

تغییرات مکانی رواناب، رسوب و آستانه شروع رواناب در حوزه آبخیز قره‌شیران اردبیل

ابراهیم عسگری^۱، اباذر اسمعیلی عوری^{۲*}، رئوف مصطفی زاده^۳ و غلامرضا احمدزاده^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. دانشیار، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳. استادیار، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۴. استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(دریافت: ۹۶/۱۲/۱۲، پذیرش نهایی: ۹۷/۷/۳)

چکیده

تعدد عوامل مؤثر در خصوصیات حوزه آبخیز منجر به تغییرات مکانی و زمانی در فرآیندهای تولید رواناب و رسوب می‌شود. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تغییرات مکانی مقادیر رواناب، رسوب و آستانه شروع رواناب با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی بارش در حوزه آبخیز قره‌شیران اردبیل انجام گرفت. شبیه‌سازی بارش با استفاده از دستگاه باران‌ساز در ۴۵ نقطه در سازندهای مختلف زمین‌شناسی حوزه آبخیز انجام و پس از اندازه‌گیری مقدار رواناب و رسوب در هر نمونه متغیرهای مورد مطالعه با روش کریجینگ درون‌یابی و تغییرات مکانی ارزیابی و ارتباط مکانی مقادیر این متغیرها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نقشه‌های درون‌یابی نشان داد که سازندهای بخش‌های بالادست حوزه آبخیز (گدازه‌های داسیتی و تراکیتی) در آستانه‌های پایین (۳/۱۷-۱/۹۹ دقیقه) رواناب تولید می‌شود و به سمت سازندهای بخش‌های پایین‌دست (مانند پادگانه‌های آبرفتی قدیمی) آستانه تولید رواناب (۶/۱۳-۷/۲۵ دقیقه) افزایش می‌یابد. مقدار رواناب در بالادست حوزه (گدازه‌های داسیتی و تراکیتی)، زیاد (۶/۰۷-۷/۲۵ لیتر بر مترمربع) ولی مقدار رسوب کم (۱/۶۶-۱/۲۵ گرم بر لیتر) و در پایین‌دست حوزه (مانند پادگانه‌های آبرفتی قدیمی) مقدار رواناب تولیدی کم (۳/۵۰-۲/۲۰ لیتر بر مترمربع) و مقدار رسوب تولید شده بیشتر (۳/۵-۲/۲۵ گرم بر لیتر) می‌باشد. نتایج ارتباط بین مقادیر تغییرات رسوب، رواناب و آستانه شروع رواناب در نرم‌افزار Surfer نشان داد که در آستانه‌های بالای ۴ دقیقه و رواناب‌های بین ۲/۵-۵/۵ لیتر، مقدار رسوب بیشتر از حدود ۲ گرم بر لیتر می‌باشد و به‌طور کلی می‌توان گفت که در آستانه‌های پایین اثر تولید رواناب بر تولید رسوب در حوزه بیشتر است و در آستانه‌های بالا اثر تولید رواناب کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مکانی، شبیه‌سازی باران، آستانه شروع رواناب، سازند زمین‌شناسی، آبخیز قره‌شیران.

۱. مقدمه

همکاران، ۲۰۰۴؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸). علاوه بر تغییرپذیری الگوهای بارش در زمان و مکان، عوامل خاک مؤثر در تولید رواناب و رسوب مانند ظرفیت نفوذ، رطوبت، فرسایش‌پذیری و پایداری خاک نیز بسیار متغیر می‌باشند (محمدی و کاویان، ۱۳۹۰؛ سیگر، ۲۰۰۷). همین‌طور به‌دلیل تغییرات مکانی این عوامل تولید رواناب و رسوب نیز غیریکنواخت و متغیر می‌باشد (تروندل، ۱۹۸۵؛ جردن، ۱۹۹۴؛ واعظی و همکاران، ۲۰۱۰). علاوه بر این، تغییرات مکانی این ویژگی‌ها ممکن است تحت تأثیر تغییرات کاربری اراضی، پستی و بلندی، انواع

تخمین دقیق رسوب‌دهی و تولید رواناب حوزه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است و به‌دلیل تعدد عوامل مؤثر در خصوصیات حوزه‌های آبخیز فرآیندهای تولید رواناب و رسوب در سطح حوزه آبخیز پیچیده است و دارای تغییرات مکانی و زمانی می‌باشد (دی‌ای‌ساتر و همکاران، ۲۰۰۱؛ واعظی و همکاران، ۲۰۱۰). رواناب و رسوب، دو عنصر مهم در چرخه هیدرولوژیکی می‌باشند که تغییرات آنها به‌طور مستقیم بر سیستم‌های رودخانه‌ای و محیط‌های رسوبی تأثیرگذار است و تغییرات مکانی و زمانی آنها مورفولوژی رودخانه‌ها را تغییر می‌دهد (آموس و

پوشش گیاهی، زراعت، مواد مادری و سازند زمین‌شناسی باشند (وانگ و کیوآی، ۱۹۹۸). حوزه‌هایی که در آنها بخش قابل توجهی از جریان آب از آب‌های زیرزمینی به دست می‌آید، کمتر به تغییرات آب و هوایی حساس می‌باشند و تغییرپذیری رواناب و رسوب نیز در این حوزه‌ها کمتر است (تاگوئه و همکاران، ۲۰۰۸). ویژگی‌های سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی حوزه‌های آبخیز از عوامل مهم و تأثیرگذار در فرسایش خاک و تولید رواناب و رسوب می‌باشد و حساسیت سنگ‌های مختلف در برابر فرسایش بسته به شرایط مختلف متفاوت است. خصوصیات سنگ‌شناسی مشخص‌کننده تنوع سنگ‌شناسی و مقاومت سنگ‌های موجود در مقابل عوامل فرسایش‌دهنده مانند رواناب می‌باشد (فیض‌نیا، ۱۳۷۴). با توجه به تفاوت خصوصیات خاک‌شناسی، مواد مادری و سازندهای زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و شیب در قسمت‌های مختلف یک حوزه، مقدار رواناب و رسوب تولیدی نیز در این مناطق متفاوت و دارای تغییرات مکانی خواهد بود. با توجه به حساسیت سازندهای زمین‌شناسی مختلف در یک آبخیز در برابر فرسایش، توان تولید رواناب و رسوب نیز متغیر می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده تغییرات آب و هوایی نیز می‌تواند تغییرات مهمی در رواناب و رسوب در منطقه ایجاد کند (چن و لیو، ۱۹۹۶؛ یانگ، ۲۰۰۰). تغییرات رواناب و رسوب تأثیرات معنی‌داری بر اکولوژی و منابع ذخیره آب و خاک حوزه آبخیز به‌ویژه در بخش‌های پایین‌دست می‌گذارد (پراتاپار و عبدولا، ۲۰۱۴؛ تاتسومی و یاماشیکی، ۲۰۱۵). از آنجایی که با تغییر عوامل مؤثر در تشکیل خاک، فرسایش‌پذیری خاک تحت تأثیر قرار گرفته و دچار تغییرات مکانی می‌شود لذا تولید رواناب و رسوب نیز در نقاط و سازندهای مختلف یک حوزه آبخیز متفاوت و متغیر می‌باشد (رنارد و فریرا، ۱۹۹۳). در این راستا یکنواخت فرض نمودن تغییرات رواناب و رسوب در یک منطقه موجب اعمال مدیریت واحد برای کنترل آنها در کل منطقه شده و علاوه بر عدم موفقیت

برنامه‌ریزی و عملیات اجرایی طرح‌ها در حوزه‌های آبخیز، موجب تحمیل هزینه‌های اضافی نیز می‌گردد (وروانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ واعظی و همکاران، ۱۳۸۷). تعیین و شناخت الگوهای پراکنش رواناب و رسوب در سطح حوزه آبخیز در تدوین روش‌های مناسب مهار و کنترل آنها و تخمین میزان فرسایش خاک مؤثر می‌باشد (مصباح، ۱۳۸۷). با مشخص نمودن الگوهای تغییرات مکانی رواناب و رسوب، می‌توان اقدام به پهنه‌بندی درجات شدت‌های مختلف فرسایش کرد، سپس اعمال تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مناسب و راهکارهای مؤثر اقتصادی، زمینه جلوگیری و یا کاهش تولید رواناب و رسوب در سازندهای زمین‌شناسی حساس به فرسایش را فراهم می‌کند (ایناکس و سولد، ۱۹۹۹؛ کاپاس و همکاران، ۲۰۰۳). در زیر به چند نمونه از تحقیقاتی که به بررسی تغییرات مکانی و زمانی رواناب و رسوب پرداخته‌اند اشاره شده است.

در مطالعه شکل‌آبادی و همکاران (۱۳۸۲) به منظور مقایسه رواناب، رسوب و گل‌آلودگی و شناسایی مواد مادری حساس و مقاوم به فرسایش در حوزه آبخیز گل‌آباد اردستان، از باران‌ساز استفاده شد و مشخص گردید که خاک‌های آندزیت سبزرنگ و آبرفتی با منشأ مخلوط آذرین و رسوبی دارای حداکثر رواناب و رسوب و خاک‌های با مواد مادری سنگ آهک کرتاسه بالایی، گرانودیوریت و رسوبات آبرفتی کمترین میزان رواناب و رسوب را داشتند. گلمحمدی و همکاران (۱۳۸۷) تغییرات مکانی رواناب در استان همدان را با معیارهای متوسط قدرمطلق خطا، متوسط خطای اریب، ریشه میانگین مربعات خطا و انحراف استاندارد عمومی و با استفاده از روش اعتبارسنجی حذفی مورد بررسی قرار دادند و نتایج پژوهش آنها نشان داد که روش کوکریجینگ ساده با مدل دایره‌ای به‌عنوان بهترین روش زمین‌آمار انتخاب شد. در پژوهشی که با هدف تعیین الگوی تغییرات مکانی و زمانی رسوب در حوزه آبریز قره‌سو استان اردبیل در ۷ ایستگاه هیدرومتری توسط

