

The possibility of establishment of cyanobacterial biocrusts in the saline soil of Lake Urmia bed

Azam Mumzai¹, Hossein Kheirfam^{*2}, Seyed Hamidreza Sadeghi³

1. Ph.D. Graduate of Watershed Management Sciences and Engineering, Dept. of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. E-mail: azammumzai@modares.ac.ir
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: h.kheirfam@urmia.ac.ir
3. Professor, Dept. of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. E-mail: sadeghi@modares.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Full Paper	Background and Objectives: Soil salinization is known as one of the most important reasons for soil degradation in arid and semi-arid regions, which leads to a decrease in the stability of the soil, soil fertility, and plant production, and increased dust emission. However, the use of soil microorganisms as soil inoculants improves the quantitative and qualitative components of the soil. As well as, their role in soil erosion controlling and soil management has been approved, but their success in creating biocrusts in soils with high salinity has not been considered. Therefore, this study was planned to evaluate the cyanobacteria inoculum capability for biocrust formation in the high salinity soils of the dried-up beds of Lake Urmia at laboratory conditions.
Article history: Received: 12.28.2023 Revised: 02.01.2024 Accepted: 03.09.2024	
Keywords: Soil biocrust, Soil chlorophyll, Soil conservation, Soil microorganisms, Soil polysaccharides	Materials and Methods: In November 2022, the soil samples were randomly taken from 10 cm above the ground in the Seporghan area, west of Lake Urmia, and transported to the laboratory of the Faculty of Natural Resources of Urmia University and kept at 4 °C. Then, the experiment trays with dimensions of 5x10x15 cm were filled with saline soil (EC= 27 dS m ⁻¹); which was taken from the dried-up beds of the west of Lake Urmia. Afterward, 225 mg of the dominant and native cyanobacteria (<i>Nostoc</i> sp. and <i>Oscillatoria</i> sp.) were identified, extracted, purified, and proliferated from the study was water-inoculated uniformly on the soil surface of each tray (or any experimental unit with an area of 0.15 m ²) with three replications. On the other hand, for control treatment, the distilled water (without cyanobacteria biomass) was sprayed on the soil. After 120 days, the important indicators of the soil biocrust, such as the chlorophyll-a content, polysaccharide concentration, and activity indicators of L and a components were measured to evaluate the cyanobacteria biocrusting capability. Statistical analysis of data was done in SPSS 23 software.
	Results: The results showed that the inoculation of cyanobacteria affected the biocrust development in a high saline soil; in such a way that the cyanobacteria led to a 53.92% increase in soil chlorophyll-a compared to the control treatment. The L and a in the inoculated treatment also decreased by 21.80% and increased by 73.35%, respectively, in compared to the control, these results show the change in soil surface color to darkening and green due to the increases of cyanobacteria biomass. The L and a values confirmed the growth and activity of cyanobacteria in saline soils.

Conclusion: Finally, we found that cyanobacteria can grow in high-saline soils, and it is possible to propose the inoculation of cyanobacteria as a bio-based strategy. This approach is known in line with the soil conservation goals in the biocrust formation of saline soils to prevent the spread of erosion.

Cite this article: Mumzaei, Azam, Kheirfam, Hossein, Sadeghi, Seyed Hamidreza. 2024. The possibility of establishment of cyanobacterial biocrusts in the saline soil of Lake Urmia bed. *Journal of Water and Soil Conservation*, 31 (1), 113-131.



© The Author(s).

DOI: [10.22069/jwsc.2024.22036.3703](https://doi.org/10.22069/jwsc.2024.22036.3703)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

امکان استقرار زیست پوسته های سیانوباکتریایی در خاک شور بستر دریاچه ارومیه

اعظم مومزایی^۱، حسین خیرفام^{۲*}، سید حمیدرضا صادقی^۳

۱. دانش آموزخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. رایانامه: azammumzai@modares.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: h.kheirfam@urmia.ac.ir
۳. استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. رایانامه: sadeghi@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: شوری خاک یکی از مهم ترین دلایل تخریب خاک در مناطق خشک و نیمه خشک بوده که کاهش پایداری خاکدانه ها، حاصلخیزی خاک و تولیدات گیاهی، انتشار گردوغبار و افزایش فرسایش خاک را در پی دارد. در این بین، تلقیح ریزموجودات خاکزی به ویژه سیانوباکترها با هدف بهبود ویژگی های کمی و کیفی خاک و نیز ویژگی های مؤثر بر مهار فرآیند فرسایش خاک در مدیریت و حفاظت خاک مورد تأیید قرار گرفته است. در صورتی که، تلقیح سیانوباکترها در ایجاد پوسته زیستی در خاک های با شوری زیاد مورد توجه قرار نگرفته است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی امکان استقرار پوسته های زیستی در خاک شور بستر دریاچه از طریق تلقیح سیانوباکترها در شرایط آزمایشگاهی برنامه ریزی شد.
واژه های کلیدی: پلی ساکارید خاک، پوسته زیستی خاک، حفاظت خاک، ریزموجودات خاکزی، کلروفیل خاک	مواد و روش ها: نمونه برداری خاک به صورت تصادفی و از ۱۰ سانتی متری بالای سطح زمین در محدوده سپرغان در غرب حاشیه دریاچه ارومیه در آبان ۱۴۰۱ برداشت و به آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه منتقل و تا قبل از انجام آزمایش ها در دمای چهار درجه سانتی گراد نگهداری شد. سپس سینی های آزمایشی با ابعاد ۱۵×۱۰×۵ سانتی متر با خاک شور (با هدایت الکتریکی ۲۷ دسی زیمنس بر متر) برداشت شده از بسترهای خشک شده غرب دریاچه ارومیه پر شد. سیانوباکترهای بومی غالب از خاک بستر دریاچه جداسازی، خالص سازی، شناسایی (<i>Nostoc sp.</i> و <i>Oscillatoria sp.</i>) و سپس تکثیر شدند. سیانوباکترها با وزن خشک ۲۲۵ میلی گرم به صورت محلول پاشی روی سطح خاک هر سینی (یا هر واحد آزمایشی با مساحت ۰/۱۵ مترمربع) به صورت یکنواخت و در سه تکرار تلقیح شد. از طرفی، در تیمار شاهد نیز اقدام به اسپری آب مقطر (بدون زیست توده سیانوباکترها) با سه تکرار روی سطح سینی ها شد. پس از ۱۲۰ روز، به منظور ارزیابی میزان زیست پوسته سازی سیانوباکترها، شاخص های مهم توسعه پوسته های زیستی خاک مانند غلظت کلروفیل-آ، پلی ساکارید و هم چنین روشنایی رنگ

