

اثر الگوی بارش بر تغییرات زمان شروع و ضریب رواناب در مقیاس کرت

لیلا غلامی^{۱*}، عطااله کاویان^۲، عبدالواحد خالدی درویشان^۳، اعظم علیپور^۴ و زهرا بسارند^۵

^۱ استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، ^۲ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، ^۳ استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، ^۴ دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران و ^۵ کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۶

چکیده

تعیین زمان شروع رواناب و حجم رواناب در مدیریت پاسخ حوزه‌های آبخیز در برابر بارندگی از متغیرهای کلیدی در مدیریت سامانه آبخیز هستند. از میان عوامل مختلف موثر بر زمان شروع و حجم رواناب، شدت بارندگی یکی از مهمترین عوامل است. در این مطالعه اثر الگوهای بارندگی بر متغیرهای زمان شروع، حجم و ضریب رواناب تحت باران شبیه‌سازی شده در منطقه جنوب شرقی شهرستان نوشهر استان مازندران مورد بررسی قرار گرفت. برای دستیابی به اهداف پژوهش، چهار الگوی بارش و هر الگو با سه تغییر در شدت بارندگی (I: کم - متوسط - زیاد، II: کم - زیاد - کم، III: زیاد - متوسط - کم، IV: زیاد - کم - زیاد) شبیه‌سازی شد. سپس زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب برای هر الگو اندازه‌گیری شد. برای تعیین ارتباط بین الگوی بارندگی و متغیرهای زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب، داده‌های اندازه‌گیری‌ها شده در نرم‌افزارهای Excel و SPSS23 تحلیل شد. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0.05$) در متغیرهای زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب حاصل از الگوهای مختلف شدت بارش وجود داشت. بر اساس تحلیل‌های آماری در همه الگوهای بارندگی بین میانگین‌ها اختلاف معنی‌داری روی زمان شروع حجم و ضریب رواناب در سطح ۹۹ درصد وجود داشت. همچنین، نتایج نشان داد که الگوی I، بیشترین زمان تا شروع رواناب و الگوی III، بیشترین مقدار حجم و ضریب رواناب را داشت. میانگین زمان شروع رواناب در الگوهای I، II، III و IV به ترتیب ۵/۹۰، ۴/۲۴، ۰/۷۱ و ۱/۲۵ دقیقه بوده است. همچنین، میانگین ضریب رواناب در الگوهای I، II، III و IV به ترتیب ۰/۳۰، ۰/۴۹، ۰/۸۸ و ۰/۷۵ درصد اندازه‌گیری شد.

واژه‌های کلیدی: آستانه رواناب، تغییرات رواناب، حجم رواناب، پاسخ حوزه آبخیز، فرسایش خاک، شبیه‌ساز باران

مقدمه

همکاران، (۲۰۰۸) که در اثر انرژی قطرات باران، ذرات خاک جدا می‌شوند (Leguedois و Bissonais، ۲۰۰۴؛ Van Dijk، ۲۰۰۲). تغییرات فرسایش خاک در طول زمان بارش، پدیده پیچیده‌ای بوده که ناشی از جدا شدن ذرات در اثر برخورد قطرات و رواناب ناشی از بارش است (Mahmodabadi و Sajadi، ۲۰۱۶).

فرسایش آبی یکی از گسترده‌ترین انواع فرسایش خاک بوده که تعادل بین نیروی حرکتی آب در سطح و مقاومت خاک را بیان می‌کند (Zheng، ۲۰۰۵). اولین مرحله در فرایند فرسایش آبی فرسایش پاشمانی است (Legout و همکاران، ۲۰۰۵؛ Qinjuan و

کیفیت و فرسایش خاک اثر می‌گذارد (Mojaradi Gilan و همکاران، ۲۰۰۸). به بیان دیگر تغییرات شدت بارندگی طی یک رخداد می‌تواند عامل مؤثر در تغییر زمانی رواناب و فرسایش خاک باشد (Ahmed و همکاران، ۲۰۱۲). در برخی از بارندگی‌ها بیشترین شدت بارندگی می‌تواند در اوایل بارندگی (الگوی پیش‌افتاده^۱) و در برخی دیگر در اواسط (الگوی معمول^۲) و در مواردی نیز در مراحل پایانی (الگوی دیرکرده^۳) حادث می‌شود، که این موضوع تأثیر مستقیمی بر حجم رواناب و همچنین، اوج رواناب می‌گذارد (Vasquez-Mendez و همکاران، ۲۰۱۱). در مورد تأثیر مستقیم شدت بارندگی بر رواناب و فرسایش خاک مطالعات مختلفی انجام گرفته است از جمله Onchev (۱۹۸۴) نشان داد به شرطی که میزان بارندگی اتفاق افتاده دست کم ۹/۵ میلی‌متر باشد، میزان شدت بارش بیشتر از ۱۰/۸ میلی‌متر بر ساعت فرساینده خواهد بود.

Martinez (۱۹۹۸) در مناطق نیمه‌خشک مدیترانه‌ای نتیجه گرفت که با افزایش شدت باران در خاک‌های ریزبافت با نفوذپذیری کم و مواد آلی پایین، آستانه شروع رواناب کاهش و ضریب رواناب افزایش یافت. اما در مورد تأثیر الگوی توزیع زمانی بارش بر تغییرات رواناب مطالعات بسیار محدودی صورت گرفته است از جمله بررسی‌های Romkens و همکاران (۲۰۰۱) در آمریکا به‌وسیله شبیه‌ساز باران نشان داد که در رگبارهای پیش‌افتاده میزان تولید رواناب نسبت به رگبارهای دیرکرده بیشتر بود. Frauenfeld و Truman (۲۰۰۴) با بررسی تغییرات فرسایش پاشمانی در گرجستان نتیجه گرفتند که مقدار پاشمان ذرات خاک در الگوهای توزیع زمانی بارش بیشتر از الگوهای یکنواخت می‌باشد. Parsons و Stone (۲۰۰۶) در انگلستان با استفاده از پنج باران شبیه‌سازی شده هر کدام با الگوهای شدت مختلف (شدت بارش ثابت، شدت افزایشی، شدت کاهش، شدت افزایشی سپس کاهش و شدت کاهش و سپس افزایشی) برای شرایط آزمایشگاهی و سه نوع خاک

طول بارش، شدت بارش به‌طور مداوم در حال تغییر بوده، این مقدار ممکن است کمتر یا بیشتر از نرخ نفوذپذیری در لایه سطحی خاک باشد. همچنین، بایستی توجه داشت که نرخ نفوذپذیری نیز با تغییر شدت بارش تغییر می‌کند، زیرا این میزان بستگی به محتوای رطوبت لایه سطحی خاک دارد که خود تحت تأثیر شدت بارش و میزان نفوذ است (Bandaragoda و همکاران، ۲۰۰۴). زمانی رواناب در سطح زمین انباشته یا جاری می‌شود که شدت بارندگی از سرعت نفوذ آب در خاک بیشتر باشد (Alizadeh، ۱۹۹۸). رواناب سطحی حاصل از بارندگی و فرسایش خاک، تابع عوامل مختلفی بوده که هر یک از این عوامل عامل دیگر را تقویت و یا تضعیف می‌کند (Bewket و Stroosnijder، ۲۰۰۳).

اهمیت نسبی این فرایندها به عوامل مختلفی از قبیل شدت و مدت زمان بارش، عمق و سرعت رواناب، بافت خاک، رطوبت پیشین خاک، نفوذپذیری خاک، طول و درجه شیب زمین، نوع و تراکم پوشش گیاهی، سنگ بستر، زبری سطح و کاربری اراضی بستگی دارد (Benhur و Assouline، ۲۰۰۶؛ Sheridan و همکاران، ۲۰۰۸). اثرات بارش به‌وسیله محققین زیادی مطالعه شده است (Romkens و همکاران، ۲۰۰۱؛ Parsons و Stone، ۲۰۰۶) و در بین خصوصیات بارش، نقش شدت بارش بر متغیرهای رواناب دارای اهمیت زیادی است که مطالعات زیادی نیز در مورد آن وجود دارد (Mohammadi و Kavian، ۲۰۱۵). این در حالی است که بارش‌های با شدت متوسط یکسان، انرژی جنبشی یکسانی ندارند، زیرا که ارتباط بین شدت بارش و انرژی جنبشی آن خطی نیست (Van Dijk و همکاران، ۲۰۰۲؛ Brodie و Rosewell، ۲۰۰۷؛ Petan و همکاران، ۲۰۱۰؛ Mahmoodabadi و Sajjadi، ۲۰۱۶). تغییرات زمانی و مکانی بارش به همراه تغییرات در شدت بارش می‌توانند بر متغیرهای رواناب و در نهایت فرسایش خاک تأثیرگذار باشند (Parsons و Stone، ۲۰۰۶؛ De Lima و همکاران، ۲۰۰۹).

