# تأثیر الگوی بارش بر تولید رواناب و رسوب در مقیاس کرت+

عطاالله کاویان*[۱] و محمد ایوب محمدی[۲]
[۱] استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
[۲] دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
(تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۱۱، تاریخ تصویب: ۹۰/۱۰/۲۶)

## چکیده

بررسی رابطة ویژگي‌های بارش و تولید رواناب و رسوب از مطالعات پایه براي طراحی و اجرای عملیات حفاظت آب و خاک می‌باشد. در پژوهش حاضر، تأثیر الگوهای بارش بر رواناب و تولید رسوب در مقیاس کرت در حوزة آبخیز معرف زوجی خامسان واقع در استان کردستان بررسی شد. مدت تا اوج شدت رگبار به عنوان شاخص الگوی بارش مورد نظر قرار گرفت و بر این اساس کلیه رگبارهای منطقه به دو الگو تقسیم گردیدند. همچنین مقادیر رواناب، غلظت رسوب، بار رسوب و ضریب رواناب هر رگبار در مقیاس کرت‌های به طول ۲۲/۱ متر و عرض ۱/۸۳ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد بین الگوهای بارش در سطح ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری در سطح کم‌تر از یک درصد وجود داشت. همچنین تفاوت معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد در مقدار رواناب، بار و غلظت رسوب بین الگوهای مختلف بارش مشاهده گردید. به‌طوریکه اختلاف میانگین حجم رواناب درالگوی ۱ در سطح معنی‌داری ۵ درصد بیشتر از الگوی ۲ بوده است. مقدار بار و غلظت رسوب نیز در رگبارهای الگو ۲ و با اختلاف معنی‌دار در سطح کمتر از ۵ درصد بیشتر بود. همچنین مدل‌های آماری دو و چند متغیره بین تولید رواناب و رسوب با مؤلفه‌های بارش انجام گرفت و نتایج نشان داد مقدار رواناب هر رگبار با ارتفاع بارش الگوی ۱ و مقدار رسوب هر رگبار با شدت حداکثر ۱۰ دقیقه‌ای الگوی ۱ و با شدت حداکثر ۱۰ دقیقه‌ای و رواناب تولید شده در بارش-های الگوی ۲ با بیشترین ضریب تبیین و حداقل خطای نسبی تخمین و تأیید قابل پیش‌بینی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوی بارش، تولید رواناب، تولید رسوب، کرت فرسایشی، شدت لحظه‌ای رگبار

* نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۱-۳۲۲۱۳۲۶ فاکس: ۰۱۵۱-۲۴۴۲۹۸۲ E-mail: a.kavian@sanru.ac.ir
+ این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی مصوب در معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به شماره قرارداد ۰۵-۱۳۹۰-۰٤ می باشد.

## مقدمه

فرسایش خاک یک چالش جهانی است که به‌طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند و تابع فرایندهاي پیچیده‌اي است. بنابراین مشخص کردن فرایندها و عوامل و شناخت اثر آن‌ها بر فرسایش و تولید رسوب يك حوضه، به برنامه‌ريزي‌هاي بهتر براي كاهش خسارات ناشي از فرسايش و توليد رسوب كمك مي‌كند (Kavian *et al.*, 2010; Shabani *et al.*, 2007). مطالعات فرسایش خاک در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی قابل انجام می‌باشد که یکی از مقیاس‌های مکانی، اندازه‌گیری فرسایش در مقیاس کرت می‌باشد (Kelarestagh *et al.*, 2008. Licznard & Nearing, 2003). کرت‌های فرسایش خاک در اندازه‌ها و انواع مختلف، به منظور بررسی فرآیندهای ژئومورفولوژیک مرتبط با فرسایش خاک و تعیین سایر عوامل موثر توسط باران طبیعی و شبیه‌سازی شده به‌کار برده‌مي‌شوند. در بین این عوامل، بارندگی بسیار مورد توجه می‌باشد، وقتی که باران به سطح زمین می‌رسد می‌تواند منجر به فرسایش و تولید رواناب شود (Sharma *et al.*, 1993; Dijk *et al.*, 2002). علاوه بر این، عدم یکنواختی مکانی- زمانی بارندگی و نیز غیر-یکنواختی مشخصه‌های باران نقش کلیدی را در فرسایش خاک دارد (Li *et al.*, 2000. Nearing, 2001. Endale *et al.*, 2006). با این حال، بیشتر بررسي‌هاي انجام شده به فرآیندهای فرسایش و رواناب در یک الگوی منفرد بارش و در انواع مختلف پوشش پرداخته است (De Lima et al., 2003. Kirkby et al., 2005). بسیار دیگری از مطالعات با استفاده از باران‌سازها صورت گرفته، باران‌های شبیه‌سازی شده امکان را مي‌دهد تا مقدار، شدت و زمان باران کنترل شود، به همین علت برای مطالعه فرآیندهای فرسایشی تحت رخدادهای بارش مفید می‌باشد (Meyer, 1994). اما این عیب وجود دارد که داده‌های حاصل از بارش‌های شبیه‌سازی شده را نمی‌توان به راحتی برای شرایط طبیعی برون‌یابی کرد (Lange *et al.*, 2003). برای مثال برخی از پژوهشگران بیان نموده‌اند که نازل‌های بکار رفته در شبیه‌سازهای باران انرژی جنبشی کمتری در مقایسه با باران‌های طبیعی تولید می‌کند (Luk *et al.*, 1986; Mazi *et al.*, 2004). از طرف دیگر طبقه بندی رگبارها و نیز آگاهی از نقش تغییرات زمانی رگبار روی فرسایش آبی برای کنترل فرسایش و پیش بینی‌های هیدرلوژیک در مقیاس بزرگ مهم می‌باشد. بنابر این یافتن الگوهای واقعی رسوب-رواناب- باران بر پایه اندازه گیری‌های انجام گرفته در محیط طبیعی مهم می‌باشد (Wei *et al.*, 2007). در همین راستا Wei *et al.* (2007) بارش‌ها را به ۳ رژیم از نظر ارتفاع بارش، مدت و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای تقسیم نمودند. رژیم ۱ شامل باران-های با شدت و مدت متوسط و فراوانی وقوع کم، رژیم ۲ شامل باران‌های با شدت و فراوانی زیاد و مدت کم و رژیم ۳ شامل باران‌های با شدت کم، مدت زیاد و فراوانی خیلی کم بود. نتایج نشان داد که حساسیت رواناب و فرسایش به رژیم‌های مختلف متفاوت می‌باشد، به نحوی که بارش-های کوتاه مدت با شدت و فراوانی زیاد، رواناب و رسوب بیشتری را تولید می‌کنند و بعد از آن به ترتیب رژیم ۱ و ۳ قرار می‌گیرد. مطالعات زیادی از جمله (Sadeghi *et al.*, 2007; Kelarestaghi *et al.*, 2008; Thomas, 1999; Zheng *et al.*, 2006; Foster *et al.*, 1980) در شرایط باران طبیعی و شبیه‌سازی شده صورت گرفته که برخی از آن‌ها به صورت زیر می‌باشند:

بررسی اثر متغیرهای باران در برآورد رسوب رگبارها در کرت‌های آزمایشی (Sadeghi *et al.*, 2007)، مقایسه تولید رواناب و رسوب در تیمارهای کشاورزی (Kelarestaghi *et al.*, 2008)، اثر تغییرات زمانی در شرایط آتش سوزی (Thomas, 1999)، اثر پوشش گیاهی بر فرسایش خاک (Foster *et al.*, 1980). بررسی سوابق پژوهش نشان دهنده اهمیت اثر توزیع زمانی رگبار به عنوان یکی از متغیرهای موثر بر فرسایش خاک می‌باشد اما تاکنون در هیچ مطالعه‌ای به گروه‌بندی رگبارها از نظر زمان رسیدن به اوج شدت لحظه‌ای رگبار، و مقایسه اثر این گروه‌ها بر تولید رواناب و رسوب در مقیاس کرت پرداخته نشده است.

لذا در پژوهش حاضر سعی می‌شود تا با گروه‌بندی رگبارها به الگوهای مختلف، اثر هر الگو بر تولید رواناب و رسوب بررسی شود و نقش تغییرات زمانی بارش بر

فرآیندهای فرسایش و تولید رواناب مورد تحلیل قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه

به منظور انجام این پژوهش حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان در بالا دست سد گاوشان با مساحت ۴۱۹۳ هکتار واقع در استان کردستان در حد واسط طول‌های جغرافیائی"۵ '۴ °۴۷ تا "۴۴ '۱۰ °۴۷ شرقی و عرض‌های جغرافیائی"۵۱ '۵۷ °۳۴ تا" ۲۹ '۱ °۳۵ شمالی به دلیل وجود باران‌سنج ثبات و امکان اندازه‌گیری مستقیم رواناب و رسوب در انتهای کرت‌های استاندارد انتخاب گردید (شکل ۱). کرت‌ها دارای شیب ۱۸ تا ۲۵ درصد، طول ۲۲/۱ متر و عرض ۱/۸۳ متر می‌باشند. میانگین بارندگی منطقه ۴۷۳ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Department of natural resources., 2010).

### روش پژوهش

جمع آوری داده‌های بارش، رواناب و رسوب در مقیاس کرت

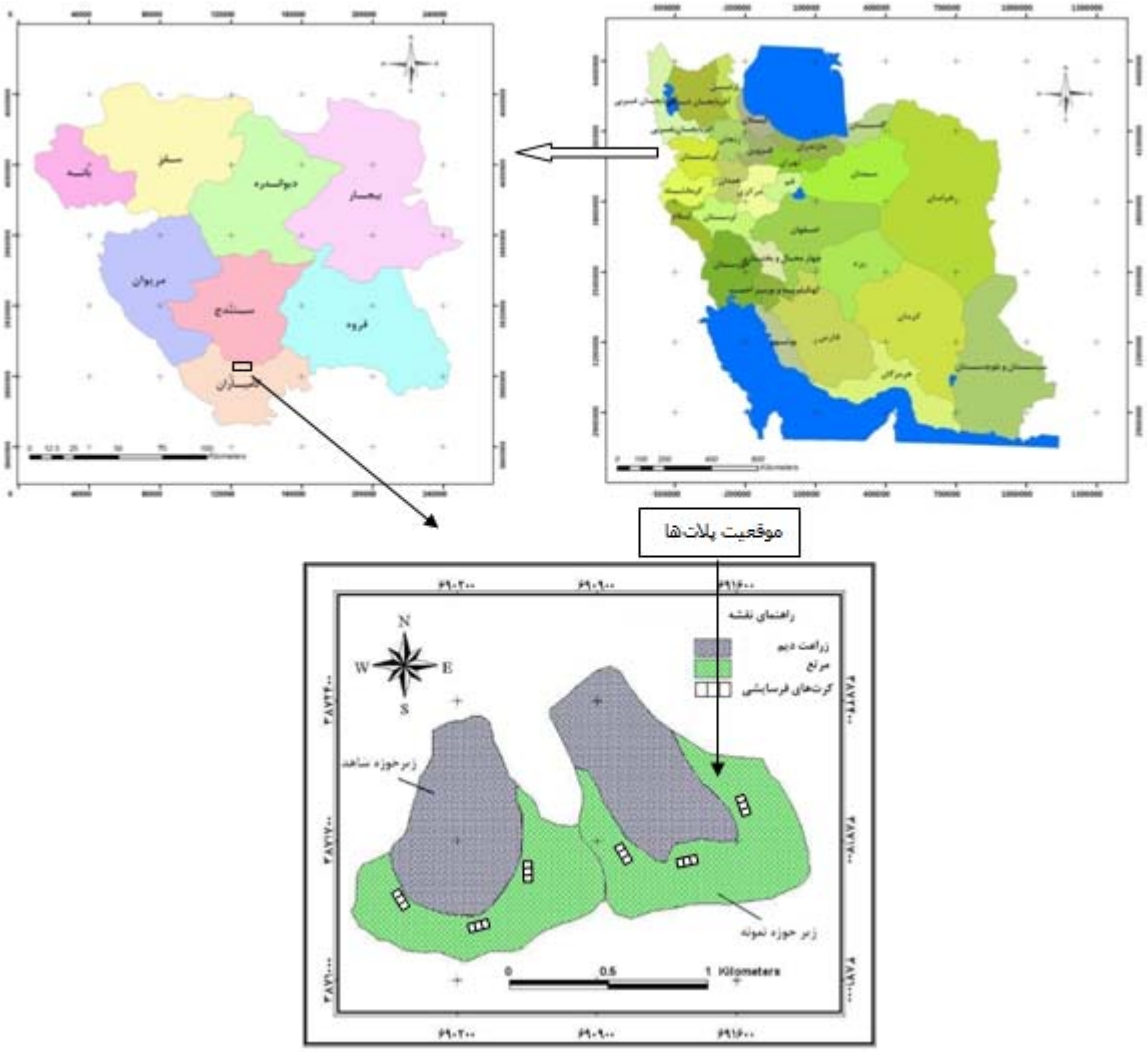
برای دست‌یابی به اهداف پژوهش ابتدا پس از هر رگبار منجر به تولید رواناب، مقادیر رواناب و رسوب در مخزن انتهائی کرت‌های دائمی جمع آوری گردید، سپس مقدار رواناب با اندازه‌گیری مستقیم در مخزن و غلظت رسوب تولیدی هر رگبار به روش فیلتراسیون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد (Kavian *et al.*, 2010) اندازه‌گیری شد. برای این کار ۱۰۰ سی‌سی از نمونه آب و رسوب جدا و پس از عبور از کاغذ صافی به مدت ۱ ساعت در آون قرار داده شد، سپس با توزین نمونه‌های کاغذ صافی همراه با رسوب، وزن رسوب در ۱۰۰ سی‌سی محاسبه گردید. داده‌های بارش نیز از ایستگاه هواشناسی ثبات موجود در مجاورت کرت‌ها تهیه گردید، نمونه برداری در فصل‌های مختلف، از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ به مدت دو سال انجام پذیرفت. به منظور تعیین الگوی رگبارها، شاخص مدت زمان سپری شده تا رسیدن به اوج شدت لحظه‌ای رگبار به صورت درصدی از کل مدت بارندگی در محیط نرم افزار EXCEL محاسبه شد و بر اساس این شاخص، رگبارها به دو الگو به صورت زیر گروه بندی گردید.

الگو ۱: شامل رگبارهای با زمان تا اوج شدت لحظه‌ای کمتر از ۵۰ درصد مدت بارش.

الگو ۲: شامل رگبارهای با زمان تا اوج شدت لحظه‌ای بیشتر از ۵۰ درصد مدت بارش.

### تحلیل آماری

پس از جمع آوری و ثبت داده‌ها در محیط نرم افزاری Excel برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SPSS 18 بهره‌گیری شد. در ابتدا و به صورت جداگانه ویژگی رگبارهای مربوط به هر الگو شامل مدت و مقدار بارش، حداکثر شدت لحظه‌ای، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۹۰ دقیقه‌ای و متوسط بارش و همچنین ضریب، ارتفاع و حجم رواناب محاسبه شد. در مرحله بعد به منظور مقایسه آماری مشخصه‌های رگبار در هر دو الگو، از آزمون آماری تی- تست مستقل استفاده شد. از آنجائی که هدف از این پژوهش بررسی و مقایسه تولید رواناب و تولید رسوب در دو الگو رگبار بود، مقادیر ضریب رواناب، غلظت رسوب (گرم در لیتر)، رواناب (لیتر) و تولید رسوب (گرم) مربوط به هر دو الگو با استفاده از آزمون آماری تی- تست مستقل ارزیابی و مقایسه شد. سپس ماتریس همبستگی بین مشخصه‌های بارش و رواناب و رسوب تشکیل شد. در مرحله بعد، پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها و حذف مقادیر پرت، روابط همبستگی بین رسوب و رواناب با مشخصه‌های رگبارها در هر الگو بدست آمد که منجر به تولید بیش از ۱۰۰ رابطه شد و براساس شاخص‌های ضریب تبیین، ضریب همبستگی و خطای نسبی تخمین و تأیید، بهترین روابط جدا شد و درپایان روند تغییرات مولفه‌هائی که بیشترین ضریب همبستگی با تولید رسوب و رواناب داشتند ترسیم شد.




شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

## نتایج

در کل دوره مورد مطالعه در مجموع ۴۶ رخداد بارش به وقوع پیوست و فقط ۱۸ رخداد آن منجر به تولید رواناب و رسوب شد. نتایج مربوط به مقایسه میانگین زمان تا اوج شدت رگبار، ضریب رواناب، بار رسوبی، رواناب و غلظت رسوب در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، تفاوت معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد بین زمان تا اوج شدت رگبارها در دو الگو مشاهده می شود. نتایج همچنین نشان می‌دهد اگرچه بین ضریب رواناب در دو الگو اختلاف معنی‌داری دیده نشد اما بین حجم رواناب، بار رسوبی و غلظت رسوب تفاوت معنی-داری دیده شد بطوریکه مقدار بار و غلظت رسوب در الگوی ۲ بیشتر از الگو ۱ اما مقدار رواناب در الگو ۱ بیشتر از الگو ۲ می‌باشد.

جدول ۱- نتیجه مقایسه زمان تا اوج دو الگو رگبارها

| پارامتر | شماره گروه | تعداد | میانگین | مقدار t | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|---|
| زمان تا اوج شدت رگبار (درصد) | ۱ | ۸ | ۲۹/۱۷۷ | -۷/۵۶۵ | ۰/۰۰۰ |
| | ۲ | ۱۰ | ۸۰/۱۲۶ | | |

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین ضریب رواناب، غلظت رسوب، رواناب و رسوب دو الگو رگبارها

| پارامتر | الگو | تعداد | میانگین | مقدار t | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|---|
| ضریب رواناب | ۱ | ۱۴۴ | ۰/۰۵۴۱ | -۰/۶۶۱ | ۰/۵۰۹ |
| | ۲ | ۱۸۰ | ۰/۰۵۶۱ | | |
| بار رسوبی (گرم) | ۱ | ۱۴۴ | ۲۹/۲۶۷ | -۳/۶۴۸ | ۰/۰۰۰ |
| | ۲ | ۱۸۰ | ۵۷/۰۷۶۴ | | |
| رواناب (لیتر) | ۱ | ۱۴۴ | ۴۹/۴۲ | ۲/۱۲۲ | ۰/۰۳۵ |
| | ۲ | ۱۸۰ | ۴۲/۹۹ | | |
| غلظت رسوب (گرم در لیتر) | ۱ | ۱۴۴ | ۰/۷۶۲ | -۲/۶۳۳ | ۰/۰۰۹ |
| | ۲ | ۱۸۰ | ۱/۲۳۴ | | |

نتایج مربوط به پارامترهای محاسبه شده رگبارها، مقادیر رواناب و رسوب حاصل از آن‌ها و همچنین منحنی تجمعی برخی از آن‌ها در جدول ۳ و شکل ۲ آمده است. همانطور که ملاحظه می‌نمائید رواناب و رسوب دارای تغییرات زیادی از یک رگبار به رگبار دیگر می‌باشد به‌طوریکه بیشترین و کمترین مقدار تولید رسوب به ترتیب مربوط به رگبار مورخ ۱۳۸۹/۲/۴ و ۱۳۸۸/۱۰/۱۰ می‌باشد. همچنین بیشترین و کمترین مقدار تولید رواناب مربوط به رگبارهای ۱۳۸۸/۸/۲۷ و ۱۳۸۸/۱۰/۱۰ می‌باشد. نتایج مربوط به تعیین ضریب همبستگی و روابط رگرسیونی بین رواناب و رسوب با مشخصه‌های بارش در جدول ۴ و ۵ آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود تولید رسوب با رواناب، حداکثر شدت‌های ده، بیست، سی، چهل، پنجاه، شصت و نود دقیقه‌ای، ارتفاع و مدت رگبار دارای همبستگی معنی‌دار می‌باشد. ماتریس همبستگی همچنین نشان می‌دهد که رواناب دارای همبستگی معنی‌داری با شدت متوسط، حداکثر شدت‌های چهل، پنجاه، شصت و نود دقیقه‌ای و ارتفاع و مدت رگبار می‌باشد. در ادامه به منظور تحلیل دقیق‌تر مشاهدات، روند تغییرات رواناب و رسوب با برخی از پارامترهای تاثیرگذار رگبارها ترسیم شد که نتایج آن در شکل ۳ آمده است.

S = رسوب‌دهی (گرم)، $I_{10}$ حداکثر شدت ۱۰ دقیقه‌ای رگبار، $I_{20}$ حداکثر شدت ۲۰ دقیقه‌ای رگبار، I شدت متوسط رگبار، R = رواناب تولید شده (متر مکعب)، H = ارتفاع بارش (میلی‌متر).

جدول ۳- تاریخ و مشخصات رگبارهای انتخابی و رواناب و رسوب تولید شده توسط آنها

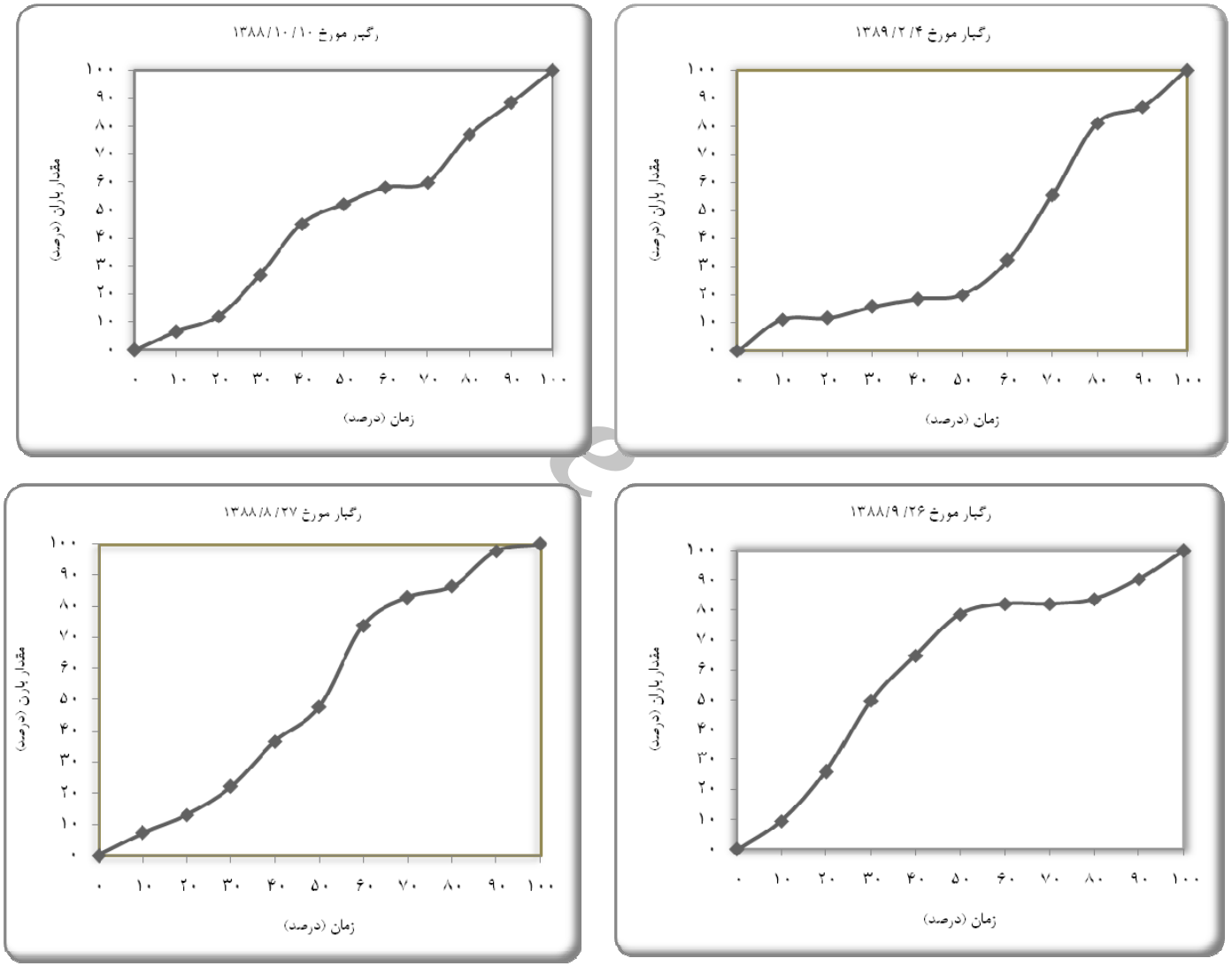
| ردیف | تاریخ وقوع رگبار | زمان تا اوج (درصد) | مقدار بارش (میلی‌متر) | مدت بارش (ساعت) | شدت متوسط بارش(میلیمتر بر ساعت) | شدت بارش در پایه‌های زمانی مختلف (میلی‌متر بر ساعت) | | | | | | ضریب رواناب (درصد) | ارتفاع رواناب (میلی‌متر) | حجم رواناب (متر مکعب در هکتار) | بار رسوبی (تن در هکتار) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | ۱۰ | ۲۰ | ۳۰ | ۴۰ | ۵۰ | ۶۰ | ۹۰ | | | |
| ۱ | ۱۳۸۷/۱۱/۲۵ | ۶۶/۱۵۳ | ۲۲/۵ | ۳۴/۸۳ | ۰/۶۴۵۹ | ۵/۴ | ۴/۵ | ۴ | ۳/۶ | ۳/۴۸ | ۳/۴ | ۲/۵۳ | ۶/۵۹۵۷ | ۰/۰۶۰۱۰۴ | ۱۴/۸۶۱۴۵ | ۰/۰۳۰۸۳ |
| ۲ | ۱۳۸۸ /۱/۲۲ | ۹۷/۷۴ | ۱۱/۳ | ۲۲/۱۶۶ | ۰/۵۰۹۷ | ۹ | ۵/۱ | ۳/۸ | ۳ | ۲/۶۴ | ۲/۶ | ۲/۱۳۳ | ۱۱/۴۳۰۶ | ۰/۰۰۵۲۳۱۲ | ۱۲/۹۳۴۸۷ | ۰/۰۱۳۶۵۷ |
| ۳ | ۱۳۸۸/۸/۷ | ۸۵/۵۵ | ۲۹/۹ | ۳۰ | ۰/۹۹۶۶ | ۸/۴ | ۶/۳ | ۶/۸ | ۶/۱۵ | ۶ | ۵/۵ | ۴/۴۶ | ۳/۶۰۹۴۹ | ۰/۰۴۳۷۰۹۱ | ۱۰/۸۰۷۵۹ | ۰/۰۱۲۷۶۹ |
| ۴ | ۱۳۸۸ /۸/۱۲ | ۲۷ | ۱۱/۲ | ۴۷ | ۰/۲۳۸۲ | ۶ | ۵/۴ | ۴ | ۳/۴۵ | ۳/۱۲ | ۲/۸ | ۱/۹۳۳ | ۶/۲۰۰۵۰۰ | ۰/۰۲۸۱۲۵۵ | ۶/۹۵۴۳۶ | ۰/۰۰۸۸۶ |
| ۵ | ۱۳۸۸/۸/۲۷ | ۴۷/۱۳۶ | ۵۹/۵ | ۳۷/۸۳ | ۱/۵۷۲۸ | ۸/۴ | ۶/۳ | ۶ | ۶/۱۵ | ۵/۸۸ | ۵/۷ | ۵/۲۶۶ | ۴/۱۲۱۰۸ | ۰/۰۹۹۳۰۷۷ | ۲۴/۵۵۴۹۹ | ۰/۰۱۱۷۰۸ |
| ۶ | ۱۳۸۸/۹/۱۷ | ۸۶/۴۸ | ۱۱/۴ | ۱۲/۳۳ | ۰/۹۲۴۵ | ۶/۶ | ۵/۷ | ۵/۲ | ۴/۶۵ | ۴/۰۸ | ۳/۵ | ۳ | ۷/۵۲۰۵ | ۰/۰۳۴۷۲۲۲ | ۸/۵۹۷۴۹ | ۰/۰۰۴۰۹۵ |
| ۷ | ۱۳۸۸/۹/۲۶ | ۹۳/۷ | ۱۷ | ۲۱/۱۶۶ | ۰/۸۰۳۱ | ۶/۶ | ۴/۵ | ۳/۸ | ۳/۱۵ | ۲/۶۴ | ۲/۴ | ۲/۲۶۶ | ۵/۴۶۴۷ | ۰/۰۳۷۶۲۵ | ۹/۳۰۳۲۱۶ | ۰/۰۰۳۱۰۷ |
| ۸ | ۱۳۸۸/۱۰/۱۰ | ۲۸/۸۴۶ | ۹ | ۱۷/۳۳ | ۰/۵۱۹۲ | ۱/۸ | ۱/۵ | ۱/۴ | ۱/۳۵ | ۱/۲ | ۱/۲ | ۱/۰۶۶ | ۶/۳۱۰۰۱ | ۰/۰۲۲۷۶۴ | ۵/۶۸۷۰۱۶ | ۰/۰۰۱۶۸۷ |
| ۹ | ۱۳۸۸/۱۱/۵ | ۴۱/۳۶۸ | ۳۸/۱ | ۴۶/۳۳ | ۰/۸۲۲ | ۸/۴ | ۷/۵ | ۷/۲ | ۷/۰۵ | ۶/۳۶ | ۵/۶ | ۴/۴ | ۴/۳۲۷۴ | ۰/۰۶۶۷۷۵ | ۱۶/۵۱۰۸۹۱ | /۰۰۵۳۷۳۶ ۰ |
| ۱۰ | ۱۳۸۸/۱۱/۱۸ | ۲۳/۵ | ۲۵/۷ | ۴۴/۶۶ | ۰/۵۷۵۳ | ۶ | ۵/۴ | ۵ | ۴/۳۵ | ۴/۲ | ۴/۱ | ۳/۸ | ۳/۶۷۶۰۸ | ۰/۰۳۸۲۶۲۵ | ۹/۴۶۰۸۴۶ | /۰۰۳۰۳۱۷ ۰ |
| ۱۱ | ۱۳۸۸/۱۲/۷ | ۱۲/۸۴ | ۲۶/۹ | ۴۲/۸۳ | ۰/۶۲۸۰ | ۷/۸ | ۷/۵ | ۶/۸ | ۶ | ۵/۶۴ | ۵/۶ | ۴/۸۶۶ | ۷/۸۷۸۵۹ | ۰/۰۸۵۸۳۳ | ۲۱/۲۲۳۲۸۵ | ۰/۰۰۲۱۲۲ |
| ۱۲ | ۱۳۸۸/۱۲/۱۵ | ۷۸/۷۹ | ۳۴/۷ | ۴۷/۱۶۶ | ۰/۷۳۵۶ | ۱۰/۸ | ۸/۷ | ۸ | ۷/۵ | ۷/۰۸ | ۶/۵ | ۵/۴ | ۱/۸۰۰۶ | ۰/۰۲۵۳۰۵۵ | ۶/۲۵۷۰۹۱ | ۰/۰۰۵۳۷۶ |
| ۱۳ | ۱۳۸۹/۱/۷ | ۹۸ | ۱۵ | ۸/۳۳ | ۱/۸ | ۹/۶ | ۶/۶ | ۵/۶ | ۴/۵ | ۳/۷۲ | ۳/۲ | ۲/۴۶ | ۵/۷۳۱۸۲ | ۰/۰۳۴۸۲۰۸ | ۸/۶۰۹۸۵۴ | ۰/۰۰۲۸۰۷ |
| ۱۴ | ۱۳۸۹/۱/۲۰ | ۷۶/۶۲ | ۳۵/۴ | ۴۳/۵ | ۰/۸۱۳۷ | ۱۹/۸ | ۱۶/۸ | ۱۱/۶ | ۹/۶ | ۸/۲۸ | ۷/۶ | ۵/۸ | ۳/۴۸۵۱ | ۰/۰۴۹۹۶۶ | ۱۲/۳۵۴۸۶۸ | ۰/۰۲۶۴۵۴ |
| ۱۵ | ۱۳۸۹/۲/۴ | ۶۲/۵ | ۳۵/۴ | ۲۴ | ۱/۴۷۵ | ۲۱ | ۱۹/۵ | ۱۳/۶ | ۱۱/۷ | ۹/۸۴ | ۸/۳ | ۶ | ۴/۳۱۸۶۶ | ۰/۰۶۱۹۱۶۶ | ۱۵/۳۰۹۶۱۲ | /۰۳۴۷۲۵ |
| ۱۶ | ۱۳۸۹/۲/۹ | ۴۱/۱۲ | ۱۴/۳ | ۱۷/۸۳ | ۰/۸۰۱۸ | ۱۱/۴ | ۱۰/۲ | ۹/۴ | ۸/۸۵ | ۷/۵۶ | ۶/۷ | ۴/۸ | ۴/۶۹۷۹۷ | ۰/۰۲۷۲۰۸ | ۶/۷۲۷۵۷۵ | ۰/۰۰۳۶۷۴ |
| ۱۷ | ۱۳۸۹/۲/۱۲ | ۵۵/۷۳ | ۱۱/۷ | ۱۰/۱۶ | ۱/۱۵۱۵ | ۷/۸ | ۶/۹ | ۵/۶ | ۴/۹۵ | ۴/۶۸ | ۴/۶ | ۳/۵۳ | ۶/۲۱۶۸ | ۰/۰۲۹۴۵۸۳ | ۷/۲۸۳۹۱۳ | ۰/۰۰۴۹۹۷ |
| ۱۸ | ۱۳۸۹/۲/۲۳ | ۱۱/۶ | ۱۰/۹ | ۳۷/۳۳ | ۰/۲۹۱۹ | ۲۴ | ۱۶/۸ | ۱۱/۴ | ۸/۷ | ۷/۰۸ | ۵/۹ | ۴ | ۶/۰۹۷۳ | ۰/۰۲۶۹۱۶۶ | ۶/۶۵۵۴۵ | ۰/۰۲۱۴۳۱ |

جدول ۴- ماتریس همبستگی رسوب و رواناب با سایر مشخصه‌های محاسبه و اندازه‌گیری شده رگبارها

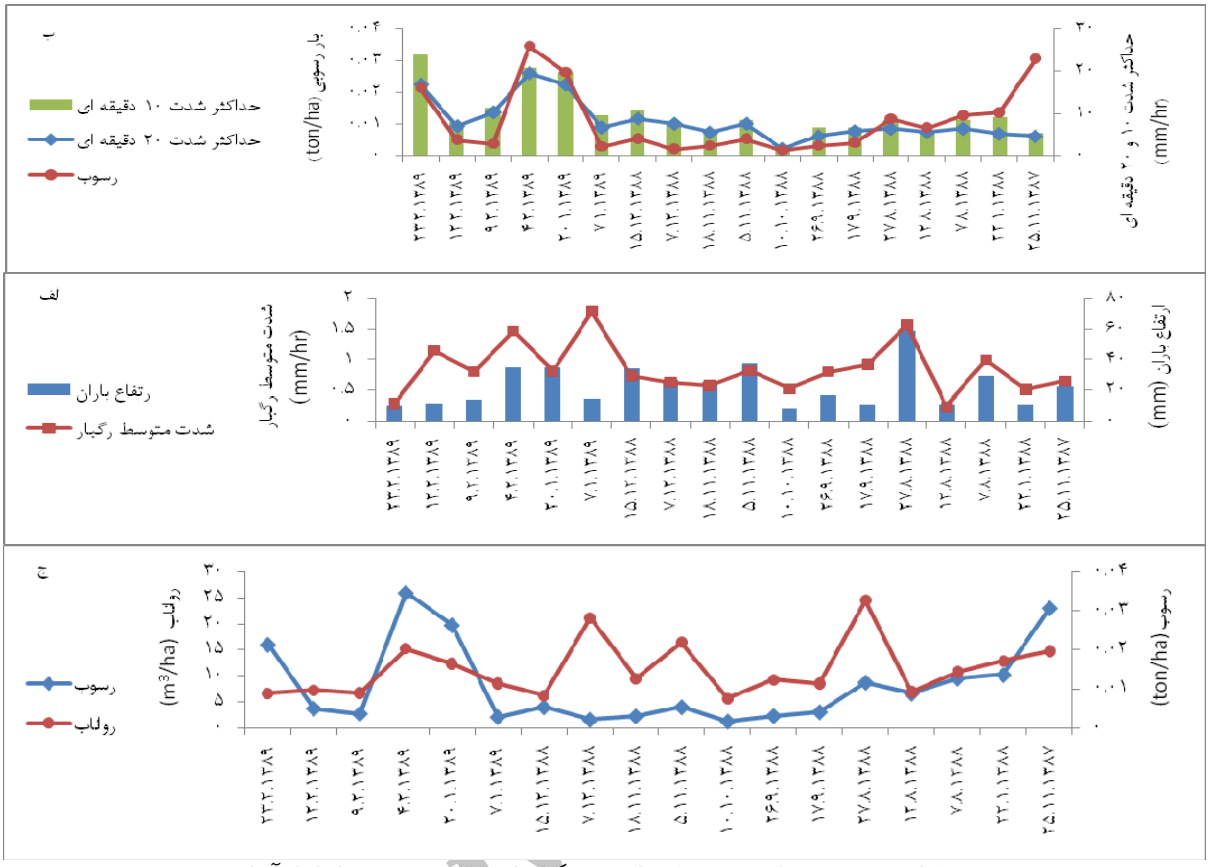
| | رواناب | رسوب | ضریب رواناب | شدت متوسط | شدت بارش در پایه‌های زمانی مختلف (میلی‌متر بر ساعت) | | | | | | ارتفاع رگبار | مدت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | ۱۰ | ۲۰ | ۳۰ | ۴۰ | ۵۰ | ۶۰ | ۹۰ | |
| رواناب | ۱ | ۰/۱۸۶** | ۰/۳۹** | ۰/۲۷۳** | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۵۳ | ۰/۰۹۶ | ۰/۱۵۱** | ۰/۱۹۴** | ۰/۲۴۵** | ۰/۳۴۳** | ۰/۲۷۳** |
| رسوب | | ۱ | ۰/۰۶۵ | ۰/۰۳۱ | ۰/۳۶۶** | ۰/۳۷۲** | ۰/۳۲۳** | ۰/۲۹۴** | ۰/۲۸** | ۰/۲۶۵** | ۰/۲۰۱** | ۰/۱۱۷* |

جدول ۵- بهترین روابط رگرسیونی بین ویژگی‌های رگبار و رواناب و رسوب در هر دو الگو به صورت جداگانه

| الگوی بارش | مدل | سطح معنی‌داری | ضریب تبیین | خطای تخمین | خطای تأیید |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | $S = 5.407*1.119^{I_{10}}$ | کمتر از ۰/۰۵ | ۰/۸۸۶ | ۳۴/۹۴ | ۳۶/۸ |
| ۱ | $R = -2.09-15.55H$ | کمتر از ۰/۰۵ | ۰/۹۴۳ | ۱۸ | ۱۱ |
| ۲ | $S = 5.463I_{10}+1722.18R-83.34$ | کمتر از ۰/۰۵ | ۰/۹۷۶ | ۱۸ | ۳۸ |




شکل ۲- برخی از منحنی تجمعی رگبارهای مشاهداتی در دوره مورد مطالعه




شکل ۳- روند تغییرات برخی مولفه‌های مهم رگبارها و رواناب و رسوب حاصل از آنها

## بحث و نتیجه‌گیری:

در کل دوره مورد مطالعه در مجموع ۴۶ رخداد بارش با مقدار و مدت‌های مختلف به وقوع پیوست که از این تعداد ۲۵ رخداد با مقدار بیشتر از ۵ میلی‌متر وجود داشت و فقط ۱۸ رخداد آن منجر به تولید رواناب و رسوب شد که از این تعداد ۸ رخداد در الگوی ۱ و ۱۰ رخداد در الگوی ۲ قرار گرفت (جدول ۱). نتایج مربوط به پارامترهای محاسبه شده رگبارها و رواناب و رسوب حاصل از آن‌ها و منحنی تجمعی برخی از رگبارها در جدول ۳ و شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۳ و شکل ۳-الف مشاهده می‌گردد که در طی دوره پژوهش بیشترین و کمترین مقدار بارندگی به میزان ۵۹/۵ و ۹ میلی‌متر به ترتیب مربوط به رخدادهای ۱۳۸۸/۸/۲۷ و ۱۳۸۸/۱۰/۱۰ می‌باشد. همچنین بیشترین و کمترین شدت متوسط بارندگی به مقدار ۱/۸ و ۰/۲۳۸۲ میلی‌متر بر ساعت مربوط به رخدادهای ۱۳۸۹/۱/۷ و ۱۲/ ۸/ ۱۳۸۸ می‌باشد (شکل ۳- الف). نتایج مربوط به مقایسه میانگین زمان تا اوج شدت رگبار (جدول ۱) ضریب رواناب، بار رسوبی، رواناب و غلظت رسوب (جدول ۲) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود تفاوت معنی‌داری (درسطح‌های ۹۵ و ۹۹ درصد) بین زمان تا اوج شدت رگبار در دو الگو مشاهده می‌شود.

در جدول ۳ اختلاف معنی‌داری بین ضریب رواناب دو الگو دیده نمی‌شود اما در کل مقدار آن در الگوی ۲ بیشتر از الگوی ۱ می‌باشد. اگرچه بین مشخصه‌های رگبارها در دو الگو تفاوت معنی‌داری دیده نشد اما بین غلظت رسوب و بار رسوبی دو الگو، تفاوت معنی‌داری در سطح ۹۹

درصد وجود دارد و مقدار بار و غلظت رسوب در الگوی ۲ بیشتر از الگوی ۱ می‌باشد. مقدار رواناب نیز در دو الگو دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشد اما مقدار رواناب در الگوی ۱ بیشتر از الگوی ۲ می‌باشد. با نگاه بیشتر به جداول ۱ و ۲ مشاهده می‌شود که با وجود بالا بودن مقدار رواناب در الگوی ۱ آما رسوب الگوی ۲ بیشتر می‌باشد. در الگوی ۱ ضریب رواناب کمتر از الگوی ۲ می‌باشد اما بر عکس مقدار رواناب الگوی ۱ بیشتر از الگوی ۲ است که دلیل آن به بالاتر بودن تداوم و ارتفاع بارش در الگوی ۱ است (تداوم و ارتفاع بیشترین همبستگی را با رواناب دارند، جدول ۴) به‌طوری که بارش‌های طولانی مدت و با شدت کم منجر به تولید رواناب بیشتری شده است اما در الگوی ۲ بارش‌های کوتاه مدت اما شدید منجر به تولید رسوب بیشتری در مقایسه با الگوي ۱ شده است (Wei *et al.*, 2007; Mathys *et al.*, 2005).

نتایج مربوط به تعیین ضریب همبستگی و روابط رگرسیونی بین رواناب و رسوب با مشخصه‌های بارش در جدول ۴ و ۵ آمده است. یافته‌هاي مبین این است که تولید رسوب با رواناب، حداکثر شدت‌های ده، بیست، سی، چهل، پنجاه، شصت و نود دقیقه‌ای، ارتفاع و مدت رگبار دارای همبستگی معنی‌دار می‌باشد و با مشخصه‌های حداکثر شدت ۲۰ (Gholami, 2007) و ۱۰ دقیقه‌ای دارای بیشترین همبستگی و به ترتیب برابر با ۰/۳۷۲ و ۰/۳۶۶ می‌باشد، بنابراین بر خلاف آنچه که در شاخص فرسایندگی باران موجود در مدل USLE دیده می‌شود در حوضه مورد مطالعه اگر از حداکثر شدت ۱۰ و ۲۰ دقیقه‌ای در فرآیند مدل سازی تولید رسوب استفاده شود نتایج بهتری نسبت به حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای به دست خواهد آمد (جدول ۵) که با نتایج Gholami *et al.*, (2007) مبنی بر نقش کنترلی شدت ۲۰ دقیقه‌ای رگبار در تبیین رسوب ناشی از رگبارها مطابقت دارد. ماتریس همبستگی همچنین نشان می‌دهد که رواناب دارای همبستگی معنی‌داری با شدت متوسط، حداکثر شدت‌های چهل، پنجاه، شصت و نود دقیقه‌ای و ارتفاع و مدت رگبار می‌باشد و بیشترین همبستگی را با مدت، ارتفاع بارش و شدت متوسط (به ترتیب ۰/۲۷۳، ۰/۶۰۲ و ۰/۲۷۳) دارد که با نتایج Arnaez *et al.*, (2007) مبنی بر همبستگی مثبت رواناب با شدت بارندگی مطابقت دارد.

همانطور که ملاحظه مي‌گردد، رواناب و تولید رسوب دارای تغییرات زیاد از یک رگبار به رگبار دیگر می‌باشد (شکل ۳ - ب) که یافته‌های Seeger (2007) و Martínez-Zavala *et al.*, (2008) نیز مؤید این امر می‌باشد، به طوری که بیشترین مقدار تولید رسوب مربوط به رگبار ۱۳۸۹/۲/۴ با مقدار ۰/۰۳۴۷۷۵۹۹۳ تن در هکتار و کمترین میزان تولید رسوب مربوط به رگبار ۱۳۸۸/۱۰/۱۰ با مقدار ۰/۰۰۱۶۸۷۵۶ تن درهکتار می‌باشد.

با توجه به ویژگي‌های رگبار ۱۳۸۹/۲/۴ مشخص گردید که این رگبار دارای زمان تا اوج شدت لحظه‌ای، مقدار و شدت متوسط به ترتیب برابر با ۶۲/۵ درصد، ۳۵/۴ میلی‌متر و ۲۴ میلی‌متر در ساعت می‌باشد (جدول ۳) و در گروه رگبارهای الگوی ۲ با قدرت تولید رسوب بالا (جدول ۲) قرار می‌گیرد و حداکثر شدت لحظه‌ای و نیز بیشترین مقدار بارندگی در نیمه دوم رگبار و زمانی که خاک اشباع شده است رخ داده است (شکل ۲). از طرف دیگر با توجه به همبستگی بالای تولید رسوب با حداکثر شدت ۲۰ و ۱۰ دقیقه‌ای (جدول ۴) و نیز اینکه این رگبار دارای بیشترین شدت ۲۰ دقیقه‌ای است و از نظر حداکثر شدت ۱۰ دقیقه‌ای در رده دوم می‌باشد (شکل ۳- ب) پس تولید رسوب در این رگبار بالا می‌باشد. همچنین بالا بودن تولید رسوب را می‌توان به همزمان بودن ذوب برف با بارش بهاره نسبت داد (MirAbulghasemi & Morid, 1995; Gholami, 2007; Ali *et al.*, 2007; Rekolainen, 1989). رگبار ۱۳۸۸/۱۰/۱۰ دارای زمان تا اوج شدت لحظه‌ای، مقدار و شدت متوسط به ترتیب برابر با ۲۴/۸۴ درصد، ۹ میلی‌متر و ۰/۵۱۹۲ میلی‌متر بر ساعت می‌باشد و در الگوی ۱ قرار می‌گیرد که به طور معمولی قدرت کمتری در تولید رسوب دارا می‌باشد (جدول ۲) اگرچه بیشترین مقدار بارش در نیمه دوم

رگبار صورت گرفته است (شکل ۲) اما دارای حداقل تولید رسوب می‌باشد. کم بودن تولید رسوب در این رگبار را می توان به مقدار کم بارش در مدت زیاد رگبار (۱۷ ساعت) و نیز به حداقل بودن حداکثر شدت ۱۰ و ۲۰ دقیقه‌ای نسبت داد (جدول ۳ و شکل ۳- ب) که با نتایج (Mathys *et al.*, 2005) مبنی بر افزایش یافتن مقدار رواناب و فرسایش با افزایش شدت باران و کم شدن فاصله بین بارندگی مطابقت دارد.

همچنین قرار گرفتن رگبار در دی ماه از دیگر عوامل کم بودن تولید رسوب می‌باشد به نحوی که وجود یخبندان و لایه برف به عنوان عامل محافظتی برای خاک عمل می-کند و منجر به تولید رسوب کم در این ماه می‌شود (Gholami, 2007). با نگاه به جدول ۳ و شکل ۳- ج، مشاهده می‌شود که حداکثر مقدار تولید رواناب مربوط به رگبار ۱۳۸۸/۸/۲۷ با مقدار ۲۴/۵۵۴۹۹۷۸ متر مکعب بر هکتار می‌باشد که زمان تا اوج شدت لحظه‌ای، مقدار و شدت متوسط (شکل ۳- الف) آن به ترتیب برابر با ۴۷/۱۳۶ درصد، ۵۹/۵ میلی‌متر و ۳۷/۸۳ میلی‌متر بر ساعت است. دارا بودن شدت متوسط بالا و حداکثر مقدار بارش (ضریب همبستگی به ترتیب برابر با ۰/۶۰۳ و ۰/۳۷۳ با مقدار رواناب) و قرار گرفتن در ماه آبان و کم بودن پوشش گیاهی در این فصل از دیگر عوامل بالا بودن مقدار رواناب می‌باشد.

حداقل تولید رواناب مربوط به رگبار ۱۳۸۸/۱۰/۱۰ (شکل۳- ج) با مقدار ۵/۶۹ متر مکعب بر هکتار مربوط به رخدادی با زمان تا اوج شدت لحظه‌ای، مقدار و شدت متوسط برابر با ۲۸ درصد، ۹ میلی‌متر و ۰/۵ میلی‌متر بر ساعت می‌باشد (جدول ۳)، حداقل تولید رواناب در این رگبار را می‌توان به حداقل بودن موثرترین فاکتورها بر تولید رواناب و رسوب در منطقه مورد مطالعه نظیر حداکثر شدت‌های ۹۰ و ۶۰ دقیقه‌ای و نیز بارش کم در مدت زمان زیاد نسبت داد (جدول ۳ و شکل ۳-الف). در نگاه اول به شکل شماره ۳- ب رگبار ۱۳۸۷/۱۱/۲۵ با توجه به اینکه دارای حداکثر شدت ۱۰ و ۲۰ دقیقه‌ای کم و مقدار باران کم است اما رسوب بالا می‌باشد در ابتدا فرض نامعتبر بودن داده‌های بارش مطرح می‌شود اما با توجه به آمار ایستگاه موجود در حوزه استنباط می‌شود که در روزهای قبل از تاریخ مذکور برف‌ها شروع به ذوب شدن نمودند در نتیجه رطوبت بیشین خاک و رواناب بیشتر شده (از بیست و یکم تا بیست و پنجم بهمن ۱۳۸۷، ۹۶ میلی‌متر آب معادل ذوب برف ثبت شده) و از طرف دیگر ذوب برف منجر به آزاد شدن حجم زیادی ذرات ریز خاک شده که در طول یخ بستن تخریب شده بود و خاک را مستعد به فرسایش کرده به نحوی که با بارش کم مربوط به رگبار ۱۳۸۷/۱۱/۲۵ رسوب و رواناب قابل توجهی درمخزن جمع شده است (Zachar, 1982) که با نتایج Ward & Bolton (1991); Duiker *et al* (2001); Vahabi & Nikkami (2008) مبنی بر نقش تعیین کنندگی و تأثیر رطوبت پیشین بر افزایش رواناب و فرسایش خاک مطابقت دارد.

## نتیجه‌گیری

در ابتداي اين پژوهش سعي شد تا با توجه به شاخص-هاي ۳۳ و ۶۶ درصد از سپري شدن زمان بارش تا رسيدن به حداكثر شدت لحظه‌اي، رگبارها به سه تيپ تقسيم‌بندي شود و اين كار انجام گرفت اما نتايج حاصل از آزمون‌هاي آماري نشان داد كه بين تيپ‌هاي مورد نظر تفاوت معني‌داري موجود نمي‌باشد، تا اينكه در نهايت در گروه‌بندي رگبارها به دو تيپ، نتايج نشان داد اگرچه بين دو گروه رگبار تفاوت معنی‌داری از لحاظ مشخصات رگبار ديده نشد اما رواناب و رسوب توليد شده داراي حساسيت متفاوتی به گروه‌بندی صورت گرفته بود. بطوريكه ميانگين حجم رواناب در الگوی ۱ بيشتر از الگوی ۲ بود. همچنين بار رسوب و غلظت رسوب در رگبارهای الگوی ۲ بيشتر بود.

لذا با توجه به شرايط پژوهش، از جمله تعداد رگبارهاي رخداده در دوره مورد مطالعه و طول دوره نمونه‌برداري و نيز نظر به نتايج به دست آمده، تعداد دو تيپ هم از نظر آماري و هم از نظر شرايط پژوهش يک مقدار بهينه و قابل بررسي مي‌باشد و به همين دليل از دو تيپ رگبار در

مقاله استفاده شد. احتمالاً عدم وجود اختلاف بین تیپ‌هاي بیشتر ذکر شده در بالا، به دلیل تعداد رگبارها می‌باشد. لذا با توجه به نتایج به دست آمده و ضرورت دست‌یابی به جمع بندی‌های نهایي، انجام بررسی‌های دقیق در دوره‌های مطالعاتی طولانی‌تر با تعداد بیشتر رگبار و گروه‌بندی در الگوهای بیشتر پیشنهاد می‌شود.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند تا از همکاری آقای مهندس خالدی (دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس) و آقای دکتر محمد حسین از دانشگاه بابل عراق و همچنین از اداره کل منابع طبیعی استان کردستان، آقای مرادی، مهندس کرم‌زاده و سعیدی تشکر و قدردانی نمایند.

## References

- Ali, K.F., De Boer, D.H., 2007. Spatial patterns and variation of suspended sediment yield in the upper Indus River basin, northern Pakistan. Journal of Hydrology 334, 368-387.
- Arnaez, J., Lasanta, T., Ruiz-Flano, P., Ortigosa, L., 2007. Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. Soil & Tillage Research 93, 324-334.
- De Lima, J.L.M.P., Singh, V.P., Isabel, M., 2003. The influence of storm movement on water erosion: storm direction and velocity effects. Catena 52, 39–56.
- Department of natural resources of Kurdistan province, 2010. Report on assessing the capability of lands (case study: representative basin of Khamsan). 55 pp.
- Dijk, A.I.J.M., Bruijnzeel, L.A., Rosewell, C.J., 2002. Rainfall intensity-kinetic energy relationships: a critical literature appraisal. Journal of Hydrology 261, 1–23.
- Duiker, S.W., Flangman, D.C., Lal, R., 2000. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of south-west Spain. Catena 45, 103–121.
- Endale, D.M., Fisher, D.S., Steiner, J.L., 2006. Hydrology of a Zeroorder Southern Piedmont watershed through 45 years of changing agricultural land use. Part 1. Monthly and seasonal rainfallrunoff relationship. Journal of Hydrology 316, 1–12.
- Foster, G.R., Simanton, L.R., Renard, K.G., Lane, L.J., Osborne, H.B., 1980. Discussion of "Application of the Universal Soil Loss Equation to Rangelands on a Per-Storm Basis. Journal of Range Management 34, 161–5.
- Gholami, L., 2007. Modeling of storm-wise sediment yield in part of Ghshlagh Watershed of Kurdistan Province. M.Sc Thesis. Faculty of Tarbiat Modaress of noor. 90 PP.
- Gholami, L., Sadeghi, S.H.R., Khaledi Darvishan, A.V., Telvari, A.R., 2008. Storm-Wise sediment yield prediction using rainfall and runoff variables. Journal of Soil and Water 22, 263-271.
- Kavian, A., Azmodeh, A., Soleimani, K., Vahabzadeh, Gh., 2010. The effect of soil characteristics on runoff and sediment yield in forest area. Journal of Range and Watershed Management 63 89-104.
- Kelarestaghi, A., Ahmadi, H., Esmali, A., Jafari, M., Ghodosi, J., 2008. Comparison of Runoff and Sediment Yield from Different Agricultural Treatments. Journal of Iran Watershed Management Science & Engineering 2, 41-53.
- Kirkby, M.J., Bracken, L.J., Shannon, J., 2005. The influence of rainfall distribution and morphological factors on runoff delivery from dryland catchments in SE Spain. Catena 62, 136–156.
- Lange, J., Greenbaum, N., Husary, S., Ghanem, M., Leibundgut, C., Schick, P., 2003. Runoff generation from successive simulated Rainfalls on a rocky, semi-arid, Mediterranean hillslope. Hydrological Processes 7, 279-296.
- Li, F., Cook, S.G.T., Burch, W.R., 2000. Rainwater harvesting agriculture: an integrated system for water management on rainfed land in China's semiarid areas. AMBIO. 29, 477–483.
- Licznar, P., Nearing, M.A., 2003. Artificial neural networks of soil erosion and runoff prediction at the plot scale. Catena 51, 89–114.
- Luk, S.H., Abrahams, A.D., Parsons, A.J., 1986. A simple rainfall simulator and trickle system for hydro-geomorphological experiments. Physical Geography 7, 344–356.
- Martinez-Zavala, L., Jordan Lopez, A., Bellinfante, N., 2008. Seasonal variability of runoff and soil loss on forest road back slopes under simulated rainfall. Catena 74, 73-79.

- Mathys, N., Klotz, S., Esteves, M., 2005. Runoff and erosion in the Black Marls of the French Alps: observations and measurements at the plot scale. Catena 63, 261–281.
- Mazi, K., Koussis, A.D., Restrepo, P.J., 2004. Erratum to A groundwater based objective heuristic parameter optimization method for a precipitation runoff model and its application to a semiarid basin. Journal of Hydrology 299, 160–161.
- Meyer, L.D., 1994. Rainfall simulator for erosion research. In: Lal, R. (Ed), Soil Erosion Methods, 2ed Edition. Soil and Water Conservation Society (Ankeuy) and St Luice Press, Delray Beach, FL, pp. 83-103.
- Mirabolghasemi, H., Morid, S., 1995. Investigation of hydrological approaches for estimation of suspended load in rivers. Journal of Water and Development 3, 54-67.
- Nearing, M.A., 2001. Potential changes in rainfall erosivity in the US with climate change during 21st century. Journal of Soil and Water Conservation 56, 229–232.
- Rekolainen, S., 1989. Effect of snow and soil frost melting on the concentrations of suspended solids and phosphorus in two rural watersheds in Western Finland. Aquatic. Journal of Science 51, 211–223.
- Sadeghi, S.H.R., Pourghasemi, H.R., Mohammadi, M., Agharazi, H.A., 2008. Applicability of Rainfall and Runoff Variables in Estimation of Storm-Wise Sediment Yield from Experimental Plots with Different Land Uses. Journal of water and soil 22, 114-122.
- Seeger, M., 2007. Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. Catena 71, 56-67.
- Shabani, M., Feiznia, S., Ahmadi, H., Ghodosi, J., 2008. Investigation and determination of effective factors on sediment production and yield of drainage basins (Case Study: Taleghan Drinage Basin). Journal of the Iranian Natural Resources 60, 759-771.
- Sharma, P.P., Gupta, S.C., Foster, G.R., 1993. Predicting soil detachment by raindrops. Soil Science Society of America Journal 57, 674–680.
- Thomas, A., Walsh, R., Shakesby, R., 1999. Nutrient losses in eroded sediment after fire in eucalyptus and pine forest in wet Mediterranean environment of northern Portugal. Catena 36, 183-302.
- Vahabi, J., Nikkami, D., 2008. Assessing dominant factors affecting soil erosion using a portable rainfall simulator. International Journal of Sediment Research 23, 376-386.
- Ward, T.J., Bolton, S.M., 1991. Hydrology parameters for selected in Arizona and New Mexico as determined by rainfall simulation. New Mexico Water Resources Research Institute. pp. 216-239.
- Wei, W., Liding, C., Bojie, F., Zhilin, H., Dongping, W., Lida, G., 2007. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. Journal of Hydrology 335, 247– 258.
- Zachar, D., 1982. Soil Erosion, Development in Soil Science. 549p.
- Zheng, F.L., 2006. Effect of Vegetation Changes on Soil Erosion on the Loess Plateau. Pedosphere 16, 420-427.

# Effect of Rainfall Type on Runoff and Sediment Yield in Plot Scale

**A. Kavian[*1] and M.A. Mohammadi[2]**

[1] Assistant Prof., College of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I.R. Iran

[2] M.Sc. in Watershed Management College of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I.R. Iran

(Received: 01 May 2011, Accepted: 16 January 2012)

## Abstract

Investigation of the relationship between rainfall characteristics with runoff and sediment yield is a fundamental study in designing and operating soil and water conservation practices. In this research, the effect of rainfall types on runoff and sediment yield was studied in the plot scale in the Khamsan Watershed located in Kurdistan province. Time to reach the storm maximum intensity was considered as a rainfall type index, based which all rainfalls divided into two types. Runoff, sediment concentration, sediment load and runoff coefficient were also measured in the 22.1 meter length and 1.83 meter width plot for each storm. The results showed that there was a significant difference between rainfall types at the level of 99 percent. In addition, there were significant differences at level of 99% in the runoff, sediment concentration and sediment load between different types of rainfalls. So those, the mean of runoff volume in the type 1 were significantly more than that of type 2 at the significant level of 5 percent. Also, the sediment load and sediment concentration were significantly more in type 2 storms at the level of less than 5 percent. Moreover, bivariate and multivariate modeling of runoff and sediment yield with rainfall characteristics were done and the results showed that the storm runoff could be predicted by the height of precipitation in type 1, the sediment yield of each storm could be predicted by maximum intensity in ten minute of type 1 storm and the maximum intensity in ten minute and runoff of type 2 storm by maximum value of $R^2$ while minimum values of relative errors of estimation and verification.

**Keywords:** Rainfall type, Runoff production, Sediment yield, Erosion plot, Storm maximum intensity

*Corresponding author: Tel: +98 911 3221326 Fax: +98 151 2442982 E-mail: a.kavian@sanru.ac.ir