(L) و طیف رنگی سبز (a) سطح خاک اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS 23 انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تلقیح سیانوباکترها بر توسعه پوسته‌های زیستی خاک با شوری بالا اثرگذار بوده؛ به گونه‌ای که تلقیح سیانوباکترها منجر به افزایش ۵۳/۹۲ درصدی کلروفیل-آ و ۲۴/۰۹ درصدی میزان پلی‌ساکارید در خاک نسبت به تیمار شاهد شد. هم‌چنین شاخص‌های L و a در تیمار تلقیح‌شده نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۲۱/۸۰ درصد کاهش (تیره شدن رنگ سطح خاک) و ۷۳/۳۵ درصد افزایش (سبز شدن سطح خاک به دلیل افزایش تراکم سیانوباکترها) یافت. شاخص‌های L و a، توانایی رشد و فعالیت سیانوباکترها در خاک‌های شور را تأیید کرد.

نتیجه‌گیری: سیانوباکترها توانایی رشد و فعالیت در خاک با شوری زیاد را داشته و می‌توان تلقیح سیانوباکترها را به عنوان راهکاری زیستی و هم‌راستا با اهداف حفاظت خاک در زیست‌پوسته‌سازی خاک‌های شور به منظور جلوگیری از گسترش فرسایش پیشنهاد نمود.

استناد: مومزایی، اعظم، خیرقام، حسین، صادقی، سید حمیدرضا (۱۴۰۳). امکان استقرار زیست‌پوسته‌های سیانوباکتریایی در خاک شور بستر دریاچه ارومیه. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۱(۱)، ۱۳۱-۱۱۳.

DOI: [10.22069/jwsc.2024.22036.3703](https://doi.org/10.22069/jwsc.2024.22036.3703)



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

خاک به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزاء منابع طبیعی و یکی از عناصر چهارگانه حیات بوده که در چند دهه گذشته با افزایش جمعیت و توسعه صنعت با هدف تأمین رفاه و منابع غذایی بشر، در معرض فرسایش خاک^۱ قرار گرفته است. هم‌چنین گسترش عرصه‌های شور به دلیل تغییرات اقلیمی ناشی از گرم شدن کره زمین به واسطه تغییر در میزان بارندگی و افزایش دما به همراه دخالت عوامل انسان ساختی، امری مشهود می‌باشد. براساس برآوردها، حدود ۵۰ درصد از اراضی قابل کشت دنیا تا سال ۲۰۵۰ تحت تأثیر شوری قرار خواهند گرفت (۱، ۲ و ۳). در این بین، ۱۴/۲ درصد از کل مساحت کشور ایران تحت تأثیر شوری خاک قرار دارد که این مقدار معادل ۵۰ درصد از اراضی آبی ایران است (۴ و ۵). بنابراین، با توجه به شرایط موجود، وسعت مذکور در حال گسترش نیز می‌باشد. کاهش حاصلخیزی خاک، رشد گیاهان و تولیدات کشاورزی، آلودگی منابع آب شیرین، کاهش تنوع زیستی و افزایش فرسایش خاک از پیامدهای نامطلوب شور شدن خاک است (۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰).

دریاچه ارومیه بیستمین دریاچه بزرگ و دومین دریاچه فوق اشباع از نمک دنیا بوده (۱۲) که متوسط شوری آن در بلندمدت بین ۱۵۰ تا ۱۷۰ گرم بر لیتر بوده که تشدید روند کاهش روند ورود منابع آب به دریاچه، میزان شوری آن به ۳۵۰ گرم بر لیتر رسید (۱۳). بحران خشک شدن دریاچه ارومیه از مهم‌ترین نمایه‌های ناپایداری و تهدید سلامتی بوم‌سازگان‌ها در ایران می‌باشد (۱۱). بحران خشکی دریاچه ارومیه باعث بروز تبعات محیط‌زیستی و انسانی گسترده‌ای از جمله نمایان شدن بسترهای حاشیه‌ای متشکل از رسوبات ریز و ماسه‌ای ته‌نشین شده رودخانه‌ای و نمک‌های چسبیده به آن‌ها است (۱۴). از طرفی وجود

بادهای فرساینده شمال غرب کشور در فصل‌های خشک سال، باعث انتقال ذرات ماسه و نمک متصل به آن به مناطق مسکونی و کشاورزی اطراف دریاچه شده که تهدید جدی برای جوامع انسانی، گونه‌های گیاهی و جانوری حاشیه دریاچه ارومیه است (۱۵). فرهمند و همکاران (۲۰۲۰) میزان شوری حاشیه شرقی دریاچه ارومیه را بیش از ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر تخمین زده (۱۶) و خیرفام (۲۰۲۲) شوری تمام حاشیه‌ها و بسترهای خشک شده دریاچه ارومیه را بین ۱۵ تا ۵۶ دسی‌زیمنس بر متر تخمین زد (۱۷).

یافته‌های پژوهش‌های پیشین نشان داد که شوری خاک منجر به پراکندگی و تورم ذرات رس و کاهش کربن آلی خاک می‌شود. از این رو، تخریب خاکدانه‌ها و پراکنش آن‌ها در برابر بارندگی و باد آسان‌تر شده و منجر به انسداد سطحی و در نتیجه کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود (۱۸، ۱۹ و ۲۰). هم‌چنین شوری خاک باعث افزایش اسیدیته خاک و درصد سدیم قابل تبادل، کاهش ماده آلی خاک و زیست‌توده میکروبی خاک می‌شود (۲۱). بنابراین با توجه به تأثیر شوری بر فرسایش خاک و پیچیدگی فرآیندهای حاکم بر آن، اتخاذ یک رویکرد مدیریتی و حفاظتی مناسب برای حفظ و تحکیم خاک ضروری است. اقدامات مرسوم مانند استقرار پوشش گیاهی، احداث بادشکن، استفاده از افزودنی‌های زیستی و غیرزیستی از جمله روش‌های حفاظت از سطح خاک و تثبیت ذرات خاک می‌باشد (۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۵). هرچند، این راه‌کارها نیز دارای محدودیت‌های چون اثرگذاری ناپایدار و اثرات سوء محیط زیستی، عدم پوشش تمام سطوح خاک، درصد زنده‌مانی و ماندگاری پایین پوشش گیاهی در زمان‌های اولیه کاشت به سبب تنش‌های محیطی شدید، صرف هزینه و زمان زیاد است (۲۴، ۲۶ و ۲۷).

