

اثر کاربرد چند افزودنی بر زمان شروع و ضریب رواناب در شرایط مختلف و شبیه‌سازی باران

فریدون سلیمانی^۱، عطااله کاویان^{۲*}، کریم سلیمانی^۳، فرود شریفی^۴ و کاکا شاهدی^۵

^۱ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ^۲ استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ^۳ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ^۴ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۰۳

چکیده

برآورد صحیح زمان شروع از رویدادهای باران و به‌دنبال آن نقطه آغاز فرسایش از مسائل عمده و اساسی مورد توجه در حوزه‌های آبخیز کشور است. با توجه به این‌که اراضی کشاورزی تسطیح شده و شبکه آبیاری و زهکشی منطقه مورد مطالعه در معرض تخریب رواناب‌های اراضی شیب‌دار اطراف می‌باشد، اقدامات آبخیزداری نظیر طراحی سازه‌های آبی کوچک مقیاس، سازه‌های کنترل رسوب، اعمال مدیریت‌های لازم در زمینه‌های پوشش گیاهی، خاک و بهره‌برداری از اراضی نیازمند آگاهی و برآورد زمان شروع رواناب‌های سطحی است. هدف از پژوهش حاضر، تعیین اثر عملیات حفاظت خاک بر زمان شروع رواناب و ضریب رواناب در دشت اریض استان خوزستان با استفاده از سامانه شبیه‌ساز باران می‌باشد. برای این منظور، از یک سامانه باران‌ساز از نوع پتانسیلی با یک کرت فلزی با مساحت یک مترمربع استفاده شد. تیمارهای پژوهش شامل خاک طبیعی (شاهد)، پلی‌اکریل‌آمید در دو سطح سه (P3) و شش گرم (P6) بر مترمربع و خاک‌پوش پلیمری پاریسیان (Pc) بود که در دو نوع بافت خاک لومی شنی و لوم رسی شنی، با دو شدت بارندگی ۳۲ و ۵۰ میلی‌متر بر ساعت، دو شیب ۷/۵ و ۱۲/۵ درصد با سه تکرار انجام شد. برای مقایسه آماری زمان شروع و ضریب رواناب از طرح کرت‌های دو بار خرد شده استفاده شد. به‌منظور مقایسه میانگین تیمارها از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین زمان شروع رواناب در تیمار شاهد بیشتر از تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید و پلیمر پاریسیان می‌باشد، بدین معنی که رواناب در تیمار شاهد دیرتر شروع می‌شود. خاک‌پوش‌های P6 و Pc تفاوتی با یکدیگر در زمان شروع رواناب نداشتند. در خاک‌پوش P3 زمان شروع رواناب زودتر از سایر تیمارها بوده است. میانگین ضریب رواناب در پوشش‌های سطحی متفاوت، نشان داد که تیمارهای شاهد، خاک‌پوش P3، P6 و Pc اختلاف معنی‌داری (در سطح پنج درصد خطا) از نظر ضریب رواناب با هم داشتند.

واژه‌های کلیدی: افزودنی‌های خاک، پلی‌اکریل‌آمید، حوزه آبخیز کرخه، دشت اریض، ضریب رواناب

مقدمه

روستایی، موجب شستشو و انتقال خاک حاصلخیز و تولید رسوب و متعاقباً مشکلات ناشی از ایجاد فرسایش می‌شود. در این رابطه یکی از مسائل عمده و

با تمرکز و تبدیل رواناب به سیلاب، سالانه علاوه بر خسارات جانی و مالی به مراکز صنعتی، شهری و

Sadeghi و همکاران، ۲۰۱۶a) به‌ویژه در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است.

Hazbavi و همکاران (۲۰۱۳a) اثر پلی‌آکریل‌آمید (PAM) در هفت سطح (۰/۴، ۰/۶، یک، دو، سه، چهار و شش گرم در مترمربع) را در شرایط آزمایشگاهی تحت بارش شبیه‌سازی شده در یک کرت کوچک با شیب ۲۰ درصد بر میزان رواناب در طول مدت زمان بارندگی، مجموع رواناب خروجی، زمان شروع و خاتمه رواناب و میزان رواناب در گام‌های زمانی مختلف را بررسی کرد. نتایج حاکی از کاهش غیرمعنی‌دار میزان رواناب تیمارهای مختلف PAM در سطح پنج درصد خطا بود. همچنین، کاهش مقدار رواناب در سطوح مختلف PAM از روند خاصی تبعیت نکرده است. زمان شروع رواناب با افزایش مقدار PAM تا دو گرم در مترمربع، افزایش و زمان خاتمه رواناب با افزایش مقدار PAM تا یک گرم در مترمربع، کاهش یافته است. ارزیابی مقدار رواناب در گام‌های زمانی مشترک نشان داد که استفاده از PAM در مهار رواناب به جز گام زمانی اول و سوم در سایر گام‌های زمانی اختلافی معنی‌دار ($P > 0/12$) ندارد.

طی پژوهشی Sharifi و همکاران (۱۹۸۴) عوامل مؤثر بر تعیین زمان شروع رواناب در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور با استفاده از شبیه‌سازی و داده‌های بارش-رواناب را بررسی کردند. در این مطالعه از یک باران‌ساز قابل حمل و مدل AWBM استفاده شد. نتایج حاکی از همبستگی ۹۸ درصدی آستانه شروع رواناب پیش‌بینی شده به‌وسیله مدل پیشنهادی با آستانه شروع رواناب اندازه‌گیری شده می‌باشد.

رواناب با سپری شدن مدت زمانی پس از شروع بارندگی شکل گرفته و تا حد زیادی وابسته به ویژگی‌های بارندگی، خاک و شیب است. اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر زمان شروع و ضریب رواناب تا حد زیادی به مقیاس مورد بررسی وابسته است (Khaledi Darvishan و همکاران، ۲۰۱۵a).

Ebrahimi و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از شبیه‌ساز باران در کرت‌های صحرائی نشان دادند که عمق و شدت بارندگی به‌عنوان عوامل اقلیمی، پوشش گیاهی و شیب به‌عنوان عوامل زمین و بافت شنی و رسی نیز به‌عنوان عوامل خاک‌شناسی، متغیرهایی مؤثر

اساسی که باید در حوزه‌های آبخیز کشور مورد توجه قرار گیرد برآورد صحیح زمان شروع از رویدادهای بارش و به‌دنبال آن نقطه آغاز فرسایش می‌باشد. آستانه^۱ عبارت است از نقطه‌ای که پس از آن رفتار سامانه تغییر می‌کند و می‌تواند به عوامل داخل سامانه مانند سازند زمین‌شناسی، بافت خاک، توپوگرافی و یا عوامل خارج سامانه مانند اقلیم مرتبط باشد (Soleimanpour و همکاران، ۲۰۱۵).

علاوه بر موارد یاد شده، هدررفت رواناب یکی از بخش‌های عمده هدررفت آب در ایران است. از طرفی ویژگی‌های خاک مثل پستی و بلندی و شکل خاکدانه در مقدار و الگوی مکانی رواناب مؤثر است (Kirkby، ۲۰۰۱). خاک‌های ریزبافت با نفوذپذیری و مواد آلی کم، ضریب رواناب بالاتر و زمان شروع رواناب کمتری از خاک‌های درشت بافت با نفوذپذیری بیشتر و مواد آلی متوسط دارند. از طرف دیگر اثر ویژگی‌های بارش بر پاسخ هیدرولوژیک خاک متفاوت می‌باشد، به‌طوری که شدت بارش عامل عمده کنترل‌کننده رواناب در حوضه‌هایی با بافت خاک ریزدانه، نفوذپذیری کم و پوشش گیاهی تنک می‌باشد. این در حالی که در خاک‌های درشت بافت‌تر، نفوذپذیرتر و با پوشش گیاهی متراکم‌تر مجموع بارش با رواناب ارتباط بیشتری دارد (Martinez، ۱۹۹۸).

یکی از سوالات اساسی در مورد رواناب و فرسایش این است که زمان شروع ایجاد رواناب سطحی و آغاز فرسایش تحت چه شرایطی تامین می‌شود. با تعیین زمان شروع رواناب به‌وسیله باران‌ساز می‌توان مقدار بارشی را که سبب آغاز رواناب در شرایط مختلف می‌شود را برآورد نمود (Seeger، ۲۰۰۷). در سه دهه اخیر استفاده از ترکیبات پلیمری مانند پلی‌آکریل‌آمید^۲ (PAM) در مدیریت منابع آب و خاک در پژوهش‌های بسیاری از پژوهش‌گران (Levy و همکاران، ۱۹۹۲؛ Sepaskhah و Shahabizad، ۲۰۱۰؛ Ai-ping و همکاران، ۲۰۱۱؛ Hamidi Nehrani و Vaezi، ۲۰۱۳؛ Hazbavi و همکاران، ۲۰۱۳a؛ Afrasiab و همکاران، ۲۰۱۴؛ Abbasi و همکاران، ۲۰۱۴؛

¹ Threshold

² Polyacrylamide

هیدرولوژیکی در شرایط آزمایشگاهی را بررسی کردند. نتایج آشکار کرد که پارامترهای رطوبت اولیه خاک، زمان تا شروع رواناب، ضریب رواناب، نفوذ ناشی از رواناب، پاشمان و کل رسوب به ترتیب دارای ضریب همبستگی، $0/93$ ، $0/98$ ، $0/83$ ، $0/88$ و $0/87$ ارتباط معنی داری در سطح پنج درصد با شدت بارش دارد. در پژوهشی دیگر Gholami و همکاران (۲۰۱۴) نیز با بررسی اثر خاکپوش کاه و کلش روی نفوذ، فرسایش پاشمانی، رواناب و رسوب در شرایط آزمایشگاهی با شیب نه درصد و شدت بارش ۶۰ و ۱۲۰ میلی متر بر ساعت اظهار داشت که استفاده از خاکپوش در مقایسه با تیمار لخت اثرات حفاظتی معنی داری بر فرسایش پاشمانی، ضریب رواناب، غلظت رسوب، هدررفت خاک، نفوذ و زهکشی خاک داشته و همچنین، رطوبت اولیه خاک دارای ضریب همبستگی $0/98$ ، $0/93$ و $0/93$ به ترتیب با زمان تا شروع رواناب، ضریب رواناب و ضریب نفوذ معنی دار ($0/05$) بود. نتایج مشابهی در تحقیقات Prosdocimi و همکاران (۲۰۱۶) و Cerdà و همکاران (۲۰۱۶) به دست آمده که حاکی از کاهش موثر رواناب و فرسایش پذیری خاک در اثر استفاده از خاکپوش کاه و کلشی بوده است.