در شرایط طبیعی بارش، طی مدت زمان بارندگی، اغلب شدت آن تغییر می‌کند. بنابراین، این مفهوم که به نام الگوی زمانی توزیع بارندگی بیان می‌شود، از ویژگی‌های مهم بارندگی است که بر رواناب و کمیت و

¹ Advanced pattern

² Normal pattern

³ Delayed pattern

داد که با افزایش شدت بارش از ۵۵ به ۱۱۴ میلی‌متر بر ساعت میزان رواناب به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا یافت. Mohammadi و Kavian (۲۰۱۵) به بررسی تأثیر الگوهای بارش بر رواناب و تولید رسوب در مقیاس کرت برای حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان واقع در استان کردستان پرداختند. نتایج ایشان نشان داد، بین الگوهای بارش تفاوت معنی‌داری وجود داشت. همچنین، ایشان تفاوت معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد در مقدار رواناب و غلظت رسوب بین الگوهای مختلف بارش را مشاهده کردند. Mu و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی اثرات شدت بارش با مقادیر ۰/۶۷، ۱/۰۰ و ۱/۶۷ میلی‌متر بر ساعت و شیب‌های نه، ۲۷ و ۳۶ درصد به این نتیجه رسیدند که با افزایش شدت بارش و درجه شیب ضریب رواناب افزایش یافت.

Santos و همکاران (۲۰۱۷) اثرات خصوصیات ۱۷۶ واقعه بارندگی شامل شدت، مدت و فراوانی بر رواناب در سه حوزه آبخیز، برزیل تحت کاربری‌های مختلف را بررسی نمودند. ایشان بیان کردند که رژیم بارندگی بر تغییرات رواناب سطح تأثیر زیادی داشت. Vaezi و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تأثیر قطرات باران بر فرسایش آبی و خصوصیات فیزیکی خاک با استفاده از باران شبیه‌سازی شده در شدت‌های ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ میلی‌متر بر ساعت و شیب ۱۰ درصد در ایران پرداختند. ایشان بیان کردند که خصوصیات فیزیکی خاک در اثر انرژی قطرات باران ناشی از تفاوت شدت، تغییر و با افزایش شدت بارندگی مقدار فرسایش خاک نیز افزایش یافت.

نتایج حاصله از پژوهش‌های قبلی نشان داد که تأثیر مستقیم شدت باران بر میزان رواناب و رسوب در پژوهش‌های مختلف انجام شده است. اما پژوهشی مبنی بر این‌که طبقه‌بندی اثر الگوهای بارش بر زمان شروع، حجم و ضریب رواناب در خاک مرتعی ثبت نشده است. سوابق اندکی در زمینه الگوهای بارش، به‌طور مستقیم و ضمنی به نتایج اشاره کرده‌اند، لکن بررسی مستقیم اثر الگوی بارش آن هم در شرایط حوزه آبخیز کجور که دبی‌های سیلابی در آن گزارش شده و بخشی از خروجی آن به یک سد مخزنی هدایت می‌شود، ضرورت انجام پژوهش حاضر را توجیه می‌-

تغییرات رواناب و فرسایش خاک را بررسی کردند. ایشان نشان دادند که اختلاف معنی‌داری در کل رواناب ایجاد شده در الگوهای مختلف بارش برای سه نوع خاک وجود نداشت. Arnaez و همکاران (۲۰۰۷) در باغ‌های انگور با ایجاد باران مصنوعی عوامل مؤثر بر رواناب و فرسایش برای شیب‌های ملایم با ۲۲ بارش در شدت‌های ۳۰ تا ۱۱۷/۵ میلی‌متر بر ساعت را بررسی کردند. آن‌ها تأثیر شدت بارش و میزان رواناب را با ضریب تبیینی در حد ۳۶ درصد ارائه و نتیجه گرفتند که علاوه بر شدت بارندگی، انرژی جنبشی رگبار، مقاومت ذرات خاک، پوشش گیاهی و شیب بر میزان رواناب و آستانه آن تأثیرگذاراند.

Tabatabaee Yazdi و همکاران (۲۰۰۹) الگوهای رگرسیونی رواناب حاصل از سطوح آبخیز کوچک بر مبنای بارش‌های مشاهده‌ای از طریق مدل‌های رگرسیونی در مشهد را بررسی نمودند. ایشان تأثیر شدت بارش و میزان رواناب را با ضریب تبیین ۹۰ درصد ارائه و نشان دادند که علاوه بر شدت بارندگی، انرژی جنبشی رگبار، مقاومت ذرات خاک در مقابل برخورد قطرات باران، میزان پوشش گیاهی و شیب بر میزان رواناب و زمان شروع آن تأثیرگذار بود. Huang و همکاران (۲۰۱۰) بیان نمودند که طول مدت الگوی سه بارش دارای رواناب بیشتری در مقایسه با طول مدت الگوی دو، چهار و یک بارش است.

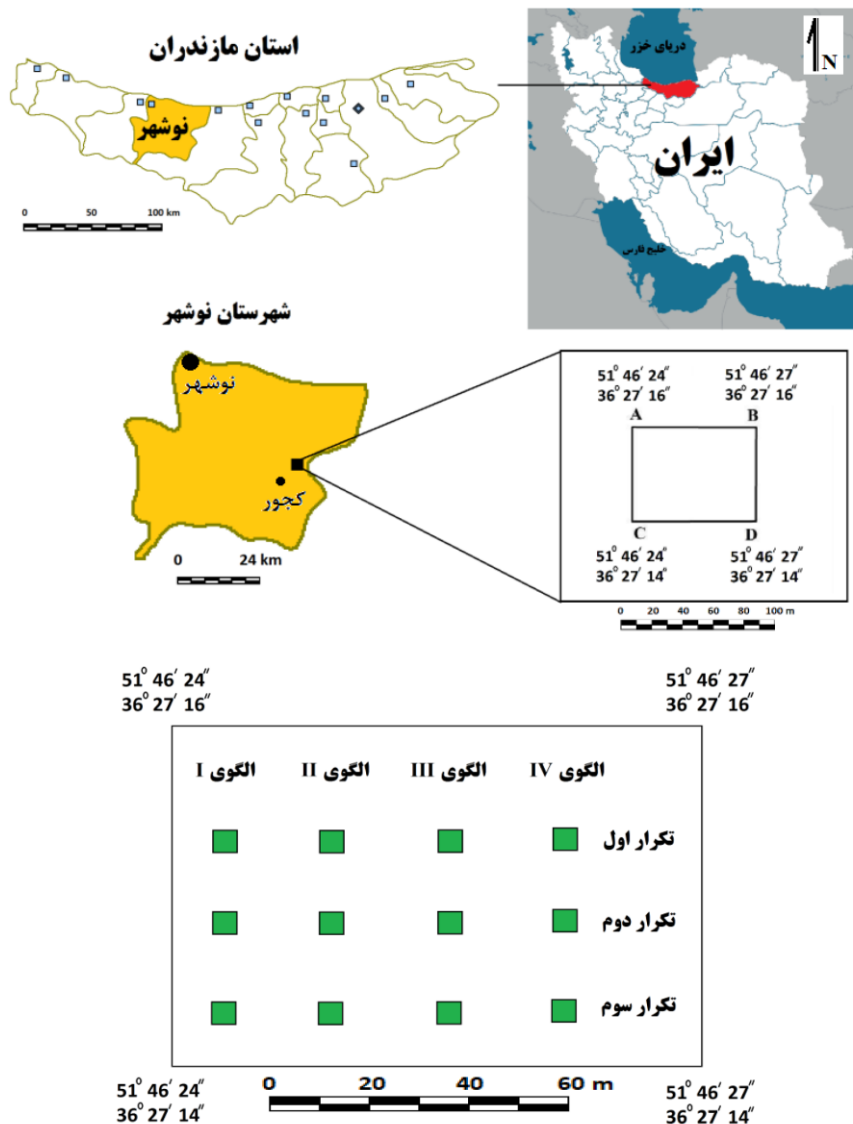
Ahmed و همکاران (۲۰۱۲) اثرات الگوهای زمانی رخدادهای بارندگی بر تغییرات فرسایش خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران در مقیاس یک متر مربع و شرایط آزمایشگاهی و خاک‌های شنی و لومی را بررسی و بیان نمودند که با افزایش شدت بارندگی میزان فرسایش خاک نیز افزایش یافت. Defersha و Melesse (۲۰۱۲) به بررسی اثر شدت بارندگی با مقادیر ۵۵، ۷۰ و ۱۲۰ میلی‌متر در ساعت در شیب‌های نه، ۲۵ و ۴۵ درصد در سه نوع خاک از منطقه مادری شرق اتیوپی بر رواناب و غلظت رسوب پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که شدت بارندگی اثر معنی‌دار بر ضریب رواناب نداشته در حالی که شیب و نوع خاک بر ضریب رواناب اثر معنی‌دار داشته‌اند. Yousefi و همکاران (۲۰۱۳) اثر شدت بارش و شیب روی رواناب را بررسی نمودند. یافته‌های ایشان نشان

