



## کاهش هدررفت خاک و آب از طریق تحریک باکتری‌های خاک‌زی در مقیاس کرت‌های کوچک آزمایشگاهی

حسین خیرفام<sup>۱</sup>، \* سید حمیدرضا صادقی<sup>۲</sup>، بهروز زارعی‌دارکی<sup>۳</sup> و مهدی همایی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>استادیار گروه علوم محیط زیست، پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه، دانشگاه ارومیه و دانش‌آموخته دکتری دانشگاه تربیت مدرس،

<sup>۲</sup>استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و عضو هسته پژوهشی آگروهیدرولوژی، دانشگاه تربیت مدرس،

<sup>۳</sup>استادیار گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس،

<sup>۴</sup>استاد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی و رئیس هسته پژوهشی آگروهیدرولوژی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۶

### چکیده

**سابقه و هدف:** دستیابی به توسعه پایدار بدون حفاظت از منابع خاک و آب و کاهش تخریب اراضی امکان‌پذیر نمی‌باشد. از طرفی در اراضی با تراکم محدود پوشش گیاهی، پوسته‌های زیستی خاک تشکیل شده در اثر فعالیت ریزموجودات خاک‌زی نقش مهمی در حفظ و بهبود شرایط پایداری خاک دارند. از آنجایی‌که پوسته‌های زیستی در اراضی تخریب شده توسعه مناسبی نداشته، بنابراین جدیداً احیاء این پوسته‌ها با ایجاد شرایط مناسب برای افزایش فعالیت ریزموجودات خاک‌زی از طریق کاربرد فناوری‌های نوین زیستی مانند کاربرد محرک‌های غذایی ریزموجودات خاک‌زی مورد توجه قرار گرفته است. البته، اثرگذاری سریع و پایدار راه‌کارهای حفاظتی خاک از معیارهای مهم در انتخاب اقدامات مدیریتی بوده که در این راستا پژوهش حاضر با هدف کارایی‌سنجی یک نوع تزریق ماده محرک غذایی باکتری‌های خاک‌زی با نام B4 به‌عنوان افزودنی کاملاً زیستی در کاهش هدررفت خاک و رواناب در شرایط آزمایشگاهی و مقیاس کرت‌های کوچک فرسایشی برنامه‌ریزی شد.

**مواد و روش‌ها:** خاک مورد مطالعه از دامنه‌های حساس به فرسایش و تخریب‌شده منطقه مرزن‌آباد- کندلوس واقع در حوزه آبخیز چالوس‌رود و غرب استان مازندران تهیه شده و پس از آماده‌سازی آن، کرت‌های آزمایش (به ابعاد ۰/۵ متر و حجم کلی ۰/۱۲۵ مترمکعب) مطابق با لایه‌بندی، دانه‌بندی و جرم مخصوص ظاهری منطقه مادری خاک با بافت سیلتی-رسی-لومی پر شدند. ماده محرک غذایی (B4) نیز به‌ترتیب با ترکیب ۱۵، چهار و پنج گرم بر لیتر استات کلسیم، عصاره مخمر و دکستروز آماده شده و از طریق اسپری سطحی روی کرت‌ها تزریق شد. برای انجام آزمایش مذکور، دو تیمار تزریق B4 و شاهد با سه تکرار مدنظر قرار گرفت. در نهایت پس از ۱۵ روز، مطابق با ویژگی باران‌های خیلی فرساینده منطقه مادری، شبیه‌سازی باران به مدت ۱۰۰ دقیقه و شدت ۵۰ میلی‌متر در ساعت در محل

\* مسئول مکاتبه: [sadeghi@modares.ac.ir](mailto:sadeghi@modares.ac.ir)

آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش دانشگاه تربیت مدرس روی کرت‌های آزمایش به‌تعداد شش عدد و با طرح کاملاً تصادفی انجام و مؤلفه‌های هدررفت خاک و رواناب اندازه‌گیری شد.

**یافته‌ها:** مقایسه آماری نتایج نشان داد که تزریق B4 با تحریک تکثیر باکتری‌های خاک‌زی و در نتیجه اثرگذاری باکتری‌ها روی برخی ویژگی‌های خاک باعث بهبود مؤلفه‌های هدررفت خاک و رواناب شد که در این میان میزان اثرگذاری آن روی کاهش هدررفت خاک بیش‌تر از رواناب سطحی بود. به‌گونه‌ای که زمان شروع و زمان تا اوج رواناب در تیمار شاهد (بدون تزریق) به‌ترتیب از ۲۴/۸۳ به ۴۹/۲۲ دقیقه و از ۷۸/۶۶ به ۹۲/۶۶ دقیقه در تیمار تزریق B4 به‌صورت معنی‌دار ( $P < 0/05$ ) افزایش یافت. هم‌چنین حجم و مقدار اوج رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب در تیمار تزریق B4 با کاهش معنی‌دار ( $P < 0/01$ ) و به‌ترتیب ۸۸، ۹۲، ۹۵ و ۳۵ درصدی نسبت به تیمار شاهد، ۲۷۵/۶۶ و ۱۸/۶۶ میلی‌لیتر و ۰/۴۹ گرم و ۱/۷۹ گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، احیاء و غنی‌سازی پوسته‌های زیستی خاک در اراضی تخریب‌شده و بدون پوشش گیاهی از طریق تحریک و افزایش جمعیت ریزموجودات خاک‌زی با استفاده از محرک‌های غذایی ریزموجودات مانند B4 به‌عنوان راه‌کاری زیستی، کارا و زودبازده در حفاظت منابع خاک و آب ارزیابی شد. هر چند انجام پژوهش‌های تکمیلی در راستای دستیابی به راهکارهای مطمئن با کاربرد سایر محرک‌های میکروبی و ارزیابی ماندگاری آن‌ها در طی بارش‌های متوالی و در طول زمان ضروری می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** اصلاح زیستی خاک، افزودنی‌های خاک، حفاظت خاک و آب، ریزموجودات خاک‌زی، زیست‌فناوری خاک

### مقدمه

هدررفت آب و خاک مشکلی جهانی در بوم‌سازگان‌های در حال تخریب با اثرات مخرب درون و برون‌منطقه‌ای می‌باشد (۷ و ۲۶). کاهش بهره‌وری و پایداری کشاورزی، افزایش بلاهای طبیعی هم‌چون سیل، زمین‌لغزش و رسوب‌گذاری، مناقشه‌ها و مهاجرت‌های جوامع انسانی از جمله اثرات منفی درون و برون‌منطقه‌ای فرسایش خاک در بوم‌سازگان‌های در حال تخریب بوده است. مشکلات بیان شده باعث تناقض عملی بین پایداری محیط زیست در کنار توسعه پایدار و بروز مشکلات اقتصادی، اجتماعی و سیاسی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه می‌باشد (۳۶). بنابراین راه‌کارهای

مدیریتی مستقیم و غیرمستقیم بی‌شماری به‌منظور کاهش هدررفت آب و خاک ارائه و اجرا شده است. در این بین، کاربرد افزودنی‌های خاک از جمله خاکستر پسماندهای شهری (۳۸)، انواع پلیمرهای نفتی و زیست‌تخریب‌پذیر (۱)، کودهای حیوانی و گیاهی و باقی‌مانده محصولات زراعی (۳۴) و جدیداً نیز ذغال‌های زیستی (۳۵) با قابلیت ایجاد سطوحی محافظ، جذب‌کننده آب و یا تثبیت‌کننده و اصلاح‌کننده خاک برای کاهش هدررفت خاک و آب بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته است.

هر چند کاربرد هر یک از روش‌ها و افزودنی‌های بیان شده به‌نوعی اهداف پژوهش‌گران متعدد برای بهبود مؤلفه‌های مرتبط بر هدررفت خاک و آب را

کمتر از  $2 \times 10^4$  عدد در یک گرم خاک گزارش شده است (۱۶، ۲۳ و ۲۷)، بنابراین زمینه‌سازی رشد باکتری‌های مفید خاک‌زی از طریق تحریک آن‌ها، تأثیر به‌سزایی در زیست‌گاه سایر موجودات زنده (۷) و پایداری خاک و طبعاً مقابله با فرسایش خاک خواهد داشت (۲۶).

در این راستا، نقش پوسته‌های زیستی غنی خاک از باکتری‌ها و سایر ریزموجودات در کاهش هدررفت خاک و آب تأیید شده است (۳۶ و ۴۵). به‌گونه‌ای که بلنپ و همکاران (۲۰۱۳) کاهش هدررفت خاک و رواناب سطحی در خاک‌های غنی از ریزموجودات خاک‌زی را به‌ترتیب ۴۰ و ۷۵ درصد گزارش کردند (۲). هم‌چنین ژائو و همکاران (۲۰۱۴) نیز به‌ترتیب کاهش ۹۲ و ۱۱/۸ درصدی هدررفت خاک و رواناب در خاک‌های با جمعیت زیاد ریزموجودات خاک‌زی را تأیید کردند (۳۹). اخیراً نیز چامیزو و همکاران (۲۰۱۷) کاهش ۲۰ برابری تولید رسوب در خاک‌هایی با پوسته زیستی مناسب نسبت به خاک‌های لخت در مناطق نیمه‌خشک را گزارش کرده‌اند (۱۲). در نهایت خیرفام و همکاران (۲۰۱۷) ب و ج) در راستای احیاء پوسته‌های زیستی اراضی تخریب‌شده، افزایش جمعیت ریزموجودهای خاک‌زی از طریق روش آب-تلقیحی ریزموجودهای بومی تکثیرشده را روش نوینی معرفی کرده‌اند (۲۵، ۲۶ و ۲۷). از طرفی والنسا-گونزالز و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از روش معدنی‌سازی زیستی اقدام به تلقیح نوعی ماده مغذی به نام B4 به‌عنوان محرک فعالیت باکتری‌ها به خاک حساس به فرسایش کرده و اعلام نمودند که استحکام برشی، مقاومت در برابر کشش و قدرت مکش آب به‌ترتیب ۲۰، ۶۰ و ۵۷ درصد افزایش و فروریختگی (رمبش)، شکستگی و فرسایش‌پذیری به‌ترتیب ۵۰، ۹۰ و ۴۰ درصد کاهش یافته است. اما میزان نفوذپذیری هم ۶۰ درصد کاهش یافته بود (۴۳).

تأمین کرده‌اند، اما بعضاً محدودیت‌هایی از جمله ناپایداری، هزینه‌بر و زمان‌بر بودن، پیامدهای مخرب محیط زیستی و کاربردی نبودن در سطوح وسیع، استفاده از آن‌ها را به چالش کشیده است (۵، ۲۴ و ۴۶). بنابراین با توجه به محدودیت‌های موجود برای به‌کارگیری افزودنی‌های معمول در حفاظت منابع آب و خاک، ضروری است تا از جایگزین‌هایی با اثربخشی مناسب و با کمینه کردن محدودیت‌های بیان شده استفاده شود (۲۳ و ۲۷). با این حال، بهبود و اصلاح ویژگی‌های سطحی خاک با افزودنی‌های کاملاً زیستی در کوتاه‌ترین زمان و با مناسب‌ترین هزینه ممکن، راه‌کاری مناسب می‌باشد. در این راستا، جدیداً استفاده از محرک‌های آلی غذایی با هدف افزایش جمعیت و فعالیت باکتری‌های بانک ریزموجود در سطح خاک به‌عنوان راه‌کاری زیستی، تقریباً پایدار، سریع و کارا معرفی و مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (۲۳، ۳۲، ۳۷ و ۴۲).

باکتری‌های پوسته زیستی خاک علاوه بر ترشح مواد چسبنده پلی‌ساکاریدی و چسبیدگی ذرات ریز خاک و تشکیل ریزساختار (محیط)، باعث تشکیل ساختارهای بزرگ از طریق ارتباط و پیوستگی ریزساختارها خواهند شد (۱۵). شرایط به‌وجود آمده منجر به افزایش تخلخل (۳۰، ۳۶ و ۳۷)، ظرفیت نگه‌داشت آب (۱۱ و ۳۷)، بهبود پایداری خاک (۴۰) و اصلاح ویژگی‌های ناهمواری سطحی خاک و افزایش حاصل‌خیزی خاک (۳۲) و بهبود ویژگی‌های کیفی خاک (۲۵) می‌شود. بر اساس مطالعات صورت گرفته، باکتری‌ها توانایی فعالیت در pH بین چهار تا ۱۱ و دمای ۱۰ تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد و هم‌چنین تحمل شرایط خشکی تا چند میلیون سال را دارند (۲۰). اما از آنجایی که جمعیت باکتری‌ها در خاک‌های فقیر و تخریب‌یافته در حد غیرقابل قبول و

به‌ترتیب از نوع زیریک و مزیک بوده و مواد بستری از ترکیب مارن و آهک تشکیل شده است (۱۷ و ۲۳).

**آماده‌سازی کرت‌های آزمایش:** در پژوهش حاضر کرت‌های مکعبی به‌تعداد شش عدد و با ابعاد ۰/۵ متر و حجم کلی ۰/۱۲۵ مترمکعب استفاده شد. به‌منظور دستیابی به بیش‌ترین تشابه با حالت طبیعی، کرت‌های ساخته شده تا عمق ۳۷ سانتی‌متری از پوکه معدنی پر شد (۱۹ و ۲۰). از طرفی نمونه‌های خاک هواخشک شده و بقایای گیاهی و سنگ و سنگ‌ریزه با استفاده از الک هشت میلی‌متری حذف شد. سپس از سطح ۳۷ تا ۴۷ سانتی‌متری (ضخامت ۱۰ سانتی‌متر) با خاک عبور داده شده از الک هشت میلی‌متری و ضخامت سه سانتی‌متری سطح نیز با خاک عبور داده شده از الک سه میلی‌متری پر و با سطح سرریز کرت‌ها یکسان هم‌سطح شد (۲۹). در حین پر کردن کرت‌ها، کوبیدگی لازم توسط غلطک تا رسیدن به جرم مخصوص ظاهری نمونه خاک دست‌نخورده منطقه مورد مطالعه (بین ۱/۱۰ تا ۱/۱۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب) انجام گرفت (۲۵ و ۲۶). پس از این مرحله، به‌منظور تأمین شرایط رطوبت پیشین خاک و متناسب با شرایط طبیعی، حدود ۲۴ ساعت تحت شرایط اشباع قرار گرفته و سپس به‌مدت ۲۴ ساعت دیگر رها شد تا به‌حالت شرایط رطوبتی مزرعه برسد (۳۴).

**آماده‌سازی تیمار تحریک باکتری‌ها:** ماده B4 یک محرک غذایی باکتری‌ای آلی بوده که توسط بوکوعت و همکاران (۱۹۷۳) معرفی شده است. ماده بیان شده به‌صورت ترکیبی از ۱۵ گرم بر لیتر استات کلسیم، چهار گرم بر لیتر عصاره‌ی مخمر و پنج گرم بر لیتر دکستروز و با pH برابر هشت (۴۳) به‌عنوان ماده غذایی بسیار محرک با هدف تحریک تکثیر و فعالیت باکتری‌ها در کاهش فرسایش و بهبود مؤلفه‌های رواناب سطحی در آزمایشگاه میکروبیولوژی دانشکده علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس تهیه شد. سپس

بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف امکان‌سنجی تحریک تکثیر باکتری‌های خاک‌زی از طریق تزریق B4 در شرایط آزمایشگاهی تحت کنترل و کاهش هدررفت خاک و تولید رواناب سطحی در مقیاس کرت‌های کوچک فرسایشی برنامه‌ریزی شد. در صورت تأیید تحریک ریزموجودات خاک‌زی با محرک‌های باکتریایی در کاهش هدررفت خاک و تولید رواناب سطحی در شرایط آزمایشگاهی، افزایش مصنوعی جمعیت ریزموجودات خاک‌زی در سطوح گسترده از طریق مواد محرک غذایی، می‌تواند روشی مؤثر و زیستی در حفاظت منابع آب و خاک باشد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه برداشت خاک:** به‌منظور انجام پژوهش حاضر، اقدام به برداشت خاک حساس به فرسایش از منطقه مرزن‌آباد- کندلوس واقع در حوزه آبخیز چالوس‌رود در غرب استان مازندران شد. خاک از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری برداشت و به آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس منتقل شد (۶ و ۱۰). سپس بافت، جرم ویژه ظاهری، کربن و نیتروژن آلی و هم‌چنین قابلیت هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک به‌ترتیب با روش‌های هیدرومتری (۲۱)، استوانه‌های نمونه‌برداری (۴)، روش واکلی- بلک (۴۴) و کجدال (۲۸) و عصاره‌گیری اشباع از خاک و با استفاده از دستگاه‌های EC و pH متر (۳۹) اندازه‌گیری و به‌ترتیب سیلتی-رسی-لومی، ۱/۱۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب، ۰/۱۸ و ۰/۱۱ گرم، ۰/۲۲ دسی‌زیمنس بر متر و ۷/۵۷ ارزیابی شد. هم‌چنین ساختمان و درصد محتوای آهک و سنگ‌ریزه خاک منطقه مورد مطالعه نیز به‌ترتیب دانه‌ای متوسط، ۲۷/۹ و ۱۵ درصد می‌باشد (۲۵ و ۲۷). اقلیم منطقه مطالعاتی بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه و دومارتن بین نیمه‌خشک تا نیمه‌مرطوب سرد می‌باشد (۱۷). رژیم رطوبتی و دمایی خاک منطقه

آماده‌سازی سامانه شبیه‌ساز باران و انجام فرآیند آزمایش: به‌منظور تعیین مؤلفه‌های بارندگی آزمایش، منحنی‌های شدت-مدت- فراوانی ایستگاه باران‌نگاری کجور به‌عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مورد مطالعه تحلیل و بر همین اساس شدت بارندگی حدود ۵۰ میلی‌متر بر ساعت برای دوره بازگشت ۲۰ تا ۳۰ سال به‌عنوان بارش طرح محاسبه شد. مدت زمان بارش نیز با لحاظ مدت زمان بارش طرح (حدود ۳۰ دقیقه) و ضرورت ایجاد رواناب و یک‌نواختی سایر شرایط در کلیه کرت‌های آزمایش در نهایت ۱۰۰ دقیقه مدنظر قرار گرفت (۳۵). هر چند وقوع بارشی با شدت ۵۰ میلی‌متر در مدت ۱۰۰ دقیقه فراوانی وقوع کمی دارد، ولی به‌سبب ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد مطالعه، رواناب سطحی بسیار دیرتر از زمان مورد انتظار برای بارش طرح تشکیل شد. بنابراین به‌منظور ترسیم دقیقی از رفتار رواناب در تیمارهای مطالعاتی، شبیه‌سازی بارش‌ها تا ثبات حجم رواناب تولیدی در بازه‌های زمانی دو دقیقه ادامه پیدا کرد. با این‌حال با استفاده نمودارهای ارائه شده در شکل ۲، امکان تحلیل رفتار رواناب در بازه‌های زمانی متفاوت امکان‌پذیر می‌باشد.

در فرآیند شبیه‌سازی باران، کرت‌ها روی سطوح شیب‌دار و متناسب با شیب طبیعی و متوسط منطقه (حدوداً بین ۲۰ تا ۲۵ درصد) و در محوطه آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس قرار داده شدند. برای انجام فرآیند آزمایش از شبیه‌ساز باران با ارتفاع چهار متر و مجهز به دو نازل استاندارد استفاده شد (۳۵ و ۳۷). پس از تنظیم میزان قطر، سرعت، پراکنش قطرات و شدت باران موردنظر نیز به‌ازای هر بار آزمایش تنظیم شد (۳۳). در شکل ۱ نمایی از فرآیند شبیه‌سازی باران و کرت‌های تیمار شده آزمایش ارائه شده است. در

B4 در ظرف‌های استاندارد و استریل‌شده به آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش منتقل شده و با استفاده از آب‌فشان‌های استاندارد تنظیم شده، به مقدار ۰/۵ لیتر به‌ازای هر کرت و با لحاظ قابلیت اجرا در شرایط صحرائی روی سطح کرت‌های آماده‌سازی شده اسپری (۲۵، ۲۶ و ۴۲) شد. یک تیمار شاهد بدون تزریق هر گونه تزریق B4 نیز در نظر گرفته شد. هم‌چنین فاصله زمانی تزریق تا اجرای آزمایش، ۱۵ روز (۲۳ و ۳۶) برنامه‌ریزی شد.

به‌منظور آگاهی از تغییرات جمعیت باکتری‌های خاک‌زی در تیمارهای مطالعاتی، اقدام به استخراج و شمارش آن‌ها در تیمارهای مطالعاتی در ابتدا و انتهای آزمایش شد. برای استخراج باکتری‌ها، یک گرم از نمونه‌های خاک هر یک از کرت‌های تیمارها وزن شده و با استفاده از حلال ۰/۸۵ درصد سدیم کلرید (سرم فیزیولوژی) اقدام به تهیه سری رقت (۱۰ سری) شد (۸). سپس برای کشت باکتری‌ها، محیط کشت TSA و بر اساس دستورالعمل‌های استاندارد شرکت‌های مرجع تهیه شده و از هر کدام از نسبت‌های رقیق شده یک میلی‌لیتر برداشت و با دو تکرار با هدف افزایش اعتمادپذیری (۲۲)، به ظرف‌های پتری منتقل و در نهایت محیط کشت تهیه شده بر اساس دستورالعمل استاندارد در ظرف‌های مزبور ریخته شدند. ظرف‌های پتری به‌مدت ۴۸ ساعت در انکوباتور و در دمای ۲۸ درجه سلسیوس نگهداری شد (۳). پس از خروج ظرف‌های پتری از انکوباتور، تعداد کلنی‌های شکل گرفته شمارش و بر اساس روش‌های استاندارد (۲۲) تعداد باکتری‌ها در یک گرم خاک به‌دست آمد. در مجموع پژوهش حاضر در قالب دو تیمار بدون (شاهد) و با تزریق B4 و سه تکرار برای هر تیمار (در مجموع شش آزمایش) برنامه‌ریزی شد.

تحلیل‌های آماری: پس از اجرای تمام آزمایش‌ها، بانک اطلاعاتی شامل تداوم بارندگی، زمان شروع رواناب، حجم رواناب و هدررفت خاک در بازه‌های زمانی دو دقیقه‌ای و کل زمان تولید رواناب و هم‌چنین زمان تا اوج رواناب و هدررفت خاک و سایر مؤلفه‌های رواناب و رسوب در محیط نرم‌افزار Excel 2010 به‌منظور تجزیه و تحلیل تشکیل شد. به‌منظور انجام مقایسه‌های آماری، ابتدا نرمال و یا عدم نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk بررسی شد. در پژوهش حاضر داده‌های غیرنرمال با استفاده از روش لگاریتم با پایه ۱۰ و یا روش‌های اصلاحی لگاریتمی به حالت نرمال تبدیل شدند. پس از نرمال شدن داده‌ها، تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون  $t$  مستقل انجام شد. آزمون‌های آماری فوق برای تجزیه و تحلیل داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS 19 انجام شد.

حین اجرای آزمایش، علاوه بر ثبت زمان شروع رواناب و خاتمه آن پس قطع بارندگی، میزان رواناب و رسوب خروجی از کرت‌ها پس از شروع رواناب هر دو دقیقه یکبار (۳۱) و تا آخر آزمایش اندازه‌گیری شد. هر یک از نمونه‌های برداشترشده در بازه‌های زمانی دو دقیقه‌ای از ابتدای شروع رواناب در اولین کرت دارای رواناب تا انتهای آزمایش، با شماره‌های یک تا ۳۹ (شکل ۲) نام‌گذاری شدند. پس از اتمام فرآیند شبیه‌سازی باران، حجم رواناب در بازه‌های زمانی دو دقیقه و هم‌چنین کل بازه زمانی پس از شروع رواناب تا خاتمه بارندگی (۳۴) بر حسب میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری میزان هدررفت خاک و غلظت رسوب در هر یک از تیمارها نیز از روش برجای‌گذاری و توزین رسوب باقی‌مانده به‌ترتیب بر حسب گرم و گرم بر لیتر پس از خشک کردن در آون با دمای ۱۰۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت استفاده شد (۳۵).



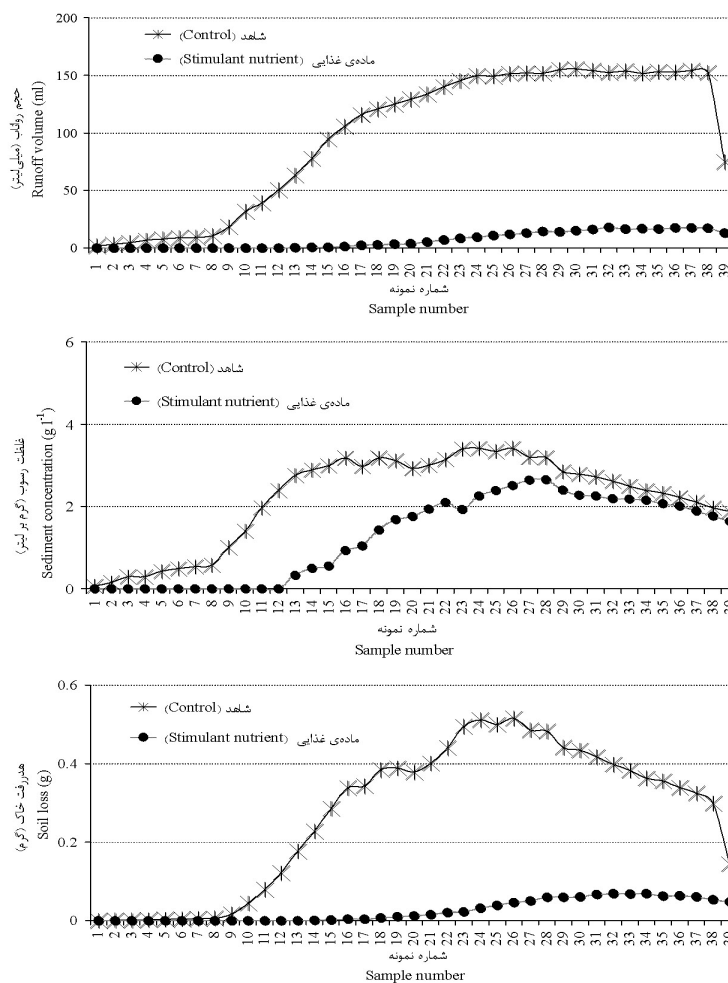
شکل ۱- نمایی از فرآیند شبیه‌سازی باران روی کرت‌های آزمایش.

Figure 1. A view of rainfall simulation process on experiment plots.

نتایج و بحث

تأثیر تزریق B4 بر مؤلفه‌های رواناب سطحی: براساس نتایج مندرج در شکل‌های ۲ و ۳ و نیز جدول ۱، رواناب در تیمار شاهد و تیمار تزریق B4 به‌ترتیب پس از ۲۴/۸۳ و ۴۹/۲۲ دقیقه از آغاز بارندگی شروع شد. بر همین اساس تزریق B4 بر سطح کرت‌ها باعث افزایش زمان شروع رواناب پس از بارندگی نسبت به تیمار شاهد به‌میزان ۹۸ درصد شد ( $P < 0/01$ ). زمان رسیدن رواناب به اوج و مقدار آن در زمان اوج از پاسخ‌های هیدرولوژیکی کلیدی در بررسی تأثیر اقدامات مدیریتی در مهار رواناب سطحی می‌باشد (۳۷). با تزریق B4 به خاک، زمان تا اوج

رواناب با میانگین ۹۲/۶۷ دقیقه نسبت به تیمار شاهد با مقدار ۷۸/۶۷ دقیقه افزایش معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد و بیش از ۱۶ دقیقه‌ای (۲۰ درصدی) داشت (شکل ۲ و جدول ۱). مقدار اوج رواناب در تیمار تزریق B4 و تیمار شاهد به‌ترتیب ۱۸/۶۷ و ۱۵۷/۶۷ میلی‌لیتر بود که نشان‌دهنده کاهش ۸۸ درصدی ( $P < 0/01$ ) مقدار اوج رواناب در تیمار تزریق B4 نسبت به تیمار شاهد بود. بررسی مقادیر اندازه‌گیری زمان قطع رواناب پس از پایان باران شبیه‌سازی شده نیز نشان داد که زمان قطع رواناب در تیمار تزریق B4 با مقدار ۱۱ ثانیه بعد از قطع بارندگی، ۱۲ ثانیه زودتر از تیمار شاهد بود.



شکل ۲- تغییرات تولید رواناب سطحی، غلظت رسوب و هدررفت خاک در سطح کرت‌ها در تیمارهای تزریق B4 و شاهد پس از شروع رواناب.

Figure 2. Surface runoff generation, sediment concentration and soil loss variations from plots treated by B4 injection and control treatments after runoff commencement.

جدول ۱- تجزیه و تحلیل آماری و مقایسه میانگین مؤلفه‌های رواناب سطحی و هدررفت خاک تحت تیمار تزریق B4 با استفاده از آزمون t مستقل.

**Table 1. Statistical analyses and means comparison of surface runoff and soil loss components due to B4 injection using independent t test.**

تفاوت نسبت به تغییرات در نمونه‌ها T-value	سطح معنی‌داری P-value	مؤلفه‌های مورد بررسی Study components
-12.650	0.000**	زمان شروع رواناب (دقیقه) Time of runoff (min)
81.870	0.000**	مقدار اوج رواناب (میلی‌لیتر) Runoff peak (ml)
43.067	0.000**	حجم رواناب (میلی‌لیتر) Runoff volume (ml)
23.303	0.000**	هدررفت خاک (گرم) Soil loss (g)
6.576	0.003**	غلظت رسوب (گرم بر لیتر) Sediment concentration (g l <sup>-1</sup> )

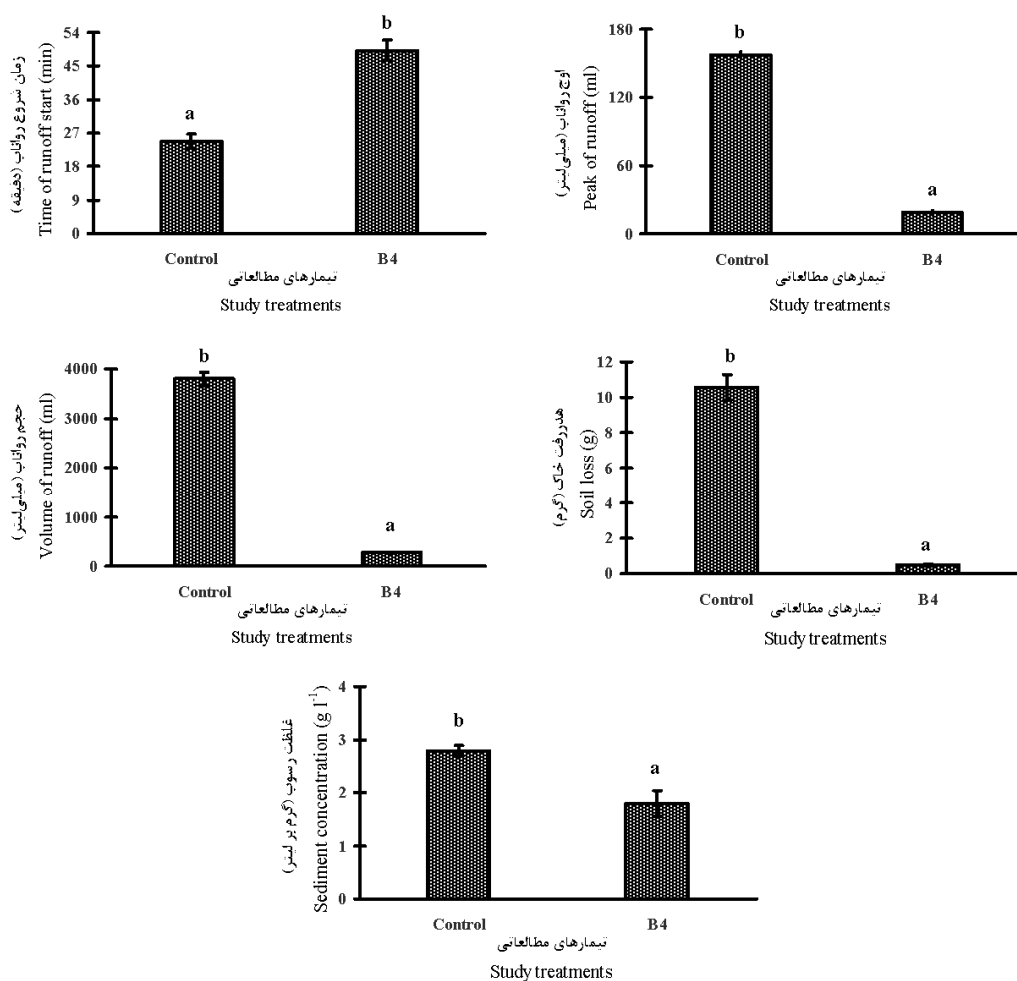
\* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و \*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

\* Significant at the 0.05 probability level, \*\* Significant at the 0.01 probability level.

باکتری‌ها در سطوح خاک‌دانه‌ها شده و از طریق ترشحات پلی‌ساکاریدی ضمن چسبیدن به اطراف ذرات ریز خاک، آن‌ها را به هم متصل کرده (۲۹) و در نتیجه کانال‌های متخلخل در سطوح چند سانتی‌متری خاک را تشکیل می‌دهند (۲). چنین فرآیندی افزایش تخلخل و تهویه خاک را به دنبال داشته است. هم‌چنین، قابلیت جذب بیشینه آب توسط دیواره سلولی و ترشحات پلی‌ساکاریدی باکتری‌ها در کنار کانال‌های متخلخل ایجاد شده باعث افزایش زمان شروع رواناب، زمان تا اوج و کاهش مقدار اوج و حجم کل رواناب شدند. این یافته‌ها موافق با نتایج بلنپ و همکاران (۲۰۱۳) می‌باشد (۲). هم‌چنین دنگ و همکاران (۲۰۱۵) و چامیزو و همکاران (۲۰۱۷) جذب و ذخیره آب توسط پلی‌ساکاریدهای ترشح‌شده باکتری‌ها در منافذ خاک را تأیید کرده‌اند (۱۳ و ۱۴).

حجم کل رواناب در بازه زمانی ۱۰۰ دقیقه‌ای شبیه‌سازی باران نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های هیدرولوژیکی، در تیمار تزریق B4 با کاهش ۳۵۲۸ میلی‌لیتری نسبت به تیمار شاهد، ۲۷۵/۶۶ میلی‌لیتر بود. تحلیل نتایج بیان شده و ویژگی‌های شیمیایی B4 به‌عنوان یک محرک آلی باکتری‌ها، نشان داد که دکستروز و عصاره مخمر موجود در ترکیب ماده B4، منابع غذایی غنی برای رشد باکتری‌ها بوده (۲۳) که با افزودن آن‌ها به خاک کرت‌ها باعث تحریک و افزایش جمعیت باکتری‌ها در خاک شد (جدول ۲). پژوهش‌های پیشین بیانگر آن است که باکتری‌ها در فضای آزاد خاک حضور نداشته و تمایل زیادی به چسبیدن به اطراف خاک‌دانه‌ها از طریق ترشحات پلی‌ساکاریدی خود دارند (۲۰). بنابراین با افزایش جمعیت باکتری‌ها در اثر تحریک فعالیت و تکثیر به‌واسطه تزریق B4، باعث ایجاد پوششی از





شکل ۳- نمودار مقایسه‌ای میانگین تغییرات مؤلفه‌های مهم رواناب سطحی (زمان شروع، اوج و حجم)، هدررفت خاک و غلظت رسوب در تیمارهای تزریق B4 و شاهد.

Figure 3. Mean comparative diagram of the important components of surface runoff (start time, peak and volume), soil loss and sediment concentration in B4 injection and control treatments.

جدول ۲- جمعیت باکتری‌های خاک (واحد تشکیل کلنی) در ابتدا و انتهای آزمایش.

Table 2. Soil bacteria population (cfu) in the beginning and end of the experiments.

جمعیت باکتری‌های خاک‌زی Soil bacteria population		تیمار Treatment
انتهای آزمایش	ابتدای آزمایش	
$7.7 \times 10^4 \pm 3.0 \times 10^3$	$7.6 \times 10^4 \pm 4.3 \times 10^3$	شاهد (بدون تزریق B4) Control (without B4 injection)
$8.3 \times 10^6 \pm 5.9 \times 10^6$	$7.0 \times 10^4 \pm 7.0 \times 10^3$	تزریق B4 (B4 injection)

(جدول ۲) که به تبع آن ترشح پلی‌ساکارید و تولید فیلم‌های زیستی (۱۸) نیز توسط باکتری‌های خاک افزایش پیدا کرده و ذرات ریز خاک به هم متصل شده و تشکیل ذرات بزرگ‌تر را داده‌اند (۱۲).

باکتری‌ها به سبب برخورداری از دیواره سلولی چندلایه‌ای چسبناک، مقاوم، پروتئینی و آب‌گریز سطحی (۴۱)، به اطراف ذرات بسیار ریز خاک نیز می‌چسبند. بنابراین با افزایش تعداد باکتری‌ها در واحد سطح در اثر تزریق B4، عملکرد آن‌ها افزایش یافته و به شدت ذرات خاک را به هم متصل و باعث افزایش مقاومت برشی سطح خاک و پایداری خاک‌دانه‌ها (۹) شدند. در این راستا، نتایج پژوهش هوانگ و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که باکتری‌های *Bacillus subtilis* با تولید فیلم‌های زیستی در فاصله زمانی دو روزه باعث اتصال ذرات رس ریزتر به هم شدند (۱۹). کاراسکو و همکاران (۲۰۰۹) نیز افزایش ۴۵ درصدی پایداری خاک‌دانه‌ها از تلقیح باکتری‌های *Bacillus cereus* را گزارش دادند (۹). هم‌چنین افزایش جمعیت باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در خاک توسط B4 تزریق شده به خاک، ضمن بهبود ویژگی‌های کیفی خاک (۲۳) و (۲۵)، منابع غذایی برای سایر ریزموجودات خاکی را فراهم کرده و در نهایت باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی از جمله پایداری خاک‌دانه‌ها و کاهش هدررفت خاک شده است. ماده B4 به سبب ماهیت ژله‌ای و تورم‌پذیری زیاد در اثر جذب آب ضمن کاهش حجم رواناب و قدرت تنش برشی آن، لایه‌ای محافظ روی سطح خاک را تشکیل داده و از برخورد مستقیم قطرات باران به سطح خاک جلوگیری می‌کند. فرآیندهای مذکور مقدار جدایش ذرات توسط پاشمان حاصل از قطرات باران را به حداقل رسانده (۴۷) و در نهایت باعث کاهش هدررفت خاک و غلظت رسوب شده است.

ماده B4 علاوه بر تأمین منابع غذایی ایجاد شرایط تکثیر و فعالیت حداکثری برای باکتری‌ها، به سبب محتوای استات کلسیم با خاصیت جذب آب زیاد و چسبندگی، یک لایه ژله‌ای و چسبناک در سطح خاک تشکیل می‌دهد (۴۲) که در فرآیند شبیه‌سازی باران مقدار زیادی از حجم باران را جذب کرده و به تدریج به لایه‌های زیرین انتقال می‌دهد. چنین فرآیندی زمان شروع و زمان تا اوج رواناب را افزایش و حجم و مقدار اوج رواناب حاصل از باران شبیه‌سازی شده را کاهش داده است. اثرگذاری سریع B4 در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و ظاهری خاک (هم‌چون میکروپستی و بلندی‌ها) توسط والنسیا- گونزالز و همکاران (۲۰۱۵) نیز تأیید شده است (۴۳).

**تأثیر تزریق B4 بر مؤلفه‌های هدررفت خاک:** نتایج ارائه شده در شکل‌های ۲ و ۳ و هم‌چنین جدول ۱ نشان دادند که میانگین مجموع هدررفت خاک در کرت‌های شاهد به عنوان تیمار شاهد در فاصله‌های زمانی ۱۵ روز بین تزریق B4 و اجرای آزمایش شبیه‌سازی باران ۱۰/۵۳ گرم بود. هم‌چنین بر اساس حجم رواناب اندازه‌گیری شده، غلظت رسوب تیمار شاهد در بازه زمانی مذکور ۲/۷۸ گرم بر لیتر بود.

بررسی مقادیر هدررفت خاک و غلظت رسوب در کرت‌های با تزریق B4 نشان داد که مجموع هدررفت خاک از تیمار مذکور در طول ۱۰۰ دقیقه بارندگی در بازه زمانی ۱۵ روزه با مقدار  $0/49 \pm 0/07$  گرم، بیش از ۹۵ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش را نشان داد ( $P < 0/01$ ). متوسط غلظت رسوب اندازه‌گیری شده در تیمار تزریق B4 نیز بررسی و نتایج بیانگر کاهش ۳۵ درصدی آن نسبت به تیمار شاهد با مقدار  $1/79 \pm 0/23$  گرم بر لیتر بود ( $P < 0/01$ ). بنابراین دلایل کاهش هدررفت خاک و کاهش غلظت رسوب را می‌توان این‌گونه بیان کرد که تکثیر و فعالیت باکتری‌های خاک در اثر تزریق B4 افزایش یافته

شرایط بدون تزریق کاهش یافتند. افزایش تخلخل سطح خاک و پایداری خاکدانه‌ها در اثر اتصال ذرات ریز خاک، خاصیت چسبناکی، تورم‌پذیری و محافظتی ترشحات پلی‌ساکاریدی باکتریایی پس از تزریق B4 را می‌توان از عوامل اصلی بهبود مؤلفه‌های هدررفت خاک و رواناب سطحی دانست. در مجموع B4 به‌عنوان افزودنی کاملاً زیستی، کارا، با سرعت و میزان اثرگذاری بالا و دارای قابلیت اجرایی برای تحریک تکثیر و عملکرد باکتری‌های خاک‌زی و در نتیجه کاهش هدررفت خاک و آب تأیید شد. با این‌حال، کاربرد سایر افزودنی‌های آلی و محرک ریزموجودات خاک‌زی با دوره بازه زمانی طولانی‌تر و اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک پیشنهاد می‌شود.

### نتیجه‌گیری کلی

اثرگذاری سریع و سازگاری با بوم‌سازگان از جمله اهداف موردنظر در اجرای اقدامات مدیریتی نرم برای حفاظت خاک و آب می‌باشد. یافته‌های پژوهش نشان داد که تزریق B4 به سطح یک خاک تخریب‌یافته باعث بهبود مؤلفه‌های مترتب بر هدررفت خاک و تولید رواناب سطحی شد. در این راستا زمان شروع و زمان تا اوج رواناب به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های مهم رواناب سطحی در ایجاد جریان‌های سیلابی، در کرت‌های فرسایشی تیمار شده با B4 کاهش معنی‌دار داشتند. از طرفی حجم مقدار کل و اوج رواناب نیز کاهش معنی‌دار داشته که بیانگر افزایش میزان نفوذپذیری خاک پس از تزریق B4 بود. میزان هدررفت خاک و غلظت رسوب نیز در کرت‌های با تزریق B4 به‌صورت معنی‌دار نسبت به

### منابع

1. Awad, Y.M., Blagodatskaya, E., Ok, Y.S., and Kuzyakov, Y. 2012. Effects of polyacrylamide, biopolymer, and biochar on decomposition of soil organic matter and plant residues as determined by <sup>14</sup>C and enzyme activities. *Eur. J. Soil Biol.* 48: 1-10.
2. Belnap, J., Wilcox, B.P., Van Scoyoc, M.W., and Phillips, S.L. 2013. Successional stage of biological soil crusts: an accurate indicator of ecohydrological condition. *Ecohydrology.* 6: 3. 474-482.
3. Benson, H.J. 2002. Microbiological applications: laboratory manual in general microbiology, (8<sup>th</sup> ed.), short version, McGraw Hill, Boston, MA, USA, 384p.
4. Blake, G.R., and Hartge, K.H. 1986. Bulk density. P 363-375, In: Klute, A. (Ed), *Methods of soil analysis. Part 1.* 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9. ASA. Madison. WI.
5. Blanco, H., and Lal, R. 2008. Principles of soil conservation and management. Springer Science and Business Media, 638p.
6. Boquet, E., Boronat, A., and Ramos-Cormenzana, A. 1973. Production of calcite (calcium carbonate) crystals by soil bacteria is a general phenomenon. *Nature.* 246: 527-529.
7. Bowker, M.A., Belnap, J., Chaudhary, V.B., and Johnson, N.C. 2008. Revisiting classic water erosion models in drylands: The strong impact of biological soil crusts. *Soil Biol. Biochem.* 65: 158-167.
8. Cappuccino, J.G., and Sherman, N. 2007. *Microbiology: a laboratory manual.* Dorling Kindersley Pvt. Ltd, License of Pearson Education, New Delhi, India, Pp: 143-193.
9. Carrasco, L., Caravaca, F., Azcón, R., and Roldán, A. 2009. Soil acidity determines the effectiveness of an organic amendment and a native bacterium for increasing soil stabilisation in semiarid mine tailings. *Chemosphere.* 74: 2. 239-244.
10. Carter, M.R., and Gregorich, E.G. 2008. *Soil sampling and methods of analysis (2<sup>th</sup> Ed.).* Canadian Society of Soil Science. Ottawa: Canada. 1262p.

11. Chamizo, S., Cantón, Y., Domingo, F., and Belnap, J. 2011. Evaporative losses from soils covered by physical and different types of biological soil crusts. *Hydrol. Process.* 27: 3. 324-332.
12. Chamizo, S., Rodríguez-Caballero, E., Román, J.R., and Cantón, Y. 2017. Effects of biocrust on soil erosion and organic carbon losses under natural rainfall. *Catena* 148: 2. 117-125.
13. Colica, G., Li, H., Rossi, F., Li, D., Liu, Y., and De Philippis, R. 2014. Microbial secreted exopolysaccharides affect the hydrological behavior of induced biological soil crusts in desert sandy soils. *Soil Biol. Biochem.* 68: 62-70.
14. Deng, J., Orner, E.P., Chau, J.F., Anderson, E.M., Kadilak, A.L., Rubinstein, R.L., Bouchillon, G.M., Goodwin, R.A., Gage, D.J., and Shor, L.M. 2015. Synergistic effects of soil microstructure and bacterial EPS on drying rate in emulated soil micromodels. *Soil Biol. Biochem.* 83: 116-124.
15. Dorioz, J.M., Robert, M., and Chenu, C. 1993. The role of roots, fungi and bacteria on clay particle organization: An experimental approach. *Geoderma* 56: 179-194.
16. Gans, J., Woilinsky, M., and Dunbar, J. 2005. Computational improvements reveal great bacterial diversity and high metal toxicity in soil. *Science.* 309: 1387-1390.
17. Hasti Water Technology Consulting Engineers. 2011. Watershed management studies (detailed) - Pedology and land capability of K1-1 sub-watershed of Chalusrood watershed. Nowshahr, 89p. (In Persian)
18. Huang, P.M., Bollag, J.M., and Senesi, N. 2002. Interactions between soil particles and micro-organisms: impact on the terrestrial ecosystem. John Wiley & Sons, 566p.
19. Huang, Q., Wu, H., Cai, P., Fein, J.B., and Chen, W. 2015. Atomic force microscopy measurements of bacterial adhesion and biofilm formation onto clay-sized particles. *Sci. Rep.* 5: 16857.
20. Huixia, P., Zhengming, Ch., Xuemei, Zh., Shuyong, M., Xiaoling, Q., and Fang, W. 2007. A study on Oligotrophic bacteria and its ecological characteristics in an arid desert area. *Sci. China. Ser. D.* 50: 128-134.
21. Jacob, H., and Clarke, G. 2002. Methods of soil analysis, Part 4, Physical method. Soil Science Society of America, Inc, Madison, Wisconsin, USA.
22. Jett, B.D., Hatter, K.L., Huycke, M.M., and Gilmore, M.S. 1997. Simplified agar plate method for quantifying viable bacteria. *Biotechniques.* 23: 648-650.
23. Kheirfam, H., Homaei, M., Sadeghi, S.H.R., and Zarei Darki, B. 2017a. Role of biological soil crusts enrichment through bacteria inoculation and stimulation of nitrogen increasing in an erosion-prone soil. *J. Water Soil.* 31: 2. 545-556. (In Persian)
24. Kheirfam, H., Sadeghi, S.H.R., Homaei, M., and Zarei Darki, B. 2014. Role of soil micro-organisms in soil and water loss control. *Extension and Development of Watershed Management.* 2: 5. 19-26. (In Persian)
25. Kheirfam, H., Sadeghi, S.H.R., Homaei, M., and Zarei Darki, B. 2017b. Quality improvement of an erosion-prone soil through microbial enrichment. *Soil Tillage Res.* 165: 230-238.
26. Kheirfam, H., Sadeghi, S.H.R., Zarei Darki, B., and Homaei, M. 2017c. Controlling rainfall-induced soil loss from small experimental plots through inoculation of bacteria and cyanobacteria. *Catena.* 152: 40-46.
27. Kheirfam, H., Zarei Darki, B., Sadeghi, S.H.R., and Homaei, M. 2016. Identification and proliferation of soil micro-organisms in Marzanabad region with capability in applying for soil and water conservation. *J. Agroecol.* 6: 1. 213-226. (In Persian)
28. Kjeldahl, C. 1883. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. *Fresenius' Zeitschrift für Analytische Chemie.* 22: 366.
29. Maqubela, M.P., Muchaonyerwa, P., and Mnkeni, P.N.S. 2012. Inoculation effects of two South African cyanobacteria strains on aggregate stability of a silt loam soil. *Afr. J. Biotechnol.* 11: 47. 10726-10735.

30. Miralles, I., Cantón, Y., and Solé-Benet, A. 2011. Two-dimensional porosity of crusted silty soils: indicators of soil quality in semiarid rangelands? *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75: 1289-1301.
31. Rodríguez-Caballero, E., Cantón, Y., Chamizo, S., Lázaro, R., and Escudero, A. 2013. Soil loss and runoff in semiarid ecosystems: A complex interaction between biological soil crusts, micro-topography, and hydrological drivers. *Ecosystems*. 16: 4. 529-546.
32. Rossi, F., Olgum, E.J., Diels, L., and De Philippis, R. 2015. Microbial fixation of CO<sub>2</sub> in water bodies and in drylands to combat climate change, soil loss and desertification. *New Biotechnology*. 32: 1. 109-120.
33. Sadeghi, S.H.R., Abdollahi, Z., and Khaledi Darvishan, A.V. 2013. Experimental comparison of some techniques for estimating natural rain drop size distribution in Caspian Sea southern coast, Iran. *Hydrol. Sci. J.* 58: 1374-1382.
34. Sadeghi, S.H.R., Gholami, L., Homaei, M., and Khaledi Darvishan, A.V. 2015. Reducing sediment concentration and soil loss using organic and inorganic amendments at plot scale, *Solid Earth*. 6: 445-455.
35. Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z., and Kiani Harchegani, M. 2016. Controllability of runoff and soil loss from small plots treated by vinasse-produced biochar. *Sci. Total Environ.* 541: 483-490.
36. Sadeghi, S.H.R., Kheirfam, H., Homaei, M., and Zarei Darki, B. 2017a. Improvability of water infiltration in an erosion-prone soil under laboratorial conditions through artificial increasing of soil micro-organisms population. *Iran. J. Soil Water Res.* 47: 4. 797-805. (In Persian)
37. Sadeghi, S.H.R., Kheirfam, H., Homaei, M., Zarei Darki, B., and Vafakhah, M. 2017b. Improving runoff behavior resulting from direct inoculation of soil micro-organisms. *Soil Tillage Res.* 171: 35-41.
38. Sojka, R.E., Bjorneberg, D.L., Entry, J.A., Lentz, R.D., and Orts, W.J. 2007. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management. *Adv. Agron.* 92: 75-162.
39. Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., and Sumner, M.E. 2001. *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI.
40. Strauss, S.L., Day, T.A., and Garcia-Pichel, F. 2012. Nitrogen cycling in desert biological soil crusts across biogeographic regions in the Southwestern United States. *Biogeochemistry*. 108: 171-182.
41. Tripathi, P., Beaussart, A., Andre, G., Rolain, T., Lebeer, S., Vanderleyden, J., Hols, P., and Dufrêne, Y.F. 2012. Towards a nanoscale view of lactic acid bacteria. *Micron*. 43: 12. 1323-1330.
42. Valencia-González, Y., Camapum, J., Torres, F. A. 2014. Influence of biomineralization on the physico-mechanical profile of a tropical soil affected by erosive processes, *Soil Biol. Biochem.* 74: 98-99.
43. Valencia-González, Y., Carvalho-Camapum, J.D., and Lara-Valencia, L.A. 2015. Influence of biomineralization on a profile of a tropical soil affected by erosive processes. *Dyna*. 82: 192. 221-229.
44. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 1. 29-38.
45. Wei, W., Yu, Y., and Chen, L. 2015. Response of surface soil hydrology to the micro-pattern of bio-crust in a dry-land Loess environment, China. *PLoS One*. 10: 7. e0133565.
46. Woodrow, J.E., Seiber, J.N., and Miller, G.C. 2008. Acrylamide release resulting from sunlight irradiation of aqueous polyacrylamide/ iron mixtures. *J. Agric. Food Chem.* 56: 8. 2773-2779.
47. Zhao, Y., Qin, N., Weber, B., and Xu, M. 2014. Response of biological soil crusts to raindrop erosivity and underlying influences in the hilly Loess Plateau region, China. *Biodiversity Conserv.* 23: 7. 1669-1686.



## Reducing soil and water loss through stimulation of soil bacteria in experimental small plots

H. Kheirfam<sup>1</sup>, \*S.H.R. Sadeghi<sup>2</sup>, B. Zarei Darki<sup>3</sup> and M. Homae<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Environmental Science, Urmia Lake Research Institute, Urmia University and Ph.D. Graduate, Tarbiat Modares University, <sup>2</sup>Professor, Dept. of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources and Member of Agrohydrology Research Group, Tarbiat Modares University, <sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Biology Marine, Faculty of Marine Science, Tarbiat Modares University, <sup>4</sup>Professor, Dept. of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture and Head of Agrohydrology Research Group, Tarbiat Modares University

Received: 02.17.2018; Accepted: 06.27.2018

### Abstract

**Background and Objectives:** Achieving to sustainable development is not possible without conservation of soil and water resources and reducing land degradation. On the other hand, in the low density-vegetation lands, biological soil crusts induced by the activity of soil micro-organisms play an important role in conserving and improving of soil stability. However, in degraded lands, biological soil crusts are less developed. Thus, recently, biological soil crusts restoration by providing the appropriate conditions for increasing soil micro-organisms activities have been considered through the new biotechnologies applying such as soil micro-organisms stimulants. However, the quick and lasting effects of soil conservation strategies is the most important criteria in the selection of management measures. Hence, this study was planned to assess performance of a soil bacterial stimulant nutrient (named B4) as completely bio-amendment in reducing soil loss and runoff at laboratory and small plots conditions.

**Materials and Methods:** In the study, the experimental plots were filled by collected soil of degraded and erosion-prone area of Marzanabad-Kandelus region based on the layering, grain size and bulk density of the native soil area. The solution with 15 g calcium acetate l<sup>-1</sup> distilled water (dw), four g yeast extract l<sup>-1</sup> dw and five g dextrose l<sup>-1</sup> dw was prepared as B4 stimulant nutrient. Then the B4 was sprayed on plots. To this end, two treatments of B4 injection and control with three replications were considered. After 15 days, in the Rain and Erosion Simulation Laboratory of Tarbiat Modares University, the simulated rainfall was carried out with during of 100 min and intensity of 50 mm h<sup>-1</sup> according to high-erosive rainfall of the native area. Then, the soil loss and runoff components were measured.

**Results:** Statistical comparison of results indicated that injection of B4 stimulated the proliferation of soil bacteria and, as a result of the effect of bacteria on some soil characteristics, improved the soil loss and runoff components, which was more effective in reducing soil losses than surface runoff. The start time and time to peak of runoff at the control plots (without injection) were increased significantly ( $P < 0.05$ ) from 24.83 to 49.22 min and from 78.66 to 92.66 min at the stimulant nutrient plots, respectively. Also, the volume and peak of runoff, soil loss and sediment concentration at the stimulant nutrient plots were decreased significantly ( $P < 0.05$ ) at rate of 88, 92, 95 and 35%, respectively compared to control and measured as 275.66 and 18.66 mm, 0.49 g and 1.79 g l<sup>-1</sup>, respectively.

\* Corresponding Author; Email: sadeghi@modares.ac.ir

**Conclusion:** According to the present results, the restoration and enhancement of biological soil crusts in low density-vegetation and degraded lands through stimulating and increasing population of soil micro-organisms using micronutrient stimuli such as B4 as has been considered as a biological, efficient and quick strategy to conserve soil and water resources. However, further researches are required to achieve reliable strategies by using other microbial stimulants and evaluating their durability during successive and long-term precipitation.

**Keywords:** Soil amendments, Soil and water conservation, Soil bio-amend, Soil biotechnology, Soil micro-organisms

*Arch*