اخیراً ایجاد پوسته‌های زیستی^۱ به‌ویژه سیانوباکترها^۲ در حفاظت خاک و تثبیت ذرات خاک موردتوجه قرار گرفته است (۱۶ و ۲۸). پوسته‌های زیستی خاک نقش اصلی در تنظیم عملکرد بوم‌سازگان ایفا کرده (۲۹) و تقریباً ۱۷/۹ میلیون کیلومترمربع از مساحت زمین (۱۲/۲ درصد) در سراسر جهان را پوشانده است (۳۰). بااین‌حال، تشکیل پوسته‌های زیستی خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار زمان‌بر (چندین دهه) می‌باشد. ازاین‌رو، پژوهش‌های متعددی در زمینه ایجاد و توسعه سریع پوسته‌های زیستی خاک از طریق تلقیح^۳ گسترده سطحی ریزموجودات خاک‌زی^۴ به‌ویژه سیانوباکترها صورت گرفته است. ایجاد سریع پوسته‌های زیستی بیش‌تر با هدف تعدیل رفتار هیدرولوژیکی خاک (۳۱، ۳۲ و ۳۳)، تثبیت تپه‌های ماسه‌ای (۳۴، ۳۵ و ۳۶)، تثبیت نیتروژن و ترسیب کربن (۱۷ و ۳۷) و احیای پوشش گیاهی (۳۸) انجام شده است. بااین‌حال، توسعه پوسته‌های زیستی از طریق تلقیح سیانوباکترها در خاک‌های شور به‌ویژه در بسترهای خشک‌شده دریاچه‌های آب‌شور کم‌تر موردتوجه و بررسی قرار گرفته است. هرچند، یافته‌های پژوهش‌های پیشین نشان داده است که سیانوباکترها برای آن‌که بتوانند فشار اسمزی حاصل از محیط‌های پرشور را تحمل کنند، دارای مکانیسم‌هایی برای حفظ تعادل اسمزی و فشار تورمی سلول هستند (۳۹ و ۴۰). علاوه بر تثبیت نیتروژن، سیانوباکترها توانایی انحلال فسفات و رهاسازی مواد معدنی برای بهبود حاصلخیزی خاک را داشته، به‌طوری‌که آن‌ها در اصلاح خاک‌های تحت‌تأثیر نمک نقش اساسی دارند (۴۱ و ۴۲). هم‌چنین سیانوباکترها با تثبیت نیتروژن و به‌دلیل توانایی فتوسنتز، قادر به تولید پلی‌ساکاریدهایی^۵

بوده که آن‌ها را در شرایط سخت مانند شوری خاک مقاوم می‌سازد (۴۰ و ۴۳). با افزایش شوری خاک، پاسخ‌های سازشی سیانوباکترها با توجه به نوع سیانوباکترها متفاوت بوده و می‌تواند در فعالیت‌های فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، رشد، تثبیت نیتروژن و نیز ترکیبات زیست‌شیمیایی مانند رنگ‌دانه‌ها مشاهده شود. طی دهه اخیر، استفاده از ریزموجودات خاک‌زی ازجمله باکتری‌ها^۶، سیانوباکترها و قارچ‌ها^۷ به‌عنوان مهندسين و حلقه اول زنجیره زیستی بوم‌سازگان در پوسته‌های زیستی گزارش شده است (۴۴ و ۴۵). در حقیقت، سیانوباکترها با ترشح آنزیم‌ها باعث چسبندگی خاکدانه‌ها و تشکیل ذرات بزرگ‌شده که منجر به پایداری خاکدانه‌ها، کاهش تنش برشی و افزایش آستانه فرسایش‌پذیری خاک، بهبود نفوذپذیری خاک، ظرفیت نگهداشت آب و کاهش رواناب^۸ و هدررفت خاک می‌شوند (۱۶، ۲۴، ۴۶ و ۴۷).

در راستای پژوهش حاضر، کاکه و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تأثیر پوسته‌های زیستی خاک بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شور در مراتع آلاگل ترکمن‌صحرا (استان گلستان) پرداختند. نتایج نشان داد که خاک‌های با پوشش زیستی منجر به افزایش مقادیر کربن آلی، نیتروژن، فسفر، مس، آهن و نفوذ آب شده و اسیدیته، کربنات کلسیم، سدیم، کلسیم، منیزیم، نسبت جذب سدیم را نسبت به خاک‌های بدون پوسته‌زیستی کاهش دادند (۴۸). خیرفام و اسدزاده (۲۰۲۰) به امکان‌سنجی ایجاد پوسته‌های زیستی با تلقیح سیانوباکترها در بسترهای ماسه‌ای و با شوری حداقل خشک‌شده دریاچه ارومیه پرداختند. تحلیل یافته‌های ایشان نشان داد که تلقیح سیانوباکتریایی از طریق بهبود ویژگی‌های مهم پویایی پوسته زیستی و هم‌چنین مؤثر در پایداری خاک

1- Biological Crusts

2- Cyanobacteria

3- Inoculation

4- Soil Microorganisms

5- Polysaccharide

6- Bacteria

7- Fungi

8- Runoff

برداشت خاک مدنظر قرار گرفت. محل نمونه‌برداری در محدوده سپرغان در غرب دریاچه ارومیه با ارتفاع ۱۲۷۴ متر از سطح دریا و طول جغرافیایی $37^{\circ} 45' 52''$ شرقی و عرض جغرافیایی $37^{\circ} 45' 52''$ شمالی در استان آذربایجان غربی واقع شده است (شکل ۱). بافت خاک منطقه لومی، چگالی ظاهری خاک $1/64$ گرم بر سانتی‌متر مکعب است.