طی پژوهشی، Linhua Wang و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی اثر کلش گندم بر رواناب، نفوذ و فرسایش اراضی زراعی فلات لسی چین در شرایط آزمایشگاهی تحت باران شبیه سازی شده در یک پلات چهار مترمربعی با شیبهای (پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد) و با شدت بارش ۸۰ میلی متر بر ساعت پرداخته است، آن‌ها اظهار کردند که خاکپوش کلش گندم در مقایسه با شخم سنتی نتایج بهتر و موثرتری در کنترل فرسایش داشته، نقش بهتری در حفظ منابع آب و خاک ایفا می کند. نتایج تحقیقات Muhammad Naeem Khan و همکاران (۲۰۱۶) در خاکهای با و بدون خاکپوش در شیبها و شدت‌های مختلف بارش حاکی از اثر مثبت و خیلی قوی تر مالچ در کاهش هدررفت خاک (۸۱-۱۰۰ درصد) نسبت به اثر آن در کاهش رواناب بوده است. به طوری که در اراضی دارای خاکپوش با افزایش میزان شیب، نفوذ و ضریب تغذیه کاهش یافته به عبارت بهتر ضریب رواناب افزایش یافته

در تعیین زمان شروع رواناب هستند. Sadeghi و همکاران (۲۰۱۶b) بیان کردند که زغال زیستی تولید شده از ویناس به طور موثر می تواند رواناب و فرسایش را مهار کند. Lee و همکاران (۲۰۱۲) اثر خاکپوش‌های^۱ حصیری، بقایای برنج، خاک اره و گچ بر کاهش رواناب و رسوب در دو شیب ۱۰ و ۲۰ درصد با شدت بارندگی ۳۰ میلی متر بر ساعت را بررسی کردند و اظهار داشتند که متوسط کاهش رواناب در شیب‌های ۱۰ و ۲۰ درصد به ترتیب برابر با ۸۵/۵ و ۷۳ درصد بوده، به طور کلی خاکپوش‌ها به طور موثری رواناب گلی در اراضی شیب‌دار را کاهش داد. Adams (۱۹۹۶) طی یک مطالعه سه ساله‌ای در تگزاس با بررسی اثر خاکپوش‌های کاه و کلشی، سنگ‌ریزه‌ای و خاک تیمار شده با دی متیل کلرید آمونیوم بر رواناب، فرسایش و تبخیر، اظهار داشت که رواناب خروجی از خاک آغشته به دی متیل کلرید آمونیوم بیشتر از خاک لخت بود ولی خاکپوش‌های کاه و کلشی و سنگ‌ریزه‌ای رواناب را به طور معنی داری کاهش داده است.

در پژوهشی دیگر، Kukal و همکاران (۲۰۱۰) اثر خاکپوش کاه و کلش به میزان شش تن در هکتار و محلول پنج درصد پلی وینیل الکل در خاکهای شخم خورده را بر روی 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. نتایج بررسی اثر خاکپوش کاه و کلش (۰/۵ گرم بر مترمربع) روی زمان شروع رواناب، فرسایش پاشمانی، مقدار رواناب و تولید رسوب در یک خاک شنی لومی تحت شدت‌های بارندگی ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ میلی متر بر ساعت حاکی از بیشینه افزایش زمان شروع رواناب در شدت بارش ۹۰ میلی متر بر ساعت و بیشینه کاهش ضریب رواناب در شدت‌های ۳۰ و ۹۰ میلی متر بر ساعت بوده است (Gholami و همکاران، ۲۰۱۳).

Khaledi Darvishan و همکاران (۲۰۱۵b) اثرات شدت بارش و رطوبت اولیه خاک بر پاسخ‌های

¹ Mulch

تسطیح و تجهیز شده است از طریق رواناب‌های اراضی شیب‌دار اطراف مورد تخریب واقع شده و با توجه به بافت خاک و حساسیت بالای آن به فرسایش آبی و بادی خسارات زیادی به این اراضی تسطیح شده وارد آمده است. شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

مواد و تجهیزات مورد استفاده

سامانه شبیه‌ساز باران: این سامانه از نوع پتانسیلی به ابعاد ۸۰ در ۱۲۰ سانتی‌متر است که قسمت مخزن آب آن از جنس لاکه بوده، در قسمت تحتانی آن نازل‌ها قرار دارد. سامانه روی یک چهارپایه فلزی نصب می‌شود که مخزن روی این پایه فلزی به‌صورت دورانی حرکت می‌کند. نیروی محرکه آن به‌وسیله یک موتور کوچک با برق ۱۲ ولت تأمین و برای پر کردن مخزن از یک پمپ آب کوچک استفاده می‌شود. 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 کرت فلزی که در انتهای دارای یک ناودانی جمع‌کننده رواناب و رسوب است در زیر سامانه در خاک کوبیده می‌شود که سطح آن یک مترمربع است. شکل ۲، سامانه شبیه‌ساز باران و متعلقات مربوط به آن را نشان می‌دهد.

خاک پوش: خاک پوش پلی‌اکریل‌آمید آنیونی (PAM) در دو سطح سه و شش گرم در مترمربع و خاک پوش پلیمری پاریسیان در این تحقیق استفاده شد. نقش پلی‌اکریل‌آمید آنیونی در تثبیت خاک بر این اساس است که ذرات ریزتر خاک را به یکدیگر متصل کرده و باعث می‌شود خاک در برابر تخریب و گسیختگی تحکیم گشته و نیروهای برشی خاک پراکنده شوند. از طرفی PAM با افزایش تراکم ذرات و جلوگیری از تفکیک آن‌ها، موجب بهبود و پایداری خاک می‌شود (Malik و Letey, ۱۹۹۱).

خاک پوش پلیمری پاریسیان دارای ۵۰ درصد ماده موثر و مابقی آب می‌باشد. این پلیمر از نوع سازگار با محیط زیست بوده چون هیچ گونه حلال آلی ندارد و ذرات آن در محیط آب پخش شده است (Ali و Farzi, Abadi, ۲۰۱۱؛ Farzi, ۲۰۱۵؛ Ali Abadi و Farzi, ۲۰۱۶).

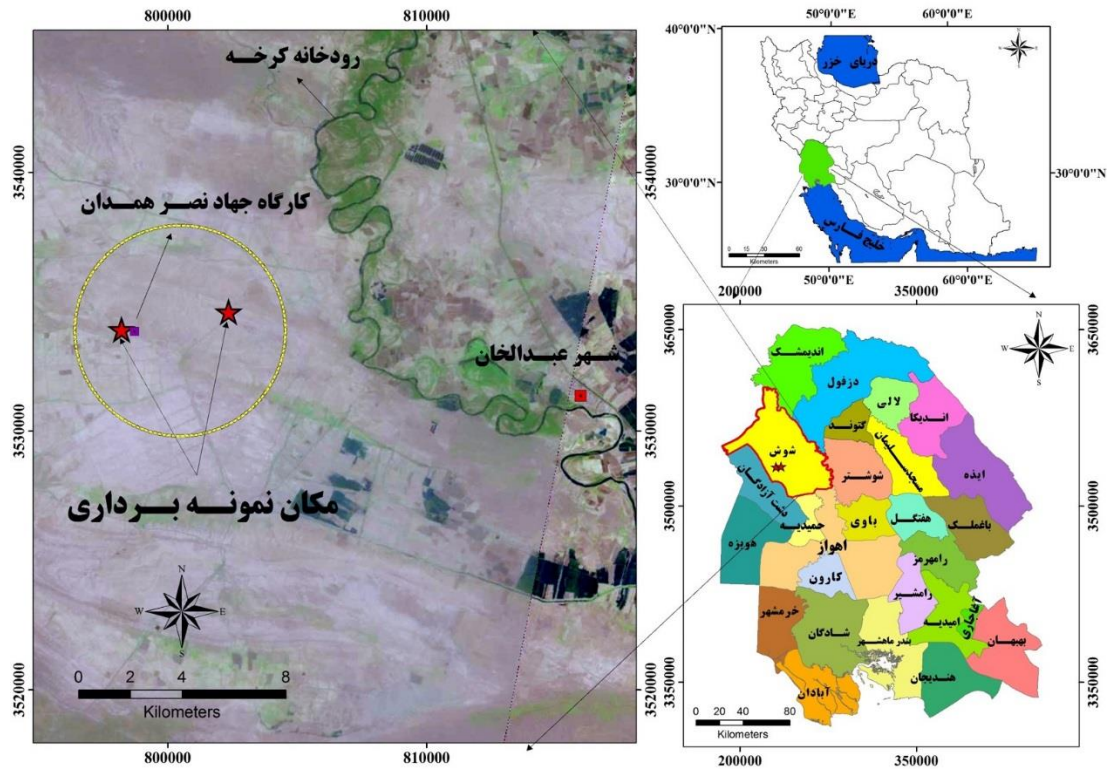
است در حالی که با افزایش شدت بارش، نفوذ و ضریب تغذیه افزایش یافته است.