در مقیاس کرت صحرایی و تحت باران شبیه‌سازی شده در جنوب شرق نوشهر انجام شد.

مواد و روش

منطقه مورد پژوهش: محدوده دامنه مورد نظر به- منظور انجام آزمایش‌ها، بین طول جغرافیایی $24'' 46' 51''$ تا $16'' 27' 36'' 51''$ شرقی و عرض جغرافیایی $14'' 27' 36''$ تا $16'' 27' 36''$ ارتفاع متوسط این منطقه از سطح دریا ۱۶۶۵ متر و متوسط بارندگی سالانه حاصل آمار سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۴ در ایستگاه کجور ۳۲۲/۹۱ میلی‌متر می‌باشد. این مطالعه در حاشیه روستای کدیر در جنوب شرقی شهرستان نوشهر انجام شده است (شکل ۱).

نماید. در صورتی که در آینده سامانه‌های هشدار سیل در حوزه آبخیز کجور راه‌اندازی شود بدون شک در کنار اثر بارندگی‌های روزهای قبل و شرایط رطوبت پیشین خاک، نتایج پژوهش حاضر نیز بسیار ضروری است. با توجه به اهمیت این موضوع به‌ویژه در نواحی مرتعی مناطق نیمه‌خشک به‌دلیل تغییرات زیاد شدت بارندگی طی مدت بارندگی و در نتیجه الگوهای مختلف توزیع زمانی بارندگی، آگاهی از این موضوع می‌تواند در برآورد دقیق فرسایندها باران‌ها به‌منظور انجام کنترل فرسایش خاک سودمند باشد. بنابراین طبقه‌بندی بارش از مشکلات مهمی است که نیاز به بررسی دارد. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر الگوی‌های بارش بر زمان شروع، حجم و ضریب رواناب



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه در ایران و استان مازندران و موقعیت کرت‌ها نسبت به یکدیگر در شرایط صحرایی

در این خاک اندازه‌گیری شد. به‌منظور انجام آزمایش‌ها در شرایط صحرایی از کرت با ابعاد یک متر مربع و شیب ۳۰ درصد استفاده شد و در نهایت نمونه‌برداری-های زمان شروع، حجم و ضریب رواناب در خروجی کرت انجام شد. در این مطالعه از شبیه‌ساز باران برای ایجاد چهار الگوی بارش با شدت‌های متغیر در طول هر بارش و در سه تکرار استفاده شد (جدول ۱). بررسی باران‌نگارهای ایستگاه باران‌نگاری کجور نشان می‌دهد که هر چهار الگو یا تیپ بارندگی در منطقه به‌وقوع می‌پیوندند و لذا، بررسی هر چهار الگو برای لازم تشخیص داده شد.

نمونه‌ای از خاکی که آزمایش‌ها روی آن انجام شد، به آزمایشگاه خاکشناسی انتقال داده شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پایه خاک شامل بافت به روش هیدرومتری (Zariankafsh, ۲۰۰۲)، وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه‌ای (Zariankafsh, ۲۰۰۲)، محتوای ماده آلی به روش والکی بلک (Nosetto و همکاران، ۲۰۰۶) و هدایت الکتریکی با استفاده از EC متر اندازه‌گیری شدند. درصد نسبی رس، سیلت و شن در محل قرارگیری کرت‌ها به ترتیب ۳۴، ۳۲ و ۳۴ درصد، مقدار مواد آلی خاک ۲/۲ درصد و بافت خاک دامنه مورد مطالعه لومی-رسی و مقدار هدایت الکتریکی خاک برابر ۱۵۷/۶ میکروزیمنس بر میلی‌متر

جدول ۱- شرایط شدت بارش در طول هر الگوی بارش

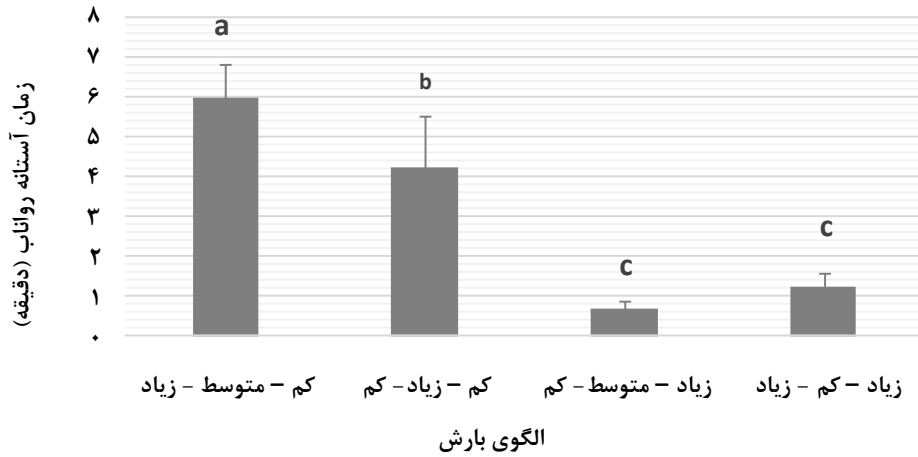
مقادیر شدت بارش (میلی‌متر بر ساعت)	شدت بارش در طول هر الگوی بارش	الگوهای بارش
۷۰-۵۵-۴۵	کم-متوسط-زیاد	I
۵۵-۷۰-۴۵	کم-زیاد-کم	II
۴۵-۵۵-۷۰	زیاد-متوسط-کم	III
۷۰-۴۵-۵۵	زیاد-کم-زیاد	IV

به‌دست آمد. در هر بارش و هر بار تغییر شدت، زمان شروع، حجم و ضریب رواناب اندازه‌گیری شد سپس داده‌ها در نرم‌افزار Excel و نسخه ۲۳ نرم‌افزار SPSS با استفاده از تحلیل واریانس یک‌طرفه تحلیل شد.

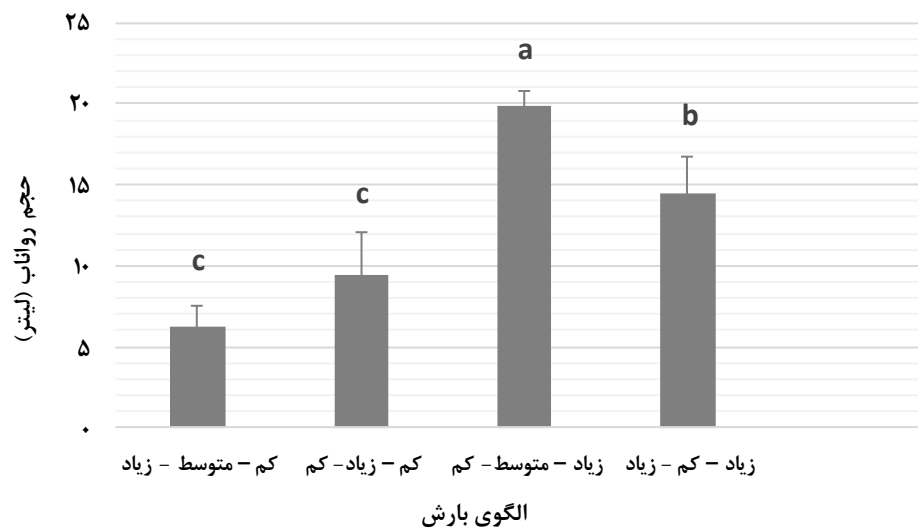
نتایج و بحث

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر الگوهای بارش در فرایندهای زمان شروع، حجم و ضریب رواناب در مقیاس کرت صحرایی با استفاده از باران شبیه‌سازی شده در چهار الگوی بارش انجام شده است. نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام‌شده برای اندازه‌گیری زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب در چهار الگوی شدت بارش به‌ترتیب در شکل‌های ۱ تا ۳ ارائه شده است. در شکل‌های مذکور تغییرات میانگین هر یک از متغیرها در الگوهای مختلف بارش نیز ارائه شده است. شکل ۴ نیز حجم رواناب در الگوهای I، II، III و IV بارش در فواصل مختلف زمانی را نشان می‌دهد.