نمونه‌برداری خاک در آبان ۱۴۰۱ به صورت تصادفی از عمق صفر تا پنج سانتی‌متری سطح بستر منطقه انجام شد. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه منتقل و تا قبل از انجام آزمایش‌ها در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (۵۱ و ۵۲). به منظور کشت، جداسازی، خالص‌سازی و شناسایی سیانوباکتری‌ها اقدام به تهیه محیط کشت عمومی CHU10 با ترکیب $0/232$ گرم کلسیم نترات، تتراهیدرات، $0/044$ گرم سدیم متاسیلیکات پنتاهیدرات، $0/025$ گرم منیزیم سولفات هپتاهیدرات، $0/02$ گرم سدیم کربنات، $0/01$ گرم دی‌پتاسیم فسفات، $0/0035$ گرم سیترات آهن و $0/0035$ گرم اسیدسیتریک در یک لیتر آب مقطر شد (۵۲). برای آماده‌سازی نمونه‌های خاک برای کشت نیز نمونه‌های خاک با هاون کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده و به میزان ۱۰ گرم در درون هر پتری‌دیش^۱ با سه تکرار ریخته و ۱۰ میلی‌لیتر از محیط کشت به آن‌ها اضافه شد. تیغک‌های شیشه‌ای^۲ ۲۰ در ۲۰ میلی‌متر نیز در داخل ظرف‌های پتری تعبیه گردید (۱۱). براساس روش‌های استاندارد ارائه‌شده در کلیدهای شناسایی معتبر، شناسایی سیانوباکتری‌ها بر مبنای ویژگی‌های ریخت‌شناسی و با استفاده از میکروسکوپ نوری انجام شد (۵۴ و ۵۵). سپس برای خالص‌سازی جنس‌های انتخاب‌شده *Nostoc sp.* و *Oscillatoria sp.* به روش سری رقت^۳ و بشقاب آگار^۴ در محیط کشت CHU10

ازجمله محتوای کلروفیل-آ، ضخامت پوسته و اتصال بین‌ذره‌ای، به صورت قابل توجهی کارایی تلقیح سیانوباکتری‌ها در تثبیت ماسه‌های روان در بوم‌سازگان‌های نوپدید را افزایش دادند (۳۴). جان و همکاران (۲۰۲۳) پژوهشی برای بهبود ویژگی‌های مرتبط با شوری مصنوعی و کم در خاک با استفاده از سویه‌های مختلف سیانوباکتری‌ها انجام دادند. نتایج ایشان کاهش قابل توجهی در اسیدیته، هدایت الکتریکی خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک و افزایش سطح غلظت کلسیم، منیزیم و تخلخل خاک را نشان داد (۴۹). بنابراین استفاده از ریزموجودات خاک‌زی ازجمله روش‌های زیستی بوده که به دلیل بهبود شاخص‌های مؤثر در پایداری کمی و کیفی خاک، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. با توجه به اهمیت ریزموجودات در حفاظت خاک، پژوهش‌هایی در زمینه پاسخ‌های زیست‌شیمیایی و فیزیولوژیک سیانوباکتری‌ها در تنش با شوری کم خاک انجام شده است (۴۳ و ۵۰)؛ درحالی‌که پاسخ زیستی سیانوباکتری‌ها در ایجاد پوسته زیستی در خاک‌ها با شوری‌های زیاد مورد توجه قرار نگرفته است.

ازاین‌رو، پژوهش حاضر با هدف اندازه‌گیری شاخص‌های نشان‌دهنده میزان توسعه پوسته‌های زیستی ایجادشده پس از فرآیند تلقیح سیانوباکتریایی در مقیاس آزمایشگاهی برنامه‌ریزی شد. نتایج این پژوهش می‌تواند برای مدیریت صحیح و حفاظت خاک در حوزه‌های آبخیز به منظور جلوگیری از گسترش فرسایش در مناطق با خاک‌های شور پیشنهاد شود.

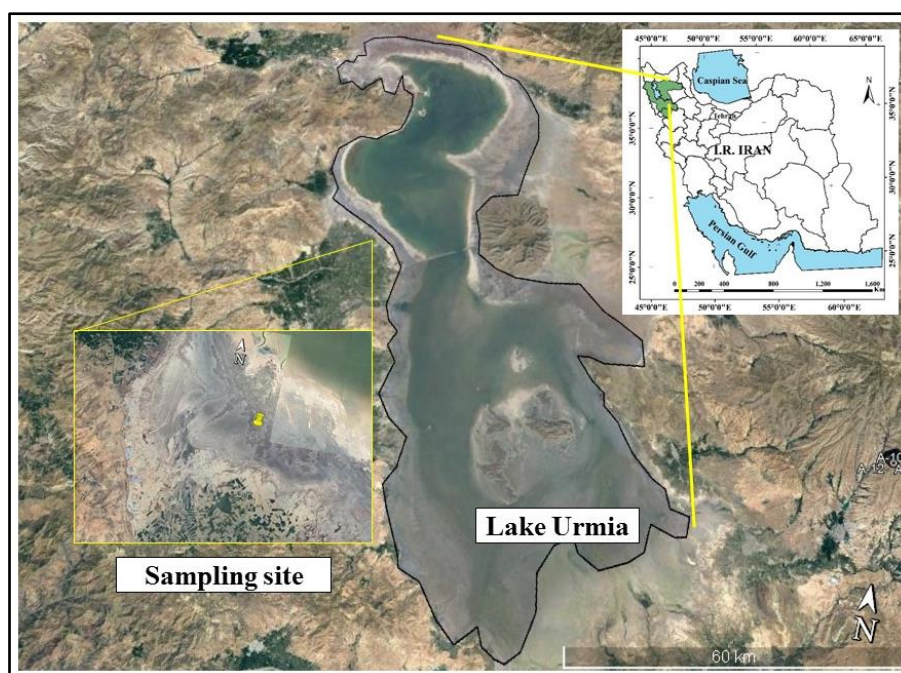
مواد و روش‌ها

برای انجام پژوهش حاضر و به منظور ارزیابی قابلیت زیست‌پوسته‌سازی سیانوباکتری‌ها در خاک‌ها با شوری زیاد، بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه در بخش غربی دریاچه و نزدیک به مناطق کشاورزی، صنعتی و کشاورزی به عنوان منطقه مورد مطالعه برای

