‌اکریل‌آمید، بر فرسایش و پایداری خاکدانه‌ها را در سه خاک شن لومی، لومی و لوم رسی، تحت دو بارش 39 و 79 میلی‌متر بر ساعت به‌صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار داد، هم‌خوانی دارد. نتایج حاصل از این پژوهش گرچه در

میانگین مقدار رواناب تولیدی در تیمار شاهد در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی‌داری با تیمارهای  $P_3$ ،  $P_6$  و  $P_c$  است. همچنین تیمار  $P_3$  در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی‌داری با تیمارهای شاهد،  $P_6$  و  $P_c$  است. اصلاح‌کننده  $P_6$  اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد خطا با تیمار شاهد،  $P_3$  و  $P_c$  دارد. همچنین اصلاح‌کننده  $P_c$  اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد خطا با تیمار شاهد،  $P_3$  و  $P_6$  دارد (جدول 5). همانطور که در جدول (5) مشاهده می‌شود تیمارهای شاهد،  $P_3$ ،  $P_6$  و  $P_c$  با همدیگر اختلاف معنی‌داری دارند. به ترتیب مقدار رواناب در تیمارهای شاهد،  $P_6$ ،  $P_c$  و  $P_3$  افزایش می‌یابد.

### بحث

بررسی تغییرات مقدار هدررفت خاک برای تیمارهای مختلف نشان داد که در هیچ یک از حالت‌های اصلاح‌کننده‌ها رسوبی تولید نشده و هدررفت خاکی نداشته است و تنها در حالتی که سطح خاک طبیعی بوده (تیمار شاهد) هدررفت خاک ایجاد شده است. بنابراین استفاده از هر یک از افزودنی‌های  $P_3$ ،  $P_6$  و  $P_c$  در کنترل رسوب بسیار با موفقیت همراه بوده و هیچ‌گونه هدررفت خاکی در استفاده از این مواد در سطح خاک ایجاد نشده است. پلیمرها به دلیل خاصیت چسبندگی باعث اتصال ذرات خاک و کنترل فرسایش می‌شوند. به‌طور کلی پلیمر با اتصال ذرات ریز خاک به یکدیگر موجب تشکیل ذرات بزرگ‌تر می‌شود. این امر موجب مقاوم شدن خاک در برابر فروپاشی و پراکنش نیروهای برشی می‌شود و در نتیجه استحکام خاک افزایش می‌یابد. همچنین، پلیمر از طریق دو روش افزایش تراکم ذرات ریز و نیز جلوگیری از تفکیک ذرات، موجب اصلاح و بهبود پایداری خاک می‌شود (مالیک و لثی، 1991).

بررسی تغییرات رواناب برای تیمارهای مختلف نشان داد که استفاده از اصلاح‌کننده‌های  $P_3$ ،  $P_6$  و  $P_c$  موجب افزایش تولید رواناب نسبت به تیمار شاهد شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از اصلاح‌کننده‌ها موجب کاهش هدررفت خاک و افزایش رواناب شده است. نتایج کاهش هدررفت خاک در اثر استفاده از پلیمر در این پژوهش با نتایج کاویان و همکاران (1393)، حمیدی تهرانی و واعظی (1392)، همخوانی دارد. همچنین، نتایج افزایش رواناب در اثر استفاده از پلیمر در این پژوهش با نتایج آدامز (1996) مطابقت داشته ولی با نتایج عباسی و همکاران (1393) هم‌خوانی ندارد. مقایسه آماری میانگین مقدار رواناب تولیدی نشان داد که تیمارهای شاهد، مالچ  $P_3$ ، مالچ  $P_6$  و مالچ  $P_c$  با همدیگر اختلاف معنی‌داری دارند. همچنین، نتایج نشان داد که