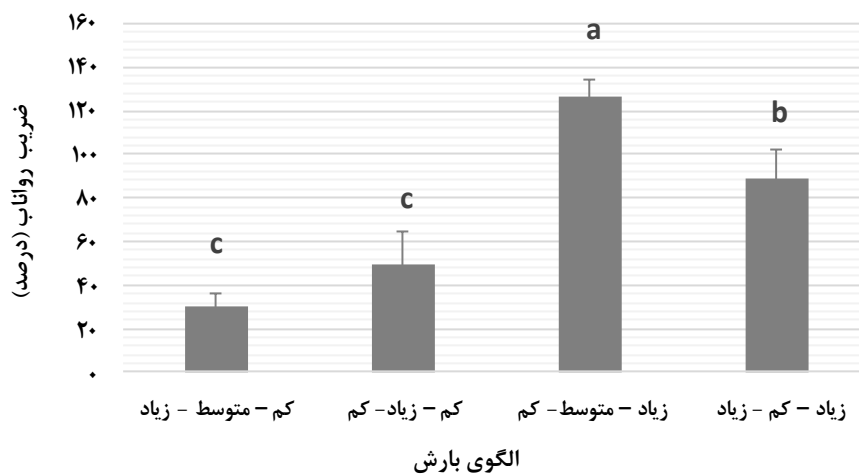
برای انجام پژوهش حاضر از شبیه‌ساز باران قابل حمل با دو نازل استفاده شد و برای شبیه‌سازی شدت باران در الگوهای مختلف بارش از ارتفاع ریزش ۲/۵ متر و مناسب برای دسترسی نسبی به سرعت حد قطرات (Wang و همکاران، ۱۹۷۷) مورد استفاده قرار گرفت. شدت‌های بارندگی مورد استفاده در تحقیق حاضر با استفاده از منحنی‌های IDF موجود در منطقه برآورد شد. به‌منظور رسیدن به بیشینه تشابه ویژگی‌های فیزیکی باران شبیه‌سازی شده شامل دانه‌بندی و قطر قطرات با باران طبیعی پیش‌بینی‌ها با استفاده از روش عکس‌برداری (Khaledi Darvishan و همکاران، ۲۰۱۴) و اندازه‌گیری‌های لازم صورت گرفت. برای رسیدن به شدت مورد نظر ابتدا با استفاده از ظروف کوچک پلاستیکی حجم بارندگی در نقاط مختلف سطح یک متر مربعی هر کرت اندازه‌گیری شده و سپس ارتفاع رواناب از تقسیم میانگین حجم رواناب ظروف بر مساحت آن‌ها محاسبه شد و در نهایت شدت بارندگی از تقسیم ارتفاع رواناب بر زمان



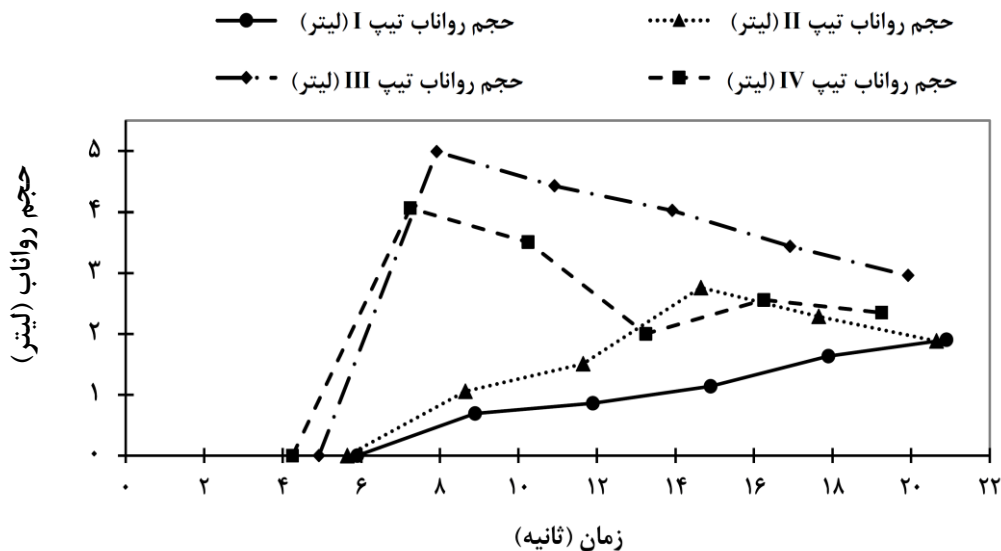
شکل ۱- مقایسه میانگین‌های متغیر زمان آستانه شروع رواناب در الگوهای I، II، III و IV بارش با آزمون دانکن ($\alpha \geq 0.05$)



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های متغیر حجم رواناب در الگوهای I، II، III و IV بارش با آزمون دانکن ($\alpha \geq 0.05$)



شکل ۳- مقایسه میانگین‌های متغیر ضریب رواناب در الگوهای I، II، III و IV بارش با آزمون دانکن ($\alpha \geq 0.05$)



شکل ۴- حجم رواناب در الگوهای I، II، III و IV بارش در فواصل مختلف زمانی

صورت گرفت. نتایج حاضر با نتایج Stone و Parsons (۲۰۰۶)، Khaledi Darvishan و همکاران (۲۰۱۴) و Gholami و همکاران (۲۰۱۶) مبنی بر این که در شدت‌های کم بارندگی مدت زمان تشکیل رواناب افزایش می‌یابد و همچنین، بارندگی مدت زمان بیشتری برای نفوذ در خاک دارد و در نهایت حجم رواناب کاهش می‌یابد، هم‌خوانی دارد. در الگوی I بارندگی، در شدت کم باران زمان شروع، حجم و ضریب رواناب به ترتیب ۶/۰۲ دقیقه، ۶/۰۵ لیتر و ۲۵/۰۵ درصد بود. زمانی که شدت بارش متوسط می‌شود، یعنی به مقدار ۱۵ میلی‌متر بر ساعت افزایش می‌یابد، مقادیر این متغیرها نیز دچار تغییراتی شده و زمان شروع رواناب ۱/۰۳ دقیقه، حجم کل رواناب ۱/۱۳ لیتر و ضریب رواناب ۰/۱۲ درصد کاهش یافتند. دلایل کاهش زمان شروع رواناب در سطح خاک به دلیل وجود رواناب قبلی و نیز رطوبت اولیه خاک سطح می‌باشد که می‌تواند با افزایش شدت بارش زمان شروع رواناب را نیز کاهش دهد و با نتایج Khaledi Darvishan و همکاران (۲۰۱۴) مبنی بر نقش موثر رطوبت پیشین خاک در تغییرات زمان شروع رواناب هم‌خوانی دارد. نتایج در شدت متوسط باران برای الگوی I بارش نشان داد که مقادیر حجم و ضریب رواناب با مقادیر ۱/۱۳ لیتر و ۰/۱۲ درصد کاهش داشتند این نتیجه می‌تواند به دلیل افزایش شدت بارش در طول الگوی مورد نظر و در نتیجه آن افزایش

۱- نتایج اثر الگوی بارش روی شروع رواناب، حجم رواناب و ضریب رواناب: نتایج تغییرات زمان شروع رواناب، حجم رواناب و ضریب رواناب در چهار الگوی بارندگی مختلف (شکل‌های ۱ تا ۳) نشان داد که با تغییر شدت بارش در مراحل بارش مقادیر متغیرهای مورد نظر تغییرات زیادی را نسبت به یکدیگر خواهند داشت. همان‌گونه که در شکل‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است، دامنه تغییرات زمان شروع رواناب متغیر بود به طوری که در الگوهای I، II، III و IV به ترتیب ۵/۹۰، ۴/۲۵، ۰/۷۱ و ۱/۲۵ دقیقه بود. متوسط زمان شروع رواناب نیز در الگوهای I، II، III و IV به ترتیب ۳۰/۰۳، ۴۹/۶۳، ۸۸/۸۲ و ۷۵/۱۶ درصد مشاهده شد.