Linhua Wang و همکاران (۲۰۱۷) اثر عملیات کشت و کار و شیب را بر زمان شروع رواناب، مقدار رواناب و تلفات خاک در پلات‌های چهار مترمربعی با شیب‌های (پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد) و با شدت بارش ۹۰ میلی‌متر بر ساعت با تداوم ۴۰ دقیقه با چهار تیمار شخم بررسی کردند. نتایج نشان داد، تیمارهای شخم و زرع در مقایسه با تیمار شاهد (شخم سنتی) نتایج بهتری در کنترل رواناب و رسوب داشتند و تیمار شخم با بیل دستی بهترین عملیات اجرایی در کاهش تلفات رواناب و رسوب در شیب پنج درصد داشت.

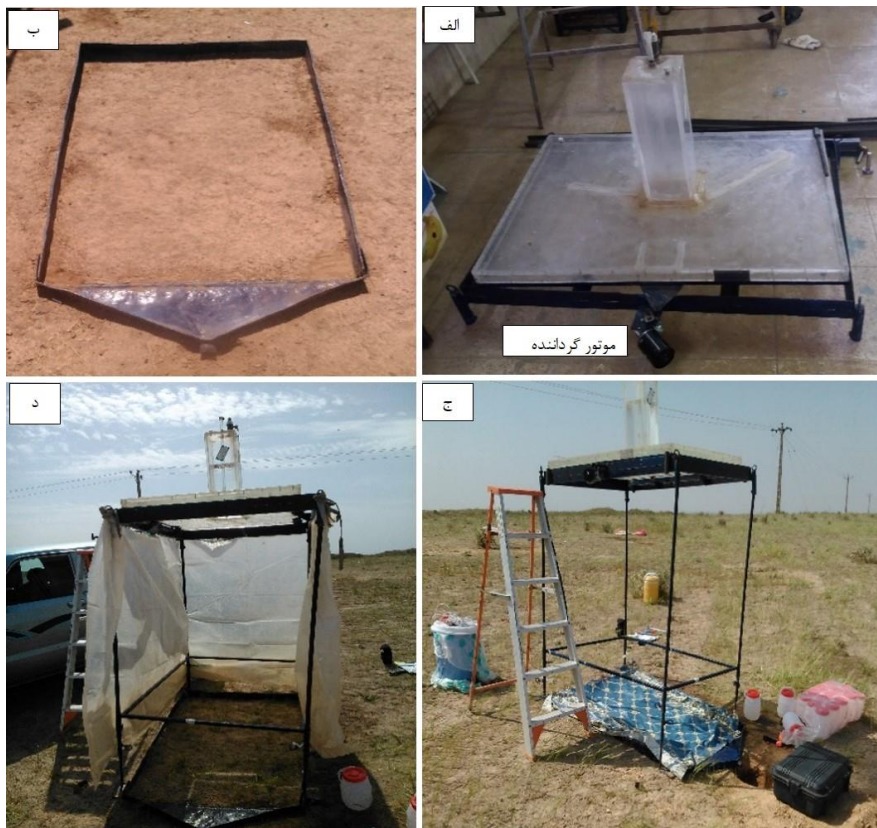
کاربرد مواد اصلاحی و انواع خاک‌پوش‌ها می‌تواند یکی از راه‌کارهای کنترل رواناب و فرسایش بوده، در کاهش اثرات نامطلوب ناشی از آن‌ها موثر باشد (Faucette و همکاران، ۲۰۰۵؛ Wakindiki و Danga, ۲۰۱۱). بررسی سوابق گذشته نشان می‌دهد که شیب و شدت بارش بر میزان رواناب و فرسایش موثر بوده است و از طرفی نوع پوشش خاک نیز در کنترل رواناب و هدررفت خاک موثر است. لذا در تحقیق حاضر به‌منظور برآورد نتایج دقیق‌تر و آرایه پیشنهادهای مدیریتی به بررسی تغییر همزمان اثر شیب، شدت بارش و کاربرد چند افزودنی (خاک‌پوش) بر زمان شروع رواناب و ضریب رواناب در مقیاس شبیه‌ساز باران پرداخته شد. با آگاهی و برآورد زمان شروع و تشکیل رواناب‌های سطحی است که می‌توان اقدام به طراحی سازه‌های آبی کوچک مقیاس، سازه‌های کنترل رسوب و اعمال مدیریت‌های لازم در زمینه‌های پوشش گیاهی، خاک و بهره‌برداری از اراضی در چارچوب اقدامات آبخیزداری نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: منطقه مورد مطالعه بخشی از حوزه آبخیز کرخه به نام دشت اریض می‌باشد که خود بخشی از دشت خسرگ-چنانه است که در جنوب شهرستان شوش، استان خوزستان واقع شده است. اراضی این منطقه در حال حاضر به‌وسیله موسسه جهاد نصر در حال تسطیح و تجهیز به شبکه‌های آبیاری و زهکشی می‌باشد و بخش‌هایی از آن که



شکل ۱- نقشه موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه و محل های انجام آزمایش در کشور، استان خوزستان و شهرستان شوش



شکل ۲- سامانه شبیه ساز باران و تجهیزات جانبی (الف- مخزن لاکه روی صفحه گرداننده به عنوان قسمت اصلی سامانه، ب- کورت فلزی، ج- چهار پایه فلزی با قابلیت تنظیم ارتفاع و د- سامانه کامل شبیه ساز همراه با بادگیر پلاستیکی)

سه عدد به‌عنوان رطوبت اولیه خاک محاسبه شد. پس از انجام آزمایش که مدت زمان باران یا تداوم آن در هر شدت به میزان ۳۰ دقیقه بود نیز به همین شیوه در سه نقطه از کرت رطوبت ثانویه محاسبه شد. پس از آماده‌سازی کرت در شیب مورد نظر و استقرار سامانه باران‌ساز بر کرت و تنظیم لوله فشار در ارتفاع محاسبه شده برای تعیین شدت باران مورد نظر با آغاز آزمایش، زمان شروع و خاتمه به‌وسیله کرنومتر ثبت می‌شد و به محض مشاهده رواناب در سطح کرت مدت زمان سپری شده از لحظه شروع آزمایش به‌عنوان زمان شروع رواناب در فرم یادداشت‌برداری میدانی ثبت و پس از آن با گام زمانی پنج دقیقه مقادیر رواناب در ظروف جداگانه جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد.

تداوم و شدت باران‌ها بر اساس تحلیل باران‌نمود ایستگاه سینوپتیک شوش به‌ترتیب در حدود ۰/۵ ساعت و شدت‌های ۳۲ و ۵۰ میلی‌متر بر ساعت هستند. این شدت‌ها شاخص باران‌هایی با شدت‌های کم تا متوسط در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشند. Najmaei (۱۹۹۰) بیان می‌کند از تجزیه و تحلیل آمار مربوط به باران‌هایی با تداوم کم در این نواحی چنین به نظر می‌رسد که در حدود ۵۰ درصد از باران‌ها دارای شدتی بیش از ۴۰ میلی‌متر بر ساعت و در حدود ۲۰ درصد باران‌ها دارای شدتی بیش از ۸۰ میلی‌متر بر ساعت می‌باشند و چون در مناطق خشک و نیمه‌خشک باران‌ها عمدتاً از نوع کنوکسیون می‌باشند لذا خصوصیات آن‌ها مستقل از ناحیه بوده و به اکثر نقاط خشک و نیمه‌خشک نیز قابل تعمیم هستند.

با توجه به بررسی نقشه شیب منطقه که عمده این اراضی در محدوده شیب صفر تا ۱۵ درصد بود و منطقه‌ای که رواناب‌های ناشی از آن اراضی زراعی را مورد تهدید قرار می‌دادند عمدتاً در دو طبقه پنج تا ۱۰ و ۱۰ تا ۱۵ درصد واقع بودند لذا شیب میانه این دو طبقه ملاک عمل قرار گرفت که در نهایت دو سطح شیب ۷/۵ و ۱۲/۵ درصد انتخاب شد.

تیمارهای پژوهش: این طرح در دو نوع بافت خاک لومی شنی و لوم رسی شنی، با دو شدت بارندگی ۳۲ و ۵۰ میلی‌متر بر ساعت، دو شیب ۷/۵ درصد (میانه ۱۰-۵ درصد) و ۱۲/۵ درصد (میانه ۱۵-۱۰ درصد) و

هرکدام از مقادیر مورد استفاده پلی‌اکریل‌آمید در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب حل شد. خاک‌پوش پلیمری پارسیان نیز به مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر در یک لیتر آب رقیق شد. محلول آماده شده با استفاده از یک دستگاه سم‌پاش برقی به‌صورت یکنواخت روی خاک اسپری شد. در نهایت به لحاظ پخش همگن ماده در خاک بعد از گذشت ۲۴ ساعت از زمان اسپری کردن، بارش باران بر روی کرت‌ها اجرا و نمونه‌برداری انجام شد.

تعیین یکنواختی شدت بارندگی: برای تعیین یکنواختی شدت باران در سطح کرت از داده‌های اندازه‌گیری شده شدت بارندگی استفاده شد. برای برآورد ضریب یکنواختی از رابطه (۱) استفاده شد.

$$UC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - \bar{P}|}{\sum_{i=1}^n P_i} \right] \quad (1)$$

که در آن، UC ضریب یکنواختی، n تعداد بشر مورد استفاده برای اندازه‌گیری شدت بارندگی، P_i شدت بارندگی (میلی‌متر بر ساعت) در نقطه i ام و \bar{P} میانگین شدت بارندگی (میلی‌متر بر ساعت) در سطح کرت است.