کاسته شده و انتقال رسوب آن با باران به کمترین مقدار خود می‌رسد که نتیجه آن کمتر شدن فرسایش خاک است. ترکیب ملات الیاف پلی‌پروپیلن، خاک و محلول اشباع آهک، نه تنها سبب کاهش رسوب نمی‌شوند، بلکه کاربرد ترکیبی این مواد در مقایسه با تیمار شاهد، تا حدود 15 برابر (درعین پایداری) می‌تواند باعث افزایش رسوب شود. مهم‌ترین مزیت کاربرد الیاف پلی‌پروپیلن افزایش پایداری خاک و جلوگیری از ریزش خاک جداره جانبی کانال است. کاربرد الیاف پلی‌پروپیلن در ترکیب با خاک و مالچ شماره 1 یا 4 موجب افزایش پایداری خاک و جلوگیری از ریزش خاک جداره جانبی کانال شد. به‌طوری‌که پس از بکارگیری این ترکیب، شیروانی خاکی فرسایش پذیر که در معرض بیش از شش برابر زمان تداوم (تا سه ساعت) بارش بیشینه قرار گرفت آسیب ندید و همچنان پایدار ماند. این تکنیک با توجه به هزینه کم و سهولت کاربرد در سطح وسیع، برای تثبیت سطوح شیبدار خاک ریزدانه چشم‌انداز مناسبی دارد.

### تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج طرح پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری است که با حمایت مالی و سفارش موسسه جهاد نصر انجام شده است. به این وسیله از حمایت‌های مالی موسسه جهاد نصر و پشتیبانی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری سپاس‌گزاری می‌شود، همچنین از شرکت رعدان فاخر زاگرس (لوکوبیت)، پژوهشکده پلیمر و شرکت پارسیان برای تأمین مواد اصلاح‌کننده تشکر می‌شود.

خاک به‌هم‌خورده و با استفاده از شبیه‌سازی بارش صورت گرفته است، ولی می‌تواند راهنمای خوبی برای تثبیت کانال‌های خاکی باشد. نتایج تغییرات مقدار رواناب و هدررفت خاک نشان داد که استفاده از تثبیت‌کننده‌های خاک مورد استفاده موجب توقف کامل هدررفت خاک و افزایش تولید رواناب نسبت به تیمار شاهد شده است. مقایسه آماری مقدار رواناب تولیدی نشان داد که تیمارهای شاهد، اصلاح‌کننده  $P_3$ ،  $P_6$  و  $P_6$  با همدیگر اختلاف معنی‌داری دارند. همچنین، مقدار هدررفت خاک در تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری با مالچ‌های  $P_3$ ،  $P_6$  و  $P_6$  دارد، این درحالی است که تیمارهای  $P_3$ ،  $P_6$  و  $P_6$  هدررفت خاکی نداشته و در یک گروه قرار می‌گیرند. به‌طور کلی استفاده از اصلاح‌کننده‌های پلیمری موجب توقف کامل هدررفت خاک و افزایش رواناب در آزمون‌های این پژوهش شده است.

هنگامی که خاک ناپایدار و حساس به فرسایش است می‌توان با فراهم کردن یک پوشش سطحی، آسیب ناشی از برخورد قطرات باران را به حداقل رساند. برخورد قطرات باران خاکدانه‌ها را تخریب کرده و سبب جداسازی ذرات خاک از هم می‌شود که نتیجه آن ورود این ذرات در رواناب است. برخی از ذرات جداشده نیز با مسدود کردن منافذ خاک، تشکیل سله سطحی را تسهیل می‌کنند. مالچ‌ها و برخی از مواد اصلاح‌کننده خاک با جذب انرژی قطرات باران سبب کاهش اثر ناشی از برخورد قطرات شده، بنابراین از جدا شدن ذرات خاک جلوگیری می‌کنند. در این پژوهش نشان داده شد که اگر سطح خاک داخل فلوم با مالچ‌ها و برخی از مواد اصلاح‌کننده خاک پوشانده شود، از میزان فرسایش خاک