1- Petri Dish
2- Microscope slides
3- Serial Dilution Technique
4- Plate Agar

انجام شد (۵۸، ۵۹ و ۶۰). از نمونه‌های خالص آن‌ها و به‌صورت جداگانه به محیط کشت CHU10 منتقل و در شرایط هوادهی و با تنظیم نور ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت خاموشی و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تکثیر شده تا در نهایت حجم مورد نیاز تهیه شود. برای انجام پژوهش حاضر، ۲۲۵ میلی‌گرم گرم از وزن خشک زیست‌توده‌های سیانوباکترهای تکثیرشده (*Nostoc* sp. ۱۱۲/۵ میلی‌گرم از هر کدام از جنس‌های

Oscillatoria sp. و *Nostoc* sp.) به‌ازای هر سینی (واحد آزمایشی)، آماده شد. برای تخمین زیست‌توده سیانوباکترها، یک نمونه ۵۰ میلی‌لیتری از مایه سیانوباکتریایی تکثیرشده، سانتریفیوژ (۸۰۰۰ دور به‌مدت ۱۵ دقیقه) شده تا فاز جامد (سیانوباکترها) از فاز مایع (محیط کشت) جداسازی شده و پس از تخلیه رطوبت آن با استفاده از فریز درایر اقدام به توزین آن‌ها شد (۱۱).



شکل ۱- نمایی از منطقه مورد مطالعه و برداشت خاک در بخش غربی دریاچه ارومیه.

Figure 1. A view of the study area and soil collection in the western part of Lake Urmia.

برای اجرای تیمارهای مطالعاتی رو خاک آزمایش در مقیاس آزمایشگاهی، از سینی‌های فرسایشی کوچک با طول ۱۵ سانتی‌متری، عرض ۱۰ سانتی‌متری و ارتفاع پنج سانتی‌متری (در مجموع با مساحت ۱۵۰ سانتی‌مترمربع) استفاده شد. سینی‌ها با خاک منطقه مورد مطالعه پر شده و کوبیدگی لازم توسط یک تخته چوبی تا رسیدن به جرم ویژه ظاهری منطقه انجام شد (۵۷). تیمارهای مورد مطالعه شامل: خاک شاهد (بدون تلقیح با سیانوباکترها) و خاک تلقیح‌شده با

سیانوباکترها (به‌صورت اسپری سطحی) در سه تکرار، مجموعاً در شش واحد آزمایشی (سینی) اجرا شد. میزان شوری خاک مورد مطالعه به‌صورت طبیعی و مطابق با شوری خاک منطقه برداشت و با هدایت الکتریکی ۲۷ دسی‌زیمنس بر متر بود. لازم به ذکر است که مایه تلقیح سیانوباکتریایی با حجم ۱۵۰ میلی‌لیتر (۲۲۵ میلی‌گرم از وزن خشک زیست‌توده جنس‌های *Nostoc* sp. و *Oscillatoria* sp.) بر سطح خاک هر سینی به‌صورت یکنواخت اسپری شد

و در تیمار شاهد نیز بهمان مقدار آب مقطر روی سطح خاک سینی‌ها اسپری گردید (۵۶ و ۶۱). سپس، سینی‌ها به مدت ۱۲۰ روز به منظور استقرار سیانوباکترهای تلقیح‌شده در شرایط محیطی (اقلیمی) مشابه با منطقه قرار گرفتند (۱۶). در بازه‌های زمانی ۱۰ روز یک‌بار اقدام به رطوبت‌دهی سطحی و به صورت محدود و مه‌پاش شد (۱۰ میلی‌لیتر به‌ازای هر سینی).

پس از گذشت ۱۲۰ روز از اعمال تیمار تلقیح خاک با سیانوباکتری‌ها نمونه‌هایی از سطح خاک برداشت شد و ویژگی‌های مدنظر برای بررسی زیست‌پوسته‌سازی سیانوباکترها اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل-آ، به یک گرم

خاک در لوله آزمایش با حجم ۱۰ میلی‌لیتر، پنج میلی‌لیتر آب مقطر افزوده شد و به مدت ۱۰ دقیقه تحت دور ۸۰۰۰ در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس نمونه‌ها در آون و تحت دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت پنج دقیقه نگهداری شد و در نهایت به مدت ۲۴ ساعت در یخچال با دمای چهار درجه سانتی‌گراد منتقل و نگهداری شدند. سپس توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۶۶۵ نانومتر میزان غلظت محلول قرائت شد. در نهایت با استفاده از رابطه ۱ محتوای کلروفیل-آ نمونه‌ها تخمین زده شد (۶۲). در این رابطه V و L به ترتیب حجم حلال (ml) و طول سیل (cm) است.

$$\text{Chlorophyll} - a = (11.9035 \times A_{6650} \times V) / (g \text{ soil} - 1) \times L \quad (1)$$

در فرآیند اندازه‌گیری غلظت پلی‌ساکاریدها، ابتدا برای تهیه نمونه استاندارد، اقدام به افزودن ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به فالكون‌های حاوی پنج گرم خاک (نمونه‌های شاهد) شد. هم‌چنین، برای تهیه نمونه‌های اصلی، ۵۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک به فالكون‌های حاوی پنج گرم خاک شد. نمونه‌های یادشده به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس به مدت ده دقیقه با سرعت ۸۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. محلول حاصل پس از عبور از صافی به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و سپس دو میلی‌لیتر از محلول حاصل با ترکیب یک میلی‌لیتر محلول فنل پنج درصد به مدت ۳۰ ثانیه هم‌زده شد و ۲۰ دقیقه تا زمان تغییر رنگ محلول در دمای اتاق و داخل حمام آب نگهداری شدند. در نهایت غلظت محلول نهایی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۴۹۰ نانومتر قرائت شد (۶۳ و ۶۴). رنگ سطح خاک با استفاده از دستگاه