انجام آزمایشات میدانی: قبل از شروع آزمایش بر اساس مطالعات خاک‌شناسی دشت اریض (Mahab Ghodss Consulting Engineering Company، ۲۰۱۲) و همچنین، طی بازدیدهای میدانی برای آگاهی از صحت مطالعات خاک‌شناسی از نقاط مختلف عرصه ۲۰ نمونه خاک به روش ترکیبی تهیه و برای تعیین بافت به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل شد.

پس از تعیین بافت و انجام آزمایش‌های مختلف با سامانه شبیه‌ساز باران در شیب‌ها، شدت‌ها و تیمارهای مختلف، از محل انجام آزمایشات نیز نمونه خاک تهیه شد و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها شامل درصد سیلت، شن و رس، هدایت الکتریکی، اسیدیته، کربن آلی، بی‌کربنات، گچ، آهک، کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، فسفر و پتاسیم در آزمایشگاه خاک‌شناسی مشخص شدند.

قبل از انجام هر آزمایش رطوبت اولیه سطح کرت با استفاده از سامانه رطوبت‌سنج (TDR) در سه نقطه از سطح کرت اندازه‌گیری و قرائت شد و میانگین این

با روش LSD^۲ به تفکیک در شیب‌ها و شدت‌های باران و پلیمر مختلف ارائه شده است.

الف- شیب: میانگین زمان شروع رواناب در شیب‌های ۷/۵ و ۱۲/۵ درصد در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی‌داری هستند (جدول ۳).

ب- شدت باران: میانگین زمان شروع رواناب در شدت باران‌های ۳۲ و ۵۰ میلی‌متر بر ساعت در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی‌داری است (جدول ۳).

ج- پلیمر: میانگین زمان شروع رواناب در تیمار شاهد در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی‌داری با تیمارهای خاک‌پوش P3، خاک‌پوش P6 و خاک‌پوش Pc است. همچنین تیمار خاک‌پوش P3 در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی‌داری با تیمارهای شاهد، خاک‌پوش P6 و خاک‌پوش Pc است. خاک‌پوش P6 و خاک‌پوش Pc اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد خطا ندارند و در یک گروه قرار دارند (شکل ۳)، در حالی‌که با تیمار شاهد و خاک‌پوش P3 اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ۳). همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، خاک‌پوش P6 و خاک‌پوش Pc در یک گروه قرار دارند (گروه b) که با تیمارهای شاهد (گروه a) و خاک‌پوش P3 (گروه c) اختلاف معنی‌داری دارند. **ب) خاک لوم رسی شنی:** نتایج تجزیه و تحلیل واریانس در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است، اثر متقابل شیب و تکرار و همچنین، اثرات متقابل شیب، تکرار و شدت باران در سطح پنج درصد معنی‌دار نیست.

در جدول ۵، مقایسه میانگین زمان شروع رواناب در بافت خاک لوم رسی شنی با روش LSD به تفکیک در شیب‌ها، شدت‌های باران و پلیمرهای مختلف ارائه شده است.

الف- شیب: میانگین زمان شروع رواناب در شیب‌های ۷/۵ و ۱۲/۵ درصد در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی‌داری هستند (جدول ۵).

ب- شدت باران: میانگین زمان شروع رواناب در شدت باران‌های ۳۲ و ۵۰ میلی‌متر بر ساعت در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی‌داری هستند (جدول ۵).

با تیمارهای شاهد، پلی‌اکریل‌آمید در دو سطح سه و شش گرم در مترمربع (Chaudhari و Flanagan، ۱۹۹۸؛ Yu و همکاران، ۲۰۰۳؛ Sepaskhah و Bazrafshan-Jahromi، ۲۰۰۶؛ Shekofte و همکاران، ۲۰۰۷؛ Shahbazi و همکاران، ۲۰۰۷؛ Hazbavi و همکاران، ۲۰۱۳a) و خاک‌پوش پلیمری پارسیان هر کدام با سه تکرار انجام شد. مدت زمان مداوم باران برای هر تیمار ۰/۵ ساعت بوده است. به این ترتیب ۹۶ تیمار مختلف آزمایشی (دو خاک × چهار خاک‌پوش × دو شدت باران × دو شیب × سه تکرار) ایجاد شد.

تجزیه و تحلیل آماری: با توجه به تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش تجزیه و تحلیل نتایج (مقایسه میانگین اثرات خاک‌پوش بر ضریب و زمان شروع رواناب) با استفاده از طرح آماری در قالب طرح کرت‌های دوبار خرد شده^۱ انجام شد. کرت‌های دوبار خرد شده به دسته‌ای از طرح‌های آزمایشی اطلاق می‌شود که در آن‌ها اثر سه عامل یا بیشتر به طریق خاصی مورد بررسی می‌گیرد. به‌طوری‌که، عاملی که به واحد آزمایشگاهی بزرگ‌تری نیاز دارد را عامل اصلی و عامل دیگر را عامل فرعی می‌نامند. به همین ترتیب واحدهای بزرگ‌تر را به‌نام واحدهای اصلی و واحدهای کوچک‌تر را به‌نام واحدهای فرعی نام‌گذاری می‌کنند. در جدول ۱، کرت‌های اصلی و فرعی ارائه شده است. لازم به ذکر است که این طرح برای بافت‌های خاک به‌طور جداگانه انجام و هر آزمایش سه مرتبه تکرار شده است.

نتایج و بحث

مقایسه آماری زمان شروع رواناب

الف) خاک لومی شنی: نتایج تجزیه و تحلیل واریانس برای زمان شروع رواناب در بافت خاک لومی شنی در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است، اثر متقابل شیب و تکرار، شیب، تکرار و شدت باران و همچنین شدت باران و پلیمر در سطح پنج درصد معنی‌دار نیست. در جدول ۳، مقایسه میانگین زمان شروع رواناب در بافت خاک لومی شنی

² Least Significant Difference

¹ Split split plot design

جدول ۱- کرت‌های اصلی و فرعی طرح آماری کرت‌های دو بار خرد شده

S2				S1			
I2		I1		I2		I1	
PC	P6	P3	P0	PC	P6	P3	P0
S1 شیب ۷/۵ درصد، S2 شیب ۱۲/۵ درصد، I1 شدت بارندگی ۳۲ میلی‌متر بر ساعت، I2 شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت، P0 سطح بدون مالچ (شاهد)، P3 و P6 پلی‌اکریل‌آمید در دو سطح سه و شش گرم در مترمربع، PC مالچ پلیمری پارسیان							

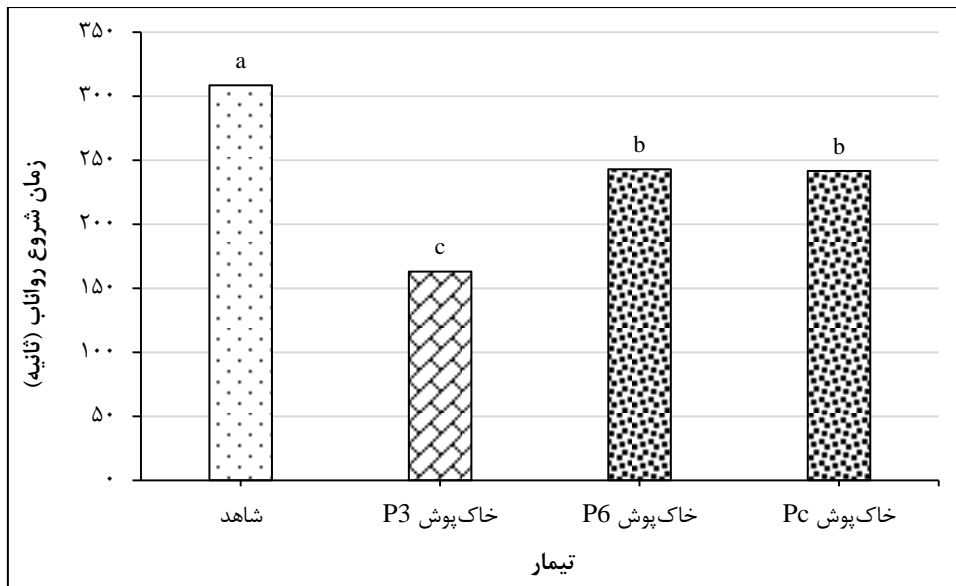
جدول ۲- تجزیه و تحلیل واریانس برای زمان شروع رواناب در بافت خاک لومی شنی

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
تکرار	۱۵۰۸۸/۹	۲	۷۵۴۴/۴	۴/۸	۰/۰۱۷
شیب	۷۱۰۵/۲	۱	۷۱۰۵/۳	۴/۶	۰/۰۴۳
تکرار×شیب	۲۴۰۰/۸	۲	۱۲۰۰/۴	۰/۸	۰/۴۷۴
شدت باران	۱۱۰۰۱۶/۸	۱	۱۱۰۰۱۶/۸	۷۰/۶	۰/۰۰۰
شیب×شدت باران	۸۴۸۰/۱	۱	۸۴۸۰/۱	۵/۴	۰/۰۲۸
تکرار×شیب×شدت باران	۲۹۱۰/۷	۴	۷۲۷/۷	۰/۵	۰/۷۵۹
پلیمر	۱۲۷۵۳۹/۲	۳	۴۲۵۱۳/۱	۲۷/۳	۰/۰۰۰
شیب×پلیمر	۳۳۸۲۹/۲	۳	۱۱۲۷۶/۴	۷/۲	۰/۰۰۱
شدت باران×پلیمر	۴۶۲۲/۱	۳	۱۵۴۰/۷	۱/۰	۰/۴۱۵
شیب×شدت باران×پلیمر	۸/۲۳۷۹۲	۳	۷۹۳۰/۹	۵/۱	۰/۰۰۷
خطا	۳۷۳۸۶/۳	۲۴	۱۵۵۷/۸		
کل	۳۱۱۴۹۸۰/۰	۴۸			

جدول ۳- مقایسه میانگین زمان شروع رواناب در بافت خاک لومی شنی به تفکیک در شیب، شدت باران و پلیمر مختلف

تیمار	سطح	اختلاف میانگین سطوح	خطای استاندارد	سطح معنی‌داری	
شیب	۷/۵	۲۴/۳۳۳*	۱۱/۴	۰/۰۴۳	
	۱۲/۵	-۲۳۳/۲۴*	۱۱/۴	۰/۰۴۳	
شدت باران	۳۲	۹۵/۷۵۰*	۱۱/۴	۰/۰۰	
	۵۰	-۹۵/۷۵۰*	۱۱/۴	۰/۰۰	
پلیمر	شاهد	خاک پوش P3	۱۶/۱	۰/۰۰	
	خاک پوش P3	خاک پوش P6	۶۵/۵۸۳*	۱۶/۱	۰/۰۰
		خاک پوش Pc	۶۶/۹۱۷*	۱۶/۱	۰/۰۰
	خاک پوش P6	شاهد	-۱۴۵/۵۰۰*	۱۶/۱	۰/۰۰
		خاک پوش P3	-۷۹/۹۱۷*	۱۶/۱	۰/۰۰
	خاک پوش Pc	خاک پوش P3	-۷۸/۵۸۳*	۱۶/۱	۰/۰۰
		شاهد	-۶۵/۵۸۳*	۱۶/۱	۰/۰۰
	خاک پوش P6	خاک پوش P3	۷۹/۹۱۷*	۱۶/۱	۰/۰۰
		خاک پوش Pc	۱/۳۳۳	۱۶/۱	۰/۹۳
	خاک پوش Pc	شاهد	-۶۶/۹۱۷*	۱۶/۱	۰/۰۰
		خاک پوش P3	۷۸/۵۸۳*	۱۶/۱	۰/۰۰
	خاک پوش P6	خاک پوش P3	-۱/۳۳۳	۱۶/۱	۰/۹۳

* اختلاف میانگین در سطح پنج درصد معنی‌دار



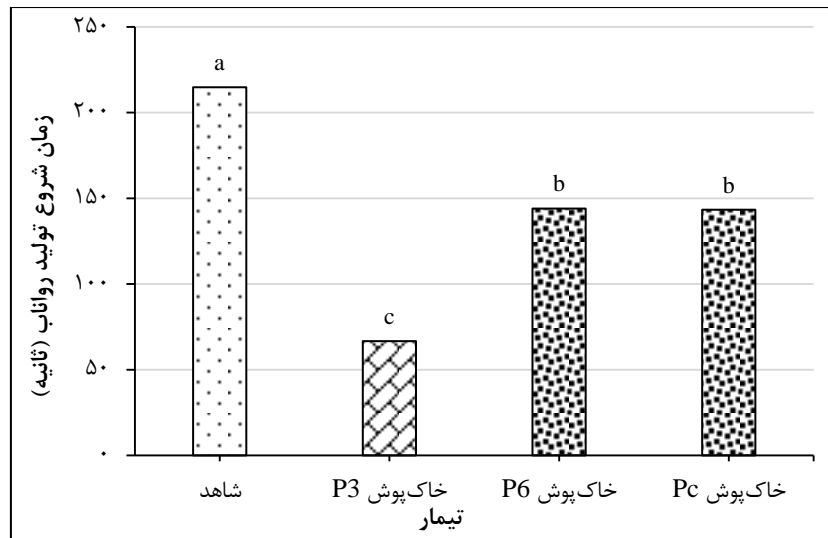
شکل ۳- مقایسه میانگین زمان شروع رواناب در بافت خاک لومی شنی در تیمارهای مختلف

سطح پنج درصد خطا ندارند و در یک گروه قرار دارند (شکل ۴)، در حالی که با تیمار شاهد و خاک پوش P3 اختلاف معنی داری دارند (جدول ۵). همان طور که در شکل ۴ دیده می شود، خاک پوش P6 و خاک پوش Pc در یک گروه قرار دارند (گروه b) که با تیمارهای شاهد (گروه a) و خاک پوش P3 (گروه c) اختلاف معنی داری دارند.

ج- پلیمر: میانگین زمان شروع رواناب در تیمار شاهد در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی داری با تیمارهای خاک پوش P3، خاک پوش P6 و خاک پوش Pc هست. همچنین، تیمار خاک پوش P3 در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی داری با تیمارهای شاهد، خاک پوش P6 و خاک پوش Pc هست. خاک پوش P6 و خاک پوش Pc اختلاف معنی داری در

جدول ۴- تجزیه و تحلیل واریانس برای زمان شروع رواناب در بافت خاک لوم رسی شنی

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی داری
تکرار	۷۶/۶	۲	۳۸/۳	۰/۴	۰/۶۴۷
شیب	۴۳۸۶۲/۵	۱	۴۳۸۶۲/۵	۵۰۶/۹	۰/۰۰۰
تکرار×شیب	۸۵/۰	۲	۴۲/۵	۰/۵	۰/۶۱۸
شدت باران	۴۷۴۳۹/۲	۱	۴۷۴۳۹/۲	۵۴۸/۳	۰/۰۰۰
شیب×شدت باران	۱۱۱۳۲/۵	۱	۱۱۱۳۲/۵	۱۲۸/۷	۰/۰۰۰
تکرار×شیب×شدت باران	۶۴۹/۷	۴	۱۶۲/۴	۱/۹	۰/۱۴۷
پلیمر	۱۳۱۶۷۹/۷	۳	۴۳۸۹۳/۲	۵۰۷/۳	۰/۰۰۰
شیب×پلیمر	۲۴۰۳۴/۶	۳	۸۰۱۱/۵	۹۲/۶	۰/۰۰۰
شدت باران×پلیمر	۶۹۴۶/۶	۳	۲۳۱۵/۵	۲۶/۸	۰/۰۰۰
شیب×شدت باران×پلیمر	۶۱۴۸/۲	۳	۲۰۴۹/۴	۲۳/۷	۰/۰۰۰
خطا	۲۰۷۶/۷	۲۴	۸۶/۵		
کل	۱۲۴۴۵۶۱/۰	۴۸			



شکل ۴- مقایسه میانگین زمان شروع رواناب در بافت خاک لوم رسی شنی در تیمارهای مختلف

جدول ۵- مقایسه میانگین زمان شروع رواناب در بافت خاک لوم رسی شنی به تفکیک در شیب، شدت باران و پلیمر مختلف

تیمار	سطح	اختلاف میانگین سطوح	خطای استاندارد	سطح معنی‌داری
شیب	۷/۵	۶۰/۴۵۸*	۲/۶۸۵	۰/۰۰۰
	۱۲/۵	-۶۰/۴۵۸*	۲/۶۸۵	۰/۰۰۰
شدت	۳۲	۶۲/۸۷۵*	۲/۶۸۵	۰/۰۰۰
	۵۰	-۶۲/۸۷۵*	۲/۶۸۵	۰/۰۰۰
پلیمر	شاهد	۱۴۸/۰۸۳*	۳/۷۹۸	۰/۰۰۰
	خاک پوش P3	۷۰/۷۵۰*	۳/۷۹۸	۰/۰۰۰
	خاک پوش Pc	۷۱/۴۱۷*	۳/۷۹۸	۰/۰۰۰
	شاهد	-۱۴۸/۰۸۳*	۳/۷۹۸	۰/۰۰۰
	خاک پوش P6	-۷۷/۳۳۳*	۳/۷۹۸	۰/۰۰۰
	خاک پوش Pc	-۷۶/۶۶۷*	۳/۷۹۸	۰/۰۰۰
	شاهد	-۷۰/۷۵۰*	۳/۷۹۸	۰/۰۰۰
	خاک پوش P3	۷۷/۳۳۳*	۳/۷۹۸	۰/۰۰۰
	خاک پوش Pc	۶۶۷/۰	۳/۷۹۸	۰/۸۶۲
	شاهد	-۷۱/۴۱۷*	۳/۷۹۸	۰/۰۰۰
	خاک پوش Pc	۷۶/۶۶۷*	۳/۷۹۸	۰/۰۰۰
	خاک پوش P6	-۶۶۷/۰	۳/۷۹۸	۰/۸۶۲

* اختلاف میانگین در سطح پنج درصد معنی‌دار

مقایسه آماری ضریب رواناب:

الف) خاک لومی شنی: نتایج تجزیه و تحلیل واریانس برای ضریب رواناب در بافت خاک لومی شنی در جدول ۶، ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است، اثر متقابل شیب و تکرار، اثر متقابل شیب و شدت باران و همچنین، اثر متقابل شیب، تکرار و شدت باران در سطح پنج درصد معنی‌دار نیست.

در جدول ۷، مقایسه میانگین ضریب رواناب در بافت خاک لومی شنی با روش LSD به تفکیک در شیب‌های مختلف، شدت باران مختلف و پلیمر مختلف ارائه شده است. الف- شیب: میانگین ضریب رواناب در شیب‌های ۷/۵ و ۱۲/۵ درصد در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی‌داری هستند (جدول ۷).

خاک پوش P6 اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد خطا با تیمار شاهد، خاک پوش P3 و خاک پوش Pc هست. همچنین خاک پوش Pc اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد خطا با تیمار شاهد، خاک پوش P3 و خاک پوش P6 هست (شکل ۵ و جدول ۷). همان طور که در شکل ۵ دیده می شود، تیمارهای شاهد، خاک پوش P3، خاک پوش P6 و خاک پوش Pc اختلاف معنی داری با هم دارند و هر کدام جداگانه یک گروه را تشکیل می دهند.

ب- شدت باران: میانگین ضریب رواناب در شدت باران های ۳۲ و ۵۰ میلی متر بر ساعت در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی داری هستند (جدول ۷).

ج- پلیمر: میانگین ضریب رواناب در تیمار شاهد در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی داری با تیمارهای خاک پوش P3، خاک پوش P6 و خاک پوش Pc هست. همچنین، تیمار خاک پوش P3 در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی داری با تیمارهای شاهد، خاک پوش P6 و خاک پوش Pc هست.

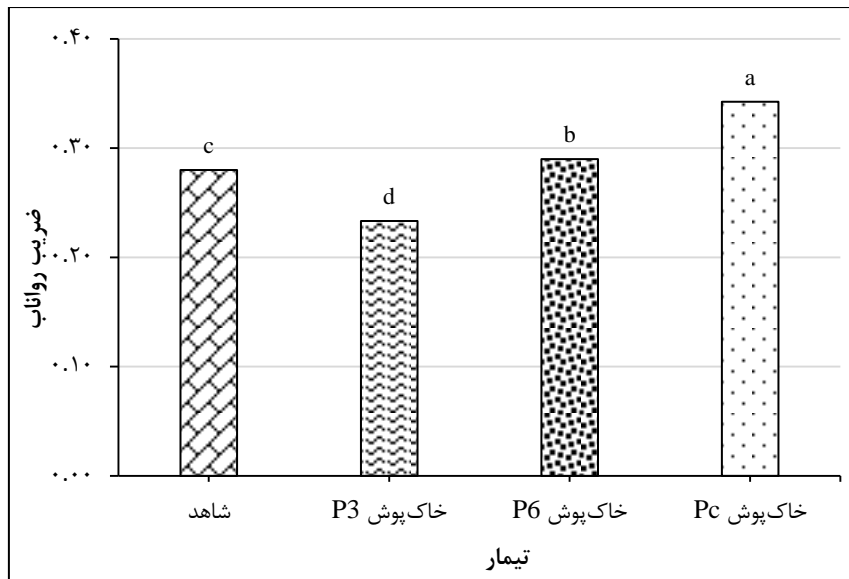
جدول ۶- تجزیه و تحلیل واریانس برای ضریب رواناب در بافت خاک لومی شنی

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی داری
تکرار	۰/۰۰	۲	۰/۰۰	۵/۴۴	۰/۰۱۱
شیب	۰/۰۴	۱	۰/۰۴	۴۷۶/۶۹	۰/۰۰۰
تکرار×شیب	۰/۰۰	۲	۰/۰۰	۰/۷۸	۰/۴۷۱
شدت باران	۰/۰۳	۱	۰/۰۳	۴۰۶/۶۹	۰/۰۰۰
شیب×شدت باران	۰/۰۰	۱	۰/۰۰	۰/۶۹	۰/۴۱۳
تکرار×شیب×شدت باران	۰/۰۰	۴	۰/۰۰	۰/۴۴	۰/۷۷۵
پلیمر	۰/۰۷	۳	۰/۰۲	۳۲۰/۹۲	۰/۰۰۰
شیب×پلیمر	۰/۱۴	۳	۰/۰۵	۶۰۴/۴۰	۰/۰۰۰
شدت باران×پلیمر	۰/۲۲	۳	۰/۰۷	۹۸۷/۲۹	۰/۰۰۰
شیب×شدت باران×پلیمر	۰/۱۳	۳	۰/۰۴	۵۷۳/۲۹	۰/۰۰۰
خطا	۰/۰۰	۲۴	۰/۰۰		
کل	۴/۵۷	۴۸			

جدول ۷- مقایسه میانگین ضریب رواناب در بافت خاک لومی شنی به تفکیک در شیب، شدت باران و پلیمر مختلف

تیمار	سطح	اختلاف میانگین سطوح	خطای استاندارد	سطح معنی داری
شیب	۷/۵	۱۲/۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
	۱۲/۵	۷/۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
	۳۲	۵۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
شدت	۵۰	۳۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
	۳۲	۵۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
پلیمر	خاک پوش P3	خاک پوش P3	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰
	شاهد	خاک پوش P6	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹
	شاهد	خاک پوش Pc	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰
	خاک پوش P3	شاهد	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰
	خاک پوش P6	خاک پوش P3	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰
	خاک پوش Pc	خاک پوش P3	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰
	شاهد	خاک پوش Pc	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰
	خاک پوش P6	شاهد	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰
	خاک پوش Pc	خاک پوش P6	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰
	خاک پوش Pc	خاک پوش Pc	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰

* اختلاف میانگین در سطح پنج درصد معنی دار



شکل ۵- مقایسه میانگین ضریب رواناب در بافت خاک لومی شنی در تیمارهای مختلف

همچنین اثر متقابل شیب، تکرار و شدت باران در سطح پنج درصد معنی‌دار نیست.

ب) خاک لوم رسی شنی: نتایج تجزیه و تحلیل واریانس در جدول ۸ ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است، تکرار، اثر متقابل شیب و تکرار و

جدول ۸- تجزیه و تحلیل واریانس برای ضریب رواناب در بافت خاک لوم رسی شنی

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
تکرار	۰/۰۰۰	۲	۷/۵۰۰E-05	۱/۴۷۹	۰/۲۴۸
شیب	۰/۱۰۳	۱	۰/۱۰۳	۲۰۲۵/۳۷۰	۰/۰۰۰
تکرار×شیب	۰/۰۰۰	۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰
شدت باران	۰/۳۴۰	۱	۰/۳۴۰	۶۷۰۷/۵۰۷	۰/۰۰۰
شیب×شدت باران	۰/۰۲۷	۱	۰/۰۲۷	۵۳۴/۰۸۲	۰/۰۰۰
تکرار×شیب×شدت باران	۰/۰۰۰	۴	۴/۱۶۷E-05	۸۲۲/۰	۰/۵۲۴
پلیمر	۱/۴۴۹	۳	۰/۴۸۳	۹۵۲۷/۵۶۲	۰/۰۰۰
شیب×پلیمر	۰/۰۲۹	۳	۰/۰۱۰	۱۸۹/۶۴۴	۰/۰۰۰
شدت باران×پلیمر	۰/۳۰۳	۳	۰/۱۰۱	۱۹۹۳/۷۵۳	۰/۰۰۰
شیب×شدت باران×پلیمر	۰/۰۶۶	۳	۰/۰۲۲	۴۳۳/۵۸۹	۰/۰۰۰
خطا	۰/۰۰۱	۲۴	۵/۰۶۹E-05		
کل	۲۰/۹۱۹	۴۸			

ب- شدت باران: میانگین ضریب رواناب در شدت باران‌های ۳۲ و ۵۰ میلی‌متر بر ساعت در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی‌داری هستند (جدول ۹).

ج- پلیمر: میانگین ضریب رواناب در تیمار شاهد در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی‌داری با تیمارهای خاک پوش P3، خاک پوش P6 و خاک پوش

در جدول ۹، مقایسه میانگین ضریب رواناب در بافت خاک لوم رسی شنی با روش LSD به تفکیک در شیب‌های مختلف، شدت باران مختلف و پلیمر مختلف ارائه شده است.

الف- شیب: میانگین ضریب رواناب در شیب‌های ۷/۵ و ۱۲/۵ درصد در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی‌داری هستند (جدول ۹).

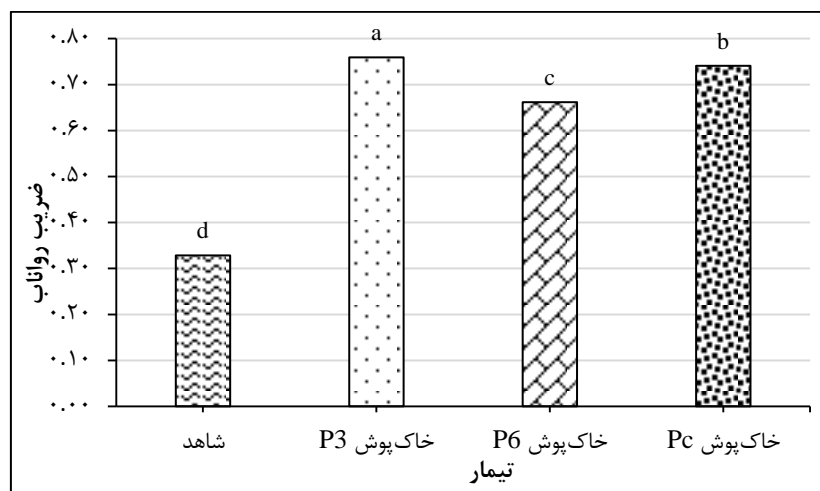
سطح پنج درصد خطا با تیمار شاهد، خاک پوش P3 و خاک پوش P6 هست (شکل ۶ و جدول ۹). همان طور که در شکل ۶ دیده می شود، تیمارهای شاهد، خاک پوش P3، خاک پوش P6 و خاک پوش Pc اختلاف معنی داری با هم دارند و هر کدام جداگانه یک گروه را تشکیل می دهند.

Pc هست. همچنین تیمار خاک پوش P3 در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی داری با تیمارهای شاهد، خاک پوش P6 و خاک پوش Pc هست. خاک پوش P6 اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد خطا با تیمار شاهد، خاک پوش P3 و خاک پوش Pc هست. همچنین خاک پوش Pc اختلاف معنی داری در

جدول ۹- مقایسه میانگین ضریب رواناب در بافت خاک لوم رسی شنی به تفکیک در شیب، شدت باران و پلیمر مختلف

تیمار	سطح	اختلاف میانگین سطوح	خطای استاندارد	سطح معنی داری
شیب	۷/۵	۰/۰۹۳*	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
	۱۲/۵	-۰/۰۹۳*	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
شدت	۳۲	-۰/۱۶۸*	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
	۵۰	۰/۱۶۸*	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
پلیمر	خاک پوش P3	-۰/۴۳۱*	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
	شاهد	-۰/۳۳۳*	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
	خاک پوش Pc	-۰/۴۱۲*	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
	شاهد	۰/۴۳۱*	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
	خاک پوش P3	۰/۰۹۸*	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
	خاک پوش Pc	۰/۰۱۸*	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
	شاهد	۰/۳۳۳*	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
	خاک پوش P6	-۰/۰۹۸*	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
	خاک پوش Pc	-۰/۰۷۹*	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
	شاهد	۰/۴۱۲*	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
	خاک پوش Pc	-۰/۰۱۸*	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
	خاک پوش P6	۰/۰۷۹*	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰

* اختلاف میانگین در سطح پنج درصد معنی دار



شکل ۶- مقایسه میانگین ضریب رواناب در بافت خاک لوم رسی شنی در تیمارهای مختلف

به منظور مقایسه میانگین زمان شروع رواناب از روش LSD استفاده شد. نتایج نشان داد که در هر دو نوع بافت خاک میانگین زمان شروع رواناب در شیب های

نتیجه گیری

در این تحقیق برای مقایسه آماری زمان شروع رواناب از طرح کرت های دوبار خرد شده استفاده شد.

دو، سه، چهار و شش گرم در مترمربع) در سطح پنج درصد خطا بود. ایشان بیان کرده‌اند که کاهش مقدار رواناب در تیمارهایی با مقادیر مختلف PAM از روند خاصی تبعیت نکرده است. با ارزیابی مقدار رواناب در گام‌های زمانی مشترک به‌طور جداگانه مشاهده شده است که استفاده از PAM در مهار رواناب در تمام گام‌ها به جز گام زمانی اول و سوم اختلافی معنی دار ($P < 0.012$) ندارد.

افزون بر این، Hazbavi و همکاران (۲۰۱۳a) عنوان کردند که زمان شروع رواناب با افزایش مقدار PAM تنها تا دو گرم در مترمربع، افزایش و بعد از آن کاهش یافته است. بنابراین، نتایج تحقیق حاضر مبنی بر کاهش زمان شروع رواناب در استفاده از پلی‌اکریل‌آمیدهای سه و شش گرم در مترمربع با نتایج Hazbavi و همکاران (۲۰۱۳a) در یک راستا می‌باشد.

مطالعه Khaledi Darvishan و همکاران (۲۰۱۵a) در این زمینه نشان داد که رواناب تا حد زیادی وابسته به ویژگی‌های بارندگی، خاک و شیب است. شدت بیشتر باران و کاهش ظرفیت آبدیاری لایه‌های سطحی خاک موجب افزایش حجم رواناب شده و در ادامه نیروی بیشتری برای کنش و انتقال ذرات خاک آماده می‌شود. اولویت‌بندی عامل‌های موثر بر زمان شروع و ضریب رواناب تا حد زیادی به مقیاس مورد بررسی وابسته است. از سوی دیگر، آگاهی از زمان شروع و ضریب رواناب و شناخت عامل‌های موثر بر آن نیز برای ارائه راه‌کار مدیریتی منجر به ایجاد تاخیر در وقوع و کاهش مقدار رواناب ضروری است. اهمیت رطوبت پیشین خاک تا حدی است که در بارندگی‌های با دوره بازگشت‌های کمتر از ۴۱ سال می‌تواند رواناب را به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر قرار دهد. اگرچه افزایش شدت بارندگی در بیشتر خاک‌ها با کاهش نفوذ، باعث افزایش رواناب می‌شود، اما گاهی می‌تواند با افزایش نفوذ به‌دلیل عدم تجانس مکانی ویژگی‌های نفوذ لایه سطحی خاک، موجب کاهش رواناب شود. صرف نظر از موارد مطرح شده، امکان اثر متقابل شدت بارندگی و رطوبت پیشین خاک بر نفوذ و رواناب نیز بر اهمیت بررسی آن‌ها می‌افزاید. مقایسه دو نوع بافت خاک از نظر زمان شروع رواناب و ضریب رواناب حاکی از این است که زمان شروع رواناب در خاک لومی شنی

۷/۵ و ۱۲/۵ درصد در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی‌داری هستند. همچنین، در هر دو نوع بافت خاک میانگین زمان شروع رواناب در شدت باران‌های ۳۲ و ۵۰ میلی‌متر بر ساعت در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی‌داری هستند. نتایج زمان شروع رواناب آشکار کرد که خاک‌پوش P6 و P3 در یک گروه قرار دارند (گروه b) که با تیمار شاهد (گروه a) و خاک‌پوش P3 (گروه c) اختلاف معنی‌داری دارند. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که میانگین زمان شروع رواناب در تیمار شاهد بیشتر از تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید و پلیمر پارسیان می‌باشد، بدین معنی که رواناب در تیمار شاهد دیرتر شروع می‌شود. خاک‌پوش‌های P6 و P3 تفاوتی با یکدیگر در زمان شروع رواناب ندارند. در خاک‌پوش P3 زمان شروع رواناب زودتر از سایر تیمارها بوده است.

نتایج مقایسه میانگین ضریب رواناب در شیب‌های ۷/۵ و ۱۲/۵ درصد در سطح پنج درصد خطا دارای اختلاف معنی‌داری هستند. همچنین، مقایسه میانگین ضریب رواناب در شدت باران‌های ۳۲ و ۵۰ میلی‌متر بر ساعت در هر دو نوع بافت خاک در تیمار شاهد (بدون خاک‌پوش) نشان داد که در سطح پنج درصد اختلافات معنی‌دار هستند که این نتایج با نتایج تحقیقات Khaledi Darvishan و همکاران (۲۰۱۵a)، Khaledi Darvishan و همکاران (۲۰۱۵b)، Gholami و همکاران (۲۰۱۳a) و Gholami و همکاران (۲۰۱۳b) در یک راستا می‌باشد.

میانگین ضریب رواناب در پوشش‌های سطحی متفاوت، نشان داد که تیمارهای شاهد، خاک‌پوش P3، P6 و P3 اختلاف معنی‌داری (در سطح پنج درصد خطا) از نظر ضریب رواناب با هم دارند.

به‌طور کلی، بررسی استفاده از تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید و پلیمر پارسیان حاکی از کاهش زمان شروع رواناب و افزایش ضریب رواناب نسبت به تیمار شاهد می‌شود. افزایش میزان ضریب رواناب تطابقی با مطالعه Abbasi و همکاران (۲۰۱۴) مبنی بر کاهش رواناب در استفاده از تیمار پلی‌اکریل‌آمید ندارد. در این راستا، نتایج پژوهش Hazbavi و همکاران (۲۰۱۳a) بیانگر کاهش غیرمعنی‌دار میزان رواناب تیمارهای مختلف PAM (هفت تیمار با مقادیر ۰/۴، ۰/۶، یک،

افزودنی‌های پلی‌اکریل‌آمید و پلیمر پاریسیان به‌منظور کنترل رواناب توصیه نمی‌شود. از آنجا که آگاهی از میزان ضریب رواناب و زمان شروع آن بر تصمیمات مدیریتی آن منطقه تاثیرگذار خواهد بود، لذا برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر پژوهش‌های بیشتری باید صورت گیرد. پیشنهاد می‌شود، مطالعات دیگری در مقیاس صحرایی و در شرایطی با بارش‌های طبیعی به مدت یک یا دو سال انجام شود.

بیشتر (رواناب دیرتر شروع شده) و ضریب رواناب نیز نسبت به خاک سیلت لوم کمتر است که منطبق بر نتیجه تحقیقات Kukal و همکاران (۲۰۱۰) می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید و پلیمر پاریسیان در دو نوع بافت خاک لومی شنی و لوم رسی شنی موجب تسریع در زمان شروع رواناب و افزایش مقدار ضریب رواناب می‌شود. بنابراین، طبق نتایج این پژوهش استفاده از

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, A., M.R. Neyshabouri, S.H. Oustan and A. Ahmadi. 2014. Hydromulch and polyacrylamide effects on runoff control, sediment yield and N, P, K losses in laboratory conditions. *Water and Soil Science*, 24(4): 247-259 (in Persian).
2. Adams, J.E. 1966. Influence of mulches on runoff, erosion and soil moisture depletion. *Soil Science Society of America Journal*, 30(1): 110-114.
3. Afrasiab, M., M.M. Chari and H. Hashemzadeh. 2014. Effect of PAM on runoff, soil erosion and water infiltration using rainfall simulator. *Water Research in Agriculture*, 27(2): 281-290 (in Persian).
4. Ai-ping, W., L. Fa-Hu and Y. Sheng-Min. 2011. Effect of polyacrylamide application on runoff, erosion, and soil nutrient loss under simulated rainfall. *Soil Science Society of china Journal*, 21(5): 628-638.
5. Boroghani, M. 2010. Investigation of nanozeolite effects on soil erosion controlling and increasing soil water retention. MSc Thesis, University of Tarbiat Modarres, 150 pages (in Persian).
6. Boroghani, M., S.Kh. Mirnia, J. Vahhabi and S.J. Ahmadi. 2014. Investigation of nanozeolite effects on soil erosion decreasing using FEL3 rainfall simulator. *Watershed Management Research*, 5(9): 95-106 (in Persian).
7. Cerdà, A., Ó. González-Pelayo, A. Giménez-Morera, A. Jordán, P. Pereira, A. Novara, E.C. Brevik, M. Prosdocimi, M. Mahmoodabadi, S. Keesstra, F.G. Orenes and C.J. Ritsema. 2016. Use of barley straw residues to avoid high erosion and runoff rates on persimmon plantations in Eastern Spain under low frequency-high magnitude simulated rainfall events. *Soil Research*, 54: 154-165.
8. 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.
9. Ebrahimi, N., A. Eslami and F. Sharifi. 2015. Runoff threshold estimation using rainfall simulator in field plots. *Watershed Engineering and Management*, 7(2): 211-221 (in Persian).
10. Farzi, G.H. 2015. The effect of particle size on soil stabilization with polymer nanoparticles-Mechanical dust control (in Persian). Available online at: <http://markazi.arei.ir/DesktopModules/News/NewsView.aspx?TabID=3793&Site=markazi.arei&ItemID=52830&mid=39797&wVersion=Staging&lang=fa-IR>
11. Farzi, G.H. and A. Ali Abadi. 2016. Soil polymer amendments. Hakim Sabzevari University, 134 pages (in Persian).
12. Faucette, L.B., L.M. Risse, A.M. Nearing, J.W. Gaskin and L.T. West. 2004. Runoff, erosion, and nutrient losses from compost and mulch blankets under simulated rainfall. *Journal of Soil and Water Conservation*, 59: 154-161.
13. Gholami, L., S.H. Sadeghi and M. Homae. 2013. Straw mulching effect on splash erosion, runoff and sediment yield from eroded plots. *Soil Science Society of America Journal*, 77:268-278.
14. Gholami, L., K. Banasik, S.H. Sadeghi, A. Khaledi Darvishan and L. Hejduk. 2014. Effectiveness of straw mulch on infiltration, splash erosion, runoff and sediment in laboratory conditions. *Journal of Water and Land Development*, 22: 51-60.
15. Hamidi Nehrani, S. and A.R. Vaezi. 2013. Effect of polyvinyl acetate on hydraulic conductivity, runoff and sediment production in a Marl Soil. *Journal of Water and Soil*, 27(4): 792-801 (in Persian).
16. Hazbavi, Z., S.H.R. Sadeghi and H. Younesi. 2013a. Analysis and assessing effectability of runoff components from different levels of polyacrylamide. *Water and Soil Resources Conservation*, 2(2): 1-13 (in Persian).

17. Hazbavi, Z., S.H.R. Sadeghi and H.A. Younesi. 2013b. Role of soil amendments on runoff, In: Abstracts Proceedings of 9th National Seminar on Watershed Management Engineering and Science, October 30-31, 2013: 174 (Full paper published in CD, 6 p).
18. Khaledi Darvishan, A., S.H.R. Sadeghi, M. Homaei and M. Arabkhedri. 2015a. Affectability of runoff threshold and coefficient from rainfall intensity and antecedent soil moisture content in laboratorial erosion plots. *Iranian Water Research Journal*, 8(15): 41-49 (in Persian).
19. Khaledi Darvishan, A., K. Banasik, S.H. Sadeghi, L. Gholami and L. Hejduk. 2015b. Effects of rain intensity and initial soil moisture on hydrological responses in laboratory conditions. *International Agrophysics*, 29(2): 165-173.
20. Kirkby, M. 2001. Modeling the interactions between soil surface properties and water. Elsevier Catena, 12: 89-102.
21. 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 and Soil Science*, 56(6): 697-705.
22. Lee, S.I., C.H. Won, M.H. Shin, W.J. Park, Y. Choi, J.Y. Shin and J.D. 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.
23. Levy, G.J., J. Levin, M. Gal, M. Ben-Hure and I. Shainberg. 1992. Polymers effects on infiltration and soil erosion during consecutive simulated sprinkler irrigation. *Soil Science Society of America Journal*, 56: 1926-1932.
24. Mahab Ghodss Consulting Engineering Company. 2012. Design and construction of irrigation and drainage network, Equipping and renovation of lands units 2 and 3 of Arayez plain. Basic studies drainage report, 197 pages.
25. Malik, M. and J. Letey. 1991. Adsorption of polyacrylamide and polysaccharide polymers on soil materials. *Soil Science Society of America Journal*, 55: 380-383.
26. Martinez, M. 1998. Factors Influencing Surface Runoff Generation in a Mediterranean Semi-arid environment. *Chicamp Watershed Spain*, 12(5): 741-745.
27. Muhammad, N.K., Y. Gong, T. Hu, R. Lal, J. Zheng, M.F. Justine, M. Azhar, M. Che and H. Zhang. 2016. Effect of slope, rainfall intensity and mulch on erosion and infiltration under simulated rain on purple soil of South-Western Sichuan Province, China. *Journal of water*, 2016(8): 528-548.
28. Najmaei, M. 1990. Engineering hydrology. University of Science and Technology, 608 pages.
29. Porhemat, J., A.A. Abbasi and E. Khoshbazzm. 2014. Investigating the relationship between runoff coefficient and rainfall intensity on pasture land, case study: Sanganeh Kalat. *Iranian Journal of Rainwater Catchment System*, 1(2): 23-33 (in Persian).
30. Prosdocimi, M., A. Jordán, P. Tarolli, S. Keesstra, A. Novara and A. Cerdà. 2016. The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean Vineyards. *Science of the Total Environment*, 547: 323-330.
31. Sadeghi, S.H.R., Z. Hazbavi, H. Younesi and N. Bahramifar. 2016a. Trade-off between runoff and sediments from treated erosion plots and polyacrylamide and acrylamide residues. *Catena*, 142: 213-220.
32. Sadeghi, S.H.R., Z. Hazbavi and M. Kiani Harchegani. 2016b. Controlling of runoff and soil loss from small plots treated by vinasse-produced biochar. *Science of the Total Environment*, 15: 483-490.
33. Seeger, M. 2007. Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena*, 71: 56-67.
34. Sepaskhah, A.R. and A.R. Bazrafshan-Jahromi. 2006. Controlling runoff and erosion in slopping land with polyacrylamide under a rainfall simulator. *Biosystems Engineering*, 93: 469-474.
35. 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.
36. Shahbazi, A., F. Sarmadian, H.Q. Refahy and M. Qorjy. 2007. Effect of polyacrylamide on control erosion and runoff salt-sodium soil. *Iranian Journal of Science and Agriculture*, 36: 1103-1112 (in Persian).
37. Sharifi, F., Sh. Safarpour, S.A. Ayoubzadeh and J. Vakilpour. 2004. An investigation of factors affecting runoff generation in arid and semi-arid area using simulation and rainfall runoff data. *Iranian Journal of Natural Resources*, 57(1): 33-45 (in Persian).
38. Shekofte, H., H.Q. Refahy and M. Qorjy. 2007. Effect of polyacrylamide on control erosion and soil runoff. *Journal of Iranian Agricultural Sciences*, 36(1): 177-186 (in Persian).
39. Soleimanpour, S.M., B. Hedayati, M. Soufi and H. Ahmadi. 2015. Determination of threshold of effective factors on length expansion of gullies using data mining techniques in mahourmilati region, Fars Province. *Watershed Management Science and Engineering*, 9(9): 47-57 (in Persian).

40. Wakindiki, I.I.C. and B.O. Danga. 2011. Effect of straw mulch application on nutrient concentration in runoff and sediment in a humid region in Kenya. *African Journal of Agricultural Research*, 6(3): 725-731.
41. Wang, L., Bo. Maa and F. Wu. 2016. Effects of wheat stubble on runoff, infiltration, and erosion of farmland in the Loess Plateau, China subjected to simulated rainfall. *Solid Earth Discuss.* Doi: 10.5194/se-2016-163, 28 pages.
42. Wang, L., N. Dalabay, p. Lu and F. Wu. 2017. Effects of tillage practices and slope on runoff and erosion of soil from the Loess Plateau, China, subjected to simulated rainfall. *Soil and Tillage Research*, 166: 147-156.
43. 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. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 630-636.

Effect of application of several amendments on threshold and coefficient of runoff in various conditions under rainfall simulation

Fereydon Solaimani¹, Ataollah Kavian^{*2}, Karim Solaimani³, Forod Sharifi⁴ and Kaka Shahedi⁵

¹ PhD Student, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran, ² Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran, ³ Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran, ⁴ Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran and ⁵ Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

Received: 24 September 2016

Accepted: 08 February 2017

Abstract

The major issues that must be addressed in watersheds is correct estimating threshold from the rainfall events. According to the agricultural leveling land and irrigation and drainage network of study area is exposed to surrounding runoff destruction, so watershed management activities such as design of small-scale water structures, sediment control structures, implementing the management actions in vegetation, soil and land utilization is required to understand and estimate surface runoff threshold. The aim of this study was to determine the effect of soil conservation practices on runoff initiation time and runoff coefficient using rainfall simulator in the Arayez plain. For this purpose, a rain simulator with a metal plot that has a square meter area was used. The treatments consisted of natural soil (observed), polyacrylamide at two levels 3 and 6 grams per square meter (P_3 and P_6 , respectively) and Parsian mulch (P_c) that were conducted in sandy clay loam and sandy loam soil with three replications. The rainfall intensities set up to be of 32 and 50 mm per hour in slopes 7.5 and 12.5 percent. For statistical comparison split split plot design was used. Least Significant Difference (LSD) method was used for comparison of means. Results indicated that the mean of runoff initiation time in observed treatment is higher than mulch treatments, it means which runoff begins later in observed treatment. Mulches of P_6 and P_c have not significantly differences in runoff initiation time. Runoff initiation time in P_3 mulch much earlier began than the other treatments. Also, results revealed that the mean of runoff coefficient in different treatments (observed, P_3 , P_6 and P_c) have a significant differences, and belonged to separate group.

Keywords: Arayez plain, Karkheh Watershed, Polyacrylamide, Runoff coefficient, Soil amendments

* Corresponding author: a.kavian@sanru.ac.ir