

بررسی اثر دوره بازگشت باران و الگوی آن بر فرسایش خاک دامنه‌ها در حوضه‌های آبریز (مطالعه موردی: حوضه آبریز هشان)

امین ذرتی پور^{۱*} و محمود عرب خدري^۲

^{۱*} - نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.

^۲ - دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.

تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۱۶

چکیده

فرسایش خاک یک پدیده بسیار پیچیده است که دربردارنده فرایندهای کنش و انتقال ذرات خاک می باشد. بزرگی و اهمیت این فرایند بستگی به عوامل زیادی همچون اقلیم، خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و مدیریت اراضی دارد. مهمترین عامل تأثیرگذار اقلیمی بر فرسایش، فاکتور شدت بارندگی و فرکانس آن بر هدررفت خاک است. هدف از این مطالعه بررسی اثر و سهم باران‌های با شدت بالا (دوره بازگشت ۱۰۰ ساله) نسبت به شدت‌های متوسط و پایین (دوره بازگشت ۲۰ و دو ساله) بر نرخ فرسایش خاک و متغیرهای هیدرولیک جریان و همچنین آگاهی از فرضیه تأثیر بیشتر باران‌های شدید با دوره بازگشت بالا، نسبت به رگبارهای متناظر با دوره بازگشت‌های پایین است. این بررسی روی خاک اراضی تخریب یافته مارنی زیرحوضه هشان سفیدرود و در آزمایشگاه شبیه‌ساز باران انجام پذیرفت. نتایج مطالعه در ۱۸ بار آزمایش بارش - رواناب، نشان داد با شدت یافتن باران و افزایش دوره بازگشت آن از ۲۰ سال به ۱۰۰ سال و از دو سال به ۲۰ سال، به ترتیب باعث رشد دو برابری و شش برابری دبی جریان واحد می گردد، که این افزایش منجر به تشدید تلفات خاک به ترتیب ۳/۳ برابری و ۱۶ برابری مقدار تلفات اولیه در خاک اراضی مارنی شده است. بنابراین در خاک‌های مارنی باران‌های با دوره بازگشت بالا، تأثیری کمتر از تعداد متناظر باران‌های با دوره بازگشت‌های پایین دارند. همچنین افزایش شدت بارندگی به دوره بازگشت‌های بالاتر، تأثیر تصاعدی، مستقیم و غیرخطی در مقدار تلفات خاک مارن داشته است. درصد شیب نیز تأثیر تشدیدشونده سه تا شش برابری در افزایش تصاعدی دبی جریان و سپس هدررفت خاک دارد. در نهایت فاکتورهای درجه شیب و شدت بارندگی به طور مجزا و متقابل در مقدار هدررفت خاک موثر و اختلاف معنی دار بالایی در سطح یک درصد دارند.

کلید واژه: شدت بارندگی، درجه شیب، تلفات خاک، دوره بازگشت، مارن، هشان.

Assessment of The Effect of the Rainfall Returns Period and Pattern on The Hillslope Erosion on The Catchments (Case study: Heshan Basin)

A. Zoratipour^{1*} and M. ArabKhedri²

^{1*} - Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Khuzestan Ramin Agriculture and Natural Resources University.

² - Associate Professor, Institute of Soil Conservation and Watershed Management Research.

Received: 7 September 2014

Accepted: 8 November 2015

Abstract

Soil erosion is a complex phenomenon involving the detachment and transport of soil particles, storage and runoff of rainwater. The relative magnitude and importance of these processes depends on a host of factors, including climate, soil, topography, cropping and land management practices, control practices. The rainfall intensities and frequency are the effectible factors important on magnitude of the soil loss. The purpose of this research is the assessment of effect and contribution of the high intensity rainfalls (return period 100 years) rather than the low and medium intensity

rainfalls (return period 2 and 20 years) on soil erosion rate and flow hydraulics parameters and also the awareness hypothesis that the high intensity rainfalls are more effective than the periodic numbers of low intensity rainfalls. The study carried out on Marl soil of degraded rangeland from Heshan sub-basin by using of the rainfall and erosion simulator laboratory. The results of 18 experiments rainfall-runoff test showed that changes in return periods of rainfall from 20 years to 100 years and from 2 years to 20 years, respectively, has growth 2 times and 6 times flow unit, that it lead up increases accelerated from 3.3 times and 16 times of the amount of the Marl soil loss. So the rainfalls with high return period have aggregation periodic impact less than of the rainfalls with the low return period. Also increases the return periods to higher rainfall intensity have the progressive, direct and nonlinear effect on the amount of soil loss is Marl lands. Also, the slope percent show exponentially impacts in progressive 3 to 6 times on the discharge flow and then on the soil loss. Finally, the slope gradient and rainfall intensity factors separately and interaction effects on soil loss have high significant at one percent level.

Keywords: Rainfall intensity, Slope gradient, Soil loss, Returns period, Marl, Heshan.

مهمترین خاک‌های حساس به فرسایش شیاری و خندقی کشور هستند (احمدی، ۱۳۸۱). طبق برآوردهای صورت گرفته مساحت اراضی مارنی کشور بالغ بر ۲۵ میلیون هکتار است (عرب خدری و همکاران، ۱۳۸۷). این اراضی به دلایل مختلف نسبت به فرسایش بسیار حساس بوده و یکی از منابع مهم رسوب رودخانه‌ها هستند. به این خاطر تحقیقات بیشتری در مورد عوامل مؤثر بر فرسایش روی این اراضی ضرورت دارد. حساس‌ترین زمان به فرسایش حالتی است که این اراضی شخم خورده‌اند و به صورت آیش رها شده و یا به‌رغم کاشت، هنوز گیاه رشد کافی نکرده است تا بتواند از زمین حفاظت کند. این دوره در اکثر مناطق ایران مصادف با دوره بارندگی است (گلکاریان^۱، ۲۰۱۰ و لیو و همکاران^۲، ۲۰۱۰). اگر چه وقوع بارش‌های کوتاه مدت شدید به عنوان عامل مهمی برای فرسایش در این دوره شناخته شده است ولی برخی دیگر بر این اعتقاد هستند که بارش‌هایی که تکرار بیشتری دارند مؤثرترند (مورگان، ۱۹۹۵). تجربه خاصی در^۳ مورد نقش شدت فرسایش در شرایط خاک‌های کشور وجود دارد و مشخص نیست اثر دوره بازگشت بارندگی در هر منطقه بر میزان فرسایش چقدر است. به عبارت دیگر در شیبی معین سهم بارش با دوره بازگشت بالا در مقایسه با بارشی با دوره بازگشت کم چگونه است.

مواد و روش‌ها

بررسی منطقه مورد مطالعه

این مطالعه بر روی خاک اراضی تخریب یافته مارنی زیرحوضه هشان حوضه آبریز هشان سفیدرود انجام گرفت. این حوضه آبریز یکی از شاخه‌های آبخیز سفید رود به شمار می‌رود که در دامنه

مقدمه

مکانیسم فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز، دارای عملکردی پویا (دینامیک) است، که تحت تأثیر عوامل تأثیرگذار و تأثیر پذیر متعددی است (کائو و همکاران^۴، ۲۰۰۹). یکی از مهمترین عوامل تأثیر گذار بر مقدار فرسایش، خصوصیات باران به ویژه شدت بارندگی و اثر باران‌های با دوره بازگشت بالا می‌باشند (توی و همکاران^۵، ۲۰۰۲ و توری و همکاران^۶، ۱۹۸۷). باران‌های با شدت بالا نسبت به باران‌های ملایم دارای مقادیر فرسایش خاک بسیار بیشتری است. افزایش شدت بارندگی به دو صورت باعث افزایش کنش خاک می‌شود: افزایش شدت بارندگی، کاهش قدرت جذب خاک را به همراه دارد و در نتیجه باعث افزایش رواناب می‌گردد، از طرف دیگر با افزایش شدت بارندگی، قطر قطرات باران بیشتر و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد (گاورس و همکاران^۷، ۲۰۰۷ و گاورس و پوسن^۸، ۱۹۸۸). دیدگاه‌های پژوهشگران فرسایش خاک در مورد اثر شدت بارندگی بر نرخ فرسایش را می‌توان در دو دسته طبقه بندی کرد. عده ای نظیر هادسون^۹ (۱۹۹۳)، بر این اعتقادند که باران‌های نادر و با شدت بالا تعیین کننده نرخ فرسایش است (هادسون، ۱۹۹۳). در مقابل گروهی دیگر نظیر مورگان^{۱۰} (۱۹۹۵)، تعداد زیادی بارش‌های متوسط را مسئول اصلی فرسایش خاک می‌دانند (مورگان، ۱۹۹۵). آگاهی از نوع بارش مؤثر می‌تواند در انتخاب روش‌های حفاظت مؤثر باشد. بررسی و تبیین این دو نظر اهمیت ویژه ای از نظر کاربردی دارد. مراتع دارای خاک سازند مارن نمکی با املاح بالا، یکی از

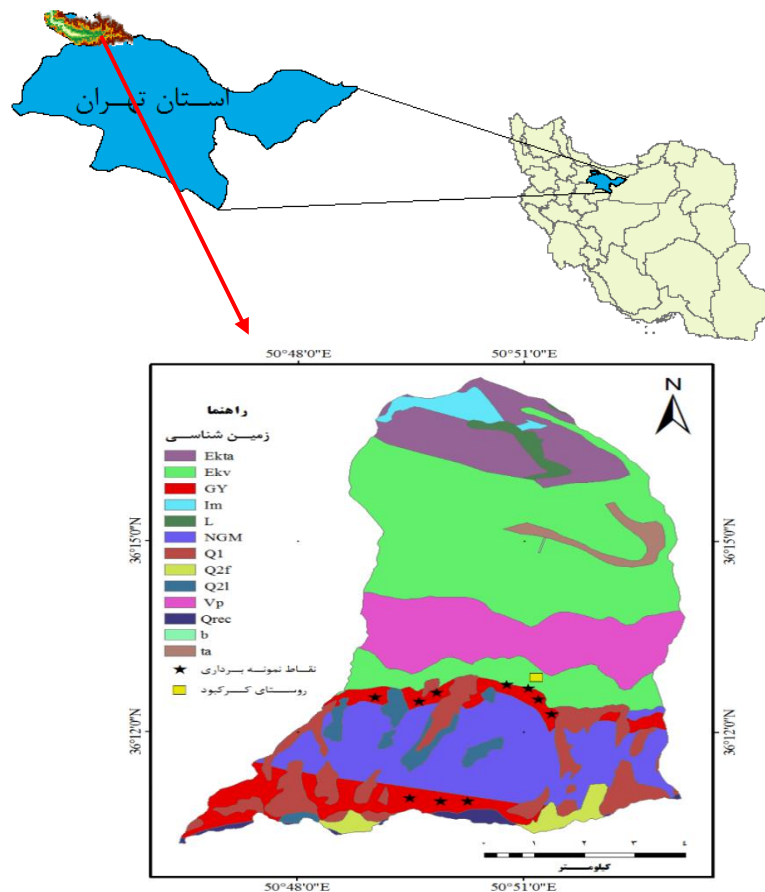
- 1- Cao *et al.*
- 2- Toy *et al.*
- 3- Torri *et al.*
- 4- Govers *et al.*
- 5- Govers and Poesen
- 6- Hudson
- 7- Morgan

یافته است و فعالیت فرسایش پایینی دارد و پوشش گیاهی تنگی دارا است، ولیکن در شیب‌های بالاتر فعالیت فرسایش بالایی از خود نشان می‌دهد (گلکاریان، ۲۰۱۰). در شکل (۱)، موقعیت و محدوده کلی منطقه مورد مطالعه و همچنین نقشه زمین شناسی زیرحوضه هشان به همراه نقاط نمونه برداری ارائه شده است.