### فهرست منابع:

1. بروغنی، م.، س. خ. میرنیا، ج. وهابی، و س. ج. احمدی. 1393. بررسی تأثیر نانوذولیت در کاهش فرسایش خاک با استفاده از باران ساز FEL3. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. جلد 5، شماره 9، صفحه 95-106.
2. بروغنی، م. 1389. تأثیر نانوذولیت در کنترل فرسایش و افزایش نگهداشت آب در خاک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، پردیس نور، 50 ص.
3. جعفری، م.، م. طهمورث، و ج. قدوسی. 1390. مبارزه بیولوژیک با فرسایش خاک، انتشارات دانشگاه تهران، 740 ص.
4. حزبوی، ز.، س. ح. ر. صادقی، و ح. یونسی، 1391. تحلیل و ارزیابی تأثیرپذیری مؤلفه‌های رواناب از کاربرد سطوح مختلف پلی‌آکریل آمید. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. دوره 2، شماره 2، صفحه 1-12.
5. حمیدی تهرانی، س.، و ع. واعظی، 1392. تأثیر پلی‌وینیل استات بر هدایت هیدرولیکی و تولید رواناب و رسوب در یک خاک مارنی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). دوره 27، شماره 4، صفحه 792-801.

6. زارع خورمیزی، م.، ع. نجفی‌نژاد، ن. نورا، و ع. کاویان، 1392. اثر برخی ویژگی‌های خاک بر تولید رواناب و هدررفت خاک در اراضی کشاورزی حوزه آبخیز چهل چای استان گلستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، 17(64): 173-183.
7. شکفته، ح. (1380). بررسی ماده شیمیایی پلی‌اکریل‌آمید (PAM) بر فرسایش و پایداری خاکدانه‌ها در حالت خشک و مرطوب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
8. شکفته، ح.، ق. رفاهی، و م. گرجی، 1384. بررسی اثر ماده شیمیایی پلی‌اکریل‌آمید بر فرسایش و رواناب خاک‌ها، مجله علوم کشاورزی ایران. جلد 36، شماره 1. صفحه 177-186.
9. شهبازی، ع.، ف. سرمیدان، ح. ق. رفاهی، و م. گرجی، 1384. تأثیر پلی‌اکریل‌آمید بر فرسایش و رواناب خاک‌های شور سدیمی، مجله علوم کشاورزی ایران. دوره 36، شماره 5، صفحه 1102-1103.
10. صادقی، س.ح.ر. 1389. مطالعه و اندازه‌گیری فرسایش آبی، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، 200 ص.
11. عباسی، ک.، م. نیشابوری، ش. اوستان، و ع. احمدی. 1393. اثرات هیدرومالچ و پلی‌اکریل‌آمید بر کنترل رواناب، رسوب و اتلاف عناصر N,P,K خاک در شرایط آزمایشگاهی. نشریه دانش آب و خاک. جلد 24، شماره 4، صفحه 247-259.
12. فرزی، غ.، ا. علی‌آبادی، 1390. گزارش پروژه پایلوت صنعتی تولید هیدروژل پلیمری برای توسعه پوشش گیاهی، جلد دوم و سوم. دانشگاه حکیم سبزواری.
13. وهابی، ج.، و م. ح. مهدیان، 1388. بررسی تأثیر پارامترهای ادافیکی بر مقدار رواناب با استفاده از شبیه ساز باران. مجله پژوهش و سازندگی. جلد 83، صفحه 10-20. دوره 22، شماره 2 (پیاپی 83)، صفحه 10-20.
14. Adams, J.E. 1966. Influence of mulches on runoff, erosion and soil moisture depletion. *Soil Sci. Soc. of America Journal*, 30(1) 110-114.
15. Aghabeigi, A., S.H.R. Moradi, and B. Fattahi. 2014. Sediment and runoff measurement in different rangeland vegetation types using rainfall simulator. *Ecopersia*, 2(2): 525-538.
16. Aksoy, H., N. Erden, S. Cokgor, A. Gedikli, J. Yoon, K. Koca, S. Boran, and E. Eris. 2012. A rainfall simulator for laboratory-scale assessment of rainfall-runoff-sediment transport processes over a two-dimensional flume. *Catena*, 98: 63-72.
17. Barvenik, F.W. 1994. Polyacrylamide characteristics related to soil applications. *Soil Sci.*, 158: 235-243.
18. Chaudhari, K. and D.C. Flanagan, 1998. Polyacrylamide effect on sediment yield, runoff, and seedling emergence on a steep slope. Technical papers, American Society of Agricultural Engineers ASAE Annual International Meeting, 20 July 1998.
19. Soil Survey Staff. 2018. NRCS soils [Online]. Available at <http://markazi.arei.ir/DesktopModules/News/NewsView.aspx?TabID=3793&Site=markazi.arei&ItemID=52830&mid=39797&wVersion=Staging&Lang=fa-IR>.
20. Green, V.S. and D.E. Stott. 2001. Polyacrylamide: a review of the use, effectiveness, and cost of a soil erosion control amendment. 10th International Soil Conservation Meeting, May 24-29, 1999, Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, 384-389.
21. Gholami L, SHR. Sadeghi, and M. Homaei. 2013. Straw mulching effect on splash erosion, runoff and sediment yield from eroded plots. *Soil Sci. Soc. Am J* 77:268-278. doi:10.2136/sssaj2012.0271.
22. Iserloh, T., K. D. Peter, W. Fister, S. Wirtz, V. Butzen, C. Brings, and J. B. Ries, (2015). Rainfall simulation experiments with a small portable rainfall simulator: research on runoff generation and soil erosion. In EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 17, p. 15608).