رواناب مشاهده نکردند. تجزیه و تحلیل داده‌های دبی و رسوب جریان اندازه‌گیری شده در طول چندین دهه، در حوزه آبخیز لانگ‌پیوانجیانگ در چین توسط لو (۲۰۰۵) انجام گرفت و نتایج مطالعه نشان داد که رسوبات پایین‌دست این رودخانه رواناب کمتر ولی بار رسوب بیشتری نسبت به بالادست آن تولید کردند که دلیل این امر را به تفاوت آب و هوایی بخش‌های پایین‌دست و بالادست رودخانه و پوشش گیاهی ضعیف در پایین‌دست رودخانه نسبت دادند. مورچ و اشمت (۲۰۰۶) دبی مؤثر دو رودخانه لويساج و لاهن‌ویسگرابن را در آلمان مورد بررسی قرار داده و به ترتیب ۴/۵ مترمکعب بر ثانیه در جریان‌های کم و نزدیک به دبی میانگین و بین ۲۵-۲۲ مترمکعب بر ثانیه دبی‌های بیشتر و یا مساوی میانگین دبی تعیین نمودند و دلیل این امر را به تفاوت تشکیلات زمین‌شناسی در دو حوزه آبخیز نسبت دادند. ما و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی تغییرات مکانی میزان و تداوم دبی مؤثر در دو منطقه تپه ماهوری لسی با تشکیلات زمین‌شناسی متفاوت و با انواع فرسایش آب‌کندی، شیار و بادی یک حوزه آبخیز در چین پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که مدت متوسط دبی مؤثر در دو منطقه با رسوبات لسی بین ۰/۰۲۶ تا ۳/۱۶ و بین ۱۸/۷۵ تا ۹۱/۵۱ درصد متغیر بوده است. همچنین مدت متوسط دبی مؤثر به‌طور قابل‌توجهی متأثر از تعداد و فواصل طبقات دبی و همچنین خصوصیات رژیم آب و رسوب می‌باشد. ایورنگ و همکاران (۲۰۱۱)، تولید مقدار دبی و رسوب حمل شده را در تعدادی از حوزه‌های آبخیز در جنوب‌غربی فرانسه را مورد ارزیابی قرار داده و نواحی با شرایط بحرانی را در حوزه مورد مطالعه شناسایی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که قسمت‌های بالایی و بالادست حوزه آبخیز به‌دلیل شیب و شدت بارندگی زیاد و پوشش گیاهی کم دارای شرایط بحرانی بودند. در مطالعه هو و همکاران (۲۰۱۱)، تغییرات مکانی و زمانی رسوب معلق را در ۳ بازه بالادست،

فرج‌زاده و قره‌چورلو (۱۳۹۰) انجام گرفت، نتایج نشان داد که بیشترین دبی متوسط سالانه ۶/۹۶ مترمکعب بر ثانیه و بیشترین رسوب متوسط سالانه ۱۷۴۹/۷۹ تن در روز، مربوط به ایستگاه دوست‌بیگلو و کمترین دبی و رسوب متوسط سالانه به ترتیب با مقادیر ۰/۱۲ مترمکعب بر ثانیه و ۱/۷ تن در روز مربوط به ایستگاه لای می‌باشد. شیخ‌ریعی و همکاران (۱۳۹۰) به‌منظور بررسی رواناب و تلفات خاک در واحدهای کاری حوزه آبخیز هیو، از شبیه‌ساز باران در ۱۷ واحد کاری استفاده نمودند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین میزان تولید رواناب، مربوط به آهک و دولومیت و بیشترین میزان تولید تلفات خاک مربوط به ماسه‌سنگ بوده است. اسمعلی و همکاران (۱۳۹۴) اثر پوشش گیاهی بر کاهش رواناب و هدررفت خاک را با استفاده از شبیه‌ساز باران در مراتع نشو استان مازندران بررسی نمودند. نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از آنالیز واریانس و مقایسه میانگین دانکن نشان داد که مقادیر مختلف پوشش گیاهی تأثیر معنی‌داری بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب در منطقه مورد مطالعه داشتند. مقدار بار رسوب در پوشش گیاهی حداقل، ۶/۸ برابر پوشش گیاهی حداکثر و ۱/۹۹ برابر پوشش گیاهی متوسط می‌باشد و آستانه شروع رواناب در پوشش گیاهی حداکثر به‌طور معنی‌داری بیشتر از پوشش‌های حداقل و متوسط گیاهی می‌باشد. احمدی و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی اثر تراکم کشت و زمان نمونه‌گیری بر میزان رواناب و رسوب نشان دادند که حداکثر میزان رواناب و رسوب در زمان نمونه‌گیری اول و حداقل آن در انتهای فصل رشد گیاهی بوده است. واعظی و بهتری (۱۳۹۶) به ارزیابی تأثیر مقدار رطوبت اولیه خاک بر تولید رواناب و هدررفت خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران پرداخت و نتیجه گرفت که، تفاوت معنی‌داری از نظر مقدار رواناب بین خاک‌های مطالعاتی در سطح یک درصد وجود داشت که این موضوع متأثر از مقدار رطوبت اولیه در خاک‌ها بود، ولی از نظر هدررفت خاک رابطه معنی‌داری بین هدررفت خاک و تولید

۲. مواد و روش

۲-۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

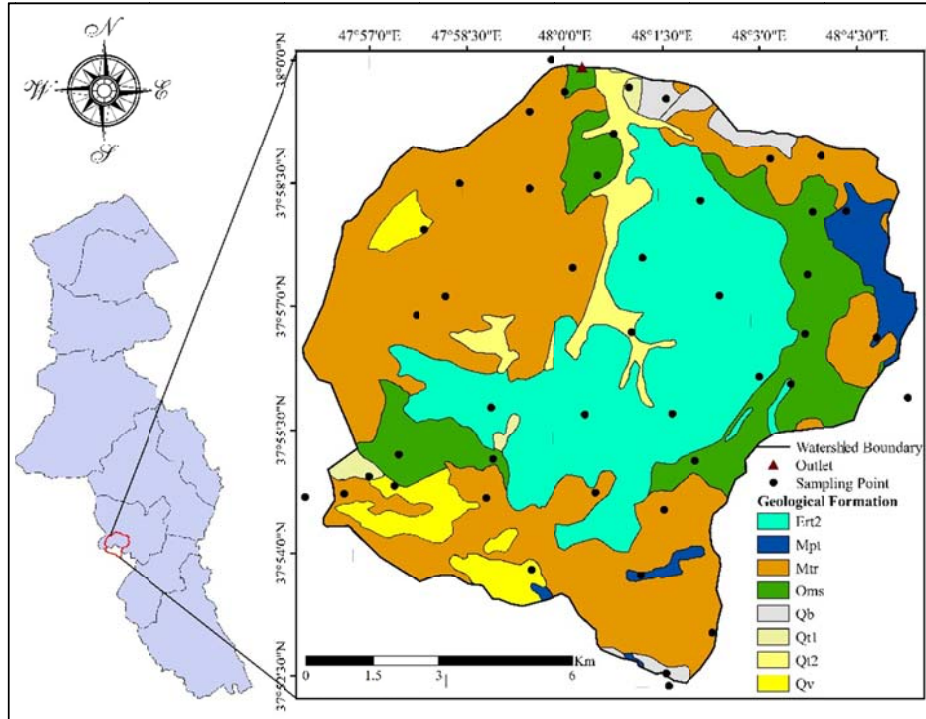
حوزه آبخیز قره‌شیران در جنوب غربی استان اردبیل می‌باشد و از نظر موقعیت جغرافیایی، در بین طول‌های "۳۲' ۴۷° تا "۵۳' ۰۴' ۴۸° شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۳۴' ۵۲' ۳۷° تا "۰۰' ۰۰' ۳۸° شمالی قرار دارد. این حوزه آبخیز از شمال به رودخانه دائمی بالخلوچای، از جنوب به حوزه آبخیز گرمی‌چای (استان آذربایجان شرقی)، از غرب به حوزه آبخیز امام‌چای و از شرق به حوزه آبخیز قوری‌چای محدود می‌شود. حوزه آبخیز قره‌شیران یکی از زیرحوزه‌های حوزه آبخیز قره‌سو محسوب می‌گردد. مساحت این حوزه آبخیز ۱۲۲۳۰ هکتار بوده و دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. حداکثر ارتفاع حوزه آبخیز ۲۳۶۷ متر در قسمت شرق و حداقل ارتفاع آن ۱۵۹۸ متر در قسمت شمال حوزه آبخیز قرار دارد. در شکل ۱ نقشه حوزه آبخیز قره‌شیران در استان اردبیل همراه با سازندهای زمین‌شناسی این حوزه و در جدول ۱ نیز مشخصات این سازندها ارائه شده است.

۲-۲. روش پژوهش

۲-۲-۱. انتخاب محل انجام نمونه‌برداری در عرصه

در تحقیق حاضر با توجه به اهمیت توزیع نقاط نمونه‌برداری در سراسر حوزه آبخیز، مکان نمونه‌ها با در نظر گرفتن مسیر دسترسی به نقاط و نیز نمونه‌برداری از سازندهای مختلف تعیین و به‌منظور بررسی گسترش سازندهای زمین‌شناسی حوزه آبخیز قره‌شیران با توجه به نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی (تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور)، پس از تهیه نقشه زمین‌شناسی این حوزه در نرم‌افزار ArcMap، مرز سازندهای مختلف زمین‌شناسی حوزه آبخیز قره‌شیران تعیین و با توجه به تنوع بالای سازندهای زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه، از طریق تلفیق سازندهای با ضریب مقاومت در برابر فرسایش یکسان، سازندها در طبقات کمتر به روش فیض‌نیا (۱۳۷۴) کلاسه‌بندی شدند.

