کاربرد باران‌ساز برای طراحی سامانه‌های کوچک سطوح آبگیر باران

محمود عرب‌خدری*[۱]، زهرا گرامی[۲]، رضا بیات[۳]، صمد شادفر[۴]، سعید نبی‌پی لشکریان[۵]، یحیی پرویزی[۶]، رحیم کاظمی[۷]

۱- * دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،(*arabkhedri@scwmri.ac.ir*)

۲- دانشجوی دکتری مدیریت منابع خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، (*gerami@stu.sku.ac.ir*)

۳- استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، (*bayat52@gmail.com*)

۴- دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، (*samad.shadfar@gmail.com*)

۵- کارشناس ارشد پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، (*snabipay@gmail.com*)

۶- دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، (*yparvizi1360@gmail.com*)

۷- استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، (*ra_hkazemi@yahoo.com*)

چکیده

در طراحی سامانه‌های آبگیر باران از قبیل ریز حوزه‌ها (Micro catchments) برای درختکاری در دامنه‌ها و همچنین هلالی‌های آبگیر در مراتع آگاهی از ضریب رواناب و حجم آب جمع شده ناشی از بارش ضروری است. به این منظور در یک پژوهش ملی چند تتن خاک از چهار زمین دیم منتخب مشتمل بر فراغی (استان گلستان)، سرارود (استان کرمانشاه)، کوهین (استان قزوین) و سراب ننییز (استان کهگیلویه و بویراحمد) به آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری منتقل شد و پس از آماده‌سازی به روش‌های استاندارد، تحت بارشی به شدت ۶۴ میلی‌متر در ساعت در سه شیب ۶، ۱۲ و ۲۵ درصد به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت. چنین بارانی احتمال وقوع کمی دارد و قابل استفاده برای طراحی سامانه‌های مذکور است. دبی خروجی در طول آزمایش با فواصل ۱ تا ۳ دقیقه (جمعا در ۱۷ نوبت) و حجم کل رواناب اندازه‌گیری و سپس ضریب رواناب و ظرفیت نفوذ خاک‌ها با توجه حجم بارش محاسبه شد. ظرفیت نفوذ خاک‌ها بین حدود ۳ تا ۶ سانتی‌متر بر ساعت بدست آمد. ضریب رواناب این خاک‌ها (به استثناء خاک سرارود با نفوذ بالا) بین ۵۰ تا ۹۰ درصد محاسبه شد. با توجه به ویژگی‌های خاک‌ها، به نظر می‌رسد ساختمان خاک، وزن مخصوص و مقدار ماده آلی عوامل تعیین کننده ظرفیت نفوذ باشند. حجم رواناب (به استثناء خاک سرارود) در شدیدترین رویدادها از هر مترمربع بین ۱۵ تا ۳۰ لیتر برآورد شد که در طراحی سامانه‌های سطوح آبگیر مذکور در بالا ککاربرد دارد. برای خاک‌ها با نفوذپذیری بالا، کوبیدن خاک یا استفاده از روش‌های دیگر برای کاهش نفوذ و افزایش ضریب رواناب توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی:

سامانه سطوح آبگیر باران، ضریب رواناب، ظرفیت نفوذ، شبیه‌ساز باران.

مقدمه

رواناب سطحی بخشی از بارندگی است که پس از تبخیر، گیرش، نگهداشت سطحی و نفوذ، در سطح خاک جاری می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۷). ضریب رواناب، نسبتی بدون بعد است که از تقسیم ارتفاع یا حجم رواناب به ارتفاع یا حجم بارش بدست می‌آید. این ضریب در مواردی نظیر محاسبه دبی اوج جریان و حجم کل رواناب ناشی از باران به کار می‌رود (علیزاده، ۱۳۸۷). امکان محاسبه ضریب رواناب با اطلاع از مقدار نفوذ نیز وجود دارد. بنابراین، در نگاهی کلی دو عامل شدت بارش و ضریب نفوذ تعیین کننده ضریب رواناب هستند (Morgan، ۲۰۰۵). در شرایط شدت ثابت بارش، مقدار نفوذپذیری عامل تعیین کننده است. نفوذپذیری در طول زمان کاسته می‌شود و در نهایت به حداقلی می‌رسد که به آن ظرفیت نفوذ می‌گویند. ظرفیت نفوذ به عوامل متعددی از قبیل بافت خاک، ساختمان خاک، مقدار سنگریزه در پروفیل، سنگریزه سطحی، پوشش گیاهی و شیب زمین بستگی دارد (بای‌بوردی، ۱۳۷۹).

ضریب رواناب در مقیاس دامنه و حوضه قابل محاسبه است. در مقیاس دامنه، تغییرات ضریب رواناب در طراحی سامانه‌های متداول سطوح آبگیر باران نظیر ریز حوزه‌ها (Micro catchments) و هلالی‌های آبگیر که سطوح آبخیز آن‌ها در حد چند متر مربع تا چند ده متر مربع هستند اهمیت دارد و برای تعیین اندازه حوضچه انتهایی این نوع سامانه‌ها با توجه به مساحت آبخیز آن‌ها به کار می‌رود. این سامانه‌ها در احداث باغات (یاراحمدی و همکاران، ۱۳۹۵) و کاشت درختان غیر مثمر و احیاء جنگل‌های واقع در معرض خشکیدگی در زاگرس (حشمتی و همکاران، ۱۳۹۷) و حتی احیاء مراتع (قربانی مقدم و همکاران، ۱۳۹۴) به کار می‌روند.

موضوع رواناب دامنه‌ها در مطالعات متعددی با بارش‌های طبیعی یا باران‌ساز بررسی شده‌اند. رئیسیان و موسوی (۱۳۷۶) در یک بررسی صحرایی با استفاده از یک دستگاه شبیه ساز باران قابل حمل، زمان شروع رواناب در خاک‌هایی با کاربری زراعی و مرتعی و در شرایط رطوبتی و شیب‌های مختلف را اندازه‌گیری نمود. نتایج به‌دست آمده حاکی از این است که با افزایش شیب، زمان شروع رواناب به صورت یکنواخت کاهش می‌یابد. محمودآبادی و همکاران (۱۳۸۶) در بررسی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر تولید رواناب با استفاده از شبیه ساز باران در منطقه گل آباد اردستان به این نتیجه رسیدند که در بارشی با شدت ۳۵ میلی متر بر ساعت در مدت ۴۰ دقیقه در تکرارهای مختلف با افزایش میزان رس، رواناب افزایش یافته، در حالیکه میزان شن، تولید رواناب را کاهش می‌دهد. زارع خورمیزی و همکاران (۱۳۹۱) پژوهشی به منظور بررسی اثر شیب و خصوصیات خاک بر رواناب در حوضه آبخیز چهل چای استان گلستان انجام داده است که پس از انتخاب سه واحد اراضی در مناطق زراعی، در هر سه واحد اراضی سه طبقه شیب ۱۰-۰، ۳۰-۱۰ و بیش‌تر از ۳۰ درصد تعیین کردند. بارش به‌وسیله شبیه ساز باران با شدت ثابت ۱۲۰ میلی متر بر ساعت به مدت ۱۵ دقیقه تولید شد. نتایج نشان داد که بین حجم رواناب و شیب همبستگی کمی وجود دارد.

کاربری حدود ۱۰ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی ایران دیم است (Siadat، ۱۹۹۸)که سالانه بخشی از آن آیش باقی می‌مانند. بر اساس بررسی داده‌های موجود از پلات‌های فرسایش، مقدار فرسایش این اراضی به طور متوسط هفت برابر مراتع مجاورشان برآورد شده است (عرب‌خدری و همکاران، ۱۳۹۵). با هدف کاهش فرسایش، دیمزارها محل مناسبی برای طرح توسعه باغات معاونت باغبانی وزارت جهاد کشاورزی که قرار است در سطح ۵۰۰ هزار هکتار در اراضی شیب‌دار انجام شود (بی‌نام، ۱۳۹۷) می‌باشند. گرچه ممکن است به‌دلایل مختلف امکان ایجاد باغ با این مساحت مقدور نباشد، اما از آنجا که بارندگی منبع اصلی تامین آب باغات دیم است، طراحی سامانه‌های جمع‌آوری رواناب برای درختان به عنوان یکی از اجزاء اصلی این طرح ضرورت دارد. چه بدون تامین آب کافی در چاله پای درختان، آن‌ها قادر به رشد و تولید محصول نخواهند بود. از سوی دیگر، چنانچه اندازه چاله متناسب با حجم رواناب طراحی نشود، امکان سرریز و تخریب در پایین دست وجود دارد. با توجه به این موضوع، بررسی ضریب رواناب دیمزارها به عنوان یکی از گام‌های اولیه ضرورت دارد که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش اثر شیب دامنه بر ضریب رواناب چهار خاک مختلف در آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری بررسی شد. این آزمایشگاه، با امکان تولید بارش از ارتفاع حدود ۸ متری روی فلوم شیب پذیر (تا ۶۰٪) با طول ۶ و عرض ۱ متر، محل مناسبی برای شبیه سازی مطالعات مرتبط با فرسایش و رواناب است (عرب‌خدری و همکاران، ۱۳۸۷).

چهار منطقه مهم کشت دیم مشتمل بر شهر فراغی (شهرستان کلاله، استان گلستان)، روستای سرارود (شهرستان کرمانشاه، استان

کرمانشاه)، شهر کوهین (شهرستان قزوین، استان قزوین) و روستای سراب ننیز (شهرستان گچساران، استان کهگیلویه و بویراحمد) انتخاب (شکل ۱) و حدود ۱۰ تن خاک سطحی از لایه ۲۰-۰ سانتی‌متر به پژوهشکده انتقال یافت و خاک هوا خشک از سرند ۱/۵ سانتی‌متری عبور داده شد. برخی از مشخصات خاک سرند شده در جدول ۱ ملاحظه می‌شود.

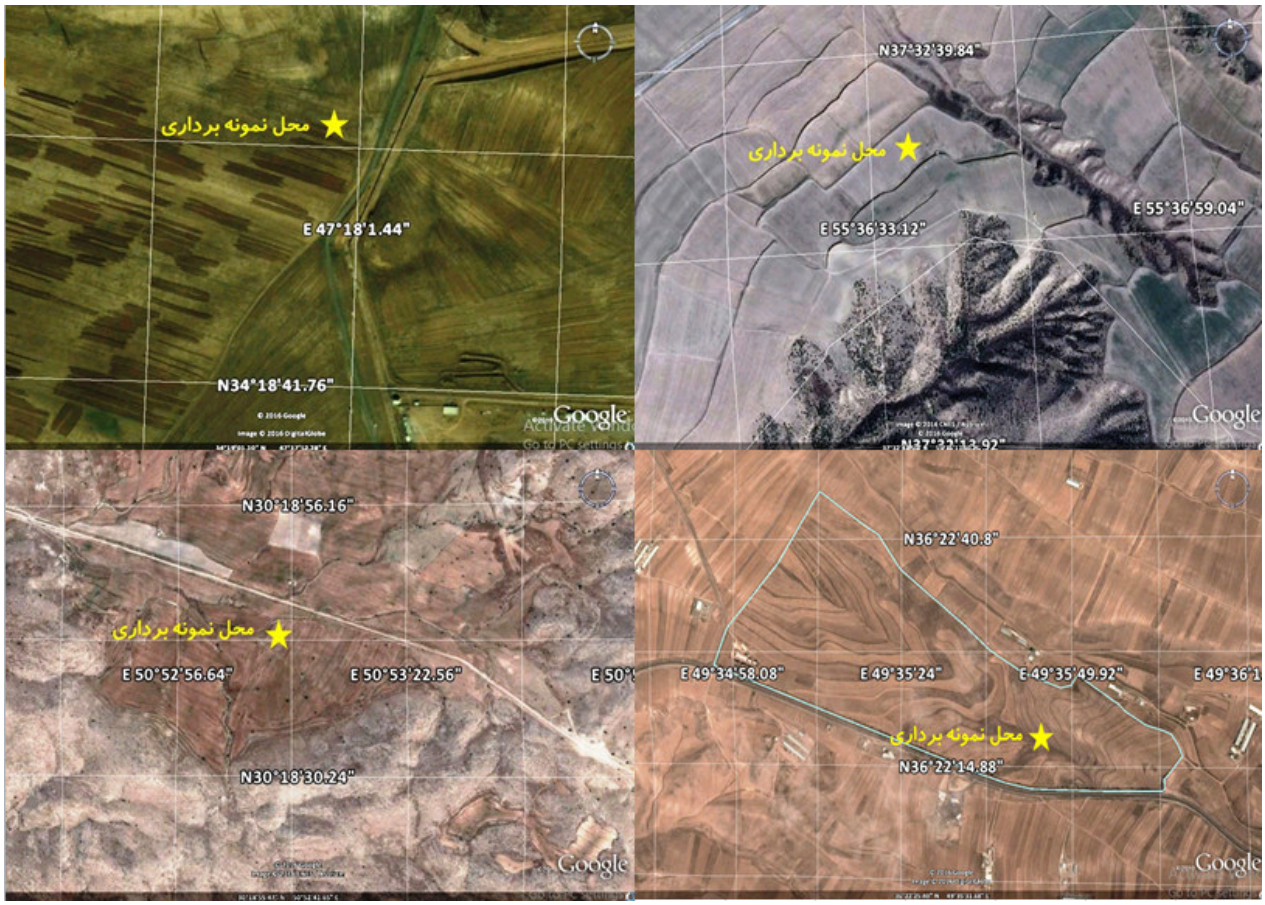
هر خاک در سه شیب ۶، ۱۲ و ۲۵ درصد، به مدت ۳۰ دقیقه تحت بارش ۶۴ میلی‌متر در ساعت قرار داده شد. احتمال وقوع بارشی با این شدت-مدت بسیار کم است. بنابراین، ضریب رواناب حاصله از این بارش استثنایی، قابل استفاده در طراحی اندازه چاله انتهایی ریزحوضه‌ها و چاله‌های فلسی شکل است.

برای هر آزمایش، مطابق روش‌های معمول، لایه ۲۰ سانتی متری خاک در فلوم آماده‌سازی شد. با قرار دادن ورقه فلزی و تقسیم عرض یک متری فلوم به دو بخش نیم متری، دو تکرار به طور همزمان در نظر گرفته شد. پس از آماده شدن فلوم، خاک از کف فلوم به‌آرامی اشباع و سپس تخلیه گردید. بعد از خروج آب اضافی، فلوم در شیب مورد نظر تنظیم و بارش آغاز شد. پس از شروع آزمایش، حدود یک لیتر رواناب در زمان‌های مشخص در مدت بارش به شرح زیر اندازه‌گیری شد.

- فواصل یک دقیقه‌ای در هشت دقیقه اول
- فواصل دو دقیقه‌ای از دقیقه هشت تا ۱۸
- فواصل سه دقیقه‌ای از دقیقه ۱۸ تا پایان آزمایش

علاوه بر آن کل حجم رواناب در ظرف‌های جداگانه‌ای جمع‌آوری و اندازه گیری شد.

با آگاهی از مقدار بارش، دبی لحظه‌ای رواناب در طول آزمایش، و حجم کل روانناب اندازه‌گیری ششده، متوسط ضریب روانناب و ظرفیت نفوذ (ضریب نفوذ نهایی) محاسبه شد.



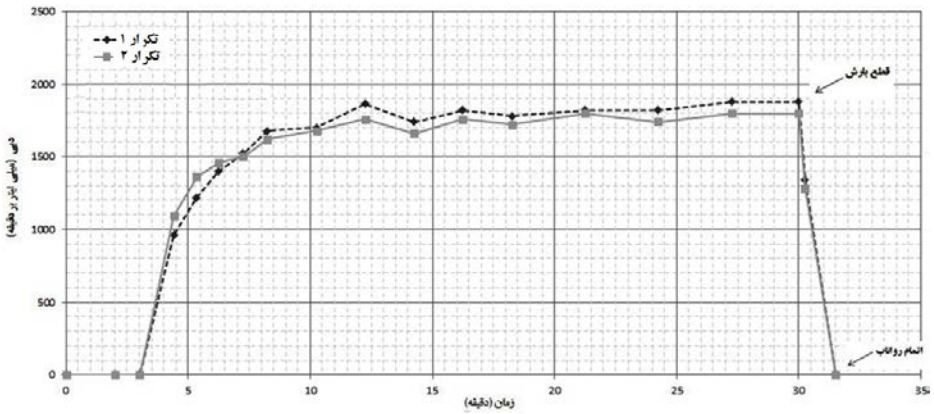
شکل ۱- تصویر ماهواره‌ای از مناطق نمونه‌برداری شده- بالا راست: فراغی، بالا چپ: کوهین، پایین راست: سرارود و پایین چپ: سراب ننیز

جدول ۱- برخی از مشخصات خاک‌های مورد مطالعه

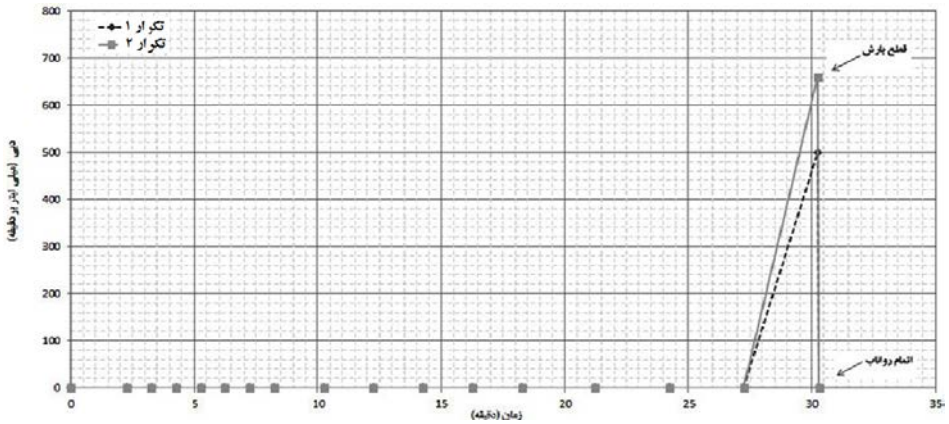
ویژگی	فراغی	سرارود	کوهین	سراب ننیز
سنگریزه (<۱۵ میلی متر)	۲	۵	۱۵	۲۲
سنگریزه (۲ تا ۱۵ میلی متر)	۰	۱	۷	۱۶
بافت	لوم سیلتی	رسی سیلتی	لوم ماسه‌ای	لوم
ساختمان	بدون ساختمان	دانه‌ای خیلی ریز	دانه‌ای ریز	بدون ساختمان
ماده آلی	۰/۶۷	۱/۸۹	۰/۸۹	-
آهک	۳۱/۰	۳۱/۲	۲۳/۳	۵۲/۱
وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۱/۵	۱/۱	۱/۳	۱/۵
تخلل (درصد)	۴۴	۵۷	۴۷	۴۲

نتایج و بحث

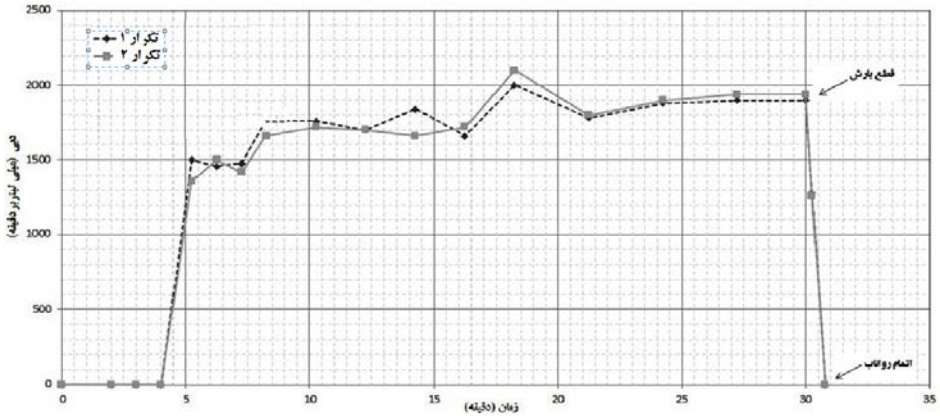
شکل‌های ۲ تا ۵ به ترتیب نمودارهای تغییرات دبی رواناب به ازاء زمان در آزمایش‌های مربوط به شیب ۱۲ درصد خاک‌های فراغی، سرارود، کوهین و سراب ننیز را نشان می‌دهد. به غیر از خاک سرارود که رواناب در دقیقه ۲۷ آغاز شده، زمان شروع جریان خروجی سایر خاک‌ها از انتهای فلوم بین دقایق صفر تا پنج است. همانطور که ملاحظه می‌شود در سه خاک فراغی، کوهین و سراب ننیز، دبی بین دقایق ۵ تا ۱۰ به دبی اوج نزدیک شده و در مراحل انتهایی بارش به ثبات نسبی رسیده است. در مقابل، در آزمایش مربوط به خاک سرارود، این ثبات دیده نمی‌شود. بنابراین نمی‌توان ظرفیت نفوذ این خاک را بر اساس این آزمایش محاسبه کرد.



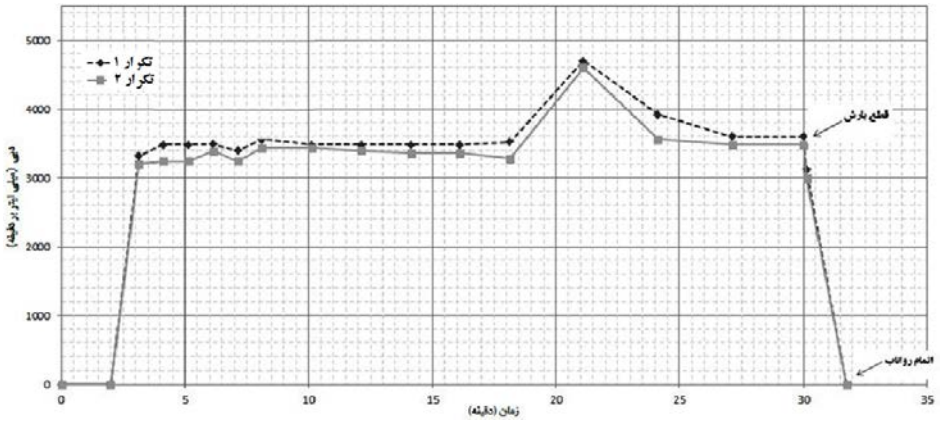
شکل ۲- نمودار تغییرات دبی در مدت ۳۰ دقیقه در شیب ۱۲ درصد خاک فراغی



شکل ۳- نمودار تغییرات دبی در مدت ۳۰ دقیقه در شیب ۱۲ درصد خاک سرارود

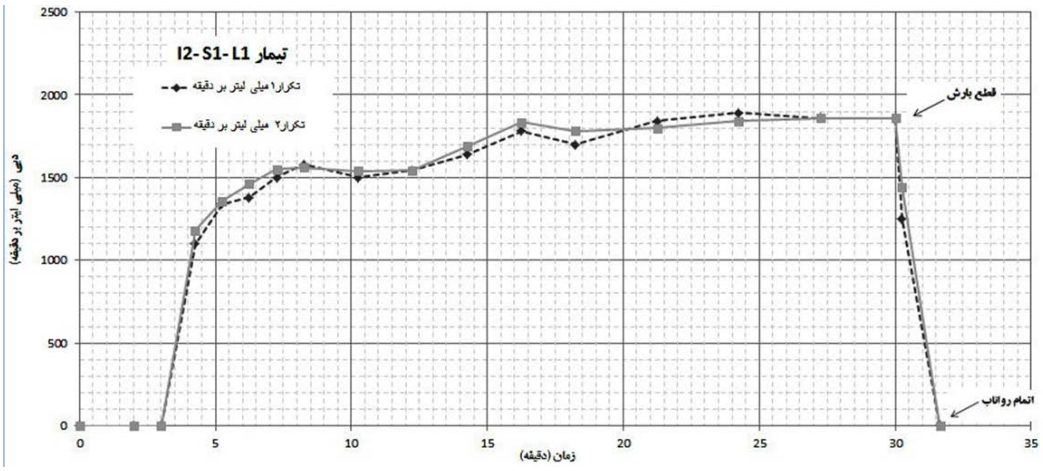


شکل ۴- نمودار تغییرات دبی در مدت ۳۰ دقیقه در شیب ۱۲ درصد خاک کوهین



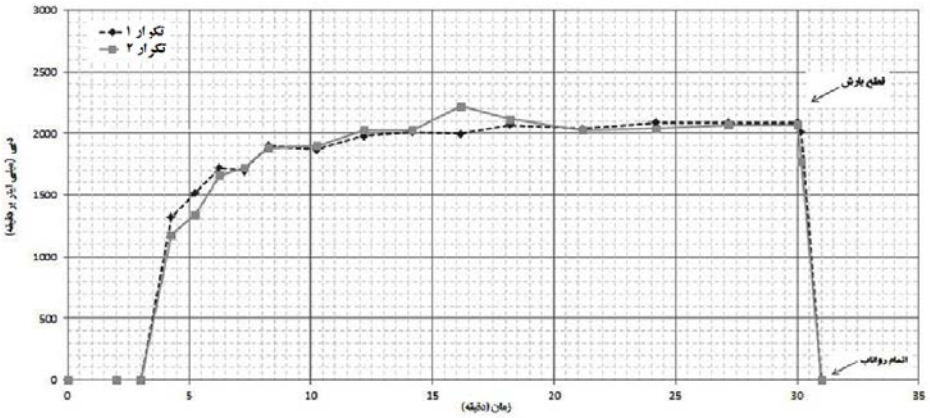
شکل ۵- نمودار تغییرات دبی در مدت ۳۰ دقیقه در شیب ۱۲ درصد خاک سراب ننیز

شکل عمومی نمودارهای تغییرات دبی خروجی دو شیب ۶ درصد و ۲۵ درصد هر خاک نیز تا حد زیادی شبیه نمودار ششیب ۱۲ درصد مربوطه است. به عنوان نمونه شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب نمودارهای دو شیب ۶ درصد و ۲۵ درصد فراغی را نشان می‌دهند ککه حکایت از مشابه بودن زمان شروع رواناب دارد و تنها اختلاف جزئی در مقدار رواناب مشاهده می‌شود. در سه خاک دیگگر ایین اختلاف کمتر است و حتی در مواردی تقلیل نیز مشاهده می‌شود (جدول ۲). کاهش رواناب با افزایش شیب را می‌توان ناشی از اثر عامل انسانی در آماده‌سازی خاک و وقوع فرسایش شیاری در شیب‌های تند ارتباط داد. تشکیل شیار سبب افزایش سطح نفوذ از جمله از دیواره‌های شیار می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در محدوده سه شیب مورد بررسی، اثر شیب بر دبی نهایی حداکثر در حدود ۲۰ درصد است.



شکل ۶- نمودار تغییرات دبی در مدت ۳۰ دقیقه در شیب ۶ درصد خاک فراغی

ستون‌های ۳ تا ۵ جدول ۲ برخی از اطلاعات استخراج شده از مجموعه نمودارهای تغییرات دبی در خاک‌های مورد مطالعه بعلاوه حجم کل رواناب خروجی که در مخازن بزرگ جمع‌آوری شده بود را نشان می‌دهد. ستون‌های ۴ و ۵ نیز با توجه اطلاعات ببارش و رواناب محاسبه شده است. توضیح آنکه با شدت ۶۴ میلی‌متر بر ساعت در مدت ۳۰ دقیقه ۱۹۲ لیتر باران به سطح فلوم می‌بارد.



شکل ۷- نمودار تغییرات دبی در مدت ۳۰ دقیقه در شیب ۲۵ درصد خاک فراغی

جدول ۲- خلاصه اطلاعات مرتبط با رواناب در فلوم شش متری

محل	شیب (درصد)	حداکثر دبی جریان (لیتر بر دقیقه)	دبی نهایی جریان (لیتر بر دقیقه)	حجم رواناب خروجی (لیتر)	ضریب رواناب (درصد)	ظرفیت نفوذ (سانتی متر بر ساعت)
فراغی	۶	۱/۸۷	۱/۸۰	۹۷	۵۱	۴/۵۴
	۱۲	۱/۸۴	۱/۸۴	۹۸	۵۱	۴/۵۶
	۲۵	۲/۱۵	۲/۰۸	۱۰۹	۵۷	۴/۳۲
سرارود	۶	۰/۵۱	۰/۵۱	۶	۳	۵/۸۹
	۱۲	۰/۵۸	۰/۵۸	۵	۳	۵/۸۲
	۲۵	۰/۴۳	۰/۴۳	۴	۲	۵/۹۷
کوهین	۶	۱/۸۵	۱/۷۰	۹۳	۴۸	۴/۷۱
	۱۲	۲/۰۵	۱/۹۲	۷۶	۴۰	۴/۴۸
	۲۵	۲/۱۸	۱/۶۲	۱۰۳	۵۴	۴/۷۸
سراب ننیز	۶	۳/۴۲	۳/۰۴	۱۶۴	۸۵	۳/۳۶
	۱۲	۴/۶۵	۳/۵۴	۱۶۶	۸۶	۲/۸۶
	۲۵	۴/۱۶	۲/۹۶	۱۷۲	۹۰	۳/۴۴

همانطور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود در فراغی با افزایش شیب از ۶ به ۱۲ درصد ظرفیت نفوذ تقریبا ثابت مانده، اما با افزایش شیب از ۱۲ به ۲۵ درصد، ظرفیت نفوذ، کاهش یافته است. از سوی دیگر، با افزایش شیب، از ۶ ببه ۱۲ و ۱۲ ببه ۲۵ درصد، ضریب و حجم رواناب افزایش یافته است. اگرچه، درصد تغییرات کم است. در سرارود، به دلیل رواناب کم، نتایج قابل تحلیل نیستند. ظرفیت

نفوذ خاک کوهین در دو شیب ۶ و ۲۵ تقریبا با هم برابر است و در شیب ۱۲ درصد کمتر می‌باشد. در این خاک ضریب و حجم رواناب نیز روندی مشابه ظرفیت نفوذ را دارد. روند تغییرات ظرفیت نفوذ در خاک سراب ننیز نیز شبیه خاک کوهین است وللی رونند حججم و ضریب رواناب به ازاء افزایش شیب روندی صعودی را نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق در سه خاک فراغی، کوهین (با لحاظ یک استثنا) و سراب ننیز با پژوهش‌های Chaplot و Le Bissonnais (۲۰۰۳) و Kang و همکاران (۲۰۰۱) که بیان کردند دبی روانناب ببا افزایش درجه شیب افزایش می‌یابد، هماهنگ است.

اختلاف قابل توجه خاک سرارود از نظر زمان شروع و حجم رواناب با سه خاک دیگر نقش مهم عامل خاک را در نفوذپذیری نشان می‌دهد. همانطور که در جدول ۱ ملاحظه شد این خاک دارای ساختمان دانه‌ای خیلی ریز و تخلل بالاتر از خاک‌های دیگگر است ککه ناشی از وجود حدود ۲ درصد ماده آلی آن است. بیشترین مقدار رواناب در خاک سراب ننیز رخ داده است. این خاک، فاقد ساختمان و کمترین تخلل را میان چهار خاک به خود اختصآص داده است. به نظر می‌رسد، وجود سنگریزه نیز بر افزایش رواناب تاثیر داشته باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مهمترین یافته‌های این پژوهش به شرح زیر است:

- ظرفیت نفوذ خاک‌ها بین سه تا شش سانتی‌متر در ساعت است. نفوذپذیری زیاد خاک سرارود مربوط به وجود ماده آلی زیاد و ساختمان خوب آن است.
- به استثنا خاک سرارود، ضریب رواناب برای شدیدترین ببارش‌ها از حدود ۵۰ تتا ۹۰ درصد است. احتممالا ایین ضریب در باران‌های ملایم کمتر است.
- به استثنا خاک سرارود، حجم رواناب برای شدیدترین بارش‌ها از هر مترمربع بین ۱۵ تتا ۳۰ لیتتر است. بنـابراین اگـر سـطح سامانه ۲۰ متر مربع در نظر گرفته شود، حجم چاله ۳۰۰ تا ۶۰۰ لیتر خواهد بود.

پیشنهاد می‌شود در خاک‌هایی نظیر سرارود که نفوذپذیری بالایی دارند، برای افزایش رواناب خاک کوبیده شود یا از مواد و روش-هایی استفاده شود که ضریب رواناب را اضافه کند. ضمنا بررسی ضریب نفوذ در این خاک‌ها در شدت‌های کمتر نیز قابل توصیه است.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج پروژه ملی پژوهشی با عنوان "بررسی اثرات شیب، شدت بارندگی و رواناب بر فرسایش دیمزارهای منتخب استان های کرمانشاه، گلستان، قزوین و کهکیلویه و بویر احمد با استفاده از برج شبیه‌ساز باران" است که در پژوهشکده حفاظت خـاک و آبخیزداری اجرا شده است.

منابع

- بای‌بوردی، محمد. ۱۳۷۹. فیزیک خاک. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ ششم.
- بی‌نام. ۱۳۹۷. سخنرانی معاون وزیر در کارگاه ملی توسعه باغات در اراضی شیب دار. خبرگزاری صدا و سیما، کد خبر: ۲۲۸۲۱۱۰ تاریخ انتشار: ۲۹ آبان ۱۳۹۷ - ۱۱:۵۵. /http://www.iribnews.ir/fa/news/2282110
- حشمتی، مسیب، محمد قیطوری، یحیی پرویزی، محمد احمدی، مراد شیخویسی، حسین سلیمانی، نوشین پیروزی‌نژاد، محمود عرب‌خدری، مجید حسینی، علیرضا شادمانی، ارسلان محمدی شکوه. ۱۳۹۷ .ارزیابی اثرات سامانه جمع‌آوری رواناب و قرق بر ذخیره رطوبت و پوشش سطح زمین در جنگل‌های زاگرس در استان کرمانشاه. علوم و مهندسی آبخیزداری، ۱۲ (۴۰)، ۹۵-۱۰۴.
- رئیسیان، روانبخش و سید فرهاد موسوی. ۱۳۷۹. بررسی تاثیر پوشش گیاهی بر افزایش نفوذ آب باران به خاک و کاهش رواناب با استفاده از باران‌ساز مصنوعی. دومین همایش ملی فرسایش و رسوب.
- زارع خورمیزی، مهناز، علی نجفی‌نژاد، نادر نورا و عطاا... کاویان. ۱۳۹۱. اثر شیب و خصوصیات خاک بر رواناب و هدررفت خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران، حوزه آبخیز چهل‌چای استان گلستان. پژوهشهای حفاظت آب و خاک، ۱۹ (۲)، ۱۶۵-۱۷۸.
- عرب‌خدری، محمود، صمد شادفر و رضا سکوتی اسکوئی. ۱۳۹۵. تدقیق ارقام فرسایش آبی و تعیین مقدار مجاز آن در کشور.

گزارش نهایی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۷۳ ص.

- عرب‌خدری، محمود، مجید محمودآبادی، حسن روحی‌پور، سید احمد حیدریان، و دادور لطف‌الله زاده. ۱۳۸۷. بررسی خصوصیات بارش و کالیبراسیون باران‌ساز. گزارش نهایی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ۲۳۰ ص.
- علیزاده، امین. ۱۳۸۷. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات آستان قدس رضوی.
- قربانی مقدم، محمود، محمد تقی دستورانی، محمد جنگجو برزل آباد، محمد زادبر. ۱۳۹۴. بررسی تاثیر استحصال آب باران به وسیله کنتور فارو، چاله های کپه، و هلالی آبگیری در استقرار سه گونه مرتعی در مرتع چاهدر مشهد. چهارمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران. مشهد.
- محمودآبادی، مجید، امیر حسین چرخابی و حسینقلی رفاهی. ۱۳۸۶. بررسی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر تولید رواناب و رسوب با استفاده از شبیه‌ساز باران. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۸، شماره ۲، صص. ۱-۱۶.
- یاراحمدی، جمشید، محمد ابراهیم صادقزاده، داود نیک‌نژاد، کریم مهرورز مغانلو. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر فیلترهای سنگریزه‌ای در بهینه‌سازی نفوذ و افزایش ذخیره رطوبتی سامانه‌های سطوح آبگیر. پژوهشهای آبخیزداری، شماره ۱۱۲. ۲-۱۳.
- Chaplot, V.A.M. and Y. Le Bissonnais. 2003. Runoff features for interrill erosion at different rainfall intensities, slope lengths, and gradients in an agricultural loessial hillslope. Soil Science Society America Journal. 67: 844-851.
- Kang, S., L. Zhang, X. Song, S. Zhang, X. Liu, Y. Liang and S. Zheng. 2001. Runoff and sediment loss responses to rainfall and land use in two agricultural catchments on the Loess Plateau of China. Hydrological Prpcesses. 15: 977-988.
- Morgan, R.P.C. 2005. Soil Erosion and Conservation, 3rd edition. Blackwell Publishing.
- Siadat, H. 1998. Iranian agriculture and salinity. Proc. Conf. New Technologies to Combat Desertification, October 12-15, Tehran, Iran.