

واژه‌های کلیدی: پوسته زیستی، حفاظت خاک، تخریب خاک، مدیریت زیستی فرسایش

مقدمه

خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزاء منابع طبیعی و از عناصر چهارگانه حیات، در چند دهه گذشته با افزایش جمعیت و دخالت انسان در بوم‌سازگان‌های طبیعی و توسعه صنعت باهدف تأمین رفاه و منابع غذایی بشر، در معرض تخریب و فرسایش قرار گرفته است [۴۳]. در همین راستا، فرسایش خاک^۵ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات محیط‌زیستی و اقتصادی جهان، به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه محسوب می‌شود [۶ و ۵۴] و شاخص‌های مهم تغییر کیفیت محیط‌زیستی [۱۲ و ۱۶] است. به‌طوری‌که میزان فرسایش آبی^۶ در کشور بر اساس نقشه شدت فرسایش تهیه‌شده در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری حدود یک میلیارد تن در سال برآورد شده است [۲]. در این میان، شدت وقوع فرآیند فرسایش خاک علاوه بر ویژگی‌های خاک و پوشش سطح آن، تابعی از نیروهای فرساینده (قطرات باران و رواناب) و برهم‌کنش بین آن‌ها است [۲۹، ۳۹ و ۷۲]. ازاین‌رو بررسی فرسایش خاک، با توجه به پیچیدگی فرآیندهای حاکم بر آن‌ها و اتخاذ یک راه‌کار مدیریتی و حفاظتی صحیح برای حفظ و تثبیت خاک ضروری است. بدون شک این راه‌کار باید مبتنی بر درک متقابل تأثیرپذیری فرآیندهای فرسایش خاک از به‌کارگیری هر یک از اقدامات حفاظتی خاک باشد و تا حد ممکن کم‌ترین خطر در به هم زدن تعادل محیط‌زیستی را داشته باشد. تجربه‌های علمی و عملی گویای آن است که مهار فرسایش در مراحل آغازین آن، مؤثرترین اقدام حفاظتی است [۶۴]. برای مدیریت و مهار فرسایش خاک در شرایط متفاوت شیوه‌های مختلف زیستی^۷، مهندسی^۸ و زیست‌مهندسی^۹ مورد توجه متخصصین حفاظت خاک و آب قرار گرفته است. در همین راستا افزودنی‌ها^{۱۰} و تثبیت‌کننده‌های خاک^{۱۱} از قبیل خاکاره، آهک، خاکستر چوب، خاک‌پوش نفتی و غیرنفتی، پسماندهای شهری، باقیمانده محصولات

مروری بر عملکرد ریزموجودات خاک‌زی بر مؤلفه‌های هدررفت خاک و آب

اعظم مومزایی^۱، سیدحمیدرضا صادقی^{۲*}، بهروز زارعی دارکی^۳ و مهدی همایی^۴
 تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۴
 DOR: 20.1001.1.26454777.1400.9.35.7.4

چکیده

فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن، به‌عنوان مانع اساسی در برابر توسعه کشور قرار دارد. به‌طوری‌که دست‌یابی به توسعه پایدار بدون حفاظت از منابع خاک و آب و کاهش تخریب اراضی امکان‌پذیر نیست. حال آن‌که اغلب رویکردهای حفاظت خاک و آب به‌صورت مهندسی و بدون توجه به توانمندی‌های روش‌های زیستی مهار هدررفت خاک و آب صورت می‌گیرد. ازاین‌رو، در پژوهش حاضر سعی بر آن شده است که به‌صورت مطالعه مروری، عملکرد ریزموجودات خاک‌زی به‌عنوان روش زیستی در حفاظت خاک و آب بر مؤلفه‌های مؤثر در هدررفت خاک و آب در فرآیند فرسایش خاک را مورد بحث و بررسی قرار دهد. نتایج حاصل از مرور منابع نشان داد که خزها، گل‌سنگ‌ها، قارچ‌ها، باکتری‌ها و سیانوباکتری‌ها با تشکیل پوسته‌های زیستی و بهبود مؤلفه‌های پایداری خاک، بر مهار فرآیند فرسایش و تولید رواناب مؤثر هستند. لذا توانمندسازی سطح خاک در مقابل عوامل فرسایشی باران و رواناب با توسعه پوسته زیستی خاک، کاهش و مهار فرسایش خاک را به دنبال دارد. به‌کارگیری ریزموجودات خاک‌زی می‌تواند به‌عنوان راه‌کاری مؤثر و سازگار با بوم‌سازگان در اجرای اقدامات مدیریتی برای حفاظت منابع خاک و آب مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور مورد استفاده قرار گیرد.

5. Soil Erosion
6. Water Erosion
7. Biological
8. Engineering
9. Bioengineering
10. Amendments
11. Soil Stabilizers

- ۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس
- ۲- استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس،
- ۳- نویسنده مسئول، Email: sadeghi@modares.ac.ir
- دانشیار گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس
- ۴- استاد گروه فرآوری مواد معدنی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

مستندات پژوهشی موجود در سامانه‌های اطلاعاتی و همچنین پیشینه‌های پژوهشی گروه نویسندگان بوده است.

ریز موجودات خاک‌زی در پوسته زیستی

خزه‌ها^۱، گل‌سنگ‌ها^۲، قارچ‌ها^۳، باکتری‌ها^۴ و سیانوباکتری‌ها^۵ و سایر ریز موجودات، پوسته‌های زیستی خاک را به وجود می‌آورند که از نزدیک با سطح خاک معدنی در ارتباط هستند و یک لایه افقی نازک منسجم ایجاد می‌کنند [۷]. طی دهه اخیر استفاده از ریز موجودات خاک‌زی به‌عنوان مهندسین و حلقه اول زنجیره زیستی بوم‌سازگان در پوسته‌های زیستی گزارش شده است [۶۸، ۶۷، ۳۴ و ۱]. خزه‌ها گروهی ابتدایی از گیاهان ظریف و سبز رنگ ساده‌ای هستند که در مکان‌های مرطوب می‌رویند [۶۶]. گل‌سنگ‌ها نیز حاصل همزیستی نوعی قارچ و جلبک محسوب می‌شوند که در کنار هم رشد و تولید مثل می‌کنند. آن‌ها می‌توانند در طیف وسیعی از محیط‌ها از جمله سطوح سنگ‌ها، درختان و سازه‌های انسان‌ساخت رشد کنند. این ریز موجودات مقاوم هستند و عمر طولانی دارند و حتی می‌توانند در سخت‌ترین محیط‌ها مانند بیابان‌ها یا قطب‌ها زنده بمانند [۶۹]. از طرفی قارچ‌ها از ریز موجودات دگر تغذیه با دیواره پلی‌ساکاریدی^۶ و با رشد میسلیمی و فاقد کلروفیل هستند و نقش بوم‌شناسی حیاتی در عملکرد بوم‌سازگان خاکی و تشکیل خاک دارند [۷۳ و ۵۱]. هم‌چنین، زمانی که با مخمرها و باکتری‌ها مقایسه می‌شوند، توانایی بیش‌تری برای انطباق با محیط‌زیست دارند [۲۳]. بین ریز موجودات خاک‌زی، سیانوباکتری‌ها و باکتری‌ها به دلیل گستردگی سطحی، فراوانی و سازگاری با شرایط نامساعد محیطی و توان بالا در ترشح پلی‌ساکارید، به‌عنوان مهم‌ترین و مؤثرترین ریز موجودات خاک‌زی شناخته می‌شوند [۳۰]. باکتری‌ها به‌عنوان کوچک‌ترین ریز موجودات، بیش از ۹۰ درصد ریز موجودات خاک را تشکیل می‌دهند و مقاومت زیادی در برابر شرایط نامساعد محیطی ایجاد می‌کنند [۴۳]. سیانوباکتری‌ها نیز پروکاریوت‌های فتوسنتزکننده‌ای هستند که به دلیل داشتن قابلیت تنظیمات اسمزی، یونی و وجود املاح پروتئینی و سازگار و هم‌چنین وجود غلاف ژلاتینی طیف وسیعی از محیط‌ها را در خود جای می‌دهند [۶۹]. سیانوباکتری‌های رشته‌ای نیز جز اولین موجودات هستند که بر سطح خاک ظاهر شدند و ذرات خاک را به هم متصل کردند. بعد از آن پایداری سطح خاک با توالی جلبک‌های سبز، سیانوباکتری‌های کوچک، گل‌سنگ‌ها و خزه‌های ابتدا، میانه و انتهای توالی ادامه پیدا می‌کند [۷۶]. عامل اصلی اتصال‌دهنده ذرات خاک به هم در پوسته‌های غالب با سیانوباکتری، پلی‌ساکارید خارج از سلولی^۷

زراعی و صنایع غذایی، ذغال زیستی^۸، به‌عنوان راه‌کار حفاظت منابع خاک و آب به‌منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و در نهایت مهار هدررفت خاک^۹ و کاهش رواناب^{۱۰} مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۵، ۶۲، ۲۱، ۳۲، ۵۵، ۴۱، ۲۶، ۳۴، ۲۷، ۶۰ و ۵۴]. با این حال محدودیت‌هایی همچون ناپایداری و موقتی بودن افزودنی‌ها، کاربردی نبودن در سطوح وسیع، هزینه‌بر بودن، محدودیت منابع و اثرات سوء محیط‌زیستی، کاربرد آن‌ها را تا حدودی به چالش کشیده است [۱۸، ۴۹ و ۵۲]. لذا بهره‌گیری از راه‌کارهایی با ماهیت کاملاً زیستی و سازگار با محیط‌زیست و نیز به‌منظور رفع محدودیت‌های مترتب بر افزودنی‌ها و اصلاح‌کننده‌های متداول در اصلاح ویژگی‌های سطحی خاک ضروری است. بدین منظور استفاده از ریز موجودات خاک‌زی^{۱۱}، یک روش زیست‌فناوری^{۱۲} نوین، دوستدار محیط‌زیست، ساده، اثربخش و ابزاری مناسب برای حفاظت خاک هستند [۳۷ و ۳۹]. بنابراین رفتارشناسی بوم‌سازگان مختلف در فرآیندهای تولید رواناب و فرسایش خاک برای مدیریت صحیح منابع موجود در یک حوزه آبخیز ضروری است. از آنجایی که ارزیابی اقتصادی روش‌های کنترل رواناب و فرسایش به روش‌های پیچیده‌ای نیاز دارد، تجزیه و تحلیل هزینه روش تلقیح سیانوباکتری و برخی از روش‌های رایج حفاظت خاک در ایران از جمله استفاده از افزودنی‌های ذغال زیستی، خاک‌پوش کاه و کلش، کود دامی و پلی‌اکریل‌امید نشان داده است که تلقیح سیانوباکتری‌ها در خاک هزینه‌ای حدود ۳۵۰ دلار در هکتار دارد که کم‌ترین هزینه را در مقایسه با روش‌های نام‌برده داشته است. بنابراین به‌کارگیری ریز موجودات در حفاظت سطح خاک می‌تواند یک روش زیستی مقرون‌به‌صرفه نیز تلقی شود [۵۸].

پوسته‌های زیستی^{۱۳} خاک علی‌رغم این‌که بخش کوچکی از نیم‌رخ خاک را تشکیل می‌دهند، نقش مهمی در فرایندهای هیدرولوژیکی و تبادل مواد بین خاک، بر عهده‌دارند. این امر مهم مستلزم لحاظ کردن نقش آن‌ها در فرایندهای هیدرولوژیکی و تغییر ویژگی‌های خاک است. تاکنون مطالعات متعددی در زمینه نقش پوسته‌های زیستی در خاک انجام شده است [۱۵، ۳۹، ۵۲، ۷۴]، اما در این بین مطالعات محدودتری به اهمیت و نقش آن‌ها در مهار رواناب و هدررفت خاک پرداخته است. استفاده از ریز موجودات خاک‌زی به‌عنوان راه‌کاری زیستی و اقتصادی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند در راستای حفظ، بازسازی و احیاء مفید واقع شود. بر همین اساس، در مطالعه حاضر به بیان اهمیت به‌کارگیری ریز موجودات خاک‌زی در بهبود ویژگی‌های خاک و در نهایت مهار هدررفت خاک و کاهش رواناب، به‌عنوان رویکردی نوین در حفاظت خاک و آب پرداخته شده است. مطالعه فعلی اساساً کتابخانه‌محور و مبتنی بر

7. Moss
8. Lichen
9. Fungi
10. Bacteria
11. Cyanobacteria
12. Polysaccharide
13. Exopolysaccharide

1. Biochar
2. Soil Loss
3. Runoff
4. Soil Microorganisms
5. Bio-technology
6. Biological Crusts

است، درحالی که در پوسته‌های زیستی غالب با گل سنگ عامل اصلی اتصال ذرات خاک به هم، نخینه^۱ قارچ‌ها و پلی ساکارید خارج از سلولی سیانوباکتری‌های هم‌زیست با گل سنگ‌ها هستند [۲۵].

ره‌یافت مطالعات انجام‌شده

مطالعات گسترده‌ای در ارتباط با نقش پوسته‌های زیستی بر بهبود و اصلاح نفوذپذیری [۸ و ۵۲]، نگهداشت رطوبت [۳۷، ۱۳ و ۱]، افزایش ماده آلی [۲۰ و ۲۸]، حاصلخیزی [۴۰ و ۶۲]، پایداری [۴۲ و ۹]، آب‌گریزی^۲ [۲۲ و ۱۵]، افزایش آستانه فرسایش‌پذیری خاک [۶۲]، شرکت در چرخه عناصر (نیتروژن، کربن و فسفر) [۲۰، ۲۹، ۳۶ و ۳۴] و مقاومت برشی [۵۹] به نحو ارائه‌شده در جدول ۱ انجام‌شده است. با توجه به اهمیت ریزموجودات در حفاظت خاک، پژوهش‌هایی در زمینه تأثیر پوسته‌های زیستی بر رواناب و فرسایش خاک انجام‌شده است که می‌توان در جدول ۲ مشاهده کرد. در این زمینه چامیزو و همکاران [۱۴] کاهش ۲۰ برابری تولید رسوب در خاک‌هایی با پوسته زیستی مناسب نسبت به خاک‌های لخت در مناطق نیمه‌خشک را گزارش کرده‌اند. صادقی و همکاران [۵۹] به بررسی تأثیرپذیری تلقیح سیانوباکتری و باکتری بر مؤلفه‌های رواناب و هدررفت خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران در خاک‌های حساس به فرسایش مرزن‌آباد پرداختند. نتایج به ترتیب نشان‌دهنده کاهش ۸۹-۷۷، ۷۶-۶۰ و ۷۷-۲۹ درصدی هدررفت خاک، غلظت رسوب، حجم و ضریب رواناب^۳ در تیمار سیانوباکتری و باکتری بوده است. الدریدج و همکاران [۱۸] گزارش دادند که افزایش پوسته زیستی در سطح خاک، زمان جمع شدن آب روی سطح خاک، زمان شروع رواناب و تولید رسوب را به ترتیب ۴۰، ۳۳ و ۶۸ درصد کاهش و مقدار ذخیره رطوبت در خاک را ۱۴ درصد افزایش داده است. کتن و همکاران [۱۰] در جنوب شرقی اسپانیا، به دنبال تأثیرگذاری سیانوباکتری‌ها در میزان نفوذ آب و تولید رواناب در شرایط باران طبیعی و شبیه‌سازی‌شده نشان دادند که مقدار کربن آلی خاک، نیتروژن کل، ظرفیت نگهداری آب در دسترس و مقدار نفوذ آب افزایش‌یافته و در نتیجه میزان رواناب کم‌تری تولیدشده است. هم‌چنین نتایج پژوهش قره‌محمودلی و همکاران [۲۶] در تغییرپذیری مؤلفه‌های رواناب در اراضی دیم رهاشده و حساس به فرسایش منطقه بدرانلو در استان خراسان شمالی طی چرخه انجماد-ذوب از تلقیح سیانوباکتری‌ها نشان داد که بر اثر تلقیح تیمارهای سیانوباکتری در مقایسه با تیمار شاهد، زمان شروع رواناب و زمان تا اوج به ترتیب ۲۲۸ و ۴۹ درصد افزایش و مقدار حجم رواناب، مقدار اوج و ضریب رواناب ۶۵، ۴۸ و ۶۵ درصد کاهش‌یافته است. در همین راستا، شکل ۱ روند پژوهش‌های استفاده‌شده از ریزموجودات خاک‌زی در بهبود مؤلفه‌های خاک و آب در سال‌های اخیر را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد در بازه زمانی ۲۰۲۱-۲۰۰۹، بیش‌ترین پژوهش‌های انجام‌شده مرتبط با به‌کارگیری ریزموجودات

در بهبود مؤلفه‌های خاک و آب مربوط به سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۰ است. هم‌چنین اولین مطالعه در این زمینه در ایران در سال ۲۰۱۵ توسط ارزاقی و همکاران [۳] گزارش‌شده است که به بررسی اثر قارچ *Trichoderma harzianum* بر کنترل فرسایش بادی خاک شنی دشت آزادگان در شرایط آزمایشگاهی و تونل باد پرداختند. نتایج نشان داد که قارچ مزبور مقاومت خاک در برابر فرسایش بادی به‌وسیله توسعه رشته‌های نخینه و در نتیجه اتصال ذرات خاک به یکدیگر و تشکیل خاکدانه‌های بزرگ‌تر را افزایش می‌دهد و باعث کنترل فرسایش بادی می‌شود.

در همین راستا، پژوهش انجام‌شده در رابطه با تأثیر ریزموجودات بر مهار رواناب و هدررفت خاک در فرسایش آبی با پژوهش خیرفام و همکاران [۳۶ و ۳۷]، صادقی و همکاران [۵۵] در کرت‌های کوچک آزمایشگاهی شروع شد و در شرایط باران طبیعی [۵۹ و ۳۸] نیز مورد بررسی قرار گرفت. از طرفی اثرگذاری سیانوباکتری‌ها و باکتری‌های خاک‌زی بر شرایط انجماد-ذوب [۲۶] و رفتار هیدرولوژی در کرت‌های متوسط آزمایشگاهی [۳۳] مورد تأیید قرار گرفته است.

اثرگذاری ریزموجودات بر خاک و آب

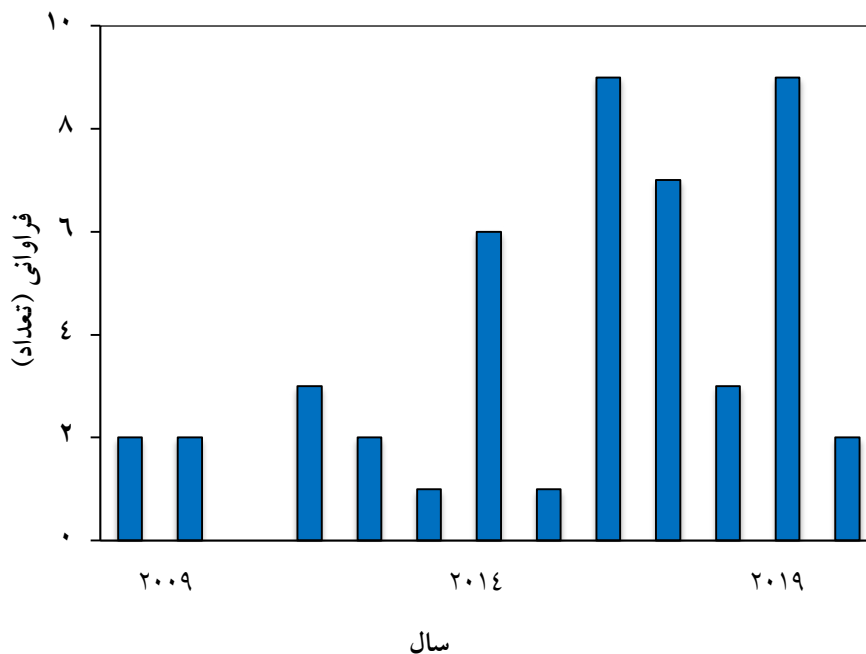
خزه‌ها نقش مهمی در رابطه خاک از نظر تبادل آب دارند. خزه‌ها به‌ویژه به دلیل تأثیر بر رواناب سطحی، نفوذ، میزان آب در خاک و هم‌چنین تبخیر خاک شناخته می‌شوند. علاوه بر این، می‌توانند رطوبت خاک را با جذب آب از شب‌نم، بخار یا مه افزایش دهند [۶۴]. ساخت کربوهیدرات با گونه‌های گل‌سنگی پوسته زیستی خاک، موجب افزایش کربن خاک و هم‌چنین اتصال ذرات دانه‌های خاک به یکدیگر و تشکیل خاکدانه و در نتیجه پایداری خاک می‌شود [۶۱]. قارچ‌ها نیز با استفاده از دو سازوکار اصلی تثبیت فیزیکی با به دام انداختن ذرات منفصل خاک و تشکیل شبکه‌های مترام، هم‌چنین ایجاد لوله‌های بسیار باریک به‌وسیله شبکه‌های گسترده نخینه و تثبیت شیمیایی توسط ترشحات چسب مانند به پایداری خاکدانه‌ها کمک می‌کند [۴۶ و ۱۹]. خلل‌وفرج خاک توسط نخینه‌های قارچ اشغال می‌شود که این امر موجب افزایش وزن مخصوص خاک می‌شود [۴۲]. قارچ‌ها با توجه به ریخت‌شناسی رشته‌ای و ویژگی‌های فیزیولوژی پوسته‌های قارچی که منجر به اتصال ذرات خاک به یکدیگر و تشکیل خاکدانه‌های بزرگ‌تر شده است، مقاومت خاک را در برابر فرسایش با توسعه رشته‌های نخینه افزایش می‌دهد [۳]. باکتری‌های خاک علاوه بر ترشح مواد چسبنده پلی‌ساکاریدی و چسبیدگی ذرات ریز خاک و تشکیل ریزساختارها، باعث تشکیل ساختارهای بزرگ از طریق ارتباط و پیوستگی ریزساختارها خواهند شد که زمینه بهبود ویژگی‌های کیفی خاک را نیز فراهم می‌کنند [۱۷ و ۵۲].

سیانوباکتری‌ها نیز از طریق ترشحات پلی‌ساکاریدی و آگروپلی‌ساکاریدی و ایجاد شبکه‌هایی در سطح خاک، تمایل زیادی

1. Hyphae
2. Hydrophobicity
3. Runoff Coefficient

جدول ۲: مطالعات انجام شده اثر ریزموجودات خاک‌زی بر رواناب و فرسایش خاک

مطالعات	منطقه	نتایج
الدردیج و همکاران [۱۸]	-	کاهش زمان جمع شدن آب روی سطح خاک، کاهش زمان شروع رواناب و تولید رسوب به ترتیب ۴۰، ۳۳ و ۶۸ درصد، افزایش ۱۴ درصدی ذخیره رطوبت در خاک
جعفرپور و همکاران [۳۳]	حواشی جاده مزره آباد- کندلوس واقع در حوزه آبخیز چالوس رود	حجم و ضریب رواناب در کرت‌های شاهد و تیمار شده با سیانوباکتری به ترتیب ۱۰۹/۱۰ لیتر، ۴۲/۶۱ درصد، ۶۳/۰۹ لیتر و ۱۵/۱۷ درصد، اوج رواناب در کرت‌های شاهد در $4/69 \pm 14/21$ دقیقه و در کرت‌های تیمار شده در $3/61 \pm 52/74$ دقیقه، افزایش زمان شروع رواناب، افزایش میزان تراوش و آب نفوذی در کرت تیمار شده با سیانوباکتری
چامیزو و همکاران [۱۴]	منطقه نیمه‌خشک تابرناس اسپانیا	رسوب سالانه در خاک‌های لخت در منطقه نیمه‌خشک، خاک پوشیده شده با سیانوباکتری و خاک پوشیده شده با گل‌سنگ به ترتیب ۴۶۵، ۷۵ و ۲۴ گرم بر مترمربع، کاهش ۸۹ درصدی کربن آلی کل در خاک لخت
خیرفام و همکاران [۳۷]	حواشی جاده مزره آباد- کندلوس واقع در حوزه آبخیز چالوس رود	کاهش ۹۹ و ۹۸ درصدی هدررفت خاک در تلقیح سیانوباکتری و ترکیب با باکتری در مقیاس کرت در دوره ۶۰ روزه
صادقی و همکاران [۵۹]	خاک‌های حساس به فرسایش مزره آباد	کاهش ۷۷-۲۹ درصدی حجم و ضریب رواناب، کاهش ۸۹-۷۷ درصدی هدررفت خاک، کاهش ۷۶-۶۰ درصدی غلظت رسوب با تلقیح باکتری و سیانوباکتری در مقیاس کرت
صادقی و همکاران [۵۸]	زمین تخریب شده در شهر میاندوآب، جنوب استان آذربایجان غربی	کاهش رواناب در هفت رویداد بارندگی به ترتیب ۳۵، ۲۵، ۳۱، ۳۳، ۴۶، ۴۷ و ۵۷ درصد، کاهش غلظت رسوب به ترتیب ۱۶، ۳۴، ۳۶ و ۱۳۵ درصد نسبت به کرت‌های شاهد در مقیاس کرت و بارندگی طبیعی
قره‌محمودلی و همکاران [۲۶]	اراضی دیم رها شده و حساس به فرسایش منطقه بدرانلو در استان خراسان شمالی	افزایش زمان شروع رواناب و زمان تا اوج به ترتیب ۲۲۸ و ۴۹ درصد، کاهش حجم رواناب، مقدار اوج و ضریب رواناب به ترتیب ۶۵، ۴۸ و ۶۵ درصد با تلقیح سیانوباکتری در مقیاس کرت
کتن و همکاران [۱۰]	منطقه نیمه‌خشک در جنوب شرقی اسپانیا	افزایش مقدار کربن آلی خاک، نیتروژن کل، ظرفیت نگه‌داری آب در دسترس، مقدار نفوذ آب و به دنبال آن کاهش تولید رواناب در خاک حاوی پوسته‌های زیستی نسبت به خاک لخت تحت بارش شبیه‌سازی شده و طبیعی در مقیاس کرت



شکل ۱: پژوهش‌های انجام شده در رابطه با استفاده از ریزموجودات خاک‌زی در بهبود مؤلفه‌های خاک و آب در سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۲۱

جدول ۱: مطالعات انجام شده اثر پوسته‌های زیستی بر ویژگی‌های خاک و آب

مطالعات	منطقه	نتایج
آدسی و همکاران [۱]	-	افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک
چامیزو و همکاران [۱۵]	جنگل‌های سوخته فونچال، مادیرا، پرتغال، اورنتانو، توسکانی، ایتالیا	افزایش پایداری خاک، کاهش آب‌گریزی خاک با تلقیح سیانوباکتری
خیرفام و همکاران [۳۶]	حواشی جاده مزرن آباد-کندلوس واقع در حوزه آبخیز چالوس رود	افزایش ۱۴۸ درصدی نیتروژن خاک با تلقیح باکتری بعد از یک ماه در مقیاس کرت
خیرفام و همکاران [۳۹]	غرب استان مازندران	افزایش کربن آلی خاک از ۰/۲۳۲ به ۰/۲۹۴ گرم بر مترمربع در روز در مقیاس کرت با تلقیح باکتری و سیانوباکتری
روسی و همکاران [۵۲]	-	احیای اراضی بیابانی با تلقیح سیانوباکتری
سلیمان‌زاده و همکاران [۶۳]	تپه‌های شنی اطراف تالاب آلاگل در شمال استان گلستان	کاهش pH خاک، افزایش مقدار کربن آلی، کربوهیدرات و پایداری خاکدانه‌ها و به دام انداختن گردوغبار در خاک تحت پوشش گونه‌های گل‌سنگ
فهادی و همکاران [۲۰]	-	کاهش اثرات منفی تنش خشکی در خاک، بهبود شرایط رشد گیاه و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک و افزایش ترشح گلومالین و کاهش فرسایش خاک با هم‌زیستی میکوریزی قارچ
فیشر و همکاران [۲۳]	در نزدیکی لیبروز، براندنبورگ، شمال شرقی آلمان	کاهش آب‌گریزی خاک با تولید آگزوپولی‌ساکارید توسط سیانوباکتری و قارچ‌ها
لی و همکاران [۴۲]	منطقه شاپوتو در جنوب شرقی صحرای تنگر چین	افزایش تثبیت کربن سالانه ۱۱/۳۶ گرم بر سانتی‌مترمربع با سیانوباکتری-جلبک، تثبیت کربن سالانه ۲۶۷۵ گرم بر سانتی‌مترمربع با گل‌سنگ-خزه
وانگ و همکاران [۷۱]	مناطق تخریب‌شده بخش دالاتکی در چین	افزایش کربن آلی و نیتروژن کل خاک، نمک کل، کربنات کلسیم و هدایت الکتریکی خاک در مناطق بیابانی پس از تلقیح سیانوباکتری در مقیاس کرت صحرائی
وو و همکاران [۷۳]	ایستگاه تحقیقاتی در حاشیه جنوبی صحرای گپی	افزایش رطوبت خاک، نیتروژن کل، نیتروژن و فسفر قابل‌دسترس خاک
هاوریلا و همکاران [۲۹]	-	افزایش نیتروژن و زیست‌توده گیاهی توسط قارچ‌ها
هوکیسیا و همکاران [۳۱]	صحرای گوربانتانگوت در حوضه جونگار در شمال سین جیانگ چین	تثبیت تپه‌های ماسه‌ای و کاهش سرعت تبخیر آب در خاک با تلقیح باکتری
هیندل و همکاران [۳۰]	خاک‌های مناطق خشک قطب شمال در گرینلند	افزایش کربن و نیتروژن خاک توسط گل‌سنگ

با ایجاد ریز شکاف‌های عمودی در سطح خاک باعث افزایش نفوذپذیری در خاک می‌شود. افزایش پایداری خاکدانه‌ها به دنبال آن کاهش فرسایش پاشمانی، منجر به کاهش سله‌بندی در سطح خاک و در نتیجه بهبود نفوذپذیری خاک می‌شود [۳۵]. سیانوباکتری‌ها به دلیل قابلیت ارتجاعی بودن دیواره سلولی آن‌ها، ۱۲ تا ۲۰ برابر وزن خشک خود توانایی جذب، حفظ و ذخیره آب را دارند [۴۵] و

به اتصال خاکدانه‌ها دارند و با تشکیل و گسترش ابعادی کلونی‌ها، زنجیره‌های به هم متصلی را ایجاد می‌نمایند. زنجیره‌های تشکیل و گسترش یافته نیز خاکدانه‌های اطراف خود را با خاصیت چسبندگی خود به هم متصل کرده و سطوح خاکدانه‌ها را می‌پوشانند که منجر به پایداری قابل توجه خاکدانه‌ها در مقابل برخورد قطرات باران یا تنش برشی رواناب سطحی خواهند شد [۱۱]. شرایط به وجود آمده، منجر به افزایش تخلخل خاک [۵۲] و ظرفیت نگهداشت آب و افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود [۴۷]. هم‌چنین سیانوباکتری‌ها

1. Splash Erosion

سال ۲۰۳۰ به‌عنوان رویکردی کاملاً زیستی مورد استفاده بیشتر قرار گیرد. با توجه به افزایش روزافزون مناطق تحت فرسایش و تخریب خاک در حال حاضر در حال وقوع است، مشارکت گسترده جامعه علمی و مدیران اجرایی برای به‌کارگیری این زیست‌فناوری بسیار مطلوب است.

منابع

1. Adessi, A., Cruz de Carvalho, R., De Philippis, R., Branquinho, C., Marques da Silva, J. 2018. Microbial extracellular polymeric substances improve water retention in dryland biological soil crusts. *Soil Biology and Biochemistry*, 116, 67-69.
2. Arabkhedri, M., Shadfar, S., Jafari-adakani, A., Bayat, R., Khajavi, E., Mahdian, M. H. 2018. Improving Water Erosion Estimates for IRAN. *Watershed Management Research*, 31(3):13-27. (In Persian)
3. Arzaghi, F., Farrokhian Firouzi, A., Enayatizami, N., Khalil Moghaddam, B. 2015. The effect of *Trichoderma harzianum* on wind erosion control of Azadegan Plain sandy soil at laboratory and wind tunnel. *Soil Management and Sustainable Production*, 5(2): 239-251. (In Persian)
4. Arzanlou, M., Samadi, R., Afsarian, M.H., Badali, H. 2015. An overview of the evolution of pathogenicity in human pathogenic fungi. *Babol University of Medical Sciences*, 17(2): 71-80. (In Persian)
5. Awad, Y. M., Blagodatskaya, E., Ok, Y. S., Kuzyakov, Y. 2012. Effects of polyacrylamide, biopolymer and biochar on decomposition of soil organic matter and plant residues as determined by ¹⁴C and enzyme activities. *European Journal of Soil Biology*, 48, 1-10.
6. Babcock, B. A., P. G. Lakshminarayan, J. J., Wu D. Zilberman. 1996. The economics of a public fund for environmental amenities: a study of CRP contracts. *American Journal of Agricultural Economics*, 78(4): 961-971.
7. Bowker, M.A. 2007. Biological soil crust rehabilitation in theory and practice: an underexploited opportunity. *Restoration Ecology*, 15(1): 13-23.
8. Bowker, M. A., Reed, S. C., Maestre, F. T., Eldridge, D. J. 2018. Biocrusts: The living skin of the earth. *Plant and Soil*, 429, 1-7.
9. Bullard, J. E., Ockelford, A., Strong, C., Aubault, H. 2018. Effects of cyanobacterial soil crusts on surface roughness and splash erosion. *Journal of Geophysical*

۴۸]. با رشد بیش‌تر سیانوباکترها به‌ویژه سیانوباکتری‌های رشته‌ای، پلی‌ساکاریدهای بیش‌تری آزاد می‌کنند که ذرات خاک را پیوند داده و در نتیجه باعث افزایش ضخامت پوسته زیستی خاک می‌شوند [۶۹]. با مرور نتایج مطالعات گزارش شده در مورد استفاده از ریزموجودات خاکی در مباحث حفاظتی منابع آب و خاک، بدیهی است که مسائل اساسی قبل از استفاده موفقیت‌آمیز از این زیست‌فناوری سازگار با محیط زیست مورد توجه قرار گیرد. با توجه به هدف از افزودن ریزموجودات به خاک، باید مناسب‌ترین آن برای تلقیح با در نظر گرفتن ویژگی‌های ریزموجود و ویژگی‌های خاک و محیط در منطقه تحت تأثیر با دقت انتخاب نمود. انتخاب ریزموجودات خاکی بر اساس ویژگی‌های همچون رشد و تکثیر سریع، گستره حضور فراوان در منطقه مورد مطالعه، توان ترشح مواد چسبنده پلی‌ساکاریدی، استخراج و تکثیر آسان در شرایط آزمایشگاهی و همچنین عدم بیماری‌زا بودن برای انسان و سایر موجودات است [۳۶ و ۳۷]. عمده قارچ‌های بیماری‌زا به‌صورت گونه‌های ساکن در خاک ظاهر می‌شوند و برخی از تولیدات قارچی در غلظت بالا برای انسان و سایر موجودات سمی هستند. لذا انتخاب گونه و مقدار آن برای حفاظت خاک و آب حائز اهمیت است [۴]. برای تولید زیست‌توده ریزموجودات، ارزان‌ترین و مؤثرترین سامانه کشت انبوه را باید انتخاب نمود. برای افزودن و پخش ریزموجودات در خاک، انتخاب ارزان‌ترین و مؤثرترین راهبرد حائز اهمیت است. همچنین باید مؤثرترین رویکردهای بهبود زیستگاه را برای توسعه بهتر پوسته‌های زیستی القاشده انتخاب و به کار برد [۵۲]. در هر صورت باید تأکید کرد که درک کامل در مورد چگونگی رشد پوسته‌های زیستی القاشده در خاک و فعل و انفعالات پیچیده‌ای که در پوسته زیستی بین ریزموجودات تلقیح شده و جامعه میکروبی موجود در خاک، مورد نیاز است که بتوان از این زیست‌فناوری در محیط‌هایی با ویژگی‌های خاک و شرایط آب و هوایی متفاوت بهره‌برداری نمود.

جمع‌بندی

حفاظت از سطح خاک در برابر نیروهای فرساینده باران و رواناب از راه‌کارهای مدیریت حوزه‌های آبخیز است. مرور منابع و مستندات نشان می‌دهد که با توجه به میزان تأثیرگذاری پوسته‌های زیستی بر مؤلفه‌های مؤثر در کیفیت و هدررفت خاک و آب و اهمیت ریزموجودات در حفاظت خاک، پژوهش‌های کمی در زمینه تأثیر پوسته‌های زیستی بر رواناب و فرسایش خاک انجام شده است. خزها، گل‌سنگ‌ها، قارچ‌ها، باکتری‌ها و سیانوباکتری‌ها از نقش مهمی در امر مدیریت منابع آب، خاک و حفظ عملکرد بوم‌سازگان برخوردار هستند. در همین راستا، به‌کارگیری ریزموجودات خاکی به‌منظور بهبود مؤلفه‌های پایداری خاک و مؤثر بر مهار فرآیند فرسایش خاک به‌عنوان یک رویکرد کاملاً زیستی برای حفاظت منابع خاک و آب در حوزه‌های خشک و نیمه‌خشک کشور پیشنهاد می‌شود. انتظار می‌رود با ترویج روش‌های زیستی ریزموجودات تا

field study. *Applied Soil Ecology*, 75, 1-12.

20. Farhadi, A., Enayatizmir, N., Farrokhian Firouzi, A., Howezeh, H. 2017. The Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Drought Stress on Glomalin Content and Some Physical and Mechanical properties of Soil under Blue Panic Grass Cultivation (*Panicum antidotale*). *Water and Soil Conservation*, 23(5): 267-280. (In Persian)

21. Ferrenberg, S., Faist, A. M., Howell, A., Reed, S. C. 2018. Biocrusts enhance soil fertility and *Bromus tectorum* growth and interact with warming to influence germination. *Plant and Soil*, 429, 77-90.

22. Ferreira, A. J. D., Prats, S., Alves Coelho, C. O., Shakesby, R. A., Pascoa, F. M., Ferreira, C. S.S., Keizer, J. J., Ritsema, C. 2015. Strategies to prevent forest fires and techniques to reverse degradation processes in burned areas. *Catena*, 128, 224-237.

23. Fischer, T., Veste, M., Wiehe, W., Lange, P. 2010. Water repellency and pore clogging at early successional stages of microbial crusts on inland dunes, Brandenburg, NE Germany. *Catena*, 80, 47-52.

24. Fraga, M.E., Zonta, E., Balieiro, F.C. 2011. Isolation and selection of filamentous fungi from petroleum contaminated soil. *Bioresearch Bulletin*, 4(1): 227-235.

25. Garcia-Pichel, F., Felde, V.J.M.N.L., Drahorad, S.L., Weber, B. 2016. Microstructure and Weathering processes within biological soil crusts, In *Biological soil crusts: an organizing principle in drylands*, Springer, Cham, 237-255 pp.

26. Gharemahmudli, S., Najafinejad, A., Sadeghi, S.H.R., Zarei Darki, B., Mohammadian Behbahani, A., Kheirfam, H. 2020. Reducing Surface Runoff from Soils Subjected to a Freezing-Thawing Cycle using Soil Cyanobacteria. *Water and Soil Conservation*, 27(3): 163-180. (In Persian)

27. Gholami, L., Karimi N., Kavian A. 2019. Soil and water conservation using biochar and various soil moisture in laboratory conditions. *Catena*, 182, 104151.

28. Glab, T., Zabinski, A., Sadowska, U., Gondek, K., Kopec, M., Mierzwa-Hersztek, M., Stanek-Tarkowska, J. 2020. Fertilization effects of compost produced from maize, sewage sludge and biochar on soil water retention and chemical properties. *Soil and Tillage Research*, 197, 104493.

29. Havrilla, C., Leslie, A.D., Di Biase, J.L., Barger, N.N. 2020. Biocrusts are associated with increased plant biomass

Research: *Biogeosciences*, 123(12): 3697-3712.

10. Canton, Y., Chamizo, S., Rodriguez-Caballero, E., Lazaro, R., Roncero-Ramos, B., Roman, J. R., Sole-Benet, A. 2020. Water Regulation in Cyanobacterial Biocrusts from Drylands: Negative Impacts of Anthropogenic Disturbance. *Water*, 12(3):720: 1-24.

11. Cania, B., Vestergaard, G., Kublik, S., Köhne, J.M., Fischer, T., Albert, A., Winkler, B., Schloter, M., Schulz, S. 2020. Biological soil crusts from different soil substrates harbor distinct bacterial groups with the potential to produce exopolysaccharides and lipopolysaccharides. *Microbial Ecology*, 79(2): 326-341.

12. Cerdà, A., Brazier, R., Nearing, M., De Vente, J. 2013. Scales and erosion. *Catena*, 102, 1-2.

13. Chamizo, S., Rodríguez-Caballero, E., Cantón, Y., Asensio, C., Domingo, F. 2015. Penetration resistance of biological soil crusts and its dynamics after crust removal: Relationships with runoff and soil detachment. *Catena*, 126,164-172.

14. Chamizo, S., Rodríguez-Caballero, E., Román, J.R., Cantón, Y. 2017. Effects of biocrust on soil erosion and organic carbon losses under natural rainfall. *Catena*, 148,117-125.

15. Chamizo, S., Adessi, A., Certini, G., De Philippis, R. 2020. Cyanobacteria inoculation as a potential tool for stabilization of burned soils. *Restoration Ecology*, 28, S106-S114.

16. Deal J. L. 2004. Crop insurance, government agricultural policies, and soil erosion. *Annual AAEA Meetings*, Denver, North Carolina State University. 24p.

17. Dorioz, J.M., Robert, M., Chenu, C. 1993. The role of roots, fungi and bacteria on clay particle organization: An experimental approach. *Geoderma*, 56, 179-194.

18. Eldridge, D. J., Reed, S., Travers, S. K., Bowker, M. A., Maestre, F. T., Ding, J., Havrilla, C., Rodriguez-Caballero, E., Barger, N., Weber, B., Antoninka, A., Belnap, J., Chaudhary, B., Faist, A., Ferrenberg, S., Huber-Sannwald, E., u Malam Issa, O., Zhao, Y. 2020. The pervasive and multifaceted influence of biocrusts on water in the world's drylands. *Global change biology*, 26(10): 6003-6014.

19. Epelde, L., Burges, A., Mijangos, I., Garbisu, C. 2013. Microbial properties and attributes of ecological relevance for soil quality monitoring during a chemical stabilization

39. Kheirfam, H. 2020. Increasing soil potential for carbon sequestration using microbes from biological soil crusts. *Journal of Arid Environment*, 172, 104022.
40. Kidron, G. J., Vonshak, A., Abeliovich, A. 2009. Microbiotic crusts as biomarkers for surface stability and wetness duration in the Negev Desert. *Earth Surface, Processes and Landforms*, 34(12):1594-1604.
41. Li, Ch., Holden, J., Grayson, R. 2018. Effects of rainfall, overland flow and their interactions on peatland interrill erosion processes. *Earth Surface, Processes and Landforms*, 43: 1451-1464.
42. Li, X. R., Zhang, P., Su, Y. G., Jia, R. L. 2012. Carbon fixation by biological soil crusts following revegetation of sand dunes in arid desert regions of China: A four-year field study. *Catena*, 97, 119-126.
43. Lu, Sh., Wang, Zh., Hu, Y., Liu, B., Liu, J. 2018. Effectiveness and Durability of Polyacrylamide (PAM) and Polysaccharide (Jag C 162) in Reducing Soil Erosion under Simulated Rainfalls. *Water*, 10(257): 1-12.
44. Miralles, I., Jorge-Villar, S. E., Van Wesemael, B., Lázaro, R. 2017. Raman spectroscopy detection of biomolecules in biocrusts from differing environmental conditions. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 171, 40-51.
45. Mosaffaie, J., Talebi, A. 2014. A statistical view to the water erosion in Iran. *Extension and Development of Watershed Management*, 2(5): 9-17.
46. Paule, E. A. 2015. *Soil microbiology, Ecology and Biochemistry*. 598p.
47. Pajor, R., Falconer, R., Hapca, S., Otten, W. 2010. Modeling and quantifying the effect of heterogeneity in soil physical conditions on fungal growth. *Biogeosciences Discussions*, 7, 3477-3501.
48. Pendleton, R. L., Pendleton, B. K., Howard, G. L., Warren, S. D. 2003. Growth and nutrient content of herbaceous seedlings associated with biological soil crusts. *Arid L Res Manag*, 17, 271-281.
49. Powell, J.T., Chatziefthimiou, A.D., Banack, S.A., Cox, P.A., Metcalf, J.S. 2015. Desert crust microorganisms, their environment, and human health. *J. Arid Environ*, 112, 127-133.
50. Rillig, M.C., Mummey, D.L. 2006. Mycorrhizae and soil structure. *New Phytol*, 171, 41-53.
- and nutrition at seedling stage independently of root-associated fungal colonization. *Plant and Soil*, 446, 331-342.
30. Heindel, R.C., Governali, F.C., Spickard, A.M., Virginia, R.A. 2018. The role of biological soil crusts in nitrogen cycling and soil stabilization in Kangerlussuaq, West Greenland. *Ecosystems*, 22, 1-14.
31. HuiXia, P., ZhengMing, ch., XueMei, Zh., ShuYong, M., Xiaoling, Q., Fang, W. 2007. A study on an oligotrophic bacteria and its ecological characteristics in an arid desert area. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 50, 128-134.
32. Issa, O. M., Le Bissonnais, Y., Planchon, O., Favis-Mortlock, D., Silvera, N., Wainwright, J. 2006. Soil detachment and transport on field-and laboratory-scale interrill areas: erosion processes and the size-selectivity of eroded sediment. *Earth Surface, Process and Landforms*, 31(8): 929-939.
33. Jafarpoor, A., Sadeghi, S. H., Darki, B. Z., Homae, M. 2021. Changes in hydrologic components from a mid-sized plots induced by rill erosion due to cyanobacterization. *International Soil and Water Conservation Research*. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.05.002>.
34. Jourgholami, M., Etehadi Abari, M. 2017. Effectiveness of sawdust and straw mulching on postharvest runoff and soil erosion of a skid trail in a mixed forest. *Ecological Engineering*, 119, 15-24.
35. Kavian, A., Kolehhouei, M., Gholami, L., Jafarian, Z., Mohammadi, M., Rodrigo-Comino, J. 2020. The Use of Straw Mulches to Mitigate Soil Erosion under Different Antecedent Soil Moistures. *Water*, 12(9): 2518.
36. Kheirfam, H., Homae, M., Sadeghi, S.H.R., Zarei Darki, B. 2017a. Role of Biological Soil Crusts Enrichment through Bacteria Inoculation and Stimulation of Nitrogen Increasing in an Erosion-Prone Soil. *Water and Soil*, 31(2): 545-556. (In Persian)
37. Kheirfam, H., Sadeghi, S.H.R., Zarei Darki, B., Homae, M. 2017 b. Controlling rainfall-induced soil loss from small experimental plots through inoculation of bacteria and cyanobacteria. *Catena*, 152, 40-46.
38. Kheirfam, H., Sadeghi, S.H.R., Zarei Darki, B. 2019. Field inoculation of cyanobacteria to control runoff. 14th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran. (In Persian)

5(3): 1-10.

61. Sepehr, A., Hassanzadeh, M., Rodriguez-Caballero, E. 2018. The protective role of cyanobacteria on soil stability in two Aridisols in northeastern Iran. *Geoderma Regional*, 15, 1-10.

62. Sharifi moghadam, E., Sadeghi, S.H.R., Khaledi Darvishan, A. 2014. Influence of runoff and sediment components of small experimental plots from the use of organic waste from Vinas, Iranian Soil and Water Research, 45(4): 499-508. (In Persian)

63. Soleimanzadeh, M., Khormali, F., Sohrabi, M., Ghorbani Nasrabadi, R., Kehl, M. 2019. Evaluating biological attributes of soil quality in loessial soils under lichen biological soil crusts in northern Golestan province, *Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization*, (Scientific Journal of Agriculture), 42(3): 1-17. (In Persian)

64. Soloneski, S., Larramendy, M. 2013. *Weed and Pest Control: Conventional and New Challenges*. INTECH Open Access Publisher, 181-200.

65. Strauss, S.L., Day, T.A., Garcia-Pichel, F. 2012. Nitrogen cycling in desert biological soil crusts across biogeographic regions in the Southwestern United States. *Biogeochemistry*, 108, 171-182.

66. Thielen, S. M., Gall, C., Nebel, M., Scholten, T., Seitz, S. 2021. Soil-Moss-Relations: The path of water from dripping to infiltration. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (pp. EGU21-8390).

67. Toy, T. J., Foster, G.R., Renard, K.G. 2002. *Soil Erosion process, Prediction, Measurement, and Control*. John Wiley and Sons, New York.

68. Tromp-van Meerveld, H. J., Parlange, J.-Y., Barry, D. A., Tromp, M. F., Sander, G. C., Walter, M.T., Tucker, C. L., McHugh, T. A., Howell, A., Gill, R., Weber, B., Belnap, J., Grote, E., Reed, S. C. 2017. The concurrent use of novel soil surface microclimate measurements to evaluate CO₂ pulses in biocrusted interspaces in a cool desert ecosystem. *Biogeochemistry*, 135, 239-249.

69. Van der Wat, L., Forbes, P.B. 2015. Lichens as biomonitors for organic air pollutants. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 64, 165-72.

70. Veum, K.S., Goyne, K.W., Kremer, R.J., Miles, R.J., Sudduth, K.A. 2014. Biological indicators of soil quality

51. Rossi, F., Olgun, E. J., Diels, L., De Philippis, R. 2015. Microbial fixation of CO₂ in water bodies and in drylands to combat climate change, soil loss and desertification. *New Biotechnology*, 32(1): 109-120.

52. Rossi, F., Li, H., Liu, Y., De Philippis, R. 2017. Cyanobacterial inoculation (cyanobacterisation): Perspectives for the development of a standardized multifunctional technology for soil fertilization and desertification reversal. *Earth-Science Reviews*, 171, 28-43.

53. Sabeti Mohamadi, S., Hamidian, A. H., Khorasani, N., Nikkiah, M.J. 2020. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons by some fungal species. *Journal of Natural Environment*, 73(1): 1-11. (In Persian)

54. Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z., Gholami, L., Khaledi Darvishan, A. 2017. *Soil and water conservation using amendments*, Tarbiat Modares University Press. 501p. (In Persian)

55. 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)

56. Sadeghi, S.H.R., Ghavimi Panah, M.H., Younesi, H. 2017b. Feasibility of reducing soil loss using biochar produced from dairy factory waste. *Water and Soil Conservation*, 24(4): 211-226. (In Persian)

57. Sadeghi, S.H.R., Ghavimi Panaha M. H., Younesi H., Kheirfam H. 2018. Ameliorating some quality properties of an erosion-prone soil using biochar produced from dairy wastewater sludge. *Catena*, 171, 193-198.

58. Sadeghi, S.H.R., Kheirfam, H., Zarei Darki, B. 2020. Controlling runoff generation and soil loss from field experimental plots through inoculating cyanobacteria. *Journal of Hydrology*, 585, 124814.

59. Sadeghi, S.H.R., Sadeghi Satri, M., Kheirfam, H., Zarei Darki, B. 2020. Runoff and soil loss from small plots of erosion-prone marl soil inoculated with bacteria and cyanobacteria under real conditions. *European Journal of Soil Biology*, 101, 1-11.

60. Sarparast, M., Ownegh, M., Najafinejad, A., Sepehr, A. 2018. An applied statistical method to identify desertification indicators in northeastern Iran. *Geoenvironmental Disasters*,

74. Zenga, Q., Jiaa, P., Wanga, Y., Wanga, H., Lia, Ch., Ana, Sh. 2019. The local environment regulates biogeographic patterns of soil fungal communities on the Loess Plateau. *Catena*, 183, 1-10.
75. Zhang, X. C (John), Wang, Z. L. 2017. Interrill soil erosion processes on steep slopes. *Journal of Hydrology*, 548: 652-664.
76. Zhang, B., Zhang, Y., Li, X., Zhang, Y. 2018. Successional changes of fungal communities along the biocrust development stages. *Biology and fertility of soils*, 54(2): 285-294.
- and soil organic matter characteristics in an agricultural management continuum. *Biogeochemistry*, 117(1): 81-99.
71. Wang, W.B., Liu, Y.D., Li, D.H., Hua, C.X., Rao, B.Q. 2009. Feasibility of cyanobacterial inoculation for biological soil crusts formation in desert area. *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 926-929.
72. Whitton, B.A., Potts, M. 2012. Introduction to the Cyanobacteria. *Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space and Time*. Springer, Dordrecht, the Netherlands, 1-13pp.
73. Wu, Y., Rao, B., Wu, P., Liu, Y., Li, G., Li, D. 2013. Development of artificially induced biological soil crusts in fields and their effects on top soil. *Plant and Soil*, 370: 1-2. 115-124.



Abstract

Reviewing the Performance of Soil Microorganisms on Soil and Water Loss Components

A. Mumzaei¹, S. H.R. Sadeghi ^{*2}, B. Zarei Darki³ and M. Homae⁴

Received: 2021/09/25 Accepted: 2022/02/23

Soil erosion and its consequences are the main problems to the development of the country. Achieving sustainable development is not possible without the conservation of soil and water resources and reducing land degradation. However, most soil and water conservation methods are engineered regardless of biological methods' capabilities to control soil and water loss. Therefore, in the present study, an attempt has been made to review the performance of soil microorganisms as a biological method in soil and water conservation on the practical components in soil and water loss in the soil erosion process as a review study. The review results showed that the cyanobacteria, bacteria, and fungi in the soil are effective in inhibiting the process of erosion and runoff by improving soil stability components. Therefore, the empowerment of soil surface against the erosion of rain and runoff with soil crust development reduces and inhibits soil erosion. The use of soil microorganisms can be used as an effective and compatible solution with ecologists of watersheds in the implementation of management proceeding to conservation the soil and water of the country.

Keywords: Biological crusts, Erosion biological management, Soil conservation, Soil degradation

1. Ph.D. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University.

2. Professor (Corresponding Author), Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares Resources University, E-mail: sadeghi@modares.ac.ir

3. Associate Prof., Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science, Tarbiat Modares University.

4. Professor, Department of Mineral Processing, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University.