بخش میانی و پایین‌دست رودخانه در حوزه آبخیز چانگک‌چیان رودخانه یانگ‌تسه مورد بررسی قرار گرفت و تغییرات زمانی و مکانی منحنی سنج رسوب را نسبت به تأثیر فعالیت‌های انسانی و ویژگی‌های آبخیز آنالیز شد. نتایج پژوهش آنها نشان داد که تخریب و فعالیت‌های انسانی در طبیعت، تأثیر اصلی را روی پارامترهای منحنی سنج رسوب می‌گذارد. وانگ و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهش خود تغییرات مکانی و زمانی ته‌نشست رسوب معلق را در ۵ ایستگاه در زیر شاخه‌های رودخانه زرد چین را در بازه زمانی ۵۰ ساله به روش بیلان رسوب بررسی کردند و عامل اصلی تغییرات رسوب را در این ایستگاه‌ها، فعالیت‌های انسانی از جمله ساخت سدهای اصلاحی در بازه‌های رودخانه مورد مطالعه دانستند. ژای و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات مکانی و زمانی رواناب و بار رسوبی را در سه ایستگاه در رودخانه لان‌کانگ مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که ساخت و ساز در اطراف ایستگاه‌ها، تغییر در کاربری اراضی و الگوهای بارش، در تغییرات مکانی و زمانی رواناب و بار رسوبی مؤثر بودند. در مجموع بر اساس سوابق تحقیق موجود می‌توان گفت که مطالعه هم‌زمان تغییرات مکانی رواناب، رسوب و آستانه تولید رواناب از مواردی است که نیازمند مطالعات بیشتری است و کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از طرفی به دلیل قرارگیری حوزه آبخیز قره‌شیران در بالادست سد یامچی اردبیل و تأمین بخشی از منابع آب و رسوب سد مذکور از طریق این حوزه صورت می‌گیرد؛ لذا بررسی تغییرات مکانی رواناب و رسوب در این حوزه از اهمیت بالایی برخوردار است. بر این اساس هدف تحقیق حاضر ارزیابی زمین‌آماری ارتباط مکانی مقادیر رواناب، رسوب و آستانه تولید رواناب با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی باران در عرصه می‌باشد. علاوه بر این بررسی ارتباط درونی مقادیر متغیرهای مذکور از مواردی است نوآوری تحقیق حاضر محسوب شده و آنرا از سایر پژوهش‌های مشابه متمایز می‌سازد.



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز قره‌شیران در استان اردبیل و موقعیت نقاط نمونه‌برداری رواناب و رسوب در سازندهای مختلف زمین‌شناسی.

جدول ۱. خصوصیات سازندهای زمین‌شناسی حوزه آبخیز قره‌شیران اردبیل و ضریب مقاومت به فرسایش و تولید رسوب.

ضریب مقاومت به فرسایش (فیض‌نیا، ۱۳۷۴)	واحدهای تلفیق شده	خصوصیات سنگ‌شناسی	علامت	سن		
				دوره	دوره	دوران
۴		پادگانه‌های آبرفتی جوان	Q ^{t2}	هرگزین	کواترنری	سنوزوئیک
۴		پادگانه‌های آبرفتی قدیمی	Q ^{t1}	پایه‌سنوزین		
۱۰		گدازه‌های بازالتی	Q ^b			
۱۰		الیوین بازالت، پیروکسن آندزیت	Q ^v			
۲/۵	M ^{lh}	توف کریستالین، توف شیشه‌ای، لیتیک توف، توف پونسی و خاکستر آتشفشانی سفید رنگ با ترکیب ریوداسیتی، لاهار با قطعات تراکیتی و داسیتی	M ^{pt}	پایه‌میوسن		
۱۱	M ^{pr} , M ^{pe} , M ^{dt} , Ng ^{a2} , Ng ^{br2} , M ^r , Ng rd	گدازه داسیتی و تراکیتی با توف کریستالین و شیشه‌ای، تراکیت با بافت پورفیری درشت بلور	M ^{tr}			
۳	Ng ^{ms} , O ₁	ماسه‌سنگ خاکستری روشن، مارن، کنگلومرا، مارن، قرمز زبیس‌دار و نمک‌دار	OM ^s	الک‌میوسن		
۱۲	O ^d	ریولیت و توف ریولیتی زرد رنگ با بین لایه‌ای‌های توف آهکی، ماسه‌سنگ و میکروکنگلومرا	E ^{rt2}	رتین		

۲-۲-۲. شبیه‌سازی بارش-رواناب و اندازه‌گیری رواناب و رسوب

با توجه به اهداف پژوهش حاضر، برای انجام آزمایش صحرایی از یک دستگاه شبیه‌ساز باران به ابعاد (۱۰۰×۱۰۰) سانتی‌متر و ارتفاع یک متر استفاده شد و در تعداد ۴۵ نمونه از محل‌های مورد نظر در فصل بهار و در خرداد ماه ۱۳۹۶ با حذف پوشش گیاهی سطح خاک شبیه‌سازی بارش-رواناب انجام شد. استفاده از دستگاه‌های باران‌ساز موجب صرفه‌جویی در وقت و هزینه می‌شود و می‌توان میزان رواناب و رسوب را به همراه تمامی فرآیندهای دخیل در فرسایش و تولید رسوب پایش نمود. علی‌رغم اینکه دستگاه‌های باران‌ساز توانایی ایجاد شرایط طبیعی را به‌طور کامل ندارند، اما استفاده از باران‌سازها به دلیل مزایای فوق برای پژوهش در زمینه جنبه‌های فرسایش و تولید رسوب در سطح جهان رایج است (حسینی و همکاران، ۱۳۸۸؛ دایگر و همکاران، ۲۰۰۱؛ سانگوسا و همکاران، ۲۰۱۰). پس از نمونه‌برداری نمونه‌های رواناب و رسوب جمع‌آوری و در ظروف شماره‌گذاری شده به‌صورت مجزا نگهداری و به آزمایشگاه منتقل شدند و پس از اندازه‌گیری مقدار کل نمونه‌ها و پس از ته‌نشینی رسوبات، آب روی رسوبات تخلیه و رسوبات باقی‌مانده در دستگاه آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و پس از خشک شدن توزین شده و مقدار رسوب و رواناب برای هر آزمایش با توجه به واحدهای مد نظر تعیین شد (صادقی و همکاران، ۱۳۸۷؛ مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳؛ والینگ و همکاران، ۲۰۰۱). همچنین در هر نمونه پس از استقرار دستگاه باران‌ساز آستانه شروع رواناب نیز با استفاده از زمان سنج ثبت شد.

۲-۲-۳. درون‌یابی متغیرهای رواناب و رسوب

جهت درون‌یابی متغیرهای رواناب، رسوب و آستانه شروع رواناب و برآورد در مکان‌های فاقد نمونه از زمین‌آمار استفاده شد (احمدی و صدق‌آمیز، ۲۰۰۸). کریجینگ

رایج‌ترین روش زمین‌آمار است که در این روش بین مقادیر مختلف یک ویژگی با فاصله و جهت قرارگیری نمونه‌های آن، نسبت به هم رابطه‌ای می‌توان برقرار نمود که با نیم‌تغییرنما که متوسط مربع اختلاف میان کمیت‌ها است، بیان می‌شود (حسینی‌پاک، ۱۳۷۷). مقدار نیم‌تغییرنما از رابطه (۱) به‌دست می‌آید:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2 \quad (1)$$

که در آن، $\gamma(h)$ مقدار نیم‌تغییرنما یا واریانس متغیر، $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته در محاسبه که در فاصله h از یکدیگر قرار دارند، $z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر مورد نظر و $z(x_i + h)$ مقدار مشاهده شده متغیر مورد نظر که به فاصله h از $z(x_i)$ قرار دارد است (مه‌دیان، ۱۳۸۳؛ یتس و واریک، ۱۹۹۲؛ گووارتز، ۱۹۹۹؛ آلتونکایناک و وانگ، ۲۰۱۰). هر قدر فاصله نمونه‌ها بیشتر باشد، واریانس بین آنها و مقدار نیم‌تغییرنما بیشتر می‌شود. بنابراین با افزایش فاصله، تفاوت متغیر در دو نقطه افزایش می‌یابد. نیم‌تغییرنما دارای اجزا مختلفی شامل شعاع تأثیر (R)، اثر قطعه‌ای (C_0)، آستانه ($C_0 + C_1$)، خطا (E) و ضریب تعیین (R^2) است (وبستر و البور، ۲۰۰۱). در زمین‌آمار تشابه مقادیر یک متغیر ناحیه‌ای با افزایش فاصله کاهش می‌یابد (ایساکس و سریواستاوا، ۱۹۸۹).

۲-۲-۴. ارزیابی صحت نقشه تغییرات مکانی

برای ارزیابی میزان دقت نتایج به‌دست آمده، از تعداد ۷ نمونه که به‌صورت کاملاً تصادفی انتخاب شده‌اند و از سه معیار ریشه میانگین مربعات خطا ((RMSE) Root Mean Square Error)، میانگین خطای مطلق ((MAE) Mean Absolute Error)، میانگین خطای انحراف ((MBE) Mean Bias Error) بین مقادیر مشاهداتی و تخمینی براساس روابط ۲ تا ۴ استفاده شد (گرین و استفسون، ۱۹۸۶؛ چن و همکاران، ۲۰۰۶؛ باروا و پرا، ۲۰۱۲).

آستانه شروع رواناب نیز با استفاده از نمودارهای سه متغیره در محیط نرم‌افزار Surfer مورد ارزیابی قرار گرفت (صادقی و مصطفی‌زاده، ۲۰۱۶).

۳. نتایج و بحث

مقادیر کل رواناب و رسوب تولیدی و میانگین آستانه شروع رواناب در هر یک از سازندهای زمین‌شناسی حوزه آبخیز قره‌شیران اردبیل در جدول ۲ ارائه شده است. جهت درک بهتر تغییرات مکانی آستانه شروع رواناب، رواناب و رسوب در حوزه‌های آبخیز، تهیه نقشه پراکنش مکانی این متغیرها در سطح حوزه آبخیز و در سازندهای مختلف زمین‌شناسی ضروری می‌باشد. به همین جهت اقدام به تهیه نقشه تغییرات مقادیر آستانه شروع رواناب، مقدار رواناب و مقدار رسوب در حوزه آبخیز در نرم‌افزار ArcMap شد که نقشه‌های حاضر در این نرم‌افزار به روش کریجینگ درونیابی شده و نتایج آن در شکل ۲ ارائه شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{est,i} - Z_{obs,i})^2}{n}} \quad (۲)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Z_{est,i} - Z_{obs,i}|}{n} \quad (۳)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_{est,i} - Z_{obs,i})}{n} \quad (۴)$$

که در آنها، $Z_{est,i}$ مقدار برآورد شده متغیر، $Z_{obs,i}$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر و n تعداد داده اندازه‌گیری شده می‌باشد.