رنگ‌سنج دیجیتال^۱ (مدل CR-400) اندازه‌گیری شد (۶۵، ۶۶ و ۶۷). نتایج آزمایش رنگ شامل دو شاخص L^* نماد روشنایی رنگ (از صفر برای سیاه و تا ۱۰۰ برای سفید) و a^* طیف رنگی سبز (مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت) است. قبل از اندازه‌گیری رنگ سطح خاک، دستگاه با استفاده از یک سطح سفید استاندارد ($L=100$) کالیبره شد (۶۸). پس از اندازه‌گیری‌ها و ثبت داده‌ها، از آزمون شاپیرو-ویلک برای بررسی نرمال بودن داده‌ها (۶۹ و ۷۰) و برای همگنی واریانس^۴ داده‌ها از آزمون لون استفاده شد (۷۱). برای مقایسه میانگین شاخص‌های موردبررسی بین تیمار شاهد و تلقیح‌شده با سیانوباکترها، از آزمون t جفتی استفاده شد. تمام تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 23 انجام شد.

1- Chroma Meter

2- Lightness

3- Redness

4- Homogeneity of Variance

نتایج و بحث

پژوهش حاضر به منظور بررسی نرخ توسعه پوستهای زیستی از طریق تلقیح سیانوباکترها در بخشی از بسترهای حاشیه‌ای خشک‌شده دریاچه ارومیه با شوری زیاد (۲۷ دسی‌زیمنس بر متر) در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. برای بررسی اثر سیانوباکترها در توسعه پوستهای زیستی در مقیاس

سینی، مقادیر غلظت کلروفیل-آ، غلظت پلی‌ساکاریدها و شاخص L و a به‌عنوان شاخص‌های اصلی ارزیابی نرخ زیست‌پوسته‌سازی اندازه‌گیری و تحلیل شد. نتایج عددی هر یک از تیمارهای مطالعاتی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های زیستی خاک در تیمار شاهد و تلقیح‌شده با سیانوباکترها.

Table 1. The results of measuring some biological properties of soil in the control and cyanobacteria treatments.

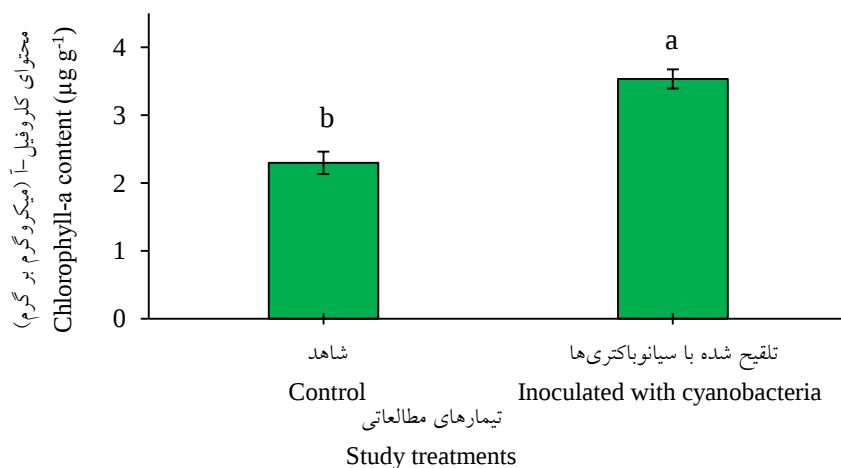
a	L	پلی‌ساکارید Polysaccharide ($\mu\text{g g}^{-1}$)	کلروفیل-آ Chlorophyll-a ($\mu\text{g g}^{-1}$)	تکرار Replication	تیمار Treatment
-1.890	55.980	0.295	2.113	1	
-1.690	50.180	0.375	2.262	2	
-1.790	53.080	0.402	2.515	3	
-1.790	53.080	0.357	2.296	میانگین Mean	شاهد Control
0.082	2.368	0.045	0.166	انحراف معیار Standard deviation	
-4.561	4.461	12.715	7.222	ضریب تغییرات Coefficient of variation	
-2.973	41.567	0.330	3.534	1	
-2.940	42.810	0.440	3.705	2	
-3.397	40.153	0.560	3.363	3	
-3.103	41.510	0.443	3.534	میانگین Mean	تلقیح‌شده با سیانوباکترها Inoculated with cyanobacteria
0.208	1.085	0.094	0.140	انحراف معیار Standard deviation	
-6.698	2.615	21.186	3.951	ضریب تغییرات Coefficient of variation	

پژوهش حاضر به منظور بررسی نرخ توسعه پوستهای زیستی از طریق تلقیح سیانوباکترها در بخشی از بسترهای حاشیه‌ای خشک‌شده دریاچه ارومیه با شوری زیاد (۲۷ دسی‌زیمنس بر متر) در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. برای بررسی اثر سیانوباکترها در توسعه پوستهای زیستی در مقیاس

سینی، مقادیر غلظت کلروفیل-آ، غلظت پلی‌ساکاریدها و شاخص L و a به‌عنوان شاخص‌های اصلی ارزیابی نرخ زیست‌پوسته‌سازی اندازه‌گیری و تحلیل شد. نتایج عددی هر یک از تیمارهای مطالعاتی در جدول ۱ ارائه شده است.