فرضیه تحقیق

این مطالعه با هدف بررسی اثر دوره بازگشت باران در مقدار تخریب اراضی مارنی به رد و قبول فرضیه های زیر می پردازد. باران‌هایی با دوره بازگشت بالا، تأثیری بیشتر از تعداد متناظر دوره بازگشت‌های پایین دارد و نیز شدت بارندگی در دوره بازگشت‌های بالاتر نسبت به دوره بازگشت‌های پایین‌تر، تأثیر تصاعدی در مقدار هدررفت خاک به همراه دارد.

رشته کوه البرز و در بخش شمال شرقی استان تهران واقع شده است، که بین عرض های شمالی 36° تا $36^{\circ} 45/93''$ ، 50° ، $17/45''$ و طول های شرقی 51° و 36° تا $50^{\circ} 26/5''$ ، $39/33/39''$ واقع شده است. با توجه به آمار بارندگی ۳۵ ساله نزدیک ترین ایستگاه هواشناسی به زیرحوضه هشان (ایستگاه جویستان)، مقدار متوسط بارندگی سالانه این زیرحوضه و متوسط حداکثر بارش ۲۴ ساعته آن به ترتیب $537/65$ و $36/5$ میلی متر برآورد گردید. شیب متوسط این زیر حوضه $44/5$ درصد گزارش شده است (شکل ۱). سازند زمین شناسی GY_1 که از نظر خصوصیات سنگ شناسی، مارن دارای املاح گچ و نمک کم تا متوسط می باشد، مساحتی بالغ بر 1458 هکتار از سطح حوزه آبخیز طالقان را در برداشته و از نظر ضریب حساسیت به فرسایش جزء سازندهای با حساسیت بالا به فرسایش محسوب می شود. به طوری که این سازند از مهمترین منابع رسوب سد سفیدرود محسوب می شود که از این جهت بر ضرورت انجام این مطالعه می افزاید. سازند مارن حوزه آبریز، در شیب‌های کم تثبیت



شکل ۱- موقعیت و محدوده حوضه هشان و نقشه سازندهای زمین شناسی زیرحوضه به همراه موقعیت نقاط نمونه برداری

ذرتی پور و عرب خدری: بررسی اثر دوره بازگشت باران و الگوی آن بر فرسایش...

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در شبیه سازی

خصوصیات خاک	واحد	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
شن	درصد	۸	۱/۷	۰/۲۱
سیلت	درصد	۳۸	۴/۳	۰/۱۱
رس	درصد	۵۴	۴/۹	۰/۱۰
جرم مخصوص ظاهری	گرم بر سانتی متر مکعب	۱/۴	۰/۳	۰/۲۱
تخلخل	درصد	۴۶/۱	۶/۹	۰/۱۵
مواد آلی	درصد	۰/۴۵	۰/۳	۰/۶۵
کربنات کلسیم (CaCO ₃)	درصد	۱۹	۲/۱	۰/۱۱
گچ	درصد	۱۱/۳	۱/۷	۰/۱۵
سدیم تبادل (ESP)	درصد	۰/۴۵	۰/۲	۰/۴۵
ظرفیت تبدالی کاتیونی (CEC)	میلی اکی والانت در ۱۰۰ گرم	۷/۳	۱/۸	۰/۲۵
نسبت جذب سدیم (SAR)	میلی اکی والانت در لیتر	۰/۳	۰/۱	۰/۳

ویژگی های فلوام خاک

به دلیل محدودیت های مربوط به اجرای پژوهش های مرتبط با فرسایش از نظر رخداد باران های فرساینده مورد نظر در شرایط طبیعی، در این تحقیق خاک از منطقه مورد نظر به آزمایشگاه شبیه ساز باران و فرسایش منتقل شده و آزمایش ها پس از آماده کردن خاک در بستر فلوام مشابه با شرایط صحرائی، بعد از شخم و دیسک خوردن و تنظیم شیب و شدت بارش بر روی فلوام خاکی اجرا گردید. به طوری که بعد از جمع آوری و مخلوط کردن سه نمونه ده تنی (جمعاً ۳۰ تن خاک سطحی تا عمق متوسط ریشه گیاه (عمق ۵۰ سانتی متری))، توسط کامیون به محل آزمایشگاه انتقال و در معرض هوای آزاد خشک گردید، کلوخه های آن خرد شده و از الک یک سانتی متر عبور داده شد (یاثو و همکاران، ۲۰۰۸ و ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸). سپس ذرات ماسه ای درشت دانه (با قطر ۱-۲ سانتی متر) به عنوان لایه فیلتر به ضخامت ۱۵ سانتی متر در کف فلوام قرار داده شد، این لایه عمل زهکشی آب مازاد ناشی از بارش - رواناب را از کف فلوام انجام می دهد. لایه خاک مارنی به ضخامت ۲۵ سانتی متر بر روی لایه زهکش قرار گرفت. عملیات فشرده سازی و تسطیح با غلطک به صورت لایه به لایه انجام گردید تا اینکه به شرایط صحرائی برسد، سپس عمل اشباع سازی خاک از ناحیه زیرین فلوام انجام گرفت (یاثو و همکاران، ۲۰۰۸). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی در نقاط نمونه برداری بر روی سازند مارن نمکی انجام گردید که در جدول (۱) آورده شده است.

روش آزمایش و نمونه برداری

در این مطالعه اثر متغیر شدت بارندگی در سه سطح یا در سه دوره بازگشت دو، ۲۰ و ۱۰۰ ساله باران (۱۰، ۵۵ و ۱۱۰ میلی متر)، درجه

شیب در دو سطح (۲۲ و ۴۴ درصد) و در سه تکرار (نین و همکاران، ۲۰۰۷) مورد بررسی قرار گرفت، که نهایتاً ۱۸ بار آزمایش شبیه سازی انجام شد. هر آزمایش شبیه سازی ۲۴ ساعت بعد از اشباع سازی اولیه شروع گردید (یاثو و همکاران، ۲۰۰۸). نمونه های رسوب و حجم رواناب خروجی بعد از شروع رواناب در فواصل زمانی یک، دو، سه، پنج، هشت، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ دقیقه ای (به دلیل حساس بودن مارن به جریان های متمرکز و تغییرات ناگهانی در حجم رسوب خروجی) در مدت ۳۰ دقیقه بارش، نمونه برداری گردید.

داده های اندازه گیری شده شامل دبی رواناب، رسوب خروجی از انتهای فلوام و تعداد شیارها در هر سطح بود که مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین بین سطوح تیمارها (سه سطح باران، دو سطح شیب و اثر متقابل آنها) با استفاده از آزمون توکی در سطح پنج و یک درصد انجام شد (شکل ۲). پارامتر سرعت رواناب با روش ردیابی رنگ (استفاده از محلول دی کرومات پتاسیم) (وایتینگ و همکاران، ۲۰۱۲)، در طول فلوام به صورت متر به متر اندازه گیری گردید (کائو و همکاران، ۲۰۰۹ و رومرو و همکاران، ۲۰۰۷). سپس وزن رسوب موجود در ظروف نمونه گیری بعد از جدا نمودن آب آن، در ظروف

آلومینیومی در دستگاه آون گذاشته و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شده و غلظت نمونه های رسوب اندازه گیری گردید (کینل، ۲۰۰۵ و وان و همکاران، ۱۹۹۵).

3 - Knapen *et al.*
4 - Whiting *et al.*
5 - Romero *et al.*
6 - Kinnell
7 - Wan *et al.*

1- Yao *et al.*
2- Zhang *et al.*

نتایج و بحث

نتایج مقدار هدررفت و شدت فرسایش خاک

با توجه به نحوه تعیین تلفات خاک در هر واقعه بارش (بخش مواد و روش‌ها)، مقدار کل فرسایش در تمام سطوح آزمایشی اندازه گیری شد. جدول (۲)، نتایج نهایی اندازه گیری های مقدار تلفات خاک (کیلوگرم) و شدت هدررفت خاک (کیلوگرم بر مترمربع بر ثانیه) را در کلیه آزمایش های بارش-رواناب نشان می دهد. جدول (۲) مشخص نمود، بالا رفتن دوره بازگشت باران و بالتبع آن افزایش شدت بارندگی اثر تشدید و تأثیرگذار بر مقدار هدررفت خاک دارد؛

به طوری که در یک شیب ثابت، افزایش شدت بارندگی تلفات خاک را به شدت بالا می برد. به طوری که بالا رفتن دوره بازگشت، مقدار تلفات خاک را به صورت تصاعدی با روندی غیرخطی افزایش می دهد. همچنین، بالا رفتن درجه شیب در یک شدت بارش ثابت، افزایش شدید مقدار هدررفت خاک را نیز به همراه می آورد. با توجه به جدول (۲) مشخص گردید بیشترین هدررفت خاک، در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با میانگین تلفات ۲۵/۸۸ کیلوگرم، سپس در دوره بازگشت ۲۰ ساله با میانگین تلفات ۷/۹ کیلوگرم و بعد از آن در دوره بازگشت دوساله با میانگین تلفات ۰/۴۷۵ کیلوگرم رخ داده است.



شکل ۲- دو نمای مختلف از فلوم شیبدار خاک غیر متحرک و حوضچه آرامش

جدول ۲- شدت کل فرسایش و مقادیر هدررفت خاک در رخدادهای بارش

مقدار هدر رفت کل خاک (کیلوگرم)	شدت فرسایش 10^{-6} (کیلوگرم بر مترمربع بر ثانیه)	تکرار	شیب (درصد)	شدت بارش (میلی متر بر ساعت)	دوره بازگشت (سال)	آزمایش
۰/۱۲	۱۱	۱	۲۲	۱۰	۲	۱
۰/۱۰	۹/۲	۲	۲۲	۱۰	۲	۲
۰/۱۴	۱۲/۹	۳	۲۲	۱۰	۲	۳
۰/۸۵	۷۹	۱	۴۴	۱۰	۲	۴
۰/۷۲	۶۶	۲	۴۴	۱۰	۲	۵
۰/۹۲	۹۹	۳	۴۴	۱۰	۲	۶
۸/۵۱	۸۰۰	۱	۲۲	۵۵	۲۰	۷
۶/۸۳	۶۵۰	۲	۲۲	۵۵	۲۰	۸
۷/۵۵	۷۰۰	۳	۲۲	۵۵	۲۰	۹
۸/۹۱	۸۴۰	۱	۴۴	۵۵	۲۰	۱۰
۶/۷۰	۶۳۰	۲	۴۴	۵۵	۲۰	۱۱
۷/۸۶	۷۳۷	۳	۴۴	۵۵	۲۰	۱۲
۱۸/۵۴	۱۷۰۰	۱	۲۲	۱۱۰	۱۰۰	۱۳
۲۲/۵۱	۲۱۰۰	۲	۲۲	۱۱۰	۱۰۰	۱۴
۲۱/۴۴	۱۹۸۵	۳	۲۲	۱۱۰	۱۰۰	۱۵
۳۱/۵۰	۲۹۰۰	۱	۴۴	۱۱۰	۱۰۰	۱۶
۲۹/۵۲	۲۷۵۰	۲	۴۴	۱۱۰	۱۰۰	۱۷
۳۱/۷۲	۲۹۴۰	۳	۴۴	۱۱۰	۱۰۰	۱۸

ذرتی پور و عرب خدری: بررسی اثر دوره بازگشت باران و الگوی آن بر فرسایش...

جدول (۳) نشان می‌دهد، بالاترین دوره بازگشت منجر به افزایش تصاعدی و غیرخطی عمق متوسط جریان و دبی خروجی آب می‌گردد، این تغییرات عمق رواناب بر خاک مارن از حدود ۰/۵ میلی‌متر تا بیشتر از هشت میلی‌متر رشد نشان می‌دهد. با مشاهده نتایج جدول (۳)، با ثابت فرض نمودن شیب دامنه مشاهده گردید با تشدید بارش میانگین دبی واحد، در بارش‌های با دوره بازگشت ۲۰ ساله (۵۵ میلی‌متر بر ساعت)، نسبت به بارش‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله (۱۱۰ میلی‌متر بر ساعت) از ۰/۶۹ به ۱/۲۸ مترمربع بر ثانیه در 10^{-3} ، رسیده که حدود دوبرابر رشد داشته است. همچنین میانگین دبی جریان در بارش‌های با دوره بازگشت دو ساله (۱۰ میلی‌متر بر ساعت) نسبت به بارش‌های با دوره بازگشت ۲۰ ساله از ۰/۱۳ به ۰/۶۹ مترمربع بر ثانیه در 10^{-3} ، رسیده که حدود پنج و نیم برابر رشد داشته است. نتایج نشان داد عامل درجه شیب نیز بر مقدار دبی جریان تاثیر تشدیدکننده‌ای داشته است. به گونه‌ای که مشاهده‌ها نشان داد بالاترین شیب از ۲۲ درصد به ۴۴ درصد، میانگین دبی واحد جریان در دوره بازگشت‌های دو ، ۲۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب از $10^{-4} \times 0/4$ به $10^{-4} \times 2/2$ ؛ از $10^{-4} \times 3/07$ به $10^{-4} \times 10/74$ و از $10^{-4} \times 4/73$ به $10^{-4} \times 20/08$ مترمربع بر ثانیه افزایش یافته است.

با مشاهده نتایج جدول (۲)، با ثابت فرض نمودن درصد شیب، ملاحظه می‌شود با تشدید باران و تغییر دوره بازگشت آن از دو ساله به ۲۰ ساله، به طور متوسط، میانگین تلفات خاک از ۴۶/۱۸ به ۷۲۴/۵ کیلوگرم بر مترمربع بر ثانیه افزایش نشان داد. همچنین با تغییر مجدد الگوی بارش از دوره بازگشت ۲۰ ساله به ۱۰۰ ساله میانگین تلفات خاک از ۷۲۴/۵ به ۲۳۹۵/۸ کیلوگرم بر مترمربع بر ثانیه افزایش نشان می‌دهد.

نتایج نشان داد عامل درجه شیب نیز بر مقدار هدررفت خاک تأثیر تشدیدکننده‌ای داشته است. به گونه‌ای که مشاهدات نشان داد بالاترین شیب از ۲۲ درصد به ۴۴ درصد، میانگین تلفات خاک در دوره بازگشت‌های دو ، ۲۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب از ۰/۱۲ به ۰/۸۳؛ از ۷/۶۳ به ۸/۱۵ و از ۲۰/۸۳ به ۳۰/۹ کیلوگرم افزایش یافته است (جدول ۲).

نتایج روابط بین پارامترهای هیدرولیکی جریان

جدول (۳) نتایج پارامترهای هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در کلیه آزمایش‌های بارش-رواناب را نشان می‌دهد. به طوری که در این جدول نشان‌دهنده نتایج و تغییرات دبی واحد، متوسط عمق جریان و متوسط سرعت جریان خروجی در آزمایش‌های مختلف است.

جدول ۳- مشخصات پارامترهای هیدرولیکی جریان ناشی از بارش

شماره آزمایش	دوره بازگشت	شدت بارندگی (میلی‌متر بر ساعت)	درصد شیب	تکرار	عمق متوسط جریان (میلی‌متر)	سرعت متوسط جریان (متر بر ثانیه)	دبی واحد (مترمربع بر ثانیه) $\times 10^{-3}$
۱	۲	۱۰	۲۲	۱	۰/۵۶۵	۰/۰۷۳	۰/۰۴۱۳
۲	۲	۱۰	۲۲	۲	۰/۴۶۸	۰/۰۷۸	۰/۰۳۶۵
۳	۲	۱۰	۲۲	۳	۰/۵۷۹	۰/۰۷	۰/۰۴۰۵
۴	۲	۱۰	۴۴	۱	۱/۴۷	۰/۱۲۵	۰/۱۸۴۲
۵	۲	۱۰	۴۴	۲	۲/۰۱	۰/۱۲	۰/۲۴۱
۶	۲	۱۰	۴۴	۳	۱/۷	۰/۱۲۵	۰/۲۱۲
۷	۲۰	۵۵	۲۲	۱	۲/۱۶۷	۰/۱۴۲	۰/۳۱
۸	۲۰	۵۵	۲۲	۲	۱/۸۰	۰/۱۶۱	۰/۲۹
۹	۲۰	۵۵	۲۲	۳	۱/۸۸	۰/۱۷	۰/۳۲
۱۰	۲۰	۵۵	۴۴	۱	۵/۷۱	۰/۱۹۶	۱/۱۲
۱۱	۲۰	۵۵	۴۴	۲	۴/۷۱	۰/۱۹۱	۰/۹
۱۲	۲۰	۵۵	۴۴	۳	۶/۱۸	۰/۱۹۴	۱/۲
۱۳	۱۰۰	۱۱۰	۲۲	۱	۲/۰۶۹	۰/۲۰۴	۰/۴۲۲
۱۴	۱۰۰	۱۱۰	۲۲	۲	۲/۴۳	۰/۲۰۳	۰/۴۹۵
۱۵	۱۰۰	۱۱۰	۲۲	۳	۲/۴	۰/۲۱	۰/۵۰۴
۱۶	۱۰۰	۱۱۰	۴۴	۱	۸/۶۵	۰/۲۷	۲/۳۴
۱۷	۱۰۰	۱۱۰	۴۴	۲	۵/۸۶	۰/۳۹	۱/۷
۱۸	۱۰۰	۱۱۰	۴۴	۳	۸/۸	۰/۲۵	۲/۲

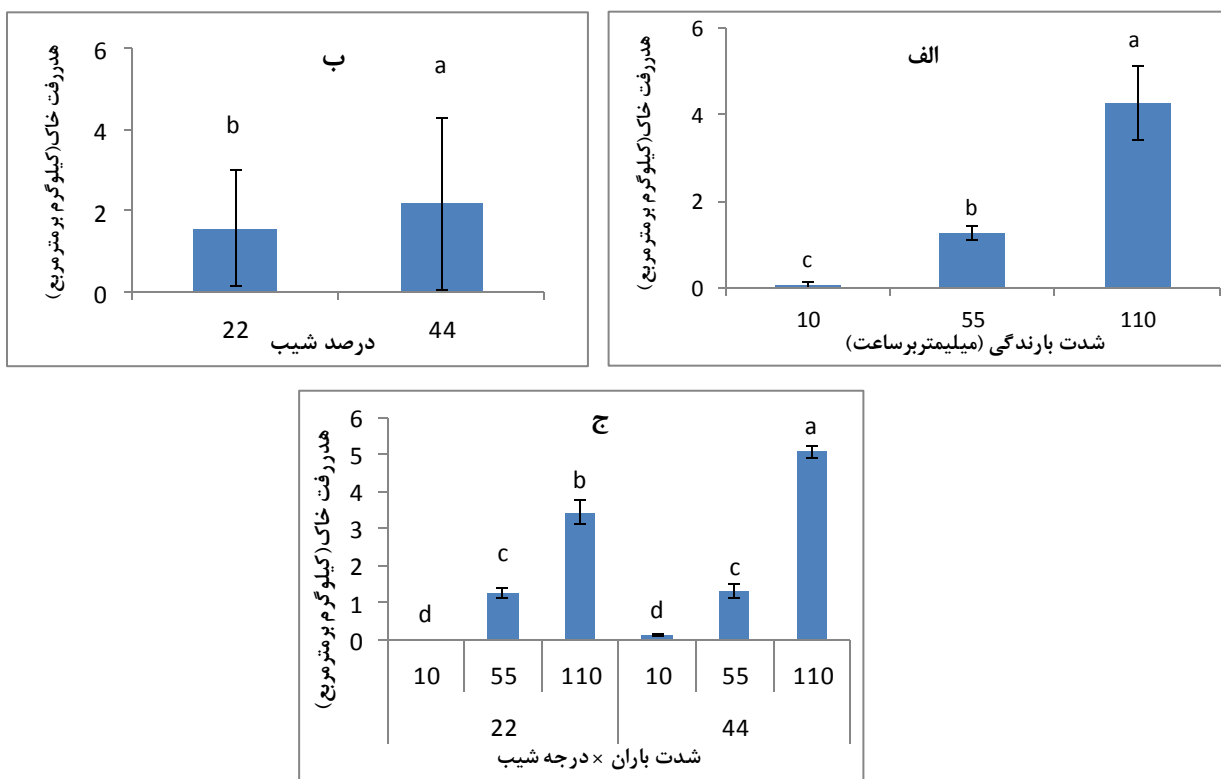
مدت ۳۰ دقیقه باران وجود دارد. بالاترین دوره بازگشت بیشترین تلفات خاک را نسبت به دو سطح دیگر ایجاد می کند. ولیکن در مورد متغیر درجه شیب، اختلاف با یکدیگر در مقدار تلفات خاک نداشتند (شکل ۳ ب). در شکل (۳ ج) اثر متقابل دو متغیر دوره بازگشت و درجه شیب اختلاف معنی دار در مقدار تلفات خاک نشان دادند، به طوری که دارای روندی مستقیم و غیرخطی با عامل مذکور نشان دادند.

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین در عامل تلفات خاک
در این مطالعه اثر معنی داری عامل تلفات خاک نیز بر اساس متغیرهای شدت بارش و درجه شیب نیز مورد بررسی قرار گرفت. جدول (۴) نشان دهنده مقدار معنی داری (تجزیه واریانس) کلیه متغیرها به همراه مقایسه میانگین ها (شکل ۳) داده های تلفات خاک می باشد. نتایج نشان داد اختلاف بالای معنی دار بین اثر شدت بارندگی، درجه شیب و اثر متقابل آنها با عامل تلفات خاک وجود دارد. شکل (۳ الف) نشان داد که اختلاف معنی دار بالایی در سه سطح دوره بازگشت بارش (دو، ۲۰ و ۱۰۰ سال) بر مقدار تلفات خاک در

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس مقدار تلفات خاک در آزمایش های بارش رواناب (n=۱۸)

ردیف	عامل متغیر	تلفات خاک (کیلوگرم)	sig
۱	درصد شیب	۱/۰۵۵**	۰/۰۰
۲	شدت بارندگی	۱۸/۵۷**	۰/۰۰
۳	اثر متقابل (درصد شیب * شدت بارندگی)	۰/۸۳**	۰/۰۰۱
۴	ضریب تغییرات (درصد)	۱۲/۹۴	

** اختلاف معنی دار در سطح یک درصد



شکل ۳- نمودار مقایسه میانگین متغیرهای شدت بارندگی (دوره بازگشت) و درجه شیب بر عامل تلفات خاک (آزمون توکی در سطح پنج درصد، تعداد: ۱۸)

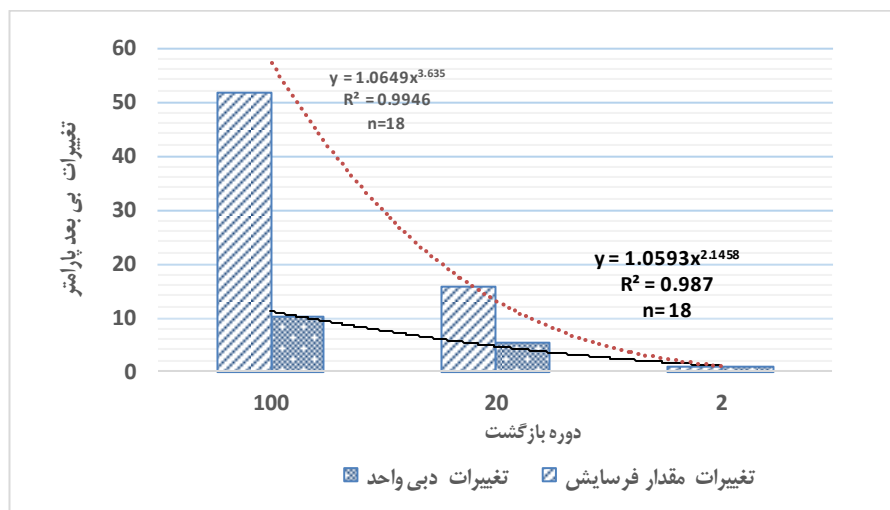
ذرتی پور و عرب خدری: بررسی اثر دوره بازگشت باران و الگوی آن بر فرسایش...

جدول ۵- خلاصه مدل رگرسیون چند متغیره فرسایش خاک

نوع مدل	ضریب همبستگی (R)	ضریب تبیین (R ²)	ضریب تبیین اصلاح شده (R ²)	خطای استاندارد شده
رگرسیون چند متغیره	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۹۱	۳/۵۱

Soil loss = 0.26 I + 0.16 S - 9.04

معادله رگرسیونی دو متغیره نهایی



شکل ۴- نمودار تغییرات مقادیر بی بعد شده فرسایش و دبی واحد در دوره بازگشت های مختلف

در نوع جریان از ورقه ای به متلاطم و آشفته؛ و همچنین تغییر یافتن عدد بی بعد رینولدز در خاک‌های ریزدانه ماری نسبت داد، که از دوره بازگشت دو ساله به ۲۰ ساله نسبت به دوره بازگشت ۲۰ ساله به ۱۰۰ ساله نمود بیشتری نشان داد.

نتیجه گیری

با توجه به مطالب ارائه شده در بخش نتایج و همچنین تجزیه و تحلیل آماری داده ها در ۱۸ آزمایش بارش-رواناب، نتایج نشان داد با شدت یافتن باران و افزایش دوره بازگشت آن از ۲۰ سال به ۱۰۰ سال و از دو سال به ۲۰ سال، به ترتیب باعث رشد دو برابری و شش برابری دبی جریان واحد می گردد، که این افزایش منجر به تشدید تلفات خاک به ترتیب ۳/۳ برابری و ۱۶ برابری مقدار تلفات اولیه در خاک اراضی ماری شده است. پس بنابراین با این نتیجه بیان می شود باران‌های با دوره بازگشت بالا، تأثیری کمتر از تعداد متناظر باران‌هایی با دوره بازگشت پایین دارند، لذا فرضیه اول پژوهش پذیرفته نمی گردد. لذا بایستی اذعان نمود شرایط حاکم بر فرایندهای فرسایشی بسیار پیچیده بوده و سیر خطی را طی نموده و دارای روندی نمایی و غیرخطی می باشد. نتایج این تحقیق با یافته‌های مطالعات مورگان (۱۹۹۵) و یاتو و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد. بنابراین بیان می گردد تغییرات روند (دوره بازگشت باران - هدررفت

- نتایج مدل رگرسیونی هدررفت خاک دامنه

جدول (۵)، خلاصه مدل رگرسیونی خطی بین هدررفت خاک با عامل‌های شدت بارندگی و درجه شیب را نشان می دهد، به گونه ای که هردو پارامتر در سطح معنی داری بالایی در سطح ۹۹ درصد، مدل رگرسیونی حاصل را ارائه نمودند که ضریب همبستگی آن ۹۶ درصد و ضریب تبیین ۰/۹۱ بدست آمد. Soil loss: مقدار هدررفت خاک به کیلوگرم، متغیر I: شدت بارندگی به میلیمتر بر ساعت و متغیر S: مقدار شیب به درصد می باشد.

شکل (۴)، تغییرات بی بعد شده مقادیر فرسایش خاک و دبی واحد جریان در دوره بازگشت‌های دو، ۲۰ و ۱۰۰ ساله را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد روند تغییرات فرسایش و دبی واحد در دوره بازگشت های مختلف خطی نبوده و مدلی توانی، با مقدار همبستگی بالا ($R^2 = 0.98$) را نشان می دهد. این نمودار نشان می دهد، با شدت یافتن بارش و تغییر دوره بازگشت آن از دو ساله به ۲۰ ساله به ترتیب منجر به افزایش ۱۶ و شش برابر مقدار فرسایش خاک و دبی جریان واحد شده است. همچنین تغییر دوره بازگشت بارش از ۲۰ ساله به ۱۰۰ ساله نیز به ترتیب باعث افزایش ۳/۳ و دو برابر مقادیر فرسایش خاک و دبی جریان واحد شده است. دلیل این امر را می توان به تغییر یافتن خصوصیات هیدرولیکی جریان رواناب ناشی از افزایش دوره بازگشت باران (تشدید شدت بارندگی) و تغییر

میانگین تلفات ۷/۹ کیلوگرم و بعد از آن در دوره بازگشت دو ساله با میانگین تلفات ۰/۴۷۵ کیلوگرم رخ داده است. بنابراین نتیجه گیری شد شدت بارندگی در دوره بازگشت های بالاتر، تاثیر تصاعدی و غیرخطی در مقدار تلفات خاک مارن دارد. همچنین اثر فاکتورهای درجه شیب و شدت بارندگی بطور مجزا و نیز اثر متقابل در مقدار هدررفت خاک موثرند. درجه شیب نیز تاثیر تشدیدشونده‌ی سه تا شش برابری در افزایش تصاعدی دبی جریان و سپس هدررفت خاک نشان داد. در نهایت با مشاهدات به دست آمده مدل کمی با معنی داری بالا؛ بین مقدار هدررفت خاک با عامل های شدت باران و شیب دامنه با ضریب تبیین ۰/۹۲ بسط داده شد.

خاک) از ۲۰ سال به ۱۰۰ سال و از دو سال به ۲۰ سال بر خاک حساس مارن روندی غیرخطی و تصاعدی داشته و روند مستقیم و ثابتی را طی نمی کند.

همچنین شیب تغییرات تلفات خاک با صعود دبی واحد جریان و کلیه پارامترهای هیدرولیکی جریان نظیر سرعت و عمق رواناب همراه بوده و جهتی همسو نسبت به یکدیگر دارند ولیکن شدت‌هایی متفاوت را نشان می دهند. به دیگر سخن، با نتایج بدست آمده مشخص گردید با تغییر ناچیزی در مقدار دبی واحد، تلفات خاک شدیدتری به وقوع می پیوندد.

ملاحظه گردید بیشترین هدررفت خاک، در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با میانگین تلفات ۲۵/۸۸ کیلوگرم، سپس در دوره بازگشت ۲۰ ساله با

منابع

- ۱ - احمدی، ح. ۱۳۸۱. ژئومورفولوژی کاربردی، جلد اول، فرسایش آبی، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۹۵ صفحه.
- ۲ - عرب خدری، م، محمودآبادی، م، روحی پور، ح، حیدریان، ا. و د. لطف الله زاده. ۱۳۸۷. بررسی خصوصیات بارش و کالیبراسیون باران ساز، گزارش نهایی مرکز حفاظت خاک و آبخیزداری، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، وزارت جهاد کشاورزی، ۷۳ صفحه.
- 3- Cao, L., Zhang, K. and W. Zhang. 2009. Detachment of road surface soil by flowing water. *Catena Journal*, 76(2): 155-162.
- 4- Golkarian, A. 2010. The Effect of slope length on amount soil total detachment loss, Ph.D Thesis in The Field Watershed Management, Tehran University, 160 p.
- 5- Govers, G. and J. Poesen. 1988. Assessment of the inter-rill and rill contributions to total soil loss from upland plot. *Geomorphology Journal*, 18(1): 343-354.
- 6- Govers, G., Giménez, R. and K. Van Oost. 2007. Rill erosion: Exploring the relationship between experiment modeling and field observations. *Earth Science Reviews*, 84(1): 87-102.
- 7- Hudson, N.W. 1993. Field measurement of soil erosion and runoff. *FAO Corporate Document Repository*, 68(1), Bedford, UK.
- 8- Knapen, A., Poesen, J., Govers, G., Gyssels, G. and J. Nachtergaele. 2007. Resistance of soils to concentrated flow erosion: A review. *Earth Science Reviews* 80(1): 75-109.
- 9- Kinnell, P.I.A. 2005. Raindrop-impact-induced erosion processes and prediction: A review. *Hydrology Journal*, 19(4): 2815-2844.
- 10- Liu, G., Yang, M., Warrington, D.N., Liu, P. and L. Tian. 2010. Using beryllium-7 to monitor the relative proportions of inter-rill and rill erosion from loess soil slopes in a single rainfall event, *Earth Surface Processes and Landforms*, 36 (3): 439-448.
- 11- Morgan, R.P.C., 1995. Soil erosion and conservation. Second Edition, Longman Group, Harlow, UK, 889P.
- 12- Romero, C., Stroosnijder, L. and G.A. Baigorria. 2007. Inter-rill and rill erodibility in the northern andean highlands. *Catena Journal*. 70(2): 105-113.

- 13- Torri, D., Sfalaga, M. and M. Del Sette. 1987. Splash detachment: Runoff depth and soil cohesion. *Catena Journal*, 14(2): 149-155.
- 14- Toy, T.J., Foster, G.R. and K.G. Renard. 2002. Soil erosion processes, prediction measurement under simulated rainfall. *Journal of Soil Science*, 150(1): 787-798.
- 15- Wan, Y., El-Swaify, S.A. and R. A. Sutherland. 1995. Partitioning inter-rill splash and wash dynamics: A novel laboratory approach, *Soil Technology Journal*, 9(3): 55- 69.
- 16- Whiting, P.J., Bonniwell, C.E. and G. Matisoff. 2012. Depth and areal extent of sheet and rill erosion based on radionuclides in soils and suspended sediment. *Geology Journal*, 29(1): 1131-1134.
- 17- Yao, C., Lei, T., Elliot, W.J., McCool, D.K., Zhao, J. and S. Chen. 2008. Critical condition for rill initiation. *Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers Journals*, 51(1): 107-114.
- 18- Zhang, Q., Lei, T. and J. Zhao. 2008. Estimation of the detachment rate in eroding rills in flume experiments using an REE tracing method, *Geoderma Journal*. 147(2): 8-15.