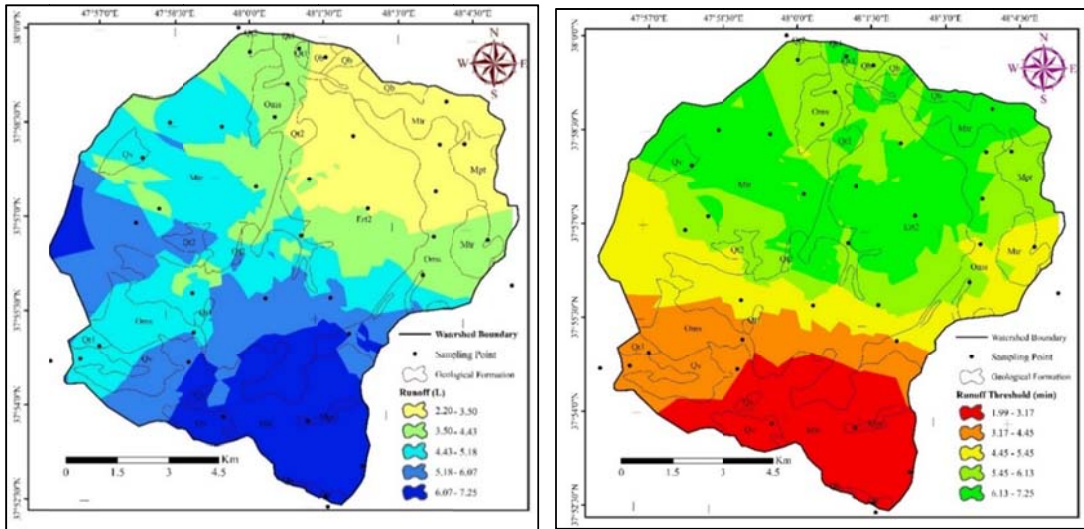
۲-۵. تحلیل نتایج و ارتباط مکانی مقادیر متغیرهای

مورد مطالعه

پس از تهیه نقشه‌های زمین‌آماري پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از روش درونیابی کریجینگ در نرم‌افزار ArcMap مقادیر آنها پس از تبدیل به نقشه نقطه‌ای استخراج گردید. در ادامه، همبستگی بین متغیرهای مورد مطالعه در سازندهای مختلف زمین‌شناسی با استفاده از تحلیل همبستگی پیرسون در نرم‌افزار SPSS مورد ارزیابی قرار گرفت. ارتباط میان مقدار رسوب، رواناب و

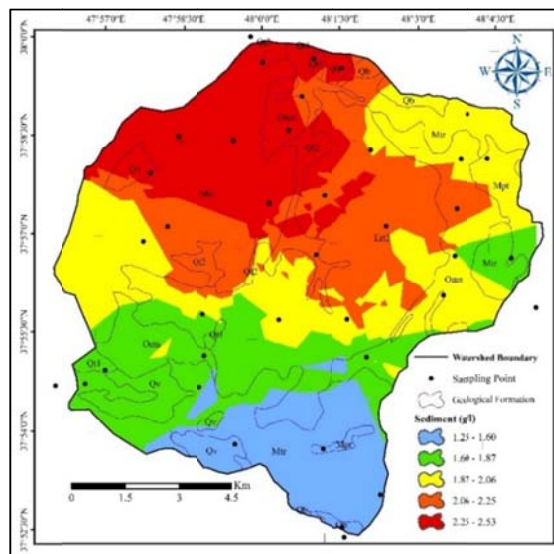
جدول ۲. مقادیر کل رواناب و رسوب و میانگین آستانه شروع رواناب در سازندهای زمین‌شناسی حوزه آبخیز قره‌شیران اردبیل.

نام سازند	رواناب (لیتر)	رسوب (تن)	آستانه شروع رواناب (دقیقه)
Q ^{t2}	۲/۵۹	۹۱۸×۱۰ ^{-۸}	۸/۲۲
Q ^{t1}	۱/۹	۴۱۹×۱۰ ^{-۸}	۴/۷۵
Q ^b	۱۲/۶۱	۵۳۱×۱۰ ^{-۸}	۲/۳۸
Q ^v	۷/۲۸	۷۱۸×۱۰ ^{-۸}	۳/۷۲
M ^{pt}	۱۸/۰۶	۶۵۴×۱۰ ^{-۸}	۳/۶۳
M ^t	۹۴/۶۳	۲۲۸۹×۱۰ ^{-۸}	۴/۷۷
OM ^s	۳۲/۴۱	۱۴۵۸×۱۰ ^{-۸}	۲/۹۵
E ^{rt2}	۳۴/۰۳	۱۵۰۷×۱۰ ^{-۸}	۶/۷۱



(ب)

(الف)



(ج)

شکل ۲. تغییرات آستانه شروع رواناب (الف)، مقدار رواناب (ب) و مقدار رسوب (ج) در سازندهای مختلف زمین‌شناسی حوزه آبخیز قره‌شیران اردبیل.

شمال‌شرقی این حوزه حداقل مقدار رواناب را دارا می‌باشد (شکل ۲-ب). سازندهای بخش شمالی حوزه (بخش‌های پایین‌دست) به‌خصوص بخش خروجی حوزه آبخیز به‌دلیل خروج بیشتر رسوبات تولیدی در بخش‌های مختلف حوزه از این بخش، بیشترین میزان تولید رسوب را به خود اختصاص دادند (شکل ۲-ج). بر طبق نتایج شکل ۳ مشخص می‌شود که بخش بالادست حوزه آبخیز (بخش جنوبی)، به‌دلیل وجود سازندهای با ضریب مقاومت در برابر فرسایش بالا (بیشتر از ۱۰) مانند

با توجه به شکل ۲، در بخش بالادست (بخش جنوبی) حوزه آبخیز وجود سازندهای با ضریب مقاومت به فرسایش بالا، باعث پایین بودن آستانه تولید رواناب در این سازندها می‌شود و به‌طرف بخش پایین‌دست حوزه (بخش‌های شمالی و شمال‌شرقی حوزه آبخیز) آستانه شروع رواناب افزایش می‌یابد (شکل ۲-الف). مقدار رواناب در سازندهای بخش بالادست (بخش جنوبی) و بخش‌های غربی و جنوب‌غربی حوزه آبخیز دارای بیشترین مقدار بوده و سازندهای بخش شرقی و

رسوب بیشتری را با خود حمل می‌نماید. ولی با توجه به این که رسوبات تولید شده در مناطق بالادست حوزه در مسیر حمل خود به سمت پایین دست حوزه، با توجه به برخی عوامل مانند شیب مسیر ته‌نشین می‌شوند و این ته‌نشست‌ها چسبندگی و سیمان‌شدگی لازم را نداشته و حالت گسسته و منفصل دارند لذا میزان نفوذ در آنها بیشتر می‌شود و رواناب تولیدی در سازندهای این بخش (بخش شمالی) از حوزه آبخیز کمتر (۳/۵۰-۲/۲۰ لیتر بر مترمربع) می‌شود. که این مورد با نتایج وانگ و جیانو (۱۹۹۶) در حوزه فلات لوسان چین، هوندچا و باردوسی (۲۰۰۴) و فو و همکاران (۲۰۰۵) مبنی بر بیشتر بودن میزان رواناب در بخش خروجی حوزه آبخیز نسبت به سایر مناطق حوزه همخوانی ندارد. در خصوص عدم تطابق مکانی نقشه تولید رواناب و رسوب می‌توان گفت که در منطقه مورد مطالعه تنها در صورت تجمع رواناب سطحی و یا وقوع بارش‌های گسترده و فراگیر در سطح حوزه و تولید رواناب سطحی زیاد انتقال رسوبات بسیار بالا خواهد بود.

به‌منظور ارزیابی نتایج حاصل از درونیابی متغیرهای مورد مطالعه از معیارهای ارزیابی RMSE، MAE و MBE استفاده شد. MAE معرف دقت روش و مقدار متوسط خطاست که هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، بهتر است، MBE نشانگر میانگین انحراف معیار مقدار برآوردی از مقدار مشاهده است و هرچه کمتر باشد بهتر است و در حالت ایده‌آل بایستی مساوی صفر باشد. ریشه میانگین مربعات خطا هرچه دارای مقدار کمتر باشد دقت روش درونیابی بالاتر می‌باشد (کارونایتی و همکاران، ۱۹۹۴؛ پیسما و همکاران، ۲۰۰۵؛ آلویسی و همکاران، ۲۰۰۶). نتایج این آماره‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

M^a ، Q^b ، Q^v و E^{T2} سبب می‌شود تا میزان نفوذ در این بخش از حوزه کم باشد و رواناب تولیدی در مدت زمان کمتری جریان یابد و آستانه شروع رواناب در این بخش از حوزه آبخیز پایین (۳/۱۷-۱/۹۹ دقیقه) باشد. در این رابطه می‌توان به همخوانی با نتیجه پژوهش فیض‌نیا و احزن (۱۳۸۸) و فو و همکاران (۲۰۰۵) در حوزه فلات لوسان چین اشاره کرد که آستانه شروع رواناب را در بخش خروجی حوزه آبخیز بیشتر برآورد نمودند. از طرف دیگر با شروع سریع رواناب مقدار رواناب تولیدی در این بخش از حوزه آبخیز نیز بیشتر (۶/۰۷-۷/۲۵ لیتر بر مترمربع) از سایر بخش‌ها خواهد شد ولی چون سازندهای این بخش‌ها حالت سختی خود را حفظ کرده و درجه سنگ‌شدگی بالایی دارند، لذا میزان رسوب در این سازندها کم می‌باشد. از بخش جنوبی حوزه آبخیز به سمت بخش شمالی (پایین دست حوزه) به دلیل این که جنس سازندها این اجازه را می‌دهد تا میزان بیشتری از رواناب تولیدی به خاک نفوذ کند و همین عامل باعث افزایش آستانه شروع رواناب در بخش‌های میانی (۷/۲۵-۶/۱۳ دقیقه) و پایینی (۶/۱۳-۵/۴۵ دقیقه) حوزه آبخیز می‌شود و به همین دلیل مقدار رواناب تولیدی در این بخش‌ها نیز کاهش می‌یابد. به دلیل این که رسوبات تولید شده در بخش‌های مختلف حوزه آبخیز به دلیل خصوصیات توپوگرافی و شیب بخش خروجی حوزه، از این قسمت از حوزه خارج می‌شوند؛ لذا این بخش از حوزه رسوب بیشتری (۲/۲۵-۲/۵۳ گرم بر لیتر) را خواهد داشت، به علاوه این رسوبات اکثراً از نوع رسوبات منفصل و ناپیوسته و جدا از هم بوده و حالت سنگ‌شدگی بالایی ندارند؛ به همین دلیل در این مناطق، بارش شبیه‌سازی شده رسوب بیشتری تولید کرده و رواناب به وجود آمده هم

جدول ۳. مقادیر شاخص‌های ارزیابی متغیرهای مورد مطالعه.

متغیر مورد بررسی	RMSE	MAE	MBE
آستانه شروع رواناب (دقیقه)	۱/۸۵۲	۱/۵۵	۱/۳۳
رواناب (لیتر بر مترمربع)	۴/۰۶	۲/۷۴	-۱/۰۸
رسوب (گرم بر لیتر)	۰/۵۸	۰/۴۷	۰/۳۱

با توجه به جدول ۳ بالاترین دقت درون‌یابی به روش کریجینگ، به دلیل کم بودن مقادیر هر سه شاخص، مربوط به مقدار رسوب و دقت پایین نیز با توجه به بالا بودن مقادیر خطا مربوط به متغیر مقدار رواناب می‌باشد. برنامه‌ریزی مناسب برای یک حوزه آبخیز و مدیریت صحیح آن با تعیین مقدار رواناب و رسوب تولیدی از بخش‌ها و سازندهای مختلف و بررسی ارتباط آنها نتایج بهتری را به دست می‌دهد. برای بررسی رابطه بین مقادیر متوسط رواناب و رسوب با آستانه شروع رواناب و متوسط میزان رسوب با رواناب اقدام به انجام آزمون همبستگی پیرسون شد که نتایج آن در جدول ۴ و شکل ۳ ارائه شده

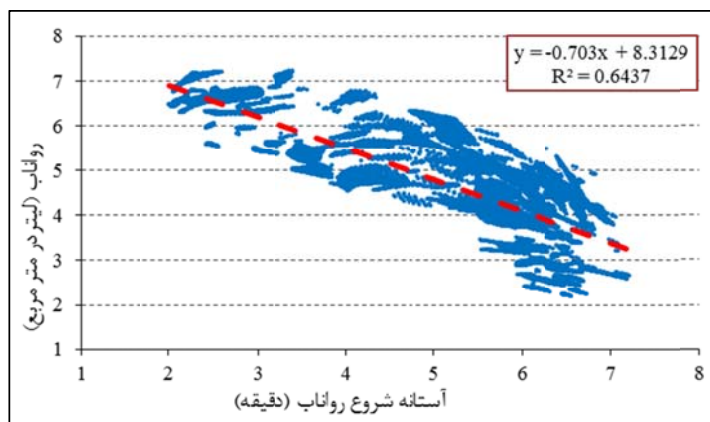
است.

با توجه به جدول ۴ می‌توان گفت که بین آستانه شروع رواناب با میزان یا حجم رواناب و بین مقدار رواناب با مقدار رسوب همبستگی معکوس وجود داشته و این همبستگی‌ها در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشند (به ترتیب $r = -0/802$ و $r = -0/672$) یعنی با افزایش آستانه شروع رواناب میزان رواناب کاهش یافته و با افزایش رواناب مقدار رسوب تولیدی نیز کاهش می‌یابد. بین آستانه شروع رواناب با مقدار رسوب، همبستگی مستقیم و مثبت و در سطح ۰/۰۱ معنی‌داری وجود دارد ($r = 0/900$).

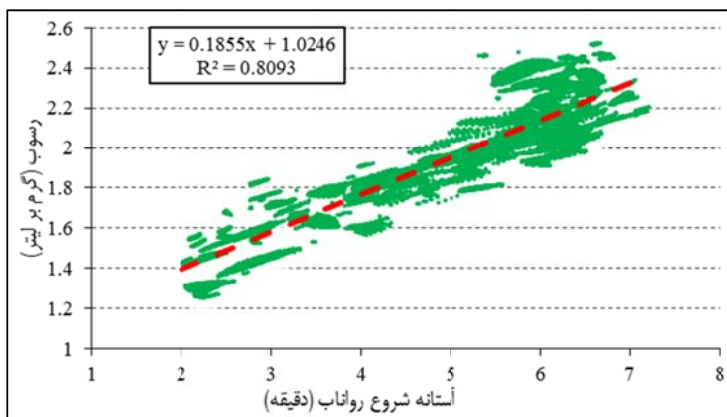
جدول ۴. جدول ضریب همبستگی پیرسون متغیرهای مورد مطالعه در سازندهای زمین‌شناسی حوزه قره‌شیران.

همبستگی					
		آستانه شروع رواناب (دقیقه)	رواناب (لیتر بر مترمربع)	رسوب (گرم برلیتر)	
آستانه شروع رواناب (دقیقه)	همبستگی پیرسون	۱	$-0/802^{**}$	$0/900^{**}$	
	معنی‌داری		۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	
رواناب (لیتر بر مترمربع)	همبستگی پیرسون	$-0/802^{**}$	۱	$-0/672^{**}$	
	معنی‌داری	۰/۰۰۰		۰/۰۰۰	
رسوب (گرم برلیتر)	همبستگی پیرسون	$0/900^{**}$	$-0/672^{**}$	۱	
	معنی‌داری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		

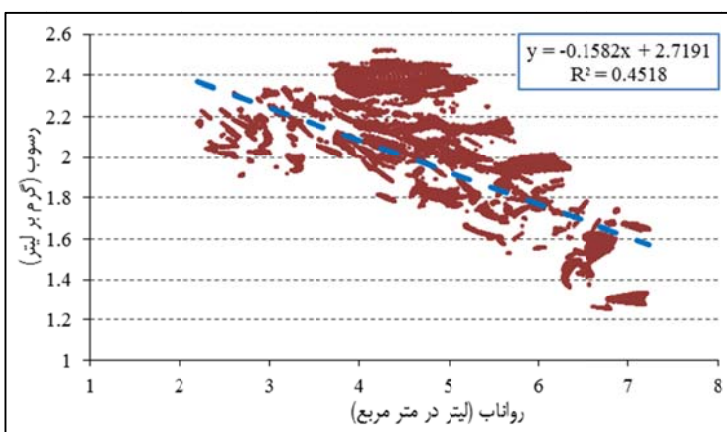
** معنی‌داری در سطح ۱ درصد



(الف)



(ب)



(ج)

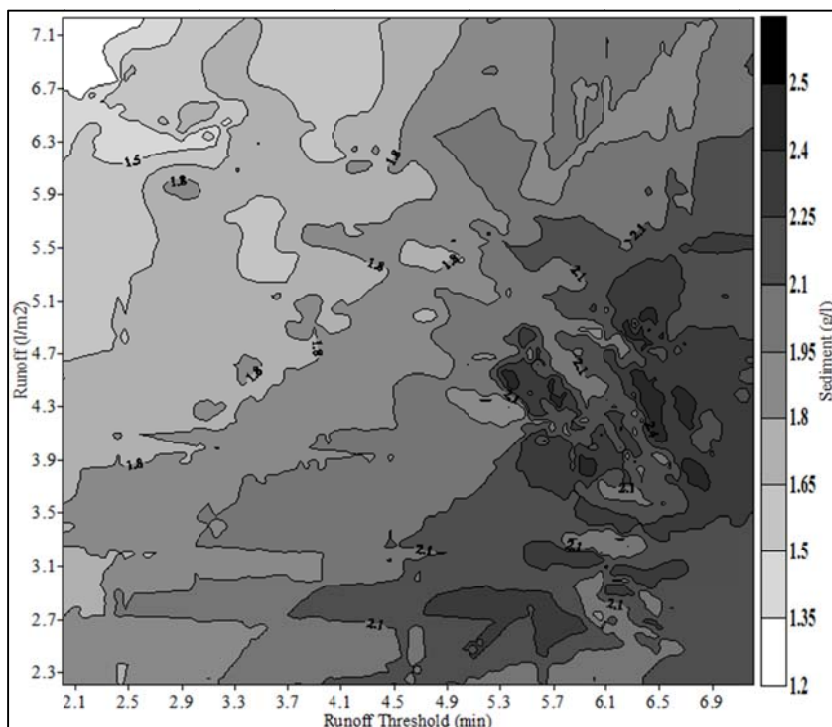
شکل ۳. تغییرات مقادیر رواناب با آستانه شروع رواناب (الف)، مقادیر رسوب با آستانه شروع رواناب (ب) و تغییرات مقادیر رسوب با رواناب (ج).

به دلیل اینکه جنس و ترکیب برخی از سازندهای زمین‌شناسی حوزه آبخیز از رسوبات و نهشته‌های کاملاً سخت نشده (مانند پادگانه‌های آبرفتی جدید و قدیم) می‌باشند؛ به همین دلیل علی‌رغم این که آستانه شروع رواناب زیاد می‌باشد، میزان رسوب افزایش یافته است یعنی رابطه بین دو متغیر آستانه شروع رواناب و مقدار رسوب از نوع خطی و مستقیم می‌باشد (با ضریب همبستگی ۰/۸۱) و با افزایش آستانه شروع رواناب مقدار رسوب تولید شده نیز بیشتر می‌شود (شکل ۳-ب) و همین عامل باعث می‌شود تا در همان مدت زمان اندک باقی‌مانده از بارش مقدار قابل توجهی رسوب از سطح و سازندهای حوزه آبخیز تولید شود. این یافته با نتیجه پژوهش جهانبخشی (۱۳۹۳) که با بیشتر شدن آستانه شروع

با دقت در تغییرات مقادیر متغیرهای مورد مطالعه (شکل ۳)، با شروع بارش بسته به شدت و خصوصیات بارش، خصوصیات خاک و مواد مادری و توپوگرافی منطقه رواناب پس از گذشت مدت زمانی تشکیل شده و به جریان می‌افتد و موجب فرسایش می‌شود. تغییرات بین مقادیر آستانه شروع رواناب با مقادیر رواناب (شکل ۳-الف) خطی با روند کاهشی و با ضریب همبستگی ۰/۶۴ می‌باشد به طوری که با افزایش آستانه شروع رواناب، مقدار رواناب کمتر می‌شود که دلیل آنرا می‌توان به فرصت کم برای تشکیل بیشتر رواناب نسبت داد و از طرفی جنس برخی از سازندها این امکان را می‌دهد تا نفوذ بیشتری در خاک اتفاق بیافتد که این مطلب با یافته‌های پژوهش عبدی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۹) نیز همخوانی دارد.

افزایش رواناب بیشتر شده است همخوانی نداشته اما یافته‌های تحقیق شکل‌آبادی و همکاران (۱۳۸۲) این نتیجه را تأیید می‌کند. از طرفی در خاک‌هایی که رواناب زیادی تولید می‌شود، ایجاد لایه رواناب بر روی سطح خاک مانع برخورد مستقیم قطرات باران با سطح خاک شده و سبب کاهش سرعت جدا شدن ذرات خاک در اثر نیروی قطرات باران و در نتیجه کاهش مواد قابل حمل به‌وسیله رواناب می‌شود که در نتایج پژوهش چن و همکاران (۱۹۸۰)، مور و سینگر (۱۹۹۰) و پوئنس و لای (۱۹۹۱) نیز مورد تأکید قرار گرفته است. و از طرفی برخی از سازندهای زمین‌شناسی حوزه آبخیز قره‌شیران با توجه به نوع و ترکیب کانی‌شناسی آنها از مقاومت بیشتری در برابر قدرت کنش و حمل رسوبات توسط آب برخوردارند. ارتباط بین مقادیر تغییرات رسوب، رواناب و آستانه شروع رواناب در محیط نرم‌افزار Surfer نیز مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۴ ارائه شده است.

رواناب مقدار رسوب تولیدی کاهش یافته است، مطابقت ندارد که می‌تواند به نوع سازند و شرایط انجام شبیه‌سازی مرتبط باشد. در برخی از تحقیقات عوامل دیگری نیز مانند اقلیم، پوشش گیاهی و خاک (شریفی و همکاران، ۱۳۸۳؛ نجفیان و همکاران، ۱۳۸۹)، شیب (رئیسیان، ۱۳۸۴؛ آقایی‌امین و همکاران، ۲۰۱۴)، نفوذ (عبدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹) را هم در تغییرات آستانه شروع رواناب مؤثر دانستند که در تحقیق حاضر، نمونه‌برداری به‌شیوه‌ای بوده است که مطالعه در یک اقلیم مشابه، و با حذف پوشش گیاهی از سطح پلات و نیز انتخاب شیب یکسان در محل‌های نمونه‌برداری انجام شده است. در شکل ۳-ج، بین مقدار رواناب و مقدار رسوب رابطه عکس (با ضریب همبستگی ۰/۴۵) وجود داشته و با افزایش مقدار رواناب از میزان و مقدار رسوب تولیدی در حوزه و سازندها کاسته می‌شود. نتایج پژوهش فتحی‌زاد و همکاران (۱۳۹۵) که در تحقیق آنها میزان رسوب با



شکل ۴. تغییرات مقادیر رسوب و ارتباط آن با آستانه شروع رواناب و مقدار رواناب در حوزه آبخیز قره‌شیران اردبیل.

پژوهش شکل‌آبادی و همکاران (۱۳۸۲)، مور و سینگر (۱۹۹۰) و پوئسن و لاوی (۱۹۹۱) مطابقت دارد زیرا در نتایج پژوهش آنها بین مقدار رسوب و میزان رواناب ارتباط غیرمستقیم می‌باشد.

۴. نتیجه‌گیری

تشکیلات مختلف زمین‌شناسی یک حوزه آبخیز تأثیر تحت‌تأثیر ضریب مقاومت سازندها و سنگ‌های تشکیل‌دهنده آنها از لحاظ تولید رواناب و رسوب و زمان شروع رواناب رفتارهای مختلفی از خود نشان می‌دهند. در این راستا تحقیق حاضر با هدف ارزیابی تغییرات مکانی آستانه شروع رواناب و مقدار رواناب و رسوب با استفاده از شبیه‌ساز باران-رواناب در سازندهای مختلف زمین‌شناسی در حوزه آبخیز قره‌شیران اردبیل انجام گرفت. بسیاری از سازندهای زمین‌شناسی این حوزه مربوط به دوره‌های کواترنر و ترشیری می‌باشند. پادگانه‌های آبرفتی جوان و پادگانه‌های قدیمی و مرتفع به‌همراه سازندهای دارای مارن، ماسه، کنگلومرا و رس مربوط به دوره کواترنر که بیشتر محصول فرسایش واحدهای سنگی دوره‌های گذشته می‌باشند و واحدهای سنگی متشکل از کانی‌های الیوین، بازالت، پرلیت، آندزیت و تراکیت مربوط به دوره ترشیری می‌باشند. از نظر سنگ‌شناسی این حوزه، منطقه آتشفشانی می‌باشد که عمده سنگ‌های سازنده آن گدازه‌های توده‌ای لابه‌ای است. از نظر ژئومورفولوژی وضعیت ظاهری حوزه، واحد کوهستان که بخش‌های مرزی و اطراف حوزه آبخیز را تشکیل می‌دهد حداکثر گسترش و واحد نهشته‌های رودخانه‌ای در بخش میانی حوزه آبخیز حداقل گسترش را از خود نشان می‌دهد (نجفی‌سربند، ۱۳۹۳). نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که بین آستانه شروع رواناب با مقدار رواناب و رسوب و بین مقدار رواناب و مقدار رسوب همبستگی معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ وجود دارد. تغییرات بین آستانه شروع رواناب و مقدار رواناب از نوع خطی با روند کاهشی و با ضریب

با توجه به شکل ۴، در آستانه‌های تولید رواناب بالا و مقادیر رواناب کم تا متوسط، مقدار رسوب بیشتر خواهد بود؛ به‌طوری که در آستانه‌های بالای ۴ دقیقه و رواناب‌های بین ۲/۵-۵/۵ لیتر بر مترمربع، مقدار رسوب بیشتر از حدود ۲ گرم بر لیتر می‌باشد. همچنین مقدار رسوب تولیدی با آستانه شروع رواناب دارای رابطه مستقیم و با مقدار رواناب ارتباط ضعیفی دارد، بدین معنی که تغییرات مقادیر رسوب بیشتر تحت‌تأثیر آستانه شروع رواناب می‌باشد و تغییرات مقادیر رواناب تأثیر کمتری بر روی مقدار رسوب تولیدی دارد. در آستانه‌های پایین اثر تولید رواناب بر تولید رسوب بیشتر است و تأثیرگذاری بالایی دارد و در آستانه‌های بالا اثر تولید رواناب کاهش پیدا می‌کند. به‌دلیل این که اکثر سازندهای زمین‌شناسی که در حال حاضر در سطح حوزه آبخیز وجود دارند در اثر برخی فرایندها مانند فرسایش، دچار تغییر و تحول شده و حالت اولیه و سفتی و سختی خود را از دست داده‌اند و از طرف دیگر رسوبات تولید شده از بخش‌های مختلف حوزه به‌خصوص از بخش‌های بالادست و مناطق مرتفع، سطح این سازندها را پوشانده است، به‌همین دلیل اغلب این رسوبات، به‌صورت نهشته‌هایی می‌باشند که به‌طور کامل سخت نشده‌اند (مانند پادگانه‌های آبرفتی جدید) و به‌صورت ذرات منفصل می‌باشند، لذا این سازندها در برابر فرسایش مقاومت کمتری از خود نشان می‌دهند و همین عامل باعث می‌شود تا در آستانه‌های بالا که مقدار رواناب تولیدی کم می‌باشد، مقدار قابل‌توجهی رسوب تولید شود و به‌همین دلیل با افزایش آستانه شروع رواناب مقدار رسوب نیز افزایش می‌یابد اما با افزایش مقدار رواناب از میزان رسوب تولید شده کاسته می‌شود؛ به‌طوری که در حداکثر مقدار رواناب میزان رسوب حداقل مقدار خود را دارد. این نتایج با یافته‌های تحقیق جهانبخشی (۱۳۹۳) مبنی بر عدم ارتباط مستقیم بین آستانه شروع رواناب با مقدار رسوب و همچنین با نتایج پژوهش فتحی‌زاد و همکاران (۱۳۹۵) مبنی بر ارتباط مستقیم بین مقدار رواناب و میزان رسوب همخوانی ندارد ولی با نتایج

ح.، ۱۳۹۴، اثر پوشش گیاهی بر کاهش رواناب و هدررفت خاک با استفاده از شبیه سازی باران در مراتع نشو استان مازندران. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۲۶، ۲، ۱۹۰-۱۷۹.

جهانبخشی، ف.، ۱۳۹۳، بررسی توان رسوبزایی و آستانه تولید رواناب در سازندهای مختلف زمین شناسی در شدت های متفاوت بارش با استفاده از شبیه ساز باران (مطالعه موردی: دامنه های شیرکوه یزد). پایان نامه کارشناسی ارشد کشاورزی، دانشگاه یزد.

حسینی پاک، ع. ا.، ۱۳۷۷، زمین آمار، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۴ صفحه.

حسینی، س. ه.، فیض نیا، س.، پیروان، ح. ر. و زهتاییان، غ. ر.، ۱۳۸۸، بررسی تولید رواناب و رسوب در سازندهای ریزدانه نئوژن با کمک باران ساز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)، مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، ۶۲، ۲، ۲۲۹-۲۱۵.

رئیسیان، ر.، ۱۳۸۴، بررسی اثر شیب زمین، شرایط رطوبتی خاک و کاربری اراضی در زمان شروع رواناب، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران، ۱۰-۱.

سازمان زمین شناسی کشور، ۱۹۹۵، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی ایران شیت های اردبیل، مشگین شهر، سراب و کیوی.

شریفی، ف.، صفاپور، ش.، ایوب زاده، س. ع. و وکیل پور، ج.، ۱۳۸۳، بررسی عوامل مؤثر در تعیین آستانه شروع رواناب در مناطق خشک و نیمه خشک کشور به کمک استفاده از شبیه سازی باران و داده های بارش-رواناب، منابع طبیعی ایران، ۵، ۱، ۴۵-۳۳.

شکل آبادی، م.، خادمی، ح. و چرخایی، ا. ح.، ۱۳۸۲، تولید رواناب و رسوب در خاک های با مواد مادری متفاوت در حوزه آبخیز گل آباد اردستان، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲، ۷، ۱۰۰-۸۵.

همبستگی ۰/۶۴، بین آستانه و مقدار رسوب خطی و مستقیم با ضریب همبستگی ۰/۸۱ و بین مقدار رواناب و مقدار رسوب خطی و عکس، با ضریب همبستگی ۰/۴۵ می باشد. بر اساس نتایج درون یابی متغیرهای مورد مطالعه با روش کریجینگ، مقدار رواناب و رسوب تولیدی در سازندهای بخش بالادست حوزه (مانند سازند گدازه های داسیتی و تراکیتی) نسبت به سازندهای بخش میانی (مانند سازند ریولیت و توف ریولیتی) و پایین دست (مانند پادگانه های آبرفتی قدیمی) این حوزه آبخیز کمتر و آستانه شروع رواناب در سازندهای بالادست کمتر و به طرف بخش خروجی این حوزه، مقدار این متغیر افزایش می یابد. نتایج حاصل از خروجی نرم افزار Surfer نشان داد که در آستانه های بالا و مقادیر رواناب کم تا متوسط، مقدار رسوب بیشتر برآورد شده است؛ به طوری که در آستانه های بالای ۴ دقیقه و رواناب های بین ۶-۲/۵ لیتر بر مترمربع، مقدار رسوب بیشتر از حدود ۲ گرم بر لیتر می باشد. همچنین مقدار رسوب تولیدی با آستانه شروع رواناب دارای رابطه مستقیم و با مقدار رواناب ارتباط ضعیفی دارد بدین معنی که تغییرات مقادیر رسوب بیشتر تأثیر تحت تأثیر آستانه شروع رواناب می باشد و تغییرات مقادیر رواناب تأثیر کمتری بر روی مقدار رسوب تولیدی دارد. در مجموع می توان گفت که با توجه به تعدد و تنوع عوامل مؤثر بر فرآیندهای تولید رواناب و رسوب، تحلیل دقیق ارتباط درونی میان عوامل مؤثر در تولید رواناب و رسوب نیازمند بررسی های جامع و جمع بندی نهایی است.

مراجع

احمدی، ع.، جعفری، و.، نجفی، ن.، پالیزوان زند، ح. و صادق زاده، م. ا.، ۱۳۹۶، تغییرات زمانی میزان تولید رواناب و رسوب در طول فصل رشد گیاه زراعی نخود دیم (مطالعه موردی: در ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک تیکمه داش، آذربایجان شرقی). تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۸، ۲، ۳۰۸-۲۹۹.

اسمعیلی، ا.، فرهودی، م. ح.، جعفریان، ز. و کاویان پور، ا.

- شیخ‌ریبیعی، م. ر.، فیض‌نیا، س. و پیروان، ح. ر.، ۱۳۹۰، بررسی رواناب و تلفات خاک در واحدهای کاری حوزه آبخیز هیو، مقایسه در مقیاس شبیه‌ساز باران، علوم زمین، ۲۰، ۶۰، ۶۲-۵۷.
- صادقی، س. ح. ر.، غلامی، ل.، خالدی‌درویشان، ع. ا. و تلوری، ع. ا.، ۱۳۸۷، تحلیل داده های رسوب نگار حوضه چهل گزی سد قشلاق، تحقیقات منابع آب ایران، ۴، ۳، ۴۷-۵۶.
- عبدی‌نژاد، پ.، فیض‌نیا، س.، پیروان، ح. ر.، فیاضی، ف. ا. و طباش‌شعبانی، ا. ع.، ۱۳۸۹، بررسی آستانه شروع رواناب در واحدهای مارنی سازندهای زمین‌شناسی استان زنجان با استفاده از دستگاه باران‌ساز مصنوعی، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱، ۲، ۳۱-۵۱.
- فتحی‌زاد، ح.، کریمی، ح. و توکلی، م.، ۱۳۹۵، نقش حساسیت به فرسایش سازندهای زمین‌شناسی در فرسایش و تولید رسوب (مطالعه موردی: زیرحوضه‌های رودخانه دویرج استان ایلام)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۷، ۱۳، ۲۰۸-۱۹۳.
- فرح‌زاده، م. و قره‌چورلو، م.، ۱۳۹۰، تحلیل مکانی و زمانی رسوب معلق در حوزه آبریز قره‌سو، پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۳، ۸۴-۶۱.
- فیض‌نیا، س. و احزن، ک.، ۱۳۸۸، تعیین فرسایش‌پذیری نهشته‌های منفصل با استفاده از معادله جهانی فرسایش آب (روش USLE) در حوزه آبخیز دماوند، رسوب و سنگ رسوبی، ۲، ۴، ۲۹-۱۳.
- فیض‌نیا، س.، ۱۳۷۴، مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران، منابع طبیعی ایران، ۴۷، ۱۱۶-۹۵.
- گل‌محمدی، گ.، معروفی، ص. و محمدی، ک.، ۱۳۸۷، منطقه‌ای نمودن ضریب رواناب در استان همدان با استفاده از روش‌های زمین‌آماري و GIS، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۲، ۴۶، ۵۱۴-۵۰۱.
- محمدی، م. ا. و کاویان، ع. ا.، ۱۳۹۰، بررسی تغییرات زمانی رواناب و رسوب‌دهی در مقیاس کرت (مطالعه موردی: حوزه آبخیز معرف خامسان)، دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تبریز، ۱۲ ال ۱۴ شهریور، دانشگاه تبریز.
- مصباح، س. ح.، ۱۳۸۷، بررسی منشاء نهشته‌های دریاچه مهارلو، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس.
- مصطفی‌زاده، ر.، صادقی، س. ح. ر. و سعدالدین، ا.، ۱۳۹۳، تحلیل رسوب نمود و حلقه های سنج رسوب رگبار در حوزه آبخیز گلاز اشونیه، آذربایجان غربی، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۱، ۵، ۱۹۱-۱۷۵.
- مهدیان، م. ح.، ۱۳۸۳، کاربرد زمین‌آمار در زهکشی، سومین کارگاه فنی زهکشی، ۷۹-۷۸.
- نجفیان، ل.، کاویان، ع. ا.، قربانی، ج. و تهرناش، ر.، ۱۳۸۹، اثر فرم رویشی و مقدار پوشش گیاهی بر تولید رواناب و رسوب اراضی مرتعی منطقه سوادکوه مازندران، مرتع، ۴، ۲، ۳۴۷-۳۳۴.
- نجفی‌سربند، س.، ۱۳۹۰، تعیین روابط بین رخساره‌های فرسایش آبی با عوامل مؤثر بر آنها در حوزه آبخیز قره‌شیران اردبیل. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، دانشگاه آزاد واحد تبریز.
- واعظی، ع. ر. و بهتری، م.، ۱۳۹۶، تاثیر مقدار رطوبت اولیه خاک بر تولید رواناب و هدررفت خاک در بافت‌های مختلف، تحت باران شبیه‌سازی شده. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۱، ۳۹، ۲۱-۱۱.
- واعظی، ع. ر.، بهرامی، ح.، صادقی، س. ح. ر. و مهدیان، م. ح.، ۱۳۸۷، تغییرات مکانی رواناب در بخشی از خاک‌های آهکی ناحیه نیمه‌خشک در شمال‌غربی ایران، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵، ۵، ۱۴-۱.
- وروانی، ج.، فیض‌نیا، س.، احمدی، ح. و جعفری، م.، ۱۳۸۶، ارزیابی کارایی مدل‌های تجربی برآورد رسوب حوزه‌های آبخیز در زمان سیلاب‌های منفرد و ارائه ضرائب اصلاحی، منابع طبیعی ایران، ۶۰، ۴، ۱۲۳۹-۱۲۲۵.

- AghabeigiAmin, S., Moradi, H. R. and Fattahi, B., 2014, Sediment and runoff measurement in different rangeland vegetation types using rainfall simulator, *Ecopersia*, 2(2): 525-538.
- Ahmadi, Sh. and Sedghamiz, A., 2008, Application and evaluation of kriging and cokriging methods on groundwater depth mapping, *Environmental Monitoring and Assessment*, 138: 357-368.
- Altunkaynak, A. and Wang, K., 2010, Triple diagram models for prediction of suspended solid concentration in Lake Okeechobee, Florida, *Journal of Hydrology*, 387: 165-175.
- Alvisi, S., Mascellani, G., Franchini, M. and Bardossy, A., 2006, Water level forecasting through fuzzy logic and artificial neural network approaches, *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(1): 1-17.
- Amos, K. J., Alexander, J., Horn, A., Pocock, G. D. and Fielding, Ch. R., 2004, Supply limited sediment transport in a high-discharge event of the tropical Burdekin River, North Queensland, Australia. *Sedimentology*, 51: 145-162.
- Barua, S. and Perera, B. J. C., 2012, Artificial neural network-based drought forecasting using a nonlinear aggregated drought index, *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE 17: 1408-1413.
- Chen, S. H., Lin, Y. H., Chang, L. C. and Chang, F. J., 2006, The strategy of building a flood forecast model by neuro-fuzzy network, *Hydrological Processes*, 20(7): 1525-1540.
- Chen, Y. and Liu, X. R., 1996, Climate change impact on hydrology of Huaihe Basin, *Journal of Hohai University*, 24: 111-114.
- Chen, Y., Tarchitzky, J., Brouwer, J., Morin, J. and Banin, A., 1980, Scanning electron microscope observation on soil crusts and their formation, *Soil Science*, 130: 49-55.
- Coppus, R. Imeson, A. C. and Serink, J., 2003, Identification, distribution and characteristics of erosion sensitive areas in three different central Andean ecosystems, *Catena*, 51(3): 315-328.
- DE Sutter, R., Verhoeven, R. and Krein, R., 2001, Simulation of sediment transport during flood events, laboratory work and field experiments, *Hydrological Sciences Journal*, 46(4): 599-610.
- Duiker, S. W., Flanagan, D. and Lal, C. R., 2001, Erodibility and infiltration characteristics of fire major soils of southwest Spain, *Catena*, 45: 103-121.
- Einax, J. W. and Soldt, U., 1999, Geostatistic and multivariate statistical methods for the assessment of polluted Soil Merits and Limitations, *Chemometrica and Intelligent Laboratory System*, 46(1): 79-91.
- Fu, B. J., Zhao, W. W., Chen, L. D., Zhang, Q. J., Lu, Y. H., Gulinck, H. and Poesen, J., 2005, Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: A case study in the Loess Plateau of China, *Land Degradation and Development*, 16: 73-85.
- Goovaerts, P., 1999, *Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives*, *Geoderma*, 89: 1-45.
- Green, I. R. A. and Stephenson, D., 1986, Criteria for comparison of single event models, *Hydrological Sciences Journal*, 31(3): 395-411.
- Hu, B., Wang, T. H., Yang, Z. and Sun, X., 2011, Temporal and spatial variations of sediment rating curves in the Changjiang (Yangtze River) basin and their implications, *Quaternary International*, 320: 34-43.
- Hundecha, Y. and Bárdossy, A., 2004, Modeling of the effect of land use changes on the runoff generation of a river basin through parameter regionalization of a watershed model, *Journal of Hydrology*, 292(1-4): 281-295.
- Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M., 1989, *An introduction to applied geostatistics*, Oxford University Press, New York. 561p.
- Jordan, J. P., 1994, Spatial and temporal variability of streamflow generation processes on a Swiss catchment, *Journal of Hydrology*, 153: 357-382.
- Karunanithi, N., Grenney, W., Whitley, D. and Bovee, K., 1994, Neural networks for river flow prediction, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 8(2): 201-220.
- Lu, X. X., 2005, Spatial variability and temporal change of water discharge and sediment flux in the Lower Jinsha tributary: Impact of environmental changes, *River Research and Applications*, 21(2-3): 229-243.
- Ma, Y., Hung, H. G., Xu, J., Brierly, G. J. and Yao, Z., 2010, Variability of effective discharge for suspended sediment transport in a large semi-arid river basin, *Journal of Hydrology*, 388: 357-369.
- Moore, C. P. and Singer, J., 1990, Crusts formation effects on soil erosion processes, *Soil Science Society of American Journal*, 54: 1117-1123.
- Morche, D. and Schmidt, K. H., 2006, Sediment output and effective discharge in two small high mountain catchments in the Bavarian Alps, Germany, *Geomorphology*, 80(1-2): 131-145.
- Oeurng, Ch., Sauvage, S. and Snchez-Pérez, J. M., 2011, Assessment of hydrology, sediment and particulate organic carbon yield in a large agricultural catchment using the SWAT model, *Journal of Hydrology*, 401: 145-153.
- Pebesma, E. J., Switzer, P. and Loague, K., 2005,

- Error analysis for the evaluation of model performance: rainfall-runoff event time series data, *Hydrological Processes*, 19(8): 1529-1548.
- Poesen, J. W. A. and Lavee, H., 1991, Effects of size and incorporation of synthetic mulch on runoff and sediment yield from interrills in a laboratory study with simulated rainfall, *Soil and Tillage Research*, 21: 209-223.
- Prathapar, S. A. and Abdulla, A. B., 2014, Impact of sedimentation on groundwater recharge at Sahalanowt Dam, Salalah, Oman, *Water International*, 39(3): 381-393.
- Renard, K. G. and Ferreira, V. A., 1993, RUSLE model description and database sensitivity, *Environmental Utility Journal*, 22: 458-466.
- Sadeghi, S. H. R. and Mostafazadeh, R., 2016, Triple diagram models for changeability evaluation of precipitation and flow discharge for suspended sediment load in different time scales, *Environmental Earth Sciences*, 75(843): 1-12.
- Sanguesa, C., Arumi, J., Pizarro, R. and Link, O., 2010, A rainfall simulator for the in situ study of superficial runoff and soil erosion, *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(1): 170-177.
- Seeger, M., 2007, Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations, *Catena*, 71: 56-67.
- Tague, C., Grant, G., Farrell, M., Choate, J. and Jefferson, A., 2008, Deep groundwater mediates streamflow response to climate warming in the Oregon Cascades, *Climatic Change*, 86: 189-210.
- Tatsumi, K. and Yamashiki, Y., 2015, Effect of irrigation water withdrawals on water and energy balance in the Mekong River Basin using an improved VIC landsurface model with fewer calibration parameters, *Agricultural Water Management*, 159: 92-106.
- Troendle, C. A., 1985, Variable source area model, in: *Hydrological forecasting*, edited by: Anderson, M. C. and Burt, T. P., Wiley, Chichester, pp. 347-404.
- Vaezi, A. R., Bahrami, H. A. Sadeghi, S. H. R. and Mahdian, M. H., 2010, Modeling relationship between runoff and soil properties in dry-farming lands, NW Iran, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 7: 2577-2607.
- Walling, D. E., Collins, A. L., Sickingabula, H. A. and Leeks, G. J. L., 2001, Integrated assessment of catchment suspended sediment budgets: A Zambian Example. *Land Deg. Dev.* 12: 387-415.
- Wang, S., Yan, Y. and Li, Y., 2012, Spatial and temporal variations of suspended sediment deposition in the alluvial reach of the upper Yellow River from 1952 to 2007, *Catena*, 92: 30-37.
- Wang, W. Z. and Jiao, J. Y., 1996, Rainfall and erosion sediment yield in the Loess Plateau and sediment transportation in the Yellow River Basin, *Science Press*, 145(142-144): 257-258.
- Wang, X. J. and Qi, F., 1998, The effects of sampling design on spatial structure analysis of contaminated soil, *The Science of the Total Environment*, 224: 29-41.
- Webster, R. and Oliver, M. A., 2001, *Geostatistics for environmental scientists*, John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, UK. 271.
- Yang, A. W., 2000, Impact of global climate change on China's water resources, *Environmental Monitoring and Assessment*, 61: 187-191.
- Yates, S. R. and Warrick, A. W., 1992, Estimation soil water content using cokriging, *Soil Science Society of America Journal*, 51: 23-30.
- Zhai, H. J., Hub, B., Luo, X. Y., Qiu, L., Tang, W. J. and Jiang, M., 2016, Spatial and temporal changes in runoff and sediment loads of the Lancang River over the last 50 years, *Agricultural Water Management*, 174: 74-81.
- Zhang, S. R., Lu, X. X., Higgitt, D. L., Chen, Ch. T. A., Han, J. and Sun, H., 2008, Recent changes of water discharge and sediment load in the Zhujiang (Pearl River) Basin, China, *Global Planet Change*, 60: 365-380.

Spatial variations of runoff, sediment and runoff threshold of Gharehshiran watershed in Ardabil Province

Asgari, E.¹, Esmali-Ouri, A.^{2*}, Mostafazadeh, R.³ and Ahmadzadeh, Gh.⁴

1. M.Sc. Graduated, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2. Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3. Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

4. Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(Received: 3 March 2018, Accepted: 25 Sep 2018)

Summary

Diverse factors affect the characteristics of the watershed that lead to spatial and temporal variations in the runoff and sediment production processes. Runoff and sediment are the main important elements in the hydrological cycle, and their changes directly affect river systems and sedimentary environments; and their spatial and temporal variations change the morphology of the rivers. Due to differences in soil characteristics, source materials and geological formations, vegetation and slope in different parts of a region, the amount of runoff and sediment produced in these areas can vary with spatial variations. The purpose of this study is to evaluate the spatial variations of runoff and sediment and runoff threshold using rainfall simulation data in the Gharehshiran watershed in Ardabil Province. Considering the importance of spatial distribution of sampling points across the catchment area, the locations of the samples were determined, taking into account the access path to the points, as well as sampling in different formations through determining the boundaries of the study area.

The field experiments and simulation of precipitation were carried out using a 1×1m rainfall simulator in 45 points in different geologic formations of the watershed area. The amount of runoff and sediment were measured in each experiment along with recording the threshold time of runoff generation. The measured variables were mapped and interpolated by using Kriging method over the study area. To assess the accuracy of the interpolation results, 7 samples were selected randomly and the Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE) and Mean Bias Error (MBE) statistical measures were calculated by comparing observational and estimated values. Then, the correlation between the studied variables in various geological formations was evaluated using Pearson correlation analysis. The relationship between sediment and runoff amount, and runoff threshold time were also evaluated using a triple diagram model.

The results of the interpolated maps showed that the lowest values of runoff time threshold (1.99-3.17 min) were observed in the geological formations of upper part of the watershed having dacite and trachite igneous, volcanic rocks. While the runoff time thresholds were increased (6.13-7.25 min) in the low land areas with the old alluvial terraces. The amount of generated runoff in the upper hillslopes of the watershed with dacite and trachite rocks was estimated as (6.07-7.25 lit/m²), and the amount of sediment was low (1.25-1.66 g/l). Meanwhile, in the lower parts of old alluvial terraces, the amount of runoff production was low (2.20-3.50 lit/m²) and the amount of produced sediment was higher with values of (2.25-3.5 g/l). The results of correlation analysis showed that the correlation coefficients between runoff threshold and runoff volume were significant at 0.01 significant level ($r = -0.802$). Also, a significant negative correlation ($r = -0.672$), were observed between runoff and sediment values.

The relationship between the runoff time threshold and the sediment content was positive at significant level of 0.01 ($r = 0.900$). The results of interdependency between the sediment, runoff and runoff time threshold values using triple diagram models showed that the sediment amount was about 2g/l at high runoff time thresholds of 4 minutes with 2.5-5.5 lit/m² runoff amounts.

In general, it can be said that the sediment production in the study area is strongly under the effects of runoff amounts in lower time thresholds of runoff. As a remark, the results pointed out that the internal relationship of runoff and sediment production are affected by a variety of effective factors which requires comprehensive studies to reach a final conclusion.

Keywords: Spatial Variation, Rainfall simulator, Runoff threshold, Geologic Formations, Gharehshiran watershed.

* Corresponding author:

abazar.esmali@gmail.com