23. Jiang, T., L. Teng, Sh. Wei, L. Deng, Z. Luo, and Y. Chen. 2011. Application of polyacrylamide to reduce phosphorus losses from a Chinese purple soil: a laboratory and field investigation. *J. of Env. Man.*, 91: 1437-1445.
24. Kaviani, A., F. Hayavi and M. Boroghani. 2014. Polyacrylamide effects on splash erosion rate in different soils using rainfall simulator. *J. of Range and W. Man.*, 67(2): 203-216.
25. Kerr R.A. .2007. Global warming is changing the World. *Science J.*, 316:188-190.
26. Kukal S.S. and M. Sarkar. 2010. Splash erosion and infiltration in relation to mulching and polyvinyl alcohol application in semi-arid tropics. *Archives of Agronomy & Soil Science*, 56(6):697-705.
27. Kumar, A. and A. Saha. 2011. Effect of polyacrylamide and gypsum on surface runoff, sediment yield and nutrient losses from steep slopes. *Agric. W. Man. J.*, 98: 999-1004.
28. Lal, R. 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Crit. Rec. Plant Sci.*, 17:319-464.
29. Lee S., C.H.Won, M. Shin, W. Park, Y. Choi, J. Shin and J. Choi. 2012. Application of surface cover and soil amendment for reduction of soil erosion from sloping field in Korea. *International Conference of Agriculture Engineering*, July 8-12, Spain. p. 5.
30. Lentz, R.D., I. Shainberg, R.E. Sojka and D.L. Carter. 1992. Preventing irrigation furrow erosion with small application of polymers. *J. Soil Sci. Soc. of America*, 56: 1926-1932.
31. Levy GJ, J. Levin, M Gal, M. Ben-Hure and I. Shainberg. 1992. Polymers effects on infiltration and soil erosion during consecutive simulated sprinkler irrigation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56: 1926-1932.
32. Malik, M. and J. Letey. 1991. Adsorption of polyacrylamide and polysaccharide polymers on soil materials. *J. Soil Sci. Soc. of America*, 55: 380-383.
33. Martinez, M. 1998. Factors influencing surface runoff generation in a Mediterranean semi-arid environment: Chicamp Watershed Spain. *Hydr. Proc.* 12(5): 741-745. Available at [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(19980430\)12:5<741::AID-HYP622>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(19980430)12:5<741::AID-HYP622>3.0.CO;2-F).
34. Peterson, J.R., D.C. Flanagan, and J.K. Tishmack. 2002. PAM application method and electrolyte source effects on plot-scale runoff and erosion. *Transactions of the ASAE*, 45(6): 1859-1867.
35. Sadeghi, S.H., Z. Hazbavi, and M.K. Harchegani. 2016. Controllability of runoff and soil loss from small plots treated by vinasse-produced biochar. *Science of the Total Environment*, 541: 483-490.
36. Sepaskhah A.R. and A.R. Bazrafshan-Jahromi. 2006. Controlling runoff and erosion in sloping land with polyacrylamide under a rainfall simulator. *Biosystems Engineering*, 93: 469-474.
37. Sepaskhah, A.R. and V. Shahabizad. 2010. Effects of water quality and PAM application rate on the control of soil erosion, water infiltration and runoff for different soil textures measured in a rainfall simulator. *Biosystems Engineering*, 106: 513-520.
38. Seybold, C.A. 1994. Polyacrylamide review: Soil Conditioning and Environmental Fate. *Communications in Soil Sci. and Plant Analysis*, 25(11-12): 2171-2185.
39. Shoemaker, A.E. 2009. Evaluation of anionic polyacrylamide as an erosion control measure using intermediate-scale experimental procedures. Auburn University, Master Thesis, USA. 220pp.
40. Weston, D.D., R.D. Lentz, M.D.Cahn, R.S. Ogle, A.K. Rother, and M.J. Lydy. 2009. Toxicity of anionic polyacrylamide formulations when used for erosion control in agriculture. *Technical Reports: Surface Water Quality. J. of Env. Qual.*, 38: 238-247.
41. Yu, J., T. Lei, I. Shainberg, A. I. Mamedov, and G. J. Levy. 2003. Infiltration and erosion in soils treated with dry pam and gypsum. *J. of Soil Sci. Soc. of America* 67:630-636.
42. Zheng, M. 2011. A technology for enhanced control of erosion, sediment and metal leaching at disturbed land using polyacrylamide and magnetite nanoparticles. A thesis submitted to the graduate faculty of auburn university in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science, Auburn, Alabama August, 104 p.