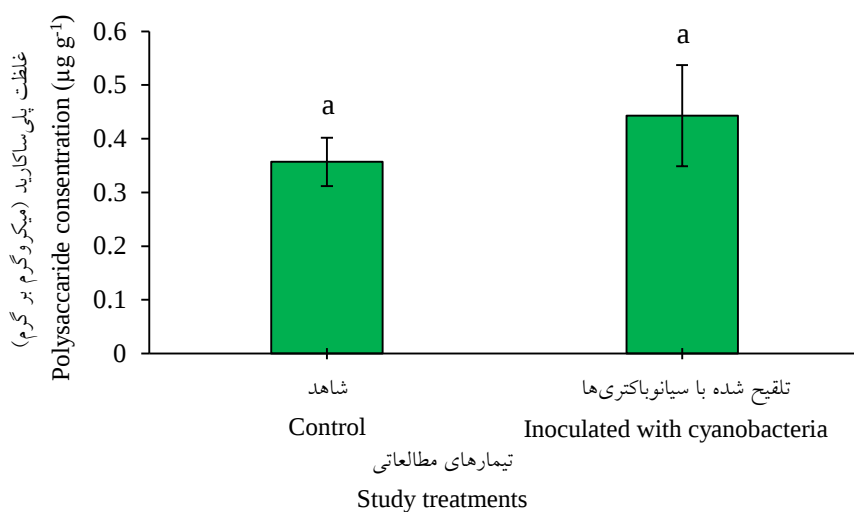
ذرات- ذرات داشته (۱۴) و ترشحات برون سلولی نیز در سطح سلول‌ها تجمع یافته و سیانوباکترها را از اثرات مضر اکسیژن، خشکی و انجماد و شوری محافظت می‌نماید (۷۲). پس از تلقیح سیانوباکترها و استقرار آن‌ها در سطح خاک، مقدار زیادی از مواد پلی ساکاریدی برون سلولی (تا ۶۰ درصد حجم زیست توده) به سطح سلول‌ها ترشح شده تا با ایجاد یک لایه محافظ (۴۳)، مقاومت سلول‌ها در برابر فشار اسمزی حاصل از محیط‌های شور را افزایش دهند.

تحلیل یافته‌ها نشان داد که غلظت پلی ساکراید در خاک تیمار شاهد و تیمار تلقیح شده با سیانوباکترها به ترتیب ۰/۳۵۷ و ۰/۴۴۳ میکروگرم بر گرم بوده که از نظر آماری اختلاف معنی داری بین آن‌ها وجود نداشت ($P > 0.05$; شکل ۳). بخش قابل توجهی از محتوای پلی ساکاریدهای خاک توسط سیانوباکترهای خاک‌زی ترشح و تولید می‌شود (۶۴). از طرفی، ترشحات پلی ساکاریدی سیانوباکترها به دو صورت برون سلولی و درون سلولی بوده (۴۴) که ترشحات برون سلولی نقش اساسی در ایجاد پیوندهای چسبناک



شکل ۲- مقایسه میانگین محتوای کلروفیل-آ (میکروگرم بر گرم) در تیمار شاهد و تلقیح شده با سیانوباکترها.

Figure 2. Comparison of the average concentration of chlorophyll-a (µg g⁻¹) in the control and inoculated with cyanobacteria treatments.



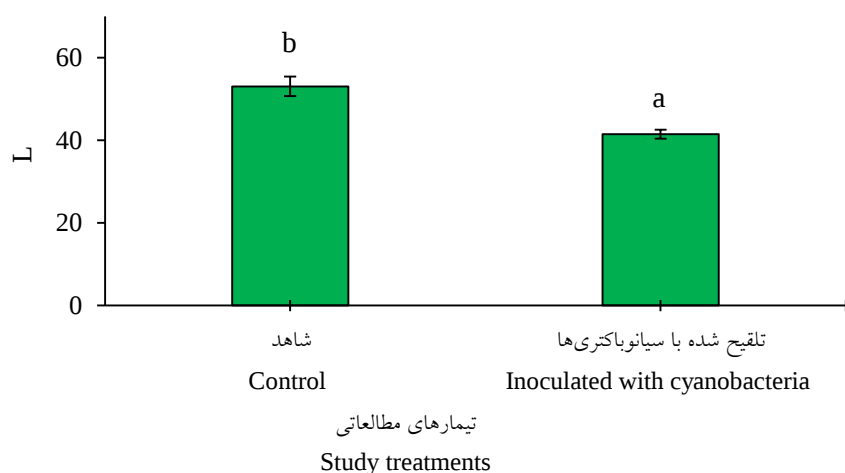
شکل ۳- مقایسه میانگین غلظت پلی ساکراید (میلی گرم بر گرم) در تیمار شاهد و تلقیح شده با سیانوباکترها.

Figure 3. Comparison of the average concentration of polysaccharide (µg g⁻¹) in the control and inoculated with cyanobacteria treatments.

بنابراین در شوری بالای خاک، با توجه به افزایش قابل توجه توسعه کمی سیانوباکترها در لایه سطحی خاک با تلقیح سیانوباکترها، غلظت پلی ساکاریدهای خاک در تیمار تلقیحی برخلاف انتظار به صورت معنی دار افزایش پیدا نکرد (۴۰)؛ که تجزیه پلی ساکاریدهای ترشچی به صورت یک غلاف نازک یا ضخیم یا به صورت لایه موسیلاژی سطح سلول‌های سیانوباکترها در برابر تنش‌های شوری خاک (۷۳) و ایجاد شرایط مطلوب برای رشد سیانوباکترها از دلایل آن می باشد. از طرفی، آگزوپلی ساکاریدهای ترشح شده برون و درون سلولی علاوه بر برخورداری از خاصیت چسبندگی، دارای مقدار قابل توجهی از مواد آلی در حدود ۲۲ درصد وزنی ترشحات خود بوده که امکان تثبیت و پایدارسازی خاک را فراهم می کنند (۷۴). استرئوس و همکاران (۲۰۱۲) نیز معتقدند که پلی ساکاریدهای تجمع یافته در اطراف سیانوباکترها، شرایط اتصال آن‌ها را به ذرات خاک فراهم می کند و از طرفی به محافظت سیانوباکترها در برابر تنش‌های محیطی مانند شوری، خشکی و دمایی منجر می شود (۷۵).

