

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.24767131.1402.9.1.9.4

درصد همانندی: ۴٪

طراحی و احداث ایستگاه تحقیقاتی فرسایش و رسوب به منظور مطالعه وقایع بارش رواناب در غرب کشور (مطالعه موردی: ایستگاه فرسایش و رسوب دانشگاه ایلام)

نورالدین رستمی^{۱*}، رضا امیدپور^۲، مهدی حیدری^۲، مهدی محمدی^۲، مریم ربانی^۲، علیرضا مرادی^۲، ایلیا مهربان^۲، معصومه سادات زاده^۲، زهرا قبادیان^۲، فهیمه رستمی^۲، میترا مرادنژاد^۲، شکوفه عبدالی^۲، زینب باقری^۲، زهرا آرمون^۲، رویا جمشیدی^۲، سمیرا فولادوند^۲، مریم رسولی^۲، سعید رحمانی^۲

n.rostami@ilam.ac.ir

^{۱*} نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.^۲ گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.^۳ دانشیار، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۳

چکیده

بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش خاک و چگونگی تشکیل رواناب و ارزیابی روش‌های کنترل آن‌ها یکی از راهکارهای ضروری برای مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز به خصوص مناطق کوهستانی زاگرس در غرب کشور است. مطالعه این پدیده‌ها در طبیعت با مشکلاتی همراه است و محدود به زمان‌های بارش می‌باشد. از این رو فراهم نمودن شرایطی که در هر زمان بتوان این وقایع را با تیمارهای مختلف مطالعه نمود ضرورت می‌یابد، یکی از بهترین راه‌کارها، احداث ایستگاه‌های فرسایش و رسوب و شبیه‌سازی وقایع بارشی است. در مطالعه حاضر نحوه طراحی و اجرای یک ایستگاه در دانشگاه ایلام با تعداد ۲۰ کرت دو مترمربعی (۱*۲) با شیب‌های متفاوت به منظور انجام تحقیقات بارش- رواناب و عوامل مؤثر بر آن و همچنین ایجاد یک فضای آموزشی در کنار این ایستگاه بررسی شده است. کارایی دستگاه شبیه‌ساز بارش مورد استفاده ابتدا در چند تحقیق با شبیه‌سازی وقایع بارش- رواناب در شدت و مدت‌های مختلف بررسی و تأیید شد ولی طی این تحقیقات مشخص شد که استفاده گسترده از این قبیل دستگاه‌ها با مشکلاتی همراه است که با احداث این ایستگاه، نواقص مورد نظر به نحو مطلوبی مرتفع شده است. با توجه به تأثیرگذاری شیب بر میزان فرسایش و رسوب، دو کلاس شیب در ایستگاه ایجاد شد. مقایسه آماری با استفاده از آزمون t-student بین دو کلاس شیب ایجاد شده نشان داد که اختلاف معنی‌داری (t-value=-14.89 and P-value < 0.001) بین آن‌ها وجود دارد به طوری که میانگین شیب در گروه اول برابر با ۸/۳۱±۹/۰ و در گروه دوم برابر با ۱۷/۰۵±۰/۳۸ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌ساز باران، فرسایش خاک، سیلاب، ایلام

۱. مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت و به تبع آن افزایش نیاز به تولید مواد غذایی در مناطق زیادی از جهان و ایران، تعادل بین اجزای مختلف اکوسیستم‌های طبیعی و همچنین استفاده از منابع طبیعی را برهم زده و باعث تشدید فرسایش خاک شده است [۱]. از سوی دیگر، استفاده بیش از حد ظرفیت از منابع موجود در کنار عدم رعایت تناوب‌های زراعی صحیح، کیفیت منابع از جمله خاک را به شدت کاهش داده است [۲]. فرسایش عبارت است از فرسودگی و از بین رفتن مداوم خاک از طریق حرکت یا انتقال ذرات آن از نقطه‌ای به نقطه‌ای که عموماً به وسیله عواملی مثل آب، باد و نیروی ثقل ایجاد می‌شود [۳]. به‌طور کلی، تخریب و فرسایش خاک موجب از بین رفتن خاک حاصلخیز سطحی، تجمع رسوبات در مخازن سدها و کاهش کارایی سازه‌های هیدرولیکی شده است و خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به لحاظ اقتصادی به بار می‌آورد [۴-۵]؛ بنابراین، برای حفظ خاک و جلوگیری از هدررفت آن، بررسی فرسایش و مطالعه رسوب‌دهی آن اهمیت ویژه‌ای دارد.

به‌طور کلی فرسایش به دو صورت عمده آبی و بادی وجود دارد به طوری که حدود ۷۵ درصد تخریب خاک در جهان در کشورهای در حال توسعه ناشی از فرسایش آبی است [۶]. از سوی دیگر، بر اساس اطلاعات منتشر شده، میزان رسوب‌گذاری در سدهای جهان در حدود یک درصد حجم مخازن در سال است [۷]. در این بین، میزان فرسایش خاک در ایران بین ۰/۷ تا ۷ میلیارد تن در سال متغیر است. این میزان فرسایش به‌طور متوسط سه برابر کشورهای آسیایی و ۲۰ برابر میانگین جهانی است [۸] که با توجه به این شرایط در پیش‌نویس قانون حفاظت خاک و آبخیزداری بیش از نیمی از مساحت کشور از نظر فرسایش در حالت بحرانی اعلام شده است [۹]. استان ایلام که در غرب کشور قرار دارد از این حالت مستثنا نیست و بنا بر اعلام سازمان جهاد کشاورزی استان میزان فرسایش بین ۱۷ تا ۲۷ تن در هکتار در سال محاسبه شده است. در صورتی که میانگین سالانه فرسایش در کشور ۱۶ تن در هکتار در سال بوده است؛ بنابراین نرخ

فرسایش خاک در این استان بیش از ۱/۵ برابر کشور است. با توجه به این موارد، تبیین روش‌های مناسب حفاظت خاک امری حیاتی است، زیرا بخش وسیعی از کشور از نظر وضعیت فرسایش و تولید رسوب در وضعیت بحرانی قرار دارد و پژوهش‌های مربوط به اندازه‌گیری میزان فرسایش و رسوب با این هدف انجام می‌گیرد. از آنجایی که درک و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به جنبه‌های مختلف فرایند فرسایش در عرصه‌های طبیعی و در شرایط مختلف آب و هوایی به دلیل شرایط سخت فیزیکی حاکم بر حوزه‌های آبخیز و نوسانات غیرقابل پیش‌بینی مانند خشک‌سالی‌های درازمدت، همچنین محدودیت‌های مالی و زمانی میسر نیست؛ بنابراین شبیه‌سازی فیزیکی بارش (به‌عنوان مهم‌ترین عامل فرسایش آبی) در شرایط تحت کنترل، یکی از بهترین روش‌های مطالعه فرسایش و تعیین بهترین راهکارهای حفاظتی به حساب می‌آید [۱۰]. یکی از روش‌های مطالعه مدیریت فرسایش خاک، استفاده از کرت‌های فرسایش است زیرا فرایندهای فرسایش و عوامل مؤثر بر آن به مقیاسی که در آن اجرا می‌شوند، وابسته هستند [۱۱]. از ساده‌ترین و ارزان‌ترین روش‌ها برای مطالعه فرسایش و برآورد رواناب، نصب کرت در عرصه و اندازه‌گیری میزان فرسایش در شرایط وقوع باران طبیعی است. اما، به دلیل غیرقابل پیش‌بینی بودن شرایط اقلیمی، ممکن است این کار نتایج چندان مناسبی در بر نداشته باشد، به همین دلیل از شبیه‌ساز باران در کنار کرت‌های فرسایش استفاده می‌شود که امکان شبیه‌سازی شرایط به‌صورت دلخواه و تکرارهای موردنظر را در مدت‌زمان کوتاه برای محققان فراهم می‌آورد [۳، ۱۲]. در سال‌های اخیر طراحی و ساخت ایستگاه‌های تحقیقاتی فرسایش خاک در دستور کار قرار گرفته است؛ برای مثال، در اجرای طرح تحقیقی [۱۳] با اضافه کردن ۱۲ کرت آزمایشی به ۸۰ کرت کامل آزمایشی ایستگاه تحقیقاتی سنگانه کلات پرداختند، این ایستگاه که در سال ۱۳۷۵ در استان خراسان رضوی با مساحتی بیش از ۵۰ هکتار احداث شده است، در حال حاضر دارای ۹۲ کرت آزمایشگاهی و ۶ حوزه آبخیز کوچک مجهز به مخازن مناسب جمع‌آوری رواناب و رسوب حاصل از رگبارها است [۱۴]. همچنین در تحقیقی [۱۵] آزمایشگاه

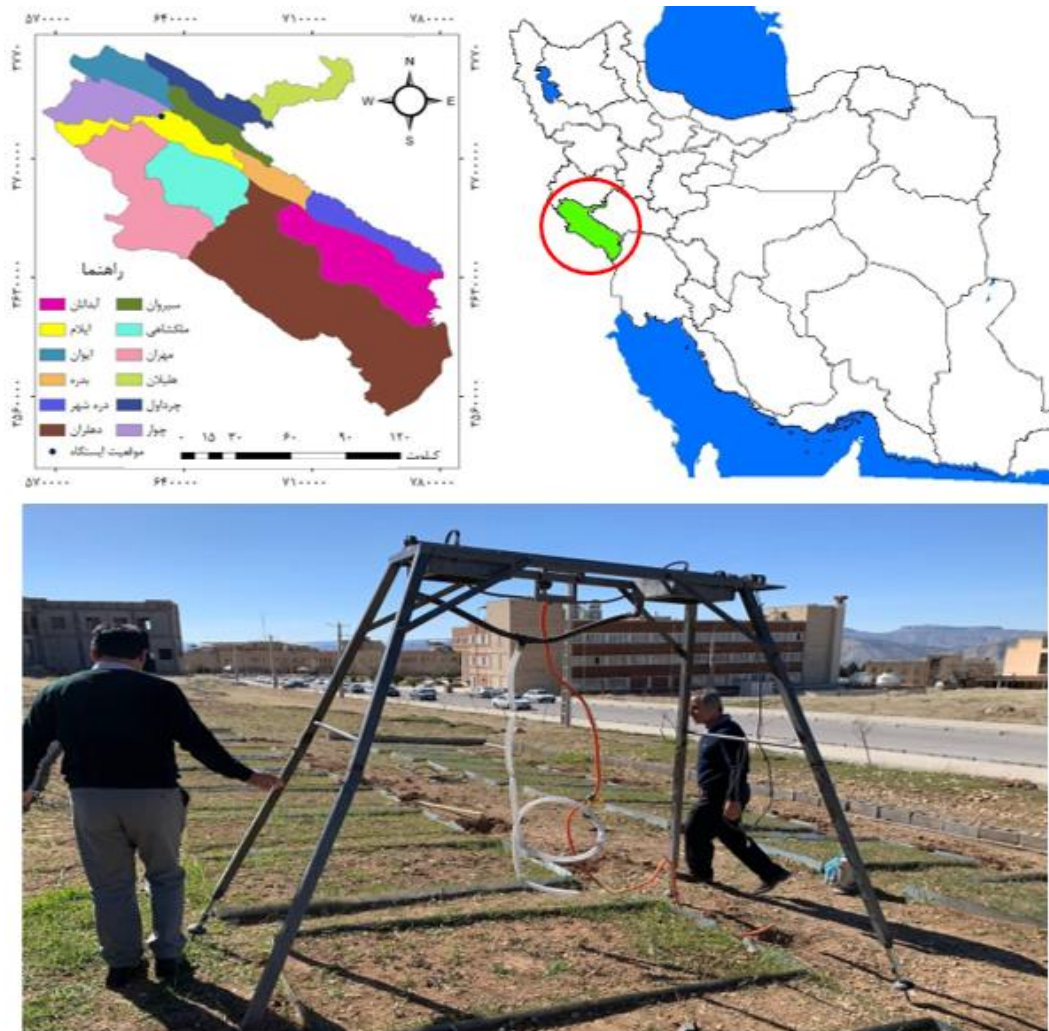
شرایط اقلیمی، خشک‌سالی‌های پی‌درپی و سیلاب‌های دهه اخیر، نیاز مبرم به ساخت ایستگاه و انجام مطالعات فرسایش و رسوب در منطقه احساس می‌شود، بنابراین این نیاز به ساخت ایستگاه تحقیقاتی در دانشگاه ایلام منجر شد. با توجه به وجود ساخت ایستگاه‌های مشابه در سایر مناطق کشور به دلیل تنوع خصوصیات اقلیمی و محیطی مختلف و همچنین به‌منظور تکمیل شبکه ایستگاه‌های مطالعات فرسایش و رسوب در کشور، تجربیات کسب‌شده در مراحل مختلف طراحی و ساخت این ایستگاه به‌منظور استفاده سایر محققان فراهم شده است.

۲. مواد و روش‌ها

موقعیت ایستگاه

ایستگاه تحقیقاتی فرسایش و رسوب موردنظر در استان ایلام و محدوده‌ای به مساحت ۲۰۰ مترمربع در دانشگاه ایلام با مختصات جغرافیایی "۲۲°۴۶'۴۶" طول شرقی و "۳۳°۳۹'۲۸" عرض شمالی و ارتفاع ۱۴۷۸ متر از سطح دریا، احداث شده است. بر اساس آمار ثبت‌شده در ایستگاه سینوپتیک شهر ایلام، متوسط بارندگی سالیانه در این شهر ۵۷۸ میلی‌متر است. همچنین بر اساس طبقه‌بندی دومارتن، استان ایلام در دسته‌بندی مناطق نیمه‌خشک قرار می‌گیرد. این ایستگاه در دو ردیف کرت و در مجموع به تعداد ۲۰ عدد احداث شده است که شیب عمومی دامنه‌ای که ایستگاه بر روی آن قرار گرفته ۷ درصد است. پلات‌ها در اندازه‌هایی با طول ۲، عرض ۱ و ارتفاع ۰/۲ متر قرار دارند. کرت‌ها در دو دسته کلاس شیب با میانگین حدود ۱۰ و ۱۷ درصد احداث شده‌اند (شکل ۱).

شبه‌ساز باران و فرسایش پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری معرفی شد، این آزمایشگاه برای شبه‌سازی باران و فرسایش ساخته شده است. این شبه‌ساز از قسمت‌های مختلفی شامل سامانه آبرسانی، صفحه بارش، فلوم شیب‌پذیر، سامانه جمع‌آوری و ذخیره آب مازاد، اتاق کنترل و آزمایشگاه جانبی تشکیل شده است که قابلیت شبه‌سازی باران و رواناب به‌طور مجزا یا هم‌زمان را دارد و به همین خاطر بررسی فرسایش ناشی از باران یا رواناب را در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی میسر می‌سازد. در مطالعه‌ای دیگر [۱۲] به طراحی و ساخت شبه‌ساز قابل حمل پرداختند. این دستگاه با وزن تقریبی ۲۰ کیلوگرم قابلیت شبه‌سازی باران‌هایی با شدت ۲/۸ تا ۹/۵ سانتی‌متر بر ساعت در سطح کرت آزمایشی با مساحت ۳-۱ مترمربع را دارد. بر پایه نتایج به‌دست‌آمده ویژگی‌های مختلف باران‌های شبه‌سازی‌شده در این تحقیق شباهت زیادی با باران‌های طبیعی دارد و نتایج آن قابل قبول است. مطالعه‌ای [۱۶] با هدف درک تغییرپذیری نفوذ آب، رواناب سطحی و فرسایش در خاک‌هایی دچار حریق و با کاربری‌های مختلف (جنگل و زمین زراعی) در مقایسه با مناطق بدون حریق با استفاده از شبه‌ساز باران با اندازه پلات ۲۰*۲۰ سانتی‌متر در پارک جنگلی چغاسبز در استان ایلام انجام شد. به تحقیقات خارج از کشور [۱۷] نیز می‌توان اشاره نمود که برای بررسی و اندازه‌گیری فرسایش بین شیاری از کرت‌هایی با اندازه ۰/۵ و ۰/۶۶ مترمربعی استفاده کردند. طی این مطالعات به این نتیجه رسیدند که با افزایش ماسه دانه‌ریز فرسایش خاک‌ها افزایش می‌یابد. البته طبق نتایج این تحقیق اندازه این کرت‌های استفاده‌شده در مقیاس‌های بزرگ و دامنه‌ها که علاوه بر اندازه ذرات خاک، رواناب نیز در فرسایش دخالت دارد، مناسب نیست. در تحقیقی دیگر [۱۸]، کرت‌هایی با ابعاد ۱/۸۳ و ۲۲/۱ متر را مناسب دانسته‌اند. در این تحقیق عوامل مؤثر بر فرسایش از قبیل پستی‌وبلندی، طول و میزان شیب و پوشش گیاهی در کرت‌ها قابلیت تغییر دارند؛ بنابراین با توجه به مطالعات انجام‌شده اهمیت مطالعات فرسایش خاک و بررسی راهکارهای مختلف حفاظتی و همچنین روش‌های برآورد میزان هدررفت آن ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. با توجه به



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه اندازه‌گیری فرسایش و رسوب دانشگاه ایلام

محدوده بین ۰/۴ تا ۴/۴ میلی‌متر محاسبه شده است [۱۹-۲۰]. از مهم‌ترین مزیت‌های این دستگاه نسبت به سایر دستگاه‌های شبیه‌ساز باران موجود در کشور وجود برد کنترلی دستگاه است که امکان شبیه‌سازی دقیق هایتوگراف بارش را می‌دهد، به عبارت دیگر در سایر دستگاه‌ها شدت بارش در طول یک رخداد شبیه‌سازی بارش ثابت است ولی در این دستگاه می‌توان برای هر دقیقه از بارش یک شدت خاص را تعریف کرد و به این ترتیب دقیقاً همان بارشی که در واقعیت رخ می‌دهد را شبیه‌سازی نمود.

اهمیت طراحی و ساخت ایستگاه فرسایش و رسوب

شهر ایلام به دلیل قرار گرفتن در یک منطقه میانکوهی و کوهستانی، در مسیر سیلاب و رسوب همراه آن قرار دارد. از طرفی، عبور آبراهه اصلی از میان شهر ایلام از عوامل مهمی

مشخصات دستگاه شبیه‌ساز باران

این دستگاه شبیه‌ساز باران که در مرکز رشد واحدهای فناور دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ساخته شده است از بخش‌های مختلف سیستم جمع‌آوری آب مازاد، سیستم آب‌رسانی، صفحه بارش و برد کنترلی تشکیل شده است. اجزاء صفحه بارش دو نازل نوسانی از نوع ویجت ۸۰۱۰۰ با قطر روزنه ۴/۵ میلی‌متر با امکان حرکت بر روی یک ریل به طول دو متر است که پایه‌های آن متحرک و قابل تنظیم ارتفاع تا ۲۷۰ سانتی‌متر است. نازل‌ها یک الگوی بارش بادبزی با محدوده‌ای از قطرات با اندازه‌های مختلف ایجاد می‌کند. فشار بهینه ۸۰ کیلو پاسکال است، که در این فشار سرعت سقوط قطرات باران با روش عکس‌برداری، ۷/۱ متر بر ثانیه محاسبه می‌شود. قطر قطرات باران شبیه‌سازی شده در

متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۰/۲ متر ساخته شد و در فاصله ۷۰ سانتی متری از هم و در دو ردیف داخل محوطه قرار داده شد. سپس با استفاده از تراز پلات‌ها به صورت عرضی تراز گردید. پس از استقرار پلات‌ها درون خاک (به صورتی که مقداری از پلات بالای سطح خاک قرار داشته باشد)، طی چند مرحله خاک منطقه برداشت و به داخل پلات‌ها ریخته شد و پس از هر مرحله رگلاژ انجام شد و شیب پلات‌ها تنظیم گردید. سپس با استفاده از نسبت بین اختلاف ارتفاع و طول پلات، مقدار شیب هر کدام از پلات‌ها محاسبه شد (شکل ۲). ضمناً یک درخت بلوط هم در کنار این ایستگاه وجود دارد که به علت سایه‌اندازی مناسب فضای زیر درخت پاک‌سازی شده و با استفاده از بلوک‌های سیمانی یک فضای کلاس‌مانند با ظرفیت ۱۵ نفر به منظور هم‌اندیشی و گفتگو در خصوص مسائل علمی و تخصصی ایجاد و به‌عنوان کلاس بلوط نام‌گذاری شد (شکل ۳).

در افزایش پتانسیل رخداد سیل در زمان وقوع بارندگی‌های سنگین است. با توجه به فرم ناهموار این منطقه و تجمع توده غالب سیلاب‌ها در قسمت شهری که شیب کمتری نسبت به سایر نقاط دارند، شهر ایلام بیشتر از سایر نقاط در معرض سیلاب و رسوبات آن است و همین امر موجب شده تا بررسی میزان فرسایش و رسوب در این مکان مهم باشد [۲۱-۲۲]؛ بنابراین، این ایستگاه تحقیقاتی در مکانی با بافت طبیعی احداث شده است تا ضمن استفاده از دستگاه‌های شبیه‌ساز بتوان از عوامل محیطی نیز برای انجام تحقیقات بهره برد. همچنین به دلیل بررسی شیب به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در فرسایش و رسوب، این ایستگاه تحقیقاتی در محیطی با شرایط طبیعی زمین قرار گرفته است.

مراحل ساخت (طراحی، آماده‌سازی، اجرا)

منطقه موردنظر با مساحت ۲۰۰ مترمربع پاک‌سازی و با استفاده از تعدادی بلوک دورچین و مشخص شد. سپس با استفاده از ورقه‌های گالوانیزه تعداد ۲۰ عدد پلات به طول ۲



شکل ۲. مراحل طراحی و احداث ایستگاه تحقیقاتی فرسایش و رسوب

شیب متفاوت ایجاد شدند. سپس برای اطمینان از وجود تفاوت بین کلاس شیب ایجادشده، اقدام به مقایسه آماری شیب و سایر خصوصیات محیطی (به خصوص خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک) شد. برای بررسی خصوصیات خاک موجود در هر پلات، از نمونه خاک ترکیبی از پنج نقطه در هر پلات (مرکز و چهار گوشه) در عمق صفر تا ۲۰ سانتی متری استفاده شد. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه خاکشناسی، هوا خشک شده و از الک دو میلی متری عبور داده شدند. سپس تمامی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مرسوم در مطالعات بر اساس روش‌های موجود اندازه‌گیری شدند [۲۴].

تجزیه و تحلیل آماری

پس از برداشت و تهیه داده‌های محیطی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، ابتدا نرمال بودن و همگنی داده‌ها بر اساس دو آزمون به ترتیب کولموگروف اسمیرنوف^۱ و آزمون لون^۲ بررسی شد [۲۵-۲۶]. سپس وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌های محیطی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در دو گروه موجود با استفاده از آزمون t-student مستقل در نرم‌افزار SPSS var. 26 انجام شد.

۳. یافته‌ها

پس از اینکه ایستگاه تحقیقاتی طبق مراحل قبلی آماده شد، به مدت یک فصل بارشی (فصل زمستان) در معرض بارش‌های طبیعی قرار گرفت و طی آن خاک درون کرت‌ها به حالت خاک طبیعی در آمده و بانک بذر درون خاک فعال شده و بدین ترتیب یک پوشش گیاهی علفی در فصل بهار به وجود آمد که زمینه را برای انجام تحقیقات میدانی فراهم کرد (شکل ۵).



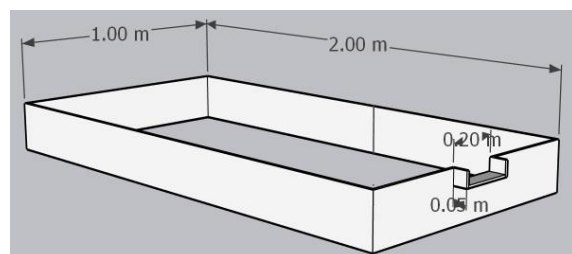
شکل ۵. ایستگاه تحقیقاتی پس از مراحل آماده‌سازی



شکل ۳. فضای آموزشی و تحقیقی ایجادشده در کنار ایستگاه (کلاس بلوط)

طراحی سرریز

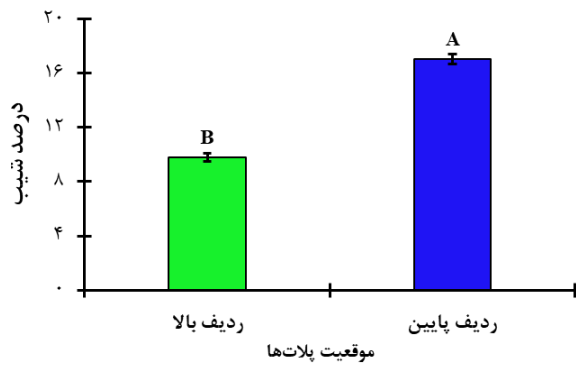
یکی از مشکلات اصلی در پلات‌ها و کرت‌های فرسایش و رسوب ایجاد سرریز است. در بیشتر ایستگاه‌ها از یک سرریز متحرک استفاده می‌شود که در زمان نصب و جابه‌جایی موجب ایجاد چاله در داخل کرت شده و افزایش نفوذ آب و رسوب به آن قسمت می‌شود که تأثیر منفی بر برداشت صحیح و دقیق اطلاعات دارد. در این ایستگاه برای جلوگیری از این پیش‌آمد، از سرریز ثابت استفاده شد (شکل ۴). در این نوع سرریز، ابتدا با دو برش در وسط بخش پایین دست هر کرت، قسمت پایین سرریز ایجاد شد. سپس با استفاده از نصب قسمت دوم سرریز که به صورت دستی طراحی و ایجاد شد سرریز کامل گردید. در نهایت، محل اتصال قسمت دوم به دیواره و کف سرریز با استفاده از موم آب‌بندی شد.



شکل ۴. طراحی و ساخت سرریز برای پلات‌های اندازه‌گیری فرسایش و رسوب

روش تحقیق

با توجه به اینکه شیب یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر فرایند فرسایش و رسوب است و اثر متقابلی با شدت و رژیم بارندگی دارد [۲۳]. در این تحقیق پلات‌های موجود با دو



شکل ۶. مقایسه آماری درصد شیب بین دو ردیف پلات‌های مستقر شده در ایستگاه فرسایش و رسوب

خصوصیات خاک ایستگاه

برای بررسی خصوصیات خاک، از هر کدام از پلات‌ها نمونه خاک تهیه و به آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه منتقل شد. سپس خصوصیات خاک بین دو گروه شیب موجود در ایستگاه به صورت آماری با استفاده از آزمون t-student مستقل مقایسه شدند. نتایج این آزمون نشان داد که به جز فسفر، بین هیچ کدام از پارامترهای خاک در دو کلاس شیب موجود در منطقه اختلاف معنی داری وجود ندارد (جدول ۱).

بررسی تغییرات شیب در ایستگاه فرسایش و رسوب

یکی از عوامل تأثیرگذار بر مقدار و شدت فرسایش در عرصه‌های طبیعی درصد شیب است. به همین دلیل، در این ایستگاه و با این پیش فرض، اقدام به ایجاد دو نوع کلاس شیب در دو ردیف پلات‌ها شد. از طرفی، با توجه به قرارگیری همه پلات‌های ایستگاه فرسایش و رسوب در مجاورت هم، تنها عامل توپوگرافیکی که ممکن است بین پلات‌های موجود تغییر کند درصد شیب است. به همین دلیل پس از استقرار پلات‌ها و برای اطمینان از تفاوت شیب بین دو گروه، ابتدا مقدار شیب در هر پلات اندازه‌گیری شد و سپس به صورت آماری با استفاده از آزمون t-student مستقل مقایسه شدند. بررسی آماری نشان داد که اختلاف معنی داری (t-value=-14.89 and P-value < 0.001) بین دو گروه وجود دارد به صورتی که میانگین شیب در گروه اول برابر با $17/05 \pm 0/38$ و در گروه دوم برابر با $9/8 \pm 0/31$ بود (شکل ۶).

جدول ۱. خصوصیات خاک پلات‌های ایستگاه فرسایش و رسوب دانشگاه ایلام

متغیر	واحد	کلاس شیب (%)	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد
وزن مخصوص ظاهری	gr/cm ³	۱۰	۲/۰۱۶	۰/۰۶۴	۰/۰۲۱
		۱۷	۲/۰۴۴	۰/۰۷۹	۰/۰۲۵
وزن مخصوص حقیقی	gr/cm ³	۱۰	۱/۰۷۴	۰/۰۲۸	۰/۰۰۹
		۱۷	۱/۱۱۶	۰/۱۷۲	۰/۰۵۵
رطوبت اشباع	%	۱۰	۳۲/۹۸۳	۵/۵۲۸	۱/۷۴۸
		۱۷	۳۱/۴	۷/۰۳۶	۲/۲۲۵
ظرفیت زراعی	%	۱۰	۱۹/۷۳۸	۲/۷۶۵	۰/۸۷۵
		۱۷	۱۸/۹۴۸	۳/۵۱۸	۱/۱۱۳
نقطه پژمردگی دائمی	%	۱۰	۱۱/۵۰۷	۱/۴۷۶	۰/۴۶۷
		۱۷	۱۰/۷۲۱	۱/۷۵۷	۰/۵۵۶
سیلت	%	۱۰	۲۶/۲	۲/۵۲۹	۰/۸۰۰
		۱۷	۲۷/۸	۲/۵۲۹	۰/۸۰۰
شن	%	۱۰	۳۴/۵	۰/۰	۰/۰
		۱۷	۳۳/۷	۱/۶۸۶	۰/۵۳۳
رس	%	۱۰	۳۹/۳	۲/۵۲۹	۰/۸۰۰
		۱۷	۳۸/۵	۲/۶۶۶	۰/۸۴۳
اسیدیته	---	۱۰	۷/۶۱۲	۰/۰۵۱	۰/۰۱۶
		۱۷	۷/۶۰۱	۰/۰۱۹	۰/۰۰۶
هدایت الکتریکی	Ms/m	۱۰	۱۶۷/۷۷	۱۶/۶۴۳	۵/۲۶۳
		۱۷	۱۷۷/۷۶	۴۴/۴۰۰	۱۴/۰۴۱
آهک	%	۱۰	۱۵/۳	۴/۵۱۳	۱/۴۲۷
		۱۷	۱۳/۹۵	۶/۲۳۲	۱/۹۷۱
ماده آلی	%	۱۰	۲/۲۹۶	۱/۶۸۵	۰/۵۳۳
		۱۷	۲/۶	۱/۲۲۱	۰/۳۸۶
نیترژن	%	۱۰	۰/۱۰۸	۰/۰۸۴	۰/۰۲۷
		۱۷	۰/۱۲۴	۰/۰۶۱	۰/۰۱۹
فسفر	mg/km	۱۰	۱۷/۹۶۲	۱/۸۶۹	۰/۵۹۱
		۱۷	۱۴/۷۳۶	۲/۲۷۶	۰/۷۱۹

۴. بحث

از آنجایی که موضوع فرسایش و رسوب و وقوع سیلاب‌های مخرب یکی از پدیده‌های رایج در ایران و به‌ویژه در مناطق کوهستانی غرب کشور و به‌خصوص در سال‌های اخیر است این موضوع در مطالعات مختلفی بررسی شده است [۱۶، ۲۱، ۳۱-۲۷]؛ بنابراین مطالعه علمی و دقیق این موضوع و تعیین عوامل دخیل در پدیده سیلاب به‌منظور ارائه راهکار نیازمند تحقیقات علمی است. از روش‌های علمی و قابل قبول بررسی پدیده سیلاب و فرسایش احداث ایستگاه‌های فرسایش و رسوب است که در مناطق مختلف دنیا و برخی از نقاط دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی ایران از قبیل ایستگاه تحقیقاتی سنگانه کلات [۱۴]، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری [۱۵]، دانشگاه تربیت مدرس [۱۰] اقدام به احداث این ایستگاه‌ها شده است ولی کمبود این قبیل ایستگاه‌های تحقیقاتی در مناطق کوهستانی زاگرس کاملاً مشهود است و بر همین اساس اقدام به طراحی و احداث این ایستگاه در دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام شده است. در این ایستگاه و با توجه ماهیت کوهستانی منطقه، شیب به‌عنوان عاملی کلیدی در مطالعه فرسایش و رسوب مطرح است [۲۳]. به همین دلیل دو کلاس شیب متفاوت در این ایستگاه ایجاد شد که نتایج تجزیه و تحلیل آماری نیز گویای وجود اختلاف معنی‌دار بین درصد شیب دو کلاس بود (شکل ۶). در ضمن از آنجایی که مطالعات بعدی در این ایستگاه نیازمند وجود داده‌های خصوصیات خاک است از هر کدام از پلات‌ها نمونه خاک تهیه و آزمایش شد (جدول ۱) و به این طریق برای هر کدام از پلات‌ها یک شناسنامه حاوی اطلاعات مختلف آن پلات تهیه شد. از سوی دیگر، قابلیت و کارایی این دستگاه شیب‌ساز باران نیازمند ارزیابی است. بر اساس مطالعه گذشته، کارایی این دستگاه شیب‌ساز باران در منطقه و طی مطالعات مختلفی از قبیل ارزیابی نقش خصوصیات بارش و آتش‌سوزی تجویزی بر میزان رواناب، رسوب و آبشویی عناصر مغذی خاک در پارک جنگلی چغاسبز، ایلام [۲۸]، [۳۲] و همچنین بررسی رواناب و فرسایش خاک در توده‌های طبیعی شاخه‌زاد بلوط و جنگل کاری شده زربین (*Cupressus*)

در جنگل‌های زاگرس در پارک چغاسبز ایلام [۳۳] به‌خوبی تأیید شده است اما از محدودیت‌های این قبیل دستگاه‌های شیب‌ساز وجود تنها یک پلات سیار می‌باشد که برای شیب‌سازی هر رخدادهای بارشی باید این پلات جابه‌جا شده و در نقطه موردنظر مستقر شود که این موضوع ضمن اتلاف وقت زیاد برای استقرار تا حدودی باعث آشفته‌گی خاک و خطا در اندازه‌گیری می‌شود و یکی از دلایل اصلی احداث این ایستگاه، استقرار ۲۰ پلات ثابت در دو شیب متفاوت است تا هم برای هر تیمار تکرار کافی داشته باشد و هم از اتلاف زمان جلوگیری شود؛ بنابراین از نکات قابل توجه این ایستگاه می‌توان به تعداد زیاد پلات‌ها اشاره نمود که باعث سرعت عمل در انجام تحقیقات شده است، این موضوع زمانی اهمیت پیدا می‌کند که به علت وجود یک پلات سیار در دستگاه‌های شیب‌ساز مجبور می‌شوید رخدادهای بارشی شیب‌سازی شده را در چند روز انجام دهید و چون در محیط طبیعی صورت می‌گیرد طبیعتاً پارامترهایی از قبیل دما، رطوبت خاک، سرعت وزش باد و... در روزهای مختلف، متفاوت خواهد بود و همین امر باعث خطا و ایجاد عدم قطعیت در داده‌ها خواهد شد ولی در این ایستگاه می‌توان رخدادهای بارش زیاد و متنوعی را در زمان کوتاه و شرایط آب و هوایی تقریباً مشابه انجام داد، ضمن اینکه تعداد زیاد پلات‌ها باعث کاهش هزینه تحقیق می‌شود. از طرفی چون خاک درون پلات‌ها از خاک خود منطقه با خصوصیات اندازه‌گیری شده پر شده و قبل از اولین کار تحقیقی حداقل یک فصل بارشی در معرض بارش‌های زمستانه قرار گرفته است می‌توان ادعا نمود که بیشترین تطابق را با واقعیت خواهد داشت و این نکته نیز از نقاط قوت این ایستگاه تحقیقاتی است. علاوه بر این موارد، در دسترس بودن برق و آب لوله‌کشی در ایستگاه هم باعث می‌شود نیاز به موتوربرق و تانکر آب سیار مرتفع شود.

۵. نتیجه‌گیری

با توجه به ضرورت مطالعه علمی پدیده‌های فرسایش و رسوب، احداث ایستگاه‌های تحقیقاتی از ضروریات است که در این مقاله نحوه احداث یک ایستگاه تحقیقاتی در

شهرستان مرودشت). مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک. ۱۳۹۹؛ ۲۷(۴):۱۲۸-۱۰۹.

[۹] عزیزی خالخیلی طاهر، بخشی جهرمی آرمان، بیژنی مسعود. رفتار حفاظت از خاک کشاورزان: نفس رسانه‌های ارتباطی و اطلاع‌رسانی. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران. ۱۳۹۰؛ ۷(۲):۵۱-۶۱.

[۱۰] عبدالمهی زهرا، صادقی سیدحمیدرضا، خالدی درویشان عبدالواحد. طراحی، ساخت و آزمون نازل‌های شبیه‌ساز باران. پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی). ۱۳۹۲؛ ۲۰(۶):۶۷-۸۶.

[11] Mutchler CK, Murphree CE, McGregor KC. Laboratory and field plots for erosion research. In R. Lal (ed.), Soil Erosion Research Methods, 2nd ed., 11-37. Soil and Water Conservation Society, St. Lucie Press, Ankeny, IA. 1994.

[۱۲] آقاییگی امین، عرب خدري محمود. طراحی و ساخت شبیه‌ساز باران قابل حمل. مجله اکوهیدرولوژی. ۱۳۹۷؛ ۱(۱۵):۲۳۹-۲۲۹.

[۱۳] رنگ‌آور عبدالصالح، غفوریان رضا، انگشتی حسن، گرانچیان غلامعلی. تحقیق و بررسی در زمینه عوامل فرسایش خاک در مراتع استان خراسان رضوی، گزارش نهایی طرح‌های تحقیقاتی، ۱۳۸۳؛ شماره ۵.

[۱۴] شیبانی مریم، بهنیا فر ابوالفضل. تعیین مناسب‌ترین برآورد تحویل رسوب به روش تجربی (اس دی آر) در ایستگاه تحقیقاتی سنگانه کلات. مجله علوم جغرافیایی (جغرافیای کاربردی). ۱۴۰۰؛ ۱۷(۳۴):۶۹-۶۰.

[۱۵] محمودآبادی مجید، عرب خدري محمود. آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش پژوهش‌شده حفاظت خاک و آبخیزداری معرفی ویژگی‌ها، قابلیت‌ها و کاربردها. مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۳۹۰؛ ۱(۳):۱۱-۱.

[16] Rostami N, Heydari M, Uddin SMM, Esteban Lucas-Borja M, Zema DA. Hydrological Response of Burned Soils in Croplands, and Pine and Oak Forests in Zagros Forest Ecosystem (Western Iran) under Rainfall Simulations at Micro-Plot Scale. Forests. 2022; 13, 246. <https://doi.org/10.3390/f13020246>.

[17] Govers G, Poesen J. Assessment of the interrill and rill contributions to total soil loss from an

دانشگاه ایلام بررسی شده است. از زمینه‌های تحقیقاتی ایستگاه فرسایش و رسوب دانشگاه ایلام می‌توان به شناخت عوامل مؤثر بر فرسایش، رسوب و تخریب اراضی از قبیل پوشش گیاهی و خاکپوش‌ها، مطالعه تأثیر آتش‌سوزی بر رواناب و رسوب، بهینه‌سازی روش‌های حفاظت خاک، بهینه‌سازی الگوهای مدیریت حوزه‌های آبخیز، مطالعه روش‌های کاهش سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز و... اشاره نمود.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه ایلام بخاطر تامین اعتبار این پروژه تقدیر و تشکر نمایند.

مراجع

[1] Prokop P, Poręba GJ. Soil erosion associated with an upland farming system under population pressure in Northeast India. Land Degradation & Development. 2012; 23(4):310-321.

[2] Eswaran H, Lal R, Reich PF. Land degradation: an overview. Response to land degradation. 2019; 20-35.

[۳] نیک‌کامی داوود. افزایش دقت نمونه‌برداری از رواناب و رسوب مخازن کرت‌های فرسایش. مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۳۹۹؛ ۱۲(۳):۶۳۵-۶۴۲.

[4] Morgan RPC. Soil erosion and conservation. John Wiley & Sons. 2009.

[5] Borrelli P, Alewell C, Alvarez P, Anache JAA, Baartman J, Ballabio C, Bezak N, Biddoccu M, Cerdà A, Chalise D, Chen S. Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. Science of the total environment. 2021; 780, p.146494.

[6] Lal R. Soil management in the developing countries. Soil science. 2000; 165(1):57-2.

[7] Jacobsen, T. Some aspects of reservoir sedimentation. Workshop on Reservoir Sedimentation Control Regional Centre on Urban Flood Management, Karaj, Iran. 1995.

[۸] بذرافکن خدیجه، زمانی غلامحسین، رضائی مقدم کورش، نامدار راضیه. الگوی رفتاری حفاظت از خاک‌های زراعی (مطالعه موردی: گندم کاران

- [۲۸] ارغند طاهره، رستمی نورالدین، حیدری مهدی، قیصوری مرتضی. ارزیابی نقش خصوصیات بارش و آتش‌سوزی تجویزی بر میزان رواناب و آبشویی عناصر مغذی خاک (مطالعه موردی: پارک جنگلی چغاسبز، ایلام). پژوهش‌های آبخیزداری، ۱۴۰۳؛ (پذیرفته‌شده)، doi: 10.22092/wmrj.2024.364885.1575
- [۲۹] ربانی مریم، رستمی نورالدین. تأثیر اقدامات آبخیزداری بر مدیریت سیلاب شهری. اولین رویداد مدیریت بحران ایران قوی ۱۴۰۱. مرکز همایش‌های موزه ملی انقلاب اسلامی و دفاع مقدس. تهران: ستاد مدیریت بحران؛ ۱۴۰۱.
- [۳۰] رستمی فاطمه، توکلی محسن، رستمی نورالدین، ابراهیمی حیدر. ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شهر ایلام). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز. ۱۴۰۰؛ ۱(۱):۱۶-۱.
- [۳۱] رستمی نورالدین، ربانی مریم. پهنه‌بندی میزان فرسایش‌پذیری خاک و تعیین عوامل مؤثر بر آن (مطالعه موردی: حوزه آبخیز گلان، ایلام). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز. ۱۴۰۲؛ ۳(۳):۱۵-۱. doi: 10.22034/iwm.2023.2004738.1084
- [۳۲] ارغند طاهره. بررسی اثر مدت بارش و آتش‌سوزی تجویزی بر میزان رواناب، رسوب و هدررفت عناصر غذایی خاک در جنگل‌های طبیعی و جنگل‌کاری شده مناطق نیمه‌خشک غرب ایران [پایان‌نامه کارشناسی ارشد]. ایلام: دانشگاه ایلام؛ ۱۴۰۲.
- [۳۳] حیدری سمیه. بررسی رواناب و فرسایش خاک در توده‌های طبیعی شاخه زاد بلوط و جنگل‌کاری شده زربین (*Cupressus sempervirens*) در جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: پارک چغاسبز ایلام) [پایان‌نامه کارشناسی ارشد]. ایلام: دانشگاه ایلام؛ ۱۴۰۱.
- upland field plot. *Geomorphology*. 1988; 1(4): 343-354.
- [18] Wischmeier WH, Smith DD. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook. 1978; 58 Pages.
- [19] Sheikh VB, Jafari Shalamzari M, Farajollahi A, Fazli P. Soil Erosion under Simulated Rainfall in Loess Lands with Emphasis on Land-Use, Slope and Aspect. *ECOPERSIA*. 2016; 4(2):1395-1409. <https://doi.org/10.18869/modares.Ecopersia.4.2.1395>
- [20] Sheikh VB, Shalamzari MJ, Farajollahi A. Sediment-bound soil nutrient loss under simulated rainfall. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*. 2017; 67(1):37-48. <https://doi.org/10.17099/jffiu.95610>
- [۲۱] باقلانی میلاد، رستمی نورالدین، توکلی محسن. شناسایی عوامل مؤثر بر بروز سیلاب شهری در حوزه آبخیز شهر ایلام. مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۳۹۸؛ ۱۱(۲):۵۲۳-۵۳۶.
- [۲۲] داوند خدیجه، شهابی هیمین، سالاری ممند. پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر ایلام با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۴۰۰؛ ۱۰(۳۸):۲-۱.
- [23] Schumm S.A. Experimental Fluvial Geomorphology. John Wiley and Sons. New York. 1987. p 413.
- [24] Jackson ML. Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall of India Pvt. Ltd., New Delhi. 1967. 498.
- [25] Yap BW, Sim CH. Comparisons of various types of normality tests. *Journal of Statistical Computation and Simulation*. 2011. 81(12):2141-55.
- [26] O'Neill ME, Mathews KL. Levene tests of homogeneity of variance for general block and treatment designs. *Biometrics*. 2002. 58(1):216-24.
- [۲۷] خورشیدی شهناز، رستمی نورالدین، صالح پور جم امین. اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار با کاربرد روش AHP-VIKOR (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حاجی بختیار، استان ایلام). پژوهش‌های فرسایش محیطی. ۱۴۰۰؛ ۱۱(۲):۹۲-۶۶.

پی‌نوشت‌ها

1. Kolmogorov-Smirnov
2. Levene's Test