## Development and Evaluation of New Soil Stabilization Technologies to Reduce Runoff and Erosion and Stabilize Drainage Canal Sidewall and Steep Lands in Khuzestan

F. Sharifi<sup>1</sup>, F. Solaimani, and S. A. Hosseini

Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, AREEO;  
E-mail: fs1338@yahoo.com

PhD, Khozestan Agricultural Research, Education, and Natural Resources Center, AREEO;  
E-mail: frSolaimani@gmail.com

PhD, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, AREEO;  
E-mail: sahosseini@yahoo.com

Received: May, 2018 and Accepted: September, 2018

### Abstract

The purpose of this research was to develop a suitable technology for soil retention and stability, and to evaluate its efficiency in the laboratory and field. An experiment was conducted to evaluate the effects of inductive methods on runoff, reduction of sediment yield, and introducing the most suitable method for the lateral stability of irrigation and drainage channels and erosion reduction in the Khuzestan area. In this research, using different methods of soil stabilization and study of runoff changes and erosion resistance of the sidewall of drainage channels and natural areas were done in laboratory and field, using rain simulator. Various stabilizers were used at different concentration levels. At least 340 experiments (with 15 additive modifiers) were conducted on soil samples of the study area, the effect of the methods used was analyzed, and different characteristics were measured. In laboratory studies, for all experiments, 25 kg of soil samples were placed in metal baskets and compressed manually by applying the compression necessary to reach the bulk density of the soil in nature. Experimental treatments were simulated in flumes with 1:1.25 side slopes, similar to the side slopes of drains, at 30, 50 and 80 mm/hr rain (duration of up to 30 minutes). Then, supplementary tests were done in the field. The results showed that all of the stabilization treatments had a significant effect on sediment yield compared with the control sample and confirmed that improvers can play an effective role in controlling erosion of sidewalls of the drainage channels. This study showed that stabilizers reduced sediment up to 90%. Two types of modifiers (Pc and LP) had the greatest effect on reducing the erosion rate from the walls of drainage channels. It was also found that increasing the concentration of stabilizers used in all densities had a significant effect on the reduction of the amount of sediment output. The results indicated that the additives used, completely prevented loss of soil and increased runoff compared to control treatment. The most important advantage of using polypropylene fibers is to increase the soil's stability and prevent sidewall collapse. After using this combination, the erosion-free soil was exposed to more than six times the maximum rainfall duration (up to three hours), and maintained its stability. It was concluded that due to its low cost and ease-of-use, this technique has a good chance for fixing the slopes of fine-grained soil with steep slopes.

**Keywords:** Arayez plain, Rain simulator, Sediment, Shear strength

<sup>1</sup> Corresponding author: Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO).