



شماره ۱۲۱، زمستان ۱۳۹۷

# پژوهش‌های مانی

(پژوهش و سازندگی)

## تأثیر اصلاح‌کننده‌های آلی (زغال زیستی و کود گوسفندی) در کاهش رواناب و فرسایش خاک

محمدحسین فرهودی

دانشجوی دکترای علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران

ام‌البین بذرافشان\*

(نویسنده‌ی مسئول)\* استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران

سپه‌یلا آقاییگی امین

استادیار گروه منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

ارشک حلی‌ساز

استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران

یحیی اسماعیل‌پور

استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران

تاریخ دریافت: مردادماه ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: آبان‌ماه ۱۳۹۷

\* Corresponding Email: O.bazrafshan1361@gmail.com

### چکیده

یکی از مهم‌ترین تهدیدهای منابع آب و خاک در هر کشور، فرسایش خاک و هدررفت مواد غذایی است. استفاده از اصلاح‌کننده‌ها، به‌ویژه مواد آلی، از راهکارهای مؤثر برای جلوگیری از آن است. به همین دلیل در این پژوهش تلاش شده است تا اثر دو اصلاح‌کننده‌ی آلی خاک، یعنی زغال زیستی و کود گوسفندی، در دو شدت بیشینه‌ی ۵۱ و ۶۵ میلی‌متربرساعت در عرصه و به کمک شبیه‌ساز باران ارزیابی شود. نتایج نشان داد که در شدت ۵۱ میلی‌متربرساعت هیچ تفاوت معنی‌داری در تیمارها به وجود نیامده است، حال آن‌که با افزایش شدت به ۶۵ میلی‌متربرساعت، اصلاح‌کننده‌ی زغال زیستی سبب ۶۴٪ کاهش بین متغیرهای حجم رواناب، بار معلق و ضریب رواناب و کود گوسفندی نیز سبب ۷۶٪ کاهش در متغیرهای حجم و ضریب رواناب و ۷۴٪ کاهش در بار معلق در تراز اعتماد ۹۹٪ شد.

واژگان کلیدی: اصلاح‌کننده‌های خاک، بار معلق، شبیه‌ساز باران، مواد آلی

## Impact of Organic Conditioners (Biochar and Sheep Manure) on Runoff and Erosion

**Mohammad Hossein Farhoudi**

PhD Student, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Hormozgan University, Hormozgan, Iran

**\*Omolbanin Bazrafshan**

(Corresponding Author)\* Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Hormozgan University, Hormozgan, Iran

**Soheila Aghabeigi Amin**

Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agricultural, Razi University, Kermanshah, Iran

**Arashk Holisaz**

Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Hormozgan University, Hormozgan, Iran

**Yahya Esmailpour**

Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Hormozgan University, Hormozgan, Iran

### Abstract

Soil erosion and nutrient loss threaten the soil and water resources worldwide. Application of soil conditioners, particularly organic amendments, is an effective way to mitigate this problem. This study was undertaken to assess the effect of application of two organic amendments, biochar and sheep manure, under two rainfall intensities of 51 and 65 mm/h by using a rainfall simulator on intact soil. No significant difference was observed in the treatments at 51 mm/h, while with an increase in the intensity to 65 mm/h, the biochar amendment made a decrease of about 64% in the suspended load and runoff coefficient; sheep manure reduced the runoff coefficient and suspended load by about 76% and 74%, respectively at the 99% significance level.

**Keywords:** rainfall simulator, soil conditioners, suspended load, organic amendments

### مقدمه

انسانی همچون تغییر کاربری، جنگل زدایی، الگوی کشت، نوع محصول و شرایط اقلیمی پیوند محکمی دارد (لایو و همکاران ۲۰۱۷؛ کوریا و همکاران ۲۰۱۶). فرسایش خاک را می توان با چهار فرایند مجزای جدا شدن<sup>۱</sup>، بارگیری<sup>۲</sup>، حمل<sup>۳</sup> و ته نشین شدن<sup>۴</sup> تعریف کرد

یکی از بزرگ ترین نگرانی های دانشمندان خاک، کشاورزی و محیط زیست در سراسر جهان، فرسایش خاک و هدر رفتن مواد غذایی است (وانگ و همکاران ۲۰۱۱). گستردگی فرسایش با عامل های

- 1- detachment
- 2- entrainment
- 3- transportation
- 4- deposition

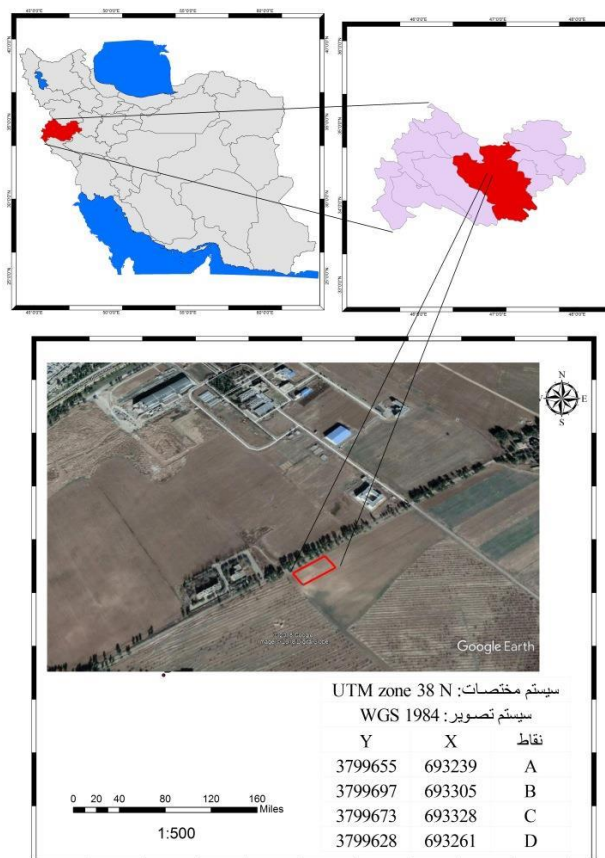
۱ × ۲ متری و با دو شدت بیشینه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه، ۶۵ و ۵۱ میلی‌متر بر ساعت انجام شد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه‌ی پژوهش

پژوهش حاضر در مزرعه‌ی آموزشی و پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه انجام شد. این مزرعه مساحتی در حدود ۳۰۰ هکتار دارد که ۲۰ هکتار از زمین‌های آبی و دیمی آن، به‌عنوان زمین‌های پژوهشی، به اجرای طرح پایان‌نامه‌ی دانشجویان مقاطع کارشناسی‌ارشد و دکتری اختصاص داده شده است. مساحت محدوده برای این طرح ۳۰۰۰ مترمربع، شیب ۸ تا ۱۲٪، متوسط بارندگی سالانه ۴۳۷/۹۲ میلی‌متر و رده‌ی خاک بافت متوسط رسی است. موقعیت محدوده‌ی بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است.

(خالدی‌درویشان ۲۰۱۳). هر فرایند را هم می‌توان با کمک گرفتن از استراتژی‌های حفاظت آب‌و‌خاک مهار و حفاظت کرد. استفاده از انواع اصلاح‌کننده‌های خاک، راهکاری مناسب و مطلوب برای این پدیده‌ی شناخته شده است که محققان مختلف با اهداف متفاوت آن را به کار گرفته‌اند؛ برای مثال صادقی و همکاران (۲۰۱۵)، غلامی و همکاران (۲۰۱۶)، اکویی (۱۹۹۲) دوان و همکاران (۲۰۱۵) و پنگ و همکاران (۲۰۱۶)، بر اثر مثبت کود دامی بر فرسایش و رسوب تأیید کرده‌اند. تأثیر اصلاح‌کننده‌ی زغال زیستی را نیز کریمی (۲۰۱۷)، دوان و همکاران (۲۰۱۵) و پنگ و همکاران (۲۰۱۶) در مقایسه با برخی اصلاح‌کننده‌های دیگر بررسی کرده‌اند. در بیشتر موارد، تحقیقات داخل و خارج از کشور، در شرایط آزمایشگاهی انجام گردیده‌اند؛ حال آن‌که در این پژوهش، بررسی اثر دو اصلاح‌کننده‌ی زغال زیستی و کود گوسفندی بر فرسایش خاک، در عرصه و شرایط طبیعی با کمک شبیه‌ساز باران، در قطعه‌های



شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی بررسی در استان کرمانشاه و کشور.

## روش کار

برای بررسی تأثیر اصلاح‌کننده‌ها بر میزان رواناب و فرسایش خاک، ابتدا نوع اصلاح‌کننده‌ها بررسی و انتخاب شد. معیارهای انتخاب اصلاح‌کننده‌ها، نداشتن اثرات مخرب بر محیط، ارزان و در دسترس بودن و همچنین فراوانی بود؛ تا بتوان از آن‌ها به‌عنوان کود در مزارع کشاورزی و منابع طبیعی استفاده کرد. بر این اساس دو اصلاح‌کننده‌ی کود گوسفندی و زغال زیستی، انتخاب و در پژوهش استفاده شدند.

## ویژگی باران‌ساز به‌کاررفته

تأثیر اصلاح‌کننده‌های منتخب در دو شدت بارندگی آزمایش شد. بارش‌های مورد نظر با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران ساخته شده در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه ایجاد گردید. این شبیه‌ساز، قابلیت شبیه‌سازی باران را با شدت‌های ۲/۸ تا ۹/۵ سانتی‌متربرساعت در سطح کرت آزمایشی، با مساحت یک تا سه مترمربع دارد. دامنه‌ی قطر متوسط قطرات تولیدشده به وسیله‌ی این باران‌ساز از ۰/۹۷ میلی‌متر در شدت ۲/۸ سانتی‌متربرساعت تا ۱/۲۲ میلی‌متر در ۷/۱ سانتی‌متربرساعت متغیر است که در محدوده‌ی باران‌های طبیعی قرار می‌گیرد (آقایگی‌امین و عرب‌خدری ۲۰۱۸).

## ویژگی‌های بارش شبیه‌سازی‌شده

براساس آمار ۶۶ساله‌ی بارندگی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کرمانشاه، بارندگی ساعتی ده‌ساله، با توجه به میانگین بارندگی سالانه و با استفاده از رابطه‌ی قهرمان و آبخضر (۲۰۰۴) برای آمار کوتاه‌مدت و بلندمدت به دست آمد؛ سپس با توجه به مدت ۱۵ دقیقه شبیه‌سازی (شریفی‌مقدم و همکاران ۲۰۱۵) و دوره‌ی بازگشت صدساله (زارع‌خورمیزی و همکاران ۲۰۱۲) و روش قهرمان و آبخضر (صفری ۲۰۱۳) شدت کوتاه‌مدت و بلندمدت محاسبه شد. بر این اساس شدت ۵۱ میلی‌متربرساعت، برای آمار کوتاه‌مدت و شدت ۶۵ میلی‌متر برساعت برای آمار بلندمدت به دست آمد.

## آماده‌سازی کرت‌های و تیمارهای پژوهش

شبیه‌سازی در قطعه‌های ۲ مترمربعی صورت گرفت؛ بدین منظور، قطعه‌ای فلزی در ابعاد ۲ مترمربعی و عمق ۱۵ سانتی‌متری که تا عمق ۱۰ سانتی‌متری قابلیت مستقر شدن در زمین را دارد، برای ایجاد کرت آزمایشی، ساخته و یک لوله‌ی خروجی برای جمع‌آوری رواناب

و رسوب در آن تعبیه شد. انتخاب محل قطعات به‌صورت تصادفی-منظم (بخشی‌تیرگانی و همکاران ۲۰۱۱) بود و قبل از استقرار قطعه، به‌منظور کاهش اثر پستی‌وبلندی جزئی بر رواناب و فرسایش، سطح قطعه به‌صورت دستی هموار شد و باقی مانده‌ی گیاهان، لاش‌برگ و کلوخه و سنگریزه‌های بزرگ‌تر از ۴ سانتی‌متر، پیش از هر شبیه‌سازی باران جمع‌آوری شدند (کاپیان و همکاران ۲۰۱۲). همان‌طور که یاد شد، دو اصلاح‌کننده‌ی کود دامی و زغال زیستی در نظر گرفته شدند. زغال زیستی مورد استفاده از بازار تهیه شد که در حجم بسیار زیادی تولیدشده و به‌عنوان کود در سراسر کشور توزیع می‌شود. این زغال زیستی از چوب درختان جنگل‌های مازندران به دست می‌آید و دارای میزان رطوبت ۳-۴٪، خاکستر ۴-۵٪، اسیدیته ۸-۸/۵ و دانه‌بندی مساوی کمتر از ۱۸۰ میکرون است.

مقدار ۷۰۰ گرم در هر مترمربع زغال زیستی (دوان و همکاران ۲۰۱۵) با قیمت هر کیلو ۴۰۰۰۰ ریال و ۳۰۰ گرم در هر مترمربع کود گوسفندی (غلامی و همکاران ۲۰۱۶) با قیمت هر کیلو ۱۰۰۰۰ ریال، با سطح پوشش ۹۰٪ و با دست، روی کرت‌ها، پخش و پس از پنج روز، هر تیمار در سه تکرار (صادقی و همکاران ۲۰۱۴) با استفاده از شبیه‌ساز باران آزمایش شد.

## روش شبیه‌سازی و نمونه‌برداری رواناب و رسوب

با ایجاد بارش در شدت‌های مورد نظر، نمونه‌برداری با ظهور اولین قطرات رواناب در قسمت خروجی به مدت ۱۵ دقیقه در فاصله‌های زمانی سه‌دقیقه‌ای صورت گرفت (همایون‌فر و همکاران ۲۰۱۶). حجم رواناب هر بطری با استوانه‌ی مدرج و مقدار بار معلق از طریق روش برج‌گذاری (شریفی‌مقدم و همکاران ۲۰۱۵) محاسبه شد. نمونه‌های خاک سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متر) در کنار هر قطعه از منطقه‌ی مورد نظر گرفته شد که بافت خاک از طریق روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری خاک با کاربرد روش استوانه، ماده‌ی آلی از روش والکی و بلک و هدایت الکتریکی و اسیدیته‌ی خاک با تهیه‌ی عصاره اشباع، به‌وسیله‌ی ECسنج و pHسنج دیجیتال (کاپیان و همکاران ۲۰۱۲) اندازه‌گیری شد. مشخصات خاک‌شناسی در جدول شماره‌ی ۱ و کلیاتی از مراحل شرح‌داده‌شده، در شکل ۲ عرضه گردیده است.

جدول ۱- خصوصیات خاک منطقه‌ی مطالعه‌شده.

انحراف معیار	میانگین	خصوصیات
۰/۰۴	۷/۷۲	pH
۲۹/۱۴	۰/۴۸	EC (دسی‌زیمنس بر متر)
۲/۳۱	۳۱/۳۳	درصد شن
۲/۰۰	۴۰/۰۰	درصد لای
۱/۱۵	۲۸/۶۷	درصد رس
۰/۲۱	۰/۹۵	درصد کربن آلی
۰/۳۶	۱/۶۴	درصد ماده‌ی آلی
۰/۲۱	۱/۱۶	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب)



شکل ۲- مراحل شبیه‌سازی و اندازه‌گیری رواناب و رسوب.

تجزیه و تحلیل آماری (ANOVA) و برای بررسی معنی‌داری تفاوت بین متغیرها، از روش دانکن (حیاوی ۲۰۱۱) استفاده شد. آزمون  $t$  برای مقایسه‌ی متغیر در دو شدت استفاده شد؛ همچنین از آزمون همگنی واریانس Levene برای بررسی همگنی واریانس تیمارهای خاک و برای ارزیابی اثرهای متقابل دو شدت بارندگی و اصلاح‌کننده‌ها روی متغیرهای مورد نظر، از تجزیه‌ی واریانس دوطرفه (GLM) استفاده شد.

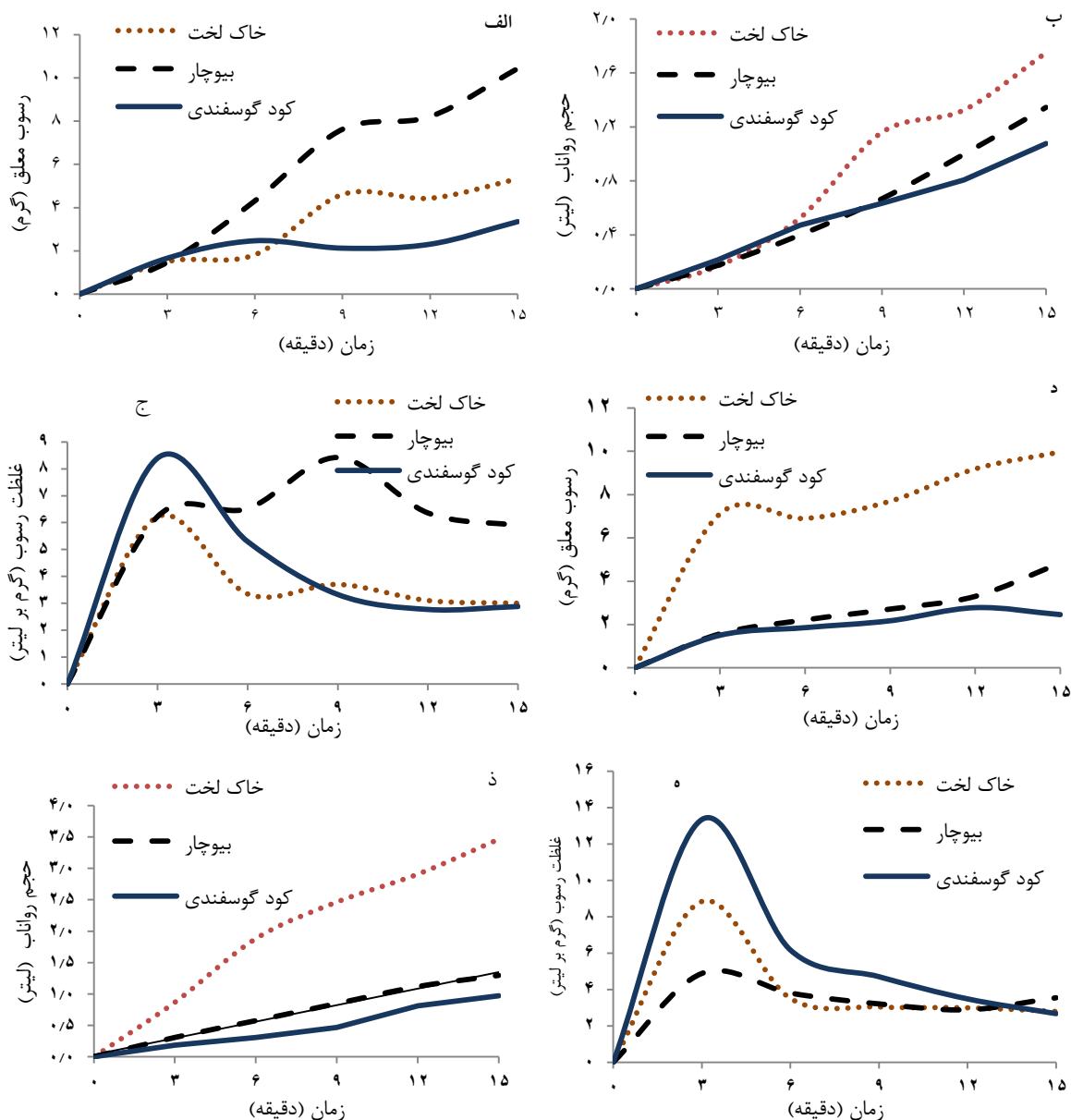
تجزیه و تحلیل آماری پس از جمع‌آوری و اندازه‌گیری متغیرهای مورد نظر، داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزارهای آماری تجزیه و تحلیل شدند. آزمون بهنجار بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک<sup>۵</sup> (شریفی‌مقدم و همکاران ۲۰۱۵) انجام شد؛ سپس برای بررسی تفاوت بین میانگین‌ها از تجزیه‌ی واریانس یک‌طرفه



نتایج

ناشی از آن‌ها اندازه‌گیری و به‌صورت نمودار در شکل‌های ۲ تا ۵ آورده شدند؛ تأثیر تیمارها بر زمان شروع رواناب و ضریب رواناب نیز بررسی شد که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است.

سه تیمار مختلف خاک لخت، زغال زیستی و کود گوسفندی، در دو شدت ۵۱ و ۶۵ میلی‌متر بر ساعت قرار گرفتند که رواناب و رسوب



شکل ۳- مقادیر حجم رواناب، مقدار کل بار معلق و غلظت بار معلق در شدت ۵۱ (الف، ب و ج) و ۶۵ (د، ز و ه) میلی‌متر بر ساعت در تیمارهای مختلف.

جدول ۲- مقادیر متوسط متغیرهای ضریب و زمان شروع رواناب در کرت‌های آزمایشی با تیمارهای مختلف.

تیمار	زمان شروع رواناب		ضریب رواناب (%)	
	شدت ۵۱ میلی‌متر بر- ساعت	شدت ۶۵ میلی‌متر بر ساعت	شدت ۵۱ میلی‌متر بر ساعت	شدت ۶۵ میلی‌متر بر ساعت
خاک لخت	۱۷/۶۳	۱۰/۳۴	۱۹/۳۳	۳۵/۶۳
کود گوسفندی	۱۷/۰۸	۱۳/۰۴	۱۲/۵۶	۸/۴۵
زغال زیستی	۲۰/۰۱	۲۰/۹۵	۱۴/۰۶	۱۲/۷۶

نتایج آزمون لیون، بر همگنی واریانس‌ها تأیید کرد و همان‌طور که ذکر شد برای بررسی معنی‌داری اختلاف بین میانگین و مقادیر رواناب و رسوب حاصل از تیمارهای مختلف (خاک لخت، زغال زیستی و کود

جدول ۳- نتایج تجزیه‌ی واریانس یک‌طرفه (ANOVA) اثر خاک لخت و دو اصلاح‌کننده در شدت ۵۱ میلی‌متر بر ساعت متغیرهای مورد نظر.

منبع تغییرات	متغیر وابسته	مجموع مربعات	درجه‌ی آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	تراز معنی‌داری
شکست ۵۱ میلی‌متر بر ساعت خاک لخت و اصلاح‌کننده‌ها در	آستانه‌ی ظهور رواناب	۱۴/۵۶	۲	۷/۲۸	۰/۲۱۲	۰/۸۱۵
	حجم رواناب	۰/۲۹۵	۲	۰/۱۴۸	۱/۲۴۵	۰/۲۹۸
	بار معلق	۰/۰۳۲	۲	۰/۰۱۶	۰/۰۵	۰/۹۵۱
	ضریب رواناب	۰/۰۵۸	۲	۰/۰۲۹	۱/۲۴۵	۰/۲۹۸
	غلظت رسوب	۰/۳۴۸	۲	۰/۱۷۴	۱/۹۰۳	۰/۱۶۲

جدول ۴- نتایج تجزیه‌ی واریانس یک‌طرفه (ANOVA) اثر خاک لخت و دو اصلاح‌کننده در شدت ۶۵ میلی‌متر بر ساعت بر متغیرهای مورد نظر.

منبع تغییرات	متغیر وابسته	مجموع مربعات	درجه‌ی آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	تراز معنی‌داری
در شدت ۶۵ میلی‌متر بر ساعت خاک لخت و اصلاح‌کننده‌ها	آستانه‌ی ظهور رواناب	۱۸۲/۵۹	۲	۹۱/۲۹۵	۴/۴۱۱	۰/۰۶۶
	حجم رواناب	۴/۸۶۴	۲	۲/۴۳۲	۲۶/۳۴۵	۰/۰۰۰**
	بار معلق	۲/۳۶۴	۲	۱/۱۸۲	۱۹/۷۴	۰/۰۰۰**
	ضریب رواناب	۰/۷۴۸	۲	۰/۳۷۴	۲۶/۳۴۵	۰/۰۰۰**
	غلظت رسوب	۰/۱۷۸	۲	۰/۰۸۹	۱/۳۴۷	۰/۲۷۱

\*\* در تراز معنی‌داری ۹۹٪

جدول ۵- نتایج آزمون دانکن برای شدت ۶۵ میلی متر بر ساعت.\*

تیمار	بار معلق	حجم رواناب	ضریب رواناب
خاک لخت	۰/۸۳ <sup>a</sup>	۱/۴۷ <sup>a</sup>	۰/۵۸ <sup>a</sup>
زغال زیستی	۰/۳۸ <sup>b</sup>	۰/۸۸ <sup>b</sup>	۰/۳۴ <sup>b</sup>
کود دامی	۰/۳۱ <sup>b</sup>	۰/۷۱ <sup>b</sup>	۰/۲۸ <sup>b</sup>

\*متغیرهایی که در یک ستون با حرف مشابه مشخص شده‌اند، در یک گروه قرار دارند.

جدول شماره ۶، درصد تغییرات کاهشی را در متغیرهایی که تفاوت معنی دار پیدا کرده‌اند، نشان می‌دهد.

جدول ۶- درصد کاهش متغیرهای مورد نظر در شدت ۶۵ میلی متر بر ساعت نسبت به خاک لخت.

تیمار	متغیر	درصد کاهش
زغال زیستی	حجم رواناب	-۶۴
	بار معلق	-۶۴
	ضریب رواناب	-۶۴
کود گوسفندی	حجم رواناب	-۷۶
	بار معلق	-۷۴
	ضریب رواناب	-۷۶

آن‌ها در جدول شماره ۷ نشان داده شده است؛ نتایج تأثیر متقابل اصلاح‌کننده‌ها با شدت‌های بارندگی با استفاده از روش تجزیه‌ی واریانس دوطرفه نیز در جدول شماره ۸ ارائه شده است.

از تفاوت معنی‌داری میانگین متغیرهای مختلف در دو شدت ۵۱ و ۶۵ میلی متر بر ساعت در تیمارها (خاک لخت، زغال زیستی و کود گوسفندی) با استفاده از روش t-test مستقل استفاده شد که نتایج

جدول ۷- نتایج مقایسه‌ی میانگین‌ها با کاربرد آزمون t مستقل در شدت ۵۱ و ۶۵ میلی متر بر ساعت.

متغیر مورد بررسی	میانگین شدت ۵۱	میانگین شدت ۶۵	تفاوت میانگین‌ها	تفاوت خطای معیار	سطح معنی داری	
خاک لخت	زمان ظهور رواناب	۱۷/۶۳	۱۰/۳۴	۷/۲۸۸	۲/۹۴۳	۰/۰۶۸
	بار معلق	۰/۳۶	۰/۸۳	۰/۴۶۳	۰/۱۴۶	**۰/۰۰۴
	ضریب رواناب	۰/۱۹	۰/۳۶	۰/۱۶۲	۰/۰۵۲	**۰/۰۰۴
	غلظت رسوب	۰/۵۱	۰/۵۳	۰/۰۱۵	۰/۰۹۶	۰/۸۷۸
زغال زیستی	زمان ظهور رواناب	۲۰/۰۱	۲۰/۹۵	۰/۹۴۴	۴/۷۶۰	۰/۸۵۲
	بار معلق	۰/۳۱	۰/۳۸	۰/۰۶۹	۰/۲۲	۰/۷۵۶
	ضریب رواناب	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۰۱۵	۰/۰۵۴	۰/۷۸۲
	غلظت رسوب	۶/۶۸	۳/۶۶	۳/۰۲	۱/۰۸۳	*۰/۰۱۲
کود گوسفندی	زمان ظهور رواناب	۱۷/۰۸	۱۳/۰۴	۴/۰۳۶	۴/۸۷	۰/۴۵۴
	بار معلق	۰/۳۰۳	۰/۳۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۷۵	۰/۹۵۵
	ضریب رواناب	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۴۱	۰/۰۲	۰/۰۵۹
	غلظت رسوب	۰/۵۶	۰/۶۶	۰/۱۰۵	۰/۱۰۸	۰/۳۳۸

\* در تراز معنی‌داری ۹۵٪ \*\* در تراز معنی‌داری ۹۹٪



جدول ۸- نتایج آزمون تجزیه‌ی واریانس دوطرفه، در خصوص شناسایی اثرهای یک‌جانبه و متقابل اصلاح‌کننده‌ها و دو شدت اعمال‌شده.

متغیر وابسته	شدت	اصلاح‌کننده‌ها	شدت‌ها × اصلاح‌کننده‌ها
آستانه‌ی ظهور رواناب	درجه‌ی آزادی	۱	۲
	مقدار آماره‌ی F	۱/۹۵۸	۲/۶۴۴
	تراز معنی‌داری	۰/۱۸۷	۰/۴۱۹
حجم رواناب	درجه‌ی آزادی	۱	۲
	مقدار آماره‌ی F	۸/۸۴۴	۱۷/۵۱
	تراز معنی‌داری	**۰/۰۰۴	**۰/۰۰۲
بار معلق	درجه‌ی آزادی	۱	۲
	مقدار آماره‌ی F	۰/۱۴۲	۸/۰۹۴
	تراز معنی‌داری	۰/۷۱	**۰/۰۰۲
ضریب رواناب	درجه‌ی آزادی	۱	۲
	مقدار آماره‌ی F	۱/۷۹۵	۱۵/۹۲۵
	تراز معنی‌داری	۰/۱۸۴	**۰/۰۰۵
غلظت رسوب	درجه‌ی آزادی	۱	۲
	مقدار آماره‌ی F	۰/۱۳۷	۱/۲۱۸
	تراز معنی‌داری	۰/۷۱۳	۰/۱۲۶

\*\* در تراز معنی‌داری ۰/۹۹

### بحث و نتیجه‌گیری

مشخصی را در رواناب و رسوب نشان می‌دهد (شکل ۳)؛ بدین ترتیب که حجم رواناب در تمامی اصلاح‌کننده‌ها و شدت‌های اعمال‌شده در طول ۱۵ دقیقه بعد از شروع رواناب به حالت افزایشی ادامه می‌یابد؛ اما غلظت رسوب بعد از رسیدن به نقطه‌ی اوج خود شروع به کاهش می‌کند. کاهش نفوذپذیری خاک با گذشت زمان باعث افزایش رواناب شده است، اما به دلیل کاهش رسوب در دسترس، افزایش رواناب به افزایش رسوب به همان میزان منجر نشده است و به همین دلیل با وجود روند افزایشی رواناب، رسوب شروع به کاهش می‌کند که این نتیجه با یافته‌های صادقی و همکاران (۲۰۰۸) و خالدی‌درویشیان (۲۰۱۳) مطابقت دارد. از نظر آستانه‌ی شروع رواناب در تیمار خاک لخت با کود گوسفندی تفاوت محسوسی، در هر دو شدت اعمال‌شده دیده نمی‌شود؛ اما تیمار زغال زیستی توانسته است شروع رواناب را با اختلاف حدود ۳ تا ۷ دقیقه‌ای به تأخیر بیندازد. این اختلاف در شدت زیاد (۶۵ میلی‌متر بر ساعت) بیشتر بوده است. این در حالی است که کود گوسفندی تأثیر بیشتری از زغال زیستی در کاهش ضریب رواناب داشته، و کاهش‌ی حدود ۷ و ۲٪، به ترتیب با خاک لخت و زغال زیستی در شدت ۵۱ میلی‌متر بر ساعت و ۲۷ و ۴٪ به همان ترتیب ذکر شده در شدت ۶۵ میلی‌متر بر ساعت ایجاد کرده است.

نتایج تجزیه‌ی واریانس یک‌طرفه نشان دادند که در شدت بارندگی ۵۱ میلی‌متر بر ساعت (جدول ۳)، هیچ‌کدام از تیمارها (زغال زیستی و کود گوسفندی) نتوانسته است تأثیر معنی‌داری را نسبت به تیمار

بررسی داده‌های به‌دست‌آمده در دو شدت بارندگی اعمال‌شده، روندهای متفاوتی را نشان داد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، مقادیر رواناب و رسوب خروجی از کرت شاهد که فاقد هرگونه اصلاح‌کننده بود، در شدت بارندگی ۶۵ میلی‌متر بر ساعت، از ابتدا تا انتهای شبیه‌سازی بیشتر از کرت‌های دارای تیمار بود، و در شدت ۵۱ میلی‌متر بر ساعت، هر چند حجم رواناب از کرت شاهد در اواخر شبیه‌سازی بیشتر از دو کرت دیگر بود، اما مقدار بار معلق خروجی از آن، حد واسط دو کرت دیگر قرار گرفت (شکل ۳)؛ به عبارت دیگر، در کرت‌های دارای اصلاح‌کننده، در شدت کم این اصلاح‌کننده‌ها نقش ملموسی را در فرسایش خاک ایفا نکرده‌اند؛ ولی در شدت زیاد (۶۵ میلی‌متر بر ساعت) فاصله‌ی زیادی بین کرت شاهد با کرت‌های دارای تیمار مشاهده شد. در تمامی رویدادها نمودار رواناب و رسوب خروجی از کرتی که با کود گوسفندی تیمار شده است پایین‌تر از دو کرت دیگر قرار داشت، بدین معنی که تأثیر کود دامی از زغال زیستی در حفاظت خاک بیشتر بود. به نظر می‌رسد که کود دامی توانسته است با توجه به ماهیتی که دارد باعث چسبندگی ذرات خاک شده، فرایند جداشدن را کاهش دهد و از این راه مقدار بار معلق را کم کند؛ علاوه بر این، با مخلوط شدن در خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک را کاهش داده و از این طریق ظرفیت نفوذپذیری خاک افزایش پیدا کرده و حجم رواناب کاهش یافته است. بررسی روند متغیرهای اندازه‌گیری‌شده، الگوهای

ویژگی خاک بیان کرده‌اند؛ حال آنکه با به-کارگیری دو اصلاح‌کننده‌ی زغال زیستی و کود گوسفندی، متغیرهای حجم رواناب و ضریب رواناب کاهش می‌یابد و همین امر و کاهش فرایند جداشتن سبب کاهش هدررفت خاک می‌شود و اثر عامل شدت بارندگی را خنثی می‌کند که با مطالعات صادقی و همکاران (۲۰۱۵)، غلامی و همکاران (۲۰۱۶) از جنبه‌ی کود گوسفندی و دوان و همکاران (۲۰۱۴)، بیدرمن و هارپول (۲۰۱۳) از جنبه‌ی زغال زیستی مطابقت دارد؛ حال آنکه با تحقیقات راموس و همکاران (۲۰۰۶) از جنبه‌ی حجم رواناب مغایرت دارد. از طرفی، تیمار کود گوسفندی نسبت به زغال زیستی سبب کاهش بیشتر حجم رواناب، هدررفت خاک و ضریب رواناب شده است که این نتیجه با نتایج پنگ و همکاران (۲۰۱۶) و گرونوالد و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد.

به‌طور کلی، با توجه نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، در سطح قطعه‌ی دو مترمربعی و با مقدار ۷۰۰ گرم زغال زیستی و ۳۰۰ گرم کود گوسفندی در هر مترمربع در شدت ۵۱ میلی‌متر بر ساعت، هیچ تفاوت معنی‌داری در متغیرهای فرسایش نسبت به قطعه‌ی شاهد ایجاد نشد؛ اما افزایش شدت به ۶۵ میلی‌متر بر ساعت بر متغیرهای حجم رواناب، بار معلق و ضریب رواناب تأثیر معنی‌داری داشت که نشان از اثرات مطلوب این اصلاح‌کننده‌ها در شدت‌های زیاد است. با توجه به نتایج این تحقیق و پژوهش‌های به‌عمل آمده، نیاز است در عرصه‌های طبیعی سطوح مختلف اصلاح‌کننده‌ها، شیب‌های متفاوت، شدت‌های مختلف و... ارزیابی شود تا اطلاعات جامعی نسبت به فرایندهای فرسایش و رسوب در طبیعت واقعی حاصل آید.

### سپاسگزاری

در پایان از مدیریت محترم مزرعه‌ی آموزشی و پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، جناب آقای دکتر حمیدرضا چقازردی و تمامی کارمندان زحمتکش این مجموعه کمال تشکر را داریم؛ از آقای دکتر علی بهشتی آل‌آقا و کارمندان محترم آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه رازی کرمانشاه نیز سپاسگزاریم.

شاهد در متغیرهای مورد بررسی ایجاد کند؛ اما در شدت بارندگی ۶۵ میلی‌متر بر ساعت (جدول ۴) در بین تیمار شاهد و دو اصلاح‌کننده‌ی زغال زیستی و کود گوسفندی در تراز اعتماد ۹۹٪ برای متغیرهای حجم رواناب، بار معلق و ضریب رواناب تفاوت وجود دارد که این موضوع در شکل شماره‌ی ۳ به‌وضوح نشان داده شده است. جدول ۶ نشان می‌دهد که اصلاح‌کننده‌ی زغال زیستی سبب ۶۴٪ کاهش بین متغیرهای حجم رواناب، بار معلق و ضریب رواناب شده و کود گوسفندی سبب ۷۶٪ کاهش در متغیرهای حجم، در نتیجه ضریب رواناب و ۷۴٪ کاهش در بار معلق شده است. میزان اثرگذاری کود گوسفندی نسبت به زغال زیستی بیشتر بوده است؛ بدین علت که زغال زیستی نیاز به زمان بیشتری برای تأثیرگذاری دارد و این در حالی است که با توجه به دلایل ذکر شده، تأثیرگذاری کود دامی سریع‌تر اتفاق می‌افتد؛ هر چند نتایج آزمون دانکن (جدول ۵) بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار در این دو تیمار بود و آن‌ها را در یک زیرگروه طبقه‌بندی کرد؛ همچنین، نتایج مقایسه‌ی میانگین‌ها با کاربرد آزمون تی مستقل (جدول ۷) نشان داد که تنها در تیمار خاک لخت با افزایش شدت از ۵۱ به ۶۵ میلی‌متر، بین متغیرهای حجم رواناب، بار معلق و ضریب رواناب تفاوت معنی‌داری را در تراز اعتماد ۹۹٪ ایجاد کرده است. از جنبه‌ی تأثیرات متقابل اصلاح‌کننده‌ها و شدت‌ها نیز با استفاده از تجزیه‌ی واریانس دوطرفه (جدول ۸) مشخص گردید که در تراز اعتماد ۹۹٪، بین متغیرهای حجم رواناب، بار معلق و ضریب رواناب تفاوت معنی‌دار وجود دارد. نتایج تجزیه و تحلیل یکپارچه نشان داد که با افزایش شدت از ۵۱ به ۶۵ میلی‌متر بر ساعت و با تغییر تیمار از خاک لخت به زغال زیستی و سپس کود گوسفندی این اثر بر متغیرهای ذکر شده به‌صورت هم‌زایی حاکم شده است.

با افزایش شدت بارندگی از ۵۱ به ۶۵ میلی‌متر بر ساعت، تیمار خاک لخت اثر معنی‌دار افزایش را در متغیرهای حجم رواناب و ضریب رواناب در تراز ۹۵٪ نشان می‌دهد. این اختلاف معنی‌دار را محققانی همچون همایون‌فر و همکاران (۲۰۱۶)، خالدی درویشان (۲۰۱۳)، هاوک و همکاران (۲۰۰۶) به‌علت غلبه‌ی عامل شدت بارندگی بر

- Aghabeigi Amin S, Arabkhedri M. 2018. Designing and construction of a portable rainfall simulator. Iranian journal of eco hydrology, 5(1): 229–239. (In Persian).
- BakhshiTiregani M, Moradi H, Sadeghi S. 2011. Comparison of runoff generation and sediment yield in two land uses of range and dry farming. Iranian Journal of Range and Desert Research, 18(2): 269–279. (In Persian)
- Biederman L, Harpole W. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. Global Change Biology Bioenergy, 5(2): 202–214.
- Correa S, Mello C, Chou S, Curi N, Norton L. 2016. Soil erosion risk associated with climate change at Mantaro River basin, Peruvian Andes. Catena, 147(1): 110–124.
- Doan T, Henry-des-Tureaux T, Rumpel C, Janeau J, Jouquet P. 2015. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm experiment. Science of the Total Environment, 514(1): 147–154.
- Ekwue E. 1992. Effect of organic and fertilizer treatments on soil physical properties and erodibility. Soil and Tillage Research, 22(3-4): 199–209.
- Ghahraman B, Abkhezr H. 2004. Improvement in intensity-duration-frequency relationships of rainfall in Iran. Journal of Water and Soil Science, 8(2): 1–14. (In Persian).
- Gholami L, Sadeghi S, Homae M. 2016. Different effects of sheep manure conditioner on runoff and soil loss components in eroded soil. Catena, 139(1): 99–104.
- Gronwald M, Vos C, Helfrich M, Don A. 2016. Stability of pyrochar and hydrochar in agricultural soil - a new field incubation method. Geoderma, 284(1): 85–92.
- Hawke R, Price A, Bryan R. 2006. The effect of initial soil water content and rainfall intensity on near-surface soil hydrologic conductivity: A laboratory investigation. Catena, 65(3): 237–246.
- Hayavi F. 2011. Experimental study of rain splash erosion in different soils using rainfall simulator. M.Sc. Thesis. Faculty of Natural Resources and Geoscience. Shahrekord university, 110 p. (In Persian).
- Homauonfar V, Khaledi Darvishan A, Sadeghi S. 2016. Effects of soil preparation for laboratorial erosion studies on surface runoff. Journal of Watershed Management Research, 7(14): 60–68. (In Persian).
- Karimi N. 2017. Conservation effects of biochar on runoff and sediment reduction in different soil moistures and laboratory conditions. M.Sc. Thesis of Natural Resources Faculty. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, 100 p. (In Persian)
- Kavian A, Asgariyan R, JafarianJeloudar Z, Bahmanyar M. 2012. Effect of Soil Properties on Runoff and Sediment Yield in Farm Scale (Case study: a part of Sari Town's neighboring Croplands). Journal of Water and Soil Science (Agricultural Science), 23(4):45–57. (In Persian).
- Khaledi Darvishan A. 2013. Simulation of runoff generation and soil erosion processes in different antecedent soil moisture content. Ph.D. Dissertation. Faculty of Natural Resource. Tarbiat Modares University, 140 p. (In Persian).
- Liu W, Luo Q, Lu H, Wu J, Duan W. 2017. The effect of litter layer on controlling surface runoff and erosion in rubber plantations on tropical mountain slopes, SW China. Catena, 149(1): 167–175.
- Peng X, Zhu Q, Xie Z, Darboux F, Holden N. 2016. The impact of manure, straw and biochar amendments on aggregation and erosion in a hillslope Ultisol. Catena, 138(1): 30–37.
- Ramos M, Quinton J, Tyrrel S. 2006. Effects of cattle manure on erosion rates and runoff water pollution by faecal coliforms. Journal of Environmental Management, 78(1): 97–101.
- Sadeghi S, Gholami L, Homae M, Khaledi Darvishan A. 2015. Reducing sediment concentration and soil loss using organic and inorganic amendments at plot scale. Solid Earth, 6(2): 445–455.
- Sadeghi S, Mizuyama T, Miyata S, Gomi T, Kosugi K, Fukushima T, Mizugaki S, Onda Y. 2008. Development, Evaluation and Interpretation of Sediment Rating Curves for a Japanese Small Mountainous Reforested Watershed. Geoderma, 144(1-2): 198–211.
- Safari A. 2013. soil loss and runoff measurement in forest roads of Darabkola. M.Sc. Thesis. Faculty of Natural Resources. Sari Agriculture and Natural Resource University, 97 p. (In Persian).
- SharifiMoghaddam E, Sadeghi S, KhalediDarvishan A. 2015. Small plot soil hydrologic components as affected by application of vinasse organic residue. Iranian Journal of sSoil and Water Research, 45(4):499–508. (In Persian).
- Wang A, Li F, Yang S. 2011. Effect of polyacrylamide application on runoff, erosion, and soil nutrient loss under simulated rainfall. Pedosphere, 21(5): 628–638.
- ZareKhormizi M, Najafinejad A, Noura N, Kavian A. 2012. Effects of slope and soil properties on runoff and soil loss using rainfall simulator, Chehel-chai watershed, Golestan province. Journal of Water and Soil Conservation, 19(2): 165–178. (In Persian).