الگوی I بارش: همان‌گونه که شکل ۴ نشان می‌دهد میانگین حجم رواناب پس از زمان شروع رواناب در فواصل زمانی سه دقیقه‌ای به ترتیب ۰/۸۶، ۱/۱۴، ۱/۶۳ و ۱/۹۰ لیتر بود. همان‌گونه که نتایج به دست آمده نشان می‌دهد، حجم رواناب به مرور زمان زیاد شده و رواناب در ابتدای بارندگی با توجه به شدت کم بارش فرصت زمانی بیشتری برای نفوذ دارد. به طوری که در ابتدای شروع رواناب بعد از فاصله زمانی اول ۱۱/۰۸ درصد و در انتهای بارندگی (شدت زیاد) ۳۰/۵۹ درصد حجم بارندگی به این الگوی بارش تعلق گرفت. همچنین، زمان شروع رواناب (۵/۹۰ دقیقه) نیز در مدت زمان بیشتری نسبت به سایر الگوهای بارش

بارندگی حجم رواناب تولید شده نیز کاهش می‌یابد، اما با توجه به این‌که بخشی از خلل و فرج خاک به دلیل تشکیل سله و کاهش نفوذ، کاهش یافته است، پس حجم رواناب تولیدی نیز مقدار کمی کاهش یافته است. در این الگوی بارش ابتدا در شدت کم باران زمان شروع رواناب ۵/۲۷ دقیقه، حجم رواناب ۷/۴۴ لیتر و ضریب رواناب ۳۷/۶۸ درصد بود. وقتی شدت افزایش یافت، زمان شروع رواناب ۳/۰۹ دقیقه کاهش می‌یابد که می‌تواند به دلیل رواناب سطحی که در اثر شدت کم قبلی در سطح خاک وجود دارد بوده و همچنین، ناشی از اشباع خاک از مرحله قبل باشد که با افزایش شدت باران خاک فرصت کافی برای نفوذ نداشته، زمان کمتری طول کشیده تا رواناب شکل بگیرد (Khaledi Darvishan و همکاران، ۲۰۱۵). با افزایش شدت بارش در الگوی II، حجم رواناب به مقدار ۴/۹ لیتر و ضریب رواناب به مقدار ۲۹/۱۷ درصد افزایش یافت که با نتایج Khaledi Darvishan و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت داشت. ایشان در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که در شدت‌های بیشتر باران و کاهش ظرفیت آبیگری لایه‌های سطحی خاک موجب افزایش حجم رواناب می‌شود. در گام آخر الگوی دو که دوباره شدت بارش کاهش یافت، مقدار زمان شروع رواناب ۱/۸۵ دقیقه افزایش داشت و حجم و ضریب رواناب نیز ۳/۶۷ لیتر و ۲۲/۴۹ درصد کاهش یافتند. اما بایستی به این نکته توجه داشت که کاهش در حجم و ضریب رواناب در مقایسه با شدت کم در دقایق اولیه الگوی II بارش بیشتر بود که به دلیل اشباع شدن خاک و در نتیجه کاهش نفوذ در خاک می‌باشد (Stone و Parsons، ۲۰۰۶).

الگوی III بارش: در این الگوی بارندگی، شروع بارندگی با شدت زیاد اتفاق افتاده به طوری که بیشترین حجم رواناب را با میانگین ۴/۹۹ لیتر (۲۵/۱۶ درصد) داشت. در فواصل زمانی بعدی میانگین حجم رواناب به ترتیب ۴/۴۲، ۴/۴۳، ۴/۰۳، ۳/۴۴ و ۲/۹۶ لیتر بود. همان‌گونه که نتایج این الگوی بارش نشان می‌دهد، به دلیل شدت زیاد بارش در اوایل بارندگی، حجم رواناب نسبت به دیگر الگوهای بارش بیشتر بوده چرا که خلل و فرج خاک به دلیل بسته شدن به وسیله فرایند پاشمان کاهش یافته (Arnaez و

مقدار نفوذ خاک باشد. نتایج به دست آمده با نتایج Ebrahimi و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت داشت، ایشان بیان نمود که هر چه شدت نفوذ آب در خاک بیشتر باشد، مقدار رواناب تولید شده نیز کمتر خواهد شد چون، زمانی که شدت باران از زیاد به متوسط کاهش پیدا کرد خاک زمان کافی برای جذب رواناب پیدا کرده که این عاملی در جهت اشباع سریع تر خاک و شروع زودتر رواناب و نیز کاهش حجم رواناب در مدت مشخص بارندگی شد. در ادامه بارندگی با افزایش شدت باران از شدت متوسط به شدت زیاد، زمان شروع رواناب ۱/۶۹ دقیقه، حجم کل رواناب ۲/۷۴ لیتر و ضریب رواناب ۱۲/۱۹ درصد افزایش پیدا کردند. این افزایش حجم رواناب را می‌توان نتیجه رطوبت پیشین خاک در گام سوم تغییر شدت دانست که با نتایج Castillo و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد. ایشان بیان کردند که نقش رطوبت پیشین خاک و پاسخ حوزه آبخیز (در حوضه‌های نیمه خشک جنوب اسپانیا) در شرایط بارش با شدت متوسط و پایین و خاک‌های با نفوذ بیشتر رواناب غالباً به رطوبت پیشین خاک وابسته است.

الگوی II بارش: در الگوی II بارندگی، میانگین حجم رواناب پس از زمان شروع رواناب در فواصل زمانی سه دقیقه‌ای به ترتیب ۱/۰۵، ۱/۵۱، ۲/۷۶، ۲/۲۹ و ۱/۸۸ لیتر بود. نتایج این نوع از الگوی بارش نشان می‌دهد که اواسط بارندگی با شدت زیاد بارش درصد حجم رواناب حدود ۳۰ درصد افزایش یافته است. این نشان‌دهنده این موضوع است که در ابتدا که بارش یا شدت کم شروع می‌شود، بارندگی فرصت کافی برای نفوذ داشته در حالی که با افزایش شدت بارندگی در اواسط الگوی بارش، شدت نفوذ کاهش یافته چرا که خاکدانه‌های سطح خاک به دلیل فرایند پاشمان از هم جدا شده، در سطح خاک سله تشکیل شده و مانع از نفوذ بیشتر آب در درون خاک می‌شود. در نهایت مانع به وجود آمده در سطح خاک باعث تشکیل رواناب بیشتر در سطح خاک می‌شود، نتایج حاصل با نتایج Vaezi و همکاران (۲۰۱۷) هم‌خوانی دارد و بعد از آن، با کاهش شدت بارندگی درصد حجم رواناب در فواصل زمانی چهارم و پنجم به ترتیب ۲۴/۰۹ و ۱۹/۸۲ درصد بود. درست است که با کاهش شدت بارندگی در اواخر

به دلیل افزایش رطوبت پیشین خاک، تغییرات زمان شروع رواناب کمتر شده که با نتایج Khaledi Darvishan (۲۰۱۴) همخوانی داشت. سپس، در گام بعدی شدت باران دوباره روند کاهشی به میزان ۱۵ میلی‌متر بر ساعت داشت که در نتیجه به دلیل افزایش رطوبت اولیه و کاهش نفوذ، زمان شروع رواناب به اندازه ۰/۲۲ دقیقه کاهش و حجم رواناب (۱/۲۱ لیتر) و ضریب رواناب (۲/۲۷ درصد) افزایش داشتند.

الگوی IV بارش: مقادیر حجم رواناب در این الگوی بارش در فواصل زمانی سه دقیقه‌ای به ترتیب ۴/۰۶، ۳/۵۱، ۲/۰۰، ۲/۵۶ و ۲/۳۵ لیتر بود. به طوری که در این الگوی بارش درست است که با شدت زیاد شروع شد، اما مقدار رواناب تولیدی در آن در مقایسه با الگوی III بارش کمتر بود. چون در الگوی III تداوم بارندگی به ترتیب زیاد، متوسط و کم بود، در حالی که در الگوی IV تداوم بارندگی از شدت زیاد به شدت کم کاهش یافت و با این روند، مقدار رواناب تولیدی کاهش یافت، چرا که فرصت بیشتری در مقایسه با الگوی III برای نفوذ داشت. یکی از دلایل سله‌ای شدت سطح خاک در شدت‌های زیاد بارش کاهش مقاومت خاکدانه‌های خاک و در نتیجه فرایند پاشمان خاک است که با نتایج Arnaez و همکاران (۲۰۰۷) و همچنین Tabatabaee Yazdi و همکاران (۲۰۰۹) در رابطه با کاهش مقاومت خاکدانه‌های خاک در شدت‌های بالای بارندگی همخوانی دارد. در الگوی IV بارندگی که با شدت زیاد حدود ۶۵ میلی‌متر بر ساعت آغاز شد، زمان شروع، حجم و ضریب رواناب به ترتیب ۱/۱۲ دقیقه، ۱۴/۹۹ لیتر و ۸۷/۹۳ درصد بود. در ابتدای بارش با وجود رطوبت پیشین کمی که در خاک مشاهده شد، حجم و ضریب رواناب زیادی اندازه‌گیری شد و زمان شروع رواناب نیز در مدت زمان کوتاهی پدیدار شد. این وقایع نشان‌دهنده آن است که در شدت‌های زیاد بارش با وجود رطوبت پیشین کم خاک به دلیل نداشتن فرصت زمان کافی نفوذ رواناب در خاک مقادیر زمان شروع، حجم و ضریب رواناب به ترتیب کاهش، افزایش و کاهش یافت. سپس، با کاهش شدت بارندگی در طول الگوی مورد نظر، زمان شروع رواناب ۰/۵۳ دقیقه، حجم رواناب تولید شده ۲/۹۹ لیتر و ضریب رواناب ۱۹/۵۱ درصد بود که با

همکاران، ۲۰۰۷؛ Tabatabaee Yazdi و همکاران، ۲۰۰۹) و در نتیجه، مقدار نفوذ و رواناب به ترتیب کاهش و افزایش (MU و همکاران، ۲۰۱۵) یافتند. اما با کاهش شدت بارندگی در فواصل زمانی بعدی، مقدار رواناب کاهش یافت، چرا که بارندگی فرصت داشت تا در خاک نفوذ کند. اما اگر مقدار رواناب را در پایان بارندگی (شدت کم بارش با مقدار ۱۴/۹۱ درصد) با مقدار رواناب در شروع الگوی I (شدت کم بارندگی با مقدار ۶/۲۱ درصد) مقایسه شود، مشخص می‌شود که میانگین حجم رواناب در شدت کم برای الگوی III دارای مقدار بیشتری است. چرا که در شروع بارندگی با شدت زیاد نفوذ، سله‌ای شدن سطح خاک و در نهایت رواناب در مقایسه با الگوی II به ترتیب کاهش و افزایش یافته است (Vaezi و همکاران، ۲۰۱۷). در الگوی III بارندگی که باران با شدت زیاد حدود ۷۰ میلی‌متر بر ساعت آغاز شد، زمان شروع رواناب بسیار کم شده و به ۰/۹ دقیقه رسید که می‌توان این‌طور بیان نمود که در شدت زیاد بارش، در مدت بارندگی کمتر بیشتر بارش تبدیل به رواناب با حجم ۱۹/۰۶ لیتر می‌شود و اجازه نفوذ در خاک کاهش می‌یابد. Wei و همکاران (۲۰۰۷) نیز به این نتیجه رسیدند که حساسیت رواناب و فرسایش به رژیم‌های مختلف بارش متفاوت می‌باشد، به نحوی که بارش‌های کوتاه‌مدت با شدت و فراوانی زیاد، رواناب بیشتری تولید می‌کنند. در همان شدت زیاد اولیه الگوی بارش مورد نظر، حجم و ضریب رواناب به ترتیب ۱۹/۰۶ لیتر و ۱۱۸/۱۲ درصد است. Kinoshita (۲۰۰۳) بیان نمود که مقادیر ضریب رواناب تابعی از شدت بارش است. در ادامه با کاهش شدت بارش به میزان ۱۵ میلی‌متر بر ساعت، مدت زمان شروع رواناب نیز ۰/۷۳ دقیقه بود و نسبت به شدت زیاد در دقایق ابتدایی بارندگی روند کاهشی داشت. چون که شدت زیاد بارش در گام نخست علاوه بر کاهش نفوذ به علت موجب پاشمان خاک و بسته شدن خلل و فرج خاک شد نفوذ آب باران شده و رواناب با وجود شدت کمتر بارش جاری شد. همچنین، حجم رواناب (۱۹/۶۲ لیتر) و ضریب رواناب (۱۲۹/۷۱ درصد) نیز با وجود نفوذ کم در خاک به ترتیب مقادیر حدود ۰/۵۶ و ۱۱/۵۹ درصد افزایش یافتند. به عبارت دیگر با کاهش شدت بارندگی،

مقدار متوسط ۵/۹۵۶)، الگوی II شدت بارش در زیرگروه b (با مقدار متوسط ۴/۲۴۶) و الگوی III و IV شدت بارش در زیرگروه c (با مقادیر متوسط ۰/۷۱۳ و ۱/۲۵۰) قرار گرفتند. نتایج حجم رواناب در شکل ۲ نشان داد که در الگوی I با شدت (کم-متوسط-متوسط) و الگوی II با شدت (کم-زیاد-کم) با هم در زیر گروه c (با مقادیر متوسط ۶/۲۱۱ و ۹/۴۸۳)، الگوی III شدت بارش در زیرگروه a (با مقدار متوسط ۱۹/۸۴۰) و در نهایت الگوی IV شدت بارش در زیرگروه b (با مقدار متوسط ۱۴/۴۷۳) قرار گرفتند. همچنین، نتایج شکل ۳ نشان داد که ضریب رواناب در الگوی I با شدت بارش (کم-متوسط-زیاد) و الگوی II با شدت بارش (کم-زیاد-کم) در زیر گروه c (با مقادیر متوسط ۳۰/۰۲۶ و ۴۹/۶۳۰)، الگوی III شدت بارش در زیرگروه a (با مقدار متوسط ۱۲۶/۶۰۳) و الگوی IV شدت بارش در زیرگروه b (با مقدار متوسط ۸۹/۰۳۰) قرار گرفتند.

نتایج حاصل نشان می‌دهد که میزان زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب در الگوهای مختلف بارش دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد (سطح اعتماد ۹۹ درصد) (Mohammadi و Kaviani, ۲۰۱۵) هستند. نتایج تأثیر تغییرات شدت بارش روی ضریب رواناب و حجم رواناب مشابه بود. به طوری که در هر دو متغیر الگوی III با شدت بارش زیاد، متوسط و کم بیشترین تأثیر را داشته است. یعنی در یک رویداد بارش اگر شدت بارش ابتدا زیاد سپس متوسط و دوباره کم شود، بیشترین حجم رواناب و ضریب رواناب را نسبت به سایر حالت‌ها خواهد بود. این در حالی است که در متغیر زمان شروع رواناب الگوی III کمترین میزان تأثیر را داشته است، یعنی زمانی که شدت بارش ابتدا زیاد و سپس متوسط و بعد کم شود، بیشترین زمان تا لحظه شروع رواناب مشاهده شد. این نتایج با یافته‌های Arnaez و همکاران (۲۰۰۷)، Gholami و همکاران (۲۰۱۶) و Santos و همکاران (۲۰۱۷) مبنی بر همبستگی مثبت رواناب با شدت بارندگی مطابقت دارد. همچنین، Parsons و Stone (۲۰۰۶) نیز اثر تغییرات شدت بارش را در یک رگبار بر رواناب و فرسایش بین‌شیاری بررسی کردند و نتایج نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در مقدار فرسایش

کاهش شدت بارندگی مقادیر متغیرهای مورد نظر به ترتیب کاهش، افزایش و افزایش یافتند. در همین راستا Arnaez و همکاران (۲۰۰۷) با کمک باران‌ساز عامل‌های موثر بر ایجاد رواناب و فرسایش را در مارن‌های اسپانیا مورد بررسی قرار داده، به این نتیجه رسیدند که میزان رواناب با شدت بارندگی رابطه‌نمایی دارد. در گام آخر الگوی IV مقدار با افزایش شدت بارندگی، کاهش ۰/۶۷ دقیقه‌ای در زمان شروع رواناب و افزایش ۴/۴۴ لیتری در حجم رواناب تولید شده و افزایش ۲۴/۵ درصدی در ضریب رواناب بود. Porhemmat و همکاران (۲۰۱۳) نیز با بررسی رابطه ضریب رواناب و شدت بارش در اراضی مرتعی سنگانه کلات به این نتیجه رسیدند که با افزایش شدت بارندگی، شیب خط در نمودارها نیز روند افزایشی داشته است. به عبارت دیگر، با افزایش شدت بارندگی پتانسیل تولید رواناب افزایش پیدا خواهد نمود.

۲- نتایج بررسی آزمون تحلیل واریانس یک-طرفه^۱ در الگوهای بارش: برای مقایسه الگوهای مختلف بارش روی متغیرهای زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب از آزمون تحلیل واریانس یک-طرفه استفاده شد. نتایج این آزمون، در جدول ۲ ارائه شده است.

نتایج اثر یک‌جانبه نیز نشان داد که الگوهای بارش روی زمان شروع، حجم و ضریب رواناب با تغییرات بارش در طول هر الگوی اثرات متفاوتی داشت. بین میانگین‌ها اختلاف معنی‌داری در همه الگوهای بارندگی روی زمان شروع، حجم و ضریب رواناب در سطح ۹۹ درصد داشت (جدول ۲). در حالی‌که Parsons و Stone (۲۰۰۶) در انگلستان با استفاده از پنج باران شبیه‌سازی شده، هر کدام با الگوهای شدت مختلف، نشان دادند که اختلاف معنی‌داری در کل رواناب ایجاد شده در الگوهای مختلف بارش وجود نداشت. برای مقایسه میانگین‌های زمان شروع، حجم و ضریب رواناب همچنین، از آزمون دانکن استفاده شد (شکل‌های ۱ تا ۳).

با توجه به شکل ۱، می‌توان بیان نمود که زمان شروع رواناب در الگوی I شدت بارش در زیرگروه a (با

¹ One-way ANOVA

بارندگی را بر آستانه شروع رواناب و حجم آن در منطقه نیمه‌خشک در شمال غرب زنجان بررسی کردند که نتایج معنی‌دار بودن اثر شدت باران بر زمان شروع رواناب را نشان داد که با افزایش آن زمان شروع رواناب به شدت کاهش یافت. نتایج همچنین، نشان داد که با افزایش شدت بارندگی حجم رواناب افزایش یافت که با نتایج حاصله از این پژوهش مطابقت دارد.

است، اما اثر تغییرات شدت در میزان رواناب، در سه نوع خاک آزمایش شده اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. در حالی‌که Romkens و همکاران (۲۰۰۱) در امریکا بیان کردند که بارش‌های پیش افتاده (شدت زیاد در ابتدای بارندگی) تولید رواناب نسبت به رگبارهای دیر کرده (شدت زیاد در انتهای بارندگی) بیشتر بود. Rostami و Vaazi (۲۰۱۳) نیز اثر شدت

جدول ۲- نتایج کاربرد آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه برای شناسایی اثرات یک‌جانبه الگوی‌های بارندگی بر متغیرهای زمان شروع، حجم و ضریب رواناب

متغیر وابسته	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
آستانه رواناب	۳	۱۸/۵۸۰	۲۹/۰۰۳	** ۰/۰۰۰
حجم رواناب	۳	۱۰۶/۴۱۳	۲۹/۶۸۴	** ۰/۰۰۰
ضریب رواناب	۳	۵۵۲۰/۴۳۶	۴۴/۴۷۲	** ۰/۰۰۰

** نشان‌دهنده اثر معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹ درصد

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تغییرات شدت بارش در یک رویداد بارندگی روی میزان حجم رواناب، زمان آستانه شروع رواناب و ضریب رواناب در حاشیه روستای کدیر در جنوب شرقی شهرستان نوشهر انجام شد. نتایج نشان داد، در چهار الگوی بارندگی تغییرات زمان شروع رواناب، حجم رواناب و ضریب رواناب با تغییر شدت بارش در مراحل بارش، مقادیر متغیرهای مورد نظر تغییرات زیادی نسبت به یکدیگر نشان دادند. نتایج اثر نشان داد که تغییر در الگوی‌های بارش روی زمان شروع، حجم و ضریب رواناب با تغییرات بارش در طول هر الگوی اثرات متفاوتی داشت. با استفاده از آزمون دانکن مشخص شد که زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب در الگوی‌های مختلف بارش به‌کار برده شده دارای اختلاف معنی‌داری بودند. در حالی‌که اثر تغییرات شدت بارش روی ضریب رواناب و حجم رواناب مشابه بود، به‌طوری که در

الگوی III بیشترین تأثیر بر هر دو متغیر را داشت. این در حالی است که در متغیر زمان شروع رواناب الگوی III کمترین میزان تأثیر را داشته است، یعنی زمانی که شدت بارش ابتدا زیاد و سپس متوسط و بعد کم شود، بیشترین زمان تا لحظه شروع رواناب مشاهده شد. با توجه به این‌که در طبیعت شدت بارندگی در طول یک رگبار متغیر بوده نتایج تحقیق حاضر می‌تواند در راستای تغییرات متغیرهای رواناب در طول رگبار خصوصاً برای انجام اقدامات حفاظتی مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

در نهایت نویسندگان مقاله بر خود واجب دانسته تا از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در جهت فراهم نمودن امکانات پژوهشی در راستای انجام هزینه‌های طرح پژوهشی به شماره ۰۲-۱۳۹۴-۰۴ و در نهایت، استخراج این مقاله تشکر نمایند.

منابع مورد استفاده

- Ahmed, S.I., R.P. Rudra, B. Gharabaghi, K. Mackenzie and W.T. Dickinson. 2012. Within-storm rainfall distribution effect on soil erosion rate. International Scholarly Research Network, 4: 1-7.
- Alizadeh, A. 1998. Translation erosion and soil conservation. Astan Quds Razavi Publisher, 255 pages (in Persian).
- Arnaez, J., T. Lasanta, P. Ruiz-Flano and L. Ortigosa. 2007. Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. Soil and Tillage Research, 93: 324-334.

4. Assouline, S. and M. Benhur. 2006. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *Catena*, 66: 211-220.
5. Bandaragoda, C., D. Tarboton and R. Woods. 2004. Application of TOPNET in the distributed model intercomparison project. *Journal of Hydrology*, 298: 178-201.
6. Bewket, W. and L. Stroosnijder. 2003. Effects of agro-ecological land use succession on soil properties in Chemoga Watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. *Geoderma*, 111: 85-95.
7. Brodie, I. and C. Rosewell. 2007. Theoretical relationships between rainfall intensity and kinetic energy variants associated with stormwater particle washoff. *Journal of Hydrology*, 340(1-2): 40-47.
8. Castillo, V.M., A. Gomez-Plaza and M. Martinez-Mena. 2003. The role of antecedent soil water content in the runoff response of semi-arid catchments: a simulation approach. *Journal of Hydrology*, 284: 114-130.
9. De Lima, J.L.M.P. and V.P. Singh. 2009. The influence of the pattern of moving rainstorms on overland flow. *Advances in Water Resources*, 25(7): 817-828.
10. Defersha, M.B. and A.M. Melesse. 2012. Effect of rainfall intensity, slope and antecedent moisture content on sediment concentration and sediment enrichment ratio. *Catena*, 90: 47-52.
11. Ebrahimi, N., Gh. Eslami and F. Sharifi. 2013. Estimating runoff threshold using rain simulation in field Plots. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 7(2): 211-222 (in Persian).
12. Frauenfeld, B. and C.C. Truman. 2004. Variable rainfall intensity effects on runoff and interrill erosion from two Coastal Plain Ultisols in Georgia. *Soil Science*, 169: 143-154.
13. Gholami, L., S.H.R. Sadeghi and M. Homae. 2016. Different effects of sheep manure conditioner on runoff and soil loss components in eroded soil. *Catena*, 139: 99-104.
14. Huang, Z., Z. Ouyang, F. Li, H. Zheng and X. Wang. 2010. Response of runoff and soil loss to reforestation and rainfall type in red soil region of southern China. *Journal of Environmental Science*, 22(11): 1765-1773.
15. Khaledi Darvishan, A.V., S.H.R. Sadeghi, M. Homae and M. Arabkhedri. 2014. Measuring sheet erosion using synthetic color contra aggregates. *Hydrological Processes*, 28: 4463-4471.
16. Khaledi Darvishan, A.V., S.H.R. Sadeghi, M. Homae and M. Arabkhedri. 2015. 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).
17. Kinoshita, T. 2003. Estimation of the runoff coefficient of rational formula by proposal TC runoff coefficient. <http://www.bosai.go.jp/ad/ipn/report/abstract/re33/re33.html>.
18. Legout, C., S. Legue'dois, Y. Le Bissonnais and O. Malam Issa. 2005. Splash distance and size distributions for various soils. *Geoderma*, 124: 279-292.
19. Leguedois, S. and Y. Le Bissonnais. 2004. Size fractions resulting from an aggregate stability test, interrill detachment and transport. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(9): 1117-1129.
20. Mahmoodabadi, M. and S.A. Sajjadi. 2016. Effects of rain intensity, slope gradient and particle size distribution on the relative contributions of splash and wash loads to rain-induced erosion. *Geomorphology*, 253: 159-167.
21. Martinez, M. 1998. Factors Influencing Surface Runoff Generation in a Mediterranean Semi arid Environment. *Chicamo Watershed Spain*, 12: 741-745.
22. Mohammadi, A. and A. Kavian. 2015. Effects of rainfall patterns on runoff and soil erosion in field plots. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(4): 273-281.
23. Mojaradi Gilan, H.R., A. Salajeghe, M. Jafari, H. Ahmadi and M.R. Bihamta. 2008. Evaluation effect of rainfall temporal pattern on runoff producing and rainfall erosivity using rainfall simulator. In: 4th National Seminar on Watershed Management Sciences and Engineering, 20-21 February, Tehran University, Karaj, Iran (in Persian).
24. Mu, W., F. Yu, Ch. Li, Y. Xie, J. Tian, J. Liu and N. Zhao. 2015. Effects of rainfall intensity and slope gradient on runoff and soil moisture content on different growing stages of spring maize. *Water*, 7(6): 2990-3008.
25. Nosoetto, M.D., E.G. Jobby and J.M. Paruelo. 2006. Carbon sequestration in semi-arid rangelands arid environment rangelands: Comparison of Pinus Ponderosa plantation and grazing exclusion in NW Patagonia. *Journal of Arid Environment*, 67(1): 142-156.
26. Onchev, N.G. 1984. Universal index for calculating rainfall erosivity in soil erosion and conservation (Sofia, Bulgaria). *Soil Science and Agrochemistry*, 9(2): 424-431.
27. Parsons, A.J. and P.M. Stone. 2006. Effects of intra-storm variations in rainfall intensity on interrill runoff and erosion. *Catena*, 67(1): 68-78.
28. Petan, S., S. Rusjan, A. Vidmar and M. Mikoš. 2010. The rainfall kinetic energy-intensity relationship for rainfall erosivity estimation in the Mediterranean part of Slovenia. *Journal of Hydrology*, 391(3-4): 314-321.

29. Porhemmat, J., A.R. Abbasi and A. Khoshbazzm. 2013. Investigate the relationship between runoff coefficient and rainfall intensity in pasture lands. *Journal of Academic-Extension Pond Levels Systems*, 2(1): 61-67 (in Persian).
30. Qinjuan, C.H., C. Qiangguo and M. Wenjun. 2008. Comparative study on rain splash erosion of representative soils in China. *Chines Geographical Science*, 18(2): 155-16.
31. Romkens, M.J.M., K. Helming and S.N. Prasad. 2001. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness and soil water regimes. *Catena*, 46: 103-123.
32. Rostami, Y. and A.R. Vaazi. 2013. The effect of rainfall intensity on threshold of runoff and its volume in the semi-arid region in the north-west of Zanjan. *The 9th National Conference of Watershed Iran, The University Yazd*, 5 pages (in Persian).
33. Santos, J.C.N., E.M. Andrade, P.H.A. Medeiros, M.J.S. Guerreiro and H.A.Q. Palácio. 2017. Effect of rainfall characteristics on runoff and water erosion for different land uses in a tropical semiarid region. *Water Resources Management*, 13(1): 173-185.
34. Sheridan, G.J., P.J. Noske, P.N.J. Lane and Ch.B. Sherwin. 2008. Using rainfall simulation and site measurements to predict annual interrill erodibility and phosphorus generation rates from unsealed forest roads: Validation against in-situ erosion measurements. *Catena*, 73: 49-62.
35. Tabatabaee Yazdi, J., P. Rezaee and H. Khatami Mashhadi. 2009. Runoff regression models for small catchments. *Journal of Water and Soil*, 23(4): 193-204 (in Persian).
36. Vaezi, A.R., M. Ahmadi and A. Cerda. 2017. Contribution of raindrop impact to the change of soil physical properties and water erosion under semi-arid rainfalls. *Soil Total Environmental*, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.078.
37. Van Dijk, A.I.J., A.G.C. Meesters and L.A. Bruijnzeel. 2002. Exponential distribution theory and the interpretation of splash detachment and transport experiments. *Soil Science Society of America Journal*, 66(5): 1466-1474.
38. Vasquez-Mendez, R., E. Ventura-Ramos, K. Oleschko, L. Hernandez-Sandoval and M.A. Dominguez-Cortazar. 2011. Soil erosion processes in semiarid areas. *Soil Erosion Studies, In Tech, China*, 25-27.
39. Wang, P.K. and H.R. Pruppacher. 1977. Acceleration to terminal velocity of cloud and raindrops. *Journal of Applied Meteorology*, 16: 275-280.
40. Yousefi, A., A. Farrokhan Firuzi and B. Khalil Moghaddam. 2013. Investigate the effect of rainfall intensity and duration on splash erosion using splash multivariate device. *2nd National Conference on Sustainable Agricultural Development and Healthy Environment. Vocational Universities Hamadan Shahid Mofateh*, 8 pages (in Persian).
41. Zheng, F.L. 2005. Effects of accelerated soil erosion on soil nutrient loss after deforestation on the loess plateau. *Pedosphere*, 15(6): 707-715.
42. Wei, W., C. Liding, F. Bojie, H. Zhilin, W. Dongping and G. Lida. 2007. The effect of landuses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. *Journal of Hydrology*, 335(3-4): 247-258.

The effect of rainfall pattern on changes of time to runoff and runoff coefficient at plot scale

Leila Gholami^{*1}, Ataollah Kavian², Abdulvahed Khaledi Darvishan³, Azame Alipour⁴ and Zahra Besarand⁵

¹ Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, ² Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, ³ Assistant Profess, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran, ⁴ PhD Student, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran and ⁵ MSc, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received: 27 November 2017

Accepted: 16 September 2018

Abstract

Determination of time to runoff and runoff volume in watershed response management against rainfall are the key parameters in watershed system management. Among different factors of effect on time to runoff and runoff volume, the rainfall intensity is one of the most important factors. In this study, the effect of rainfall pattern on variables of time to runoff, runoff volume and coefficient was studied under simulated rainfall in the southeastern Noshahr city, Mazandaran province. To achieve the study purposes, four rainfall patterns, each with three changes in rainfall intensity (I: Low-Medium-High, II: Low-High-Low, III: High-Medium-Low, IV; High-Low-High) were simulated. Then, the time to runoff, runoff volume and runoff coefficient were measured for each rainfall pattern. The measured data were analyzed in Excel and SPSS 23 softwares to determine the relationship between the rainfall pattern and variables of time to runoff, runoff volume and runoff coefficient. The results showed that there was a significant difference ($P \leq 0.05$) in variables time to runoff, runoff volume and runoff coefficient resulted rainfall patterns. Also the results showed that, in all of rainfall patterns between mean amounts were the significant differences on time to runoff, runoff volume and runoff coefficient in level of 99 percent. The results showed that the rainfall pattern I had the longest time to runoff and rainfall pattern III had the largest amounts of runoff volume and runoff coefficient. The average time to runoff in rainfall patterns of I, II, III was 5.90, 4.24, 0.71 and 1.25 min, respectively. Also, the average runoff coefficient in rainfall patterns of I, II, III and IV measured 30.03, 49.63, 88.82 and 75.16 percent, respectively.

Keywords: Rainfall simulator, Runoff changes, Soil erosion, Ruoff volume, Watershed response

* Corresponding author: l.gholami@sanru.ac.ir