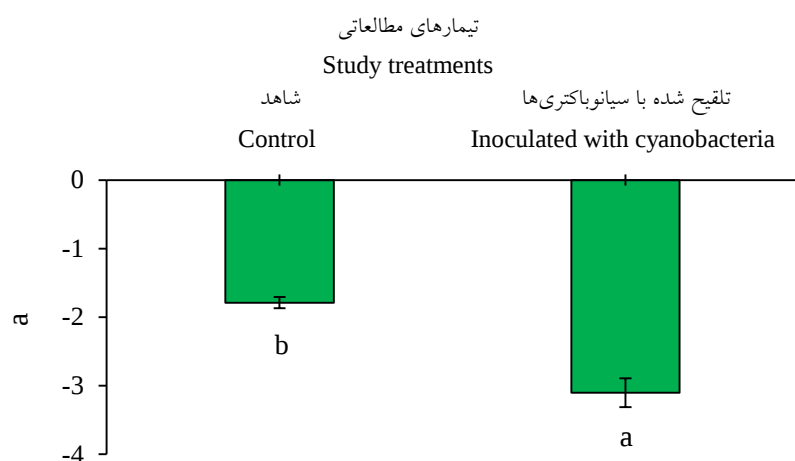
مقدار متوسط L در خاک تیمار شاهد و تیمار تلقیح شده با سیانوباکترها به ترتیب ۵۳/۰۸ و ۴۱/۵۱ بوده که دارای اختلاف معنی داری ($P < ۰/۰۱$) بوده (شکل ۴) و مقدار متوسط a نیز به ترتیب ۱/۷۹- و ۳/۱۰- بوده که در این متغیر نیز بین تیمارهای مطالعاتی اختلاف معنی داری ($P < ۰/۰۱$) مشاهده شد (شکل ۵). شاخص L و a در تیمار تلقیحی نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۲۱/۸۰ درصد کاهش و ۷۳/۳۵ درصد افزایش یافت. یافته‌های پژوهش نشان داد که با توجه به این که مقادیر L در خاک‌های تیره کاهش می یابد (۶۸)، بنابراین، تلقیح سیانوباکترها به خاک به دلیل برخورداری از ساختار سلولی رشته ای و سلول‌های رنگ دانه ای (۱۱)، منجر به افزایش تیرگی سطح خاک شده و کاهش حدود ۲۲ درصدی شاخص

L در تیمار تلقیحی نسبت به شاهد نیز تأییدکننده این یافته است. افزایش ترشحات درون سلولی و افزایش ماده آلی در سطح سلول‌های سیانوباکتریایی نیز می تواند یکی از دلایل افزایش تیرگی سطح خاک (کاهش مقادیر شاخص L) در تیمار تلقیحی باشد. مقادیر منفی شاخص a به عنوان نشانگر غلظت رنگ سبز سطح خاک بوده، در تیمار تلقیح سیانوباکترها بیش از ۷۳ درصد بیش تر از تیمار شاهد (بدون تلقیح سیانوباکترها) بوده که نشان دهنده افزایش غلظت رنگ سبز (۶۸) در تیمار تلقیحی و به عبارتی افزایش تعداد و تراکم سلول‌های کلروفیل دار (رنگ سبز) سیانوباکتریایی در سطح خاک بود (۱۴). عدم ثبت و مشاهده مقادیر مثبت شاخص a در سطح خاک تیمارهای مطالعاتی حاکی از عدم مرگ و تحت تنش (شوری) بودن سیانوباکترها در محیط خاک و در نتیجه مقاومت آن‌ها در برابر عوامل نامساعد محیطی (شوری) بود. از این رو، امکان رشد و توان زنده ماندن سیانوباکترهای بومی موجود در خاک‌های شور بسترهای خشک شده دریاچه ارومیه و همچنین سیانوباکترهای تلقیح شده به خاک در شوری زیاد خاک تأیید شد. در این بین، کلمن و استریت (۲۰۲۲) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که سیانوباکترها قادر به زنده ماندن در خاک‌های شور بوده، حتی اگر زیست توده کم تر از خاک شاهد باشد (۷۶). در واقع، بسیاری از سیانوباکترها مکانیسم‌های پاسخی متنوعی در برابر غلظت بالای نمک خاک توسعه داده اند. با این حال، این ممکن است به گونه سیانوباکتر و غلظت نمک بستگی داشته باشد. سینگ و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که گونه *Nostoc Calicicola* رشد و متابولیسم مهار بیشتری در خاک‌های شور نسبت به غلظت‌های کم نمک طعام نشان داد (۷۷) و کومار و همکاران (۲۰۱۵) نیز همین موضوع را در مورد گونه *Nostoc Muscorum* یافتند (۷۸).



شکل ۴- مقایسه میانگین شاخص L در تیمار شاهد و تلقیح‌شده با سیانوباکترها.

Figure 4. Comparison of the average of L in the control and cyanobacteria inoculated treatments.



شکل ۵- مقایسه میانگین شاخص a در تیمار شاهد و تلقیح‌شده با سیانوباکترها.

Figure 5. Comparison of the average of a in the control and cyanobacteria inoculated treatment.

نتیجه‌گیری کلی

موفقیت‌آمیز و توسعه کمی و کیفی سیانوباکترهای تلقیح‌شده به خاک با شوری زیاد و در نتیجه قابلیت بالای آن در زیست‌پوسته‌سازی در خاک‌های شور بود. در این بین، برخورداری سیانوباکترهای خاک‌زی از ویژگی‌های منحصربه‌فرد مانند برخورداری از مکانیسم مقاومت در برابر شرایط محیطی سخت به‌ویژه شوری و خشکی، توانایی تثبیت کربن و نیتروژن و پایدارسازی خاک تأیید شده است. از این رو، کاربرد رویکرد تلقیح سیانوباکترها در توسعه پوسته‌های

خشک شدن دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر شوره‌زارهای وسیعی را در سراسر منطقه به وجود آورده که توسعه پوسته‌های زیستی در این بسترها از طریق تلقیح سطحی سیانوباکترهای خاک‌زی مطرح‌شده که قابلیت آن‌ها در برابر شوری این بسترها در این پژوهش بررسی شد. یافته‌های پژوهش حاضر افزایش محسوس محتوای کلروفیل-آ و مقادیر شاخص a و کاهش مقادیر شاخص L، بیانگر استقرار

مسئول قابل دسترسی می‌باشند. داده‌های این پژوهش از آبان ۱۴۰۱ تا خرداد ۱۴۰۲ در آزمایشگاه‌های دانشگاه ارومیه اندازه‌گیری شده است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این متن به شکل ذیل است: نویسنده اول: داده‌برداری، آماده‌سازی داده‌ها، انجام محاسبات، مشارکت در آنالیزها، تهیه پیش‌نویس مقاله، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله. نویسنده دوم: طرح تحقیق و روش‌شناسی، آماده‌سازی شرایط آزمایش و پژوهش، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله، مشارکت در آنالیزها. نویسنده سوم: طرح تحقیق و روش‌شناسی، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها است.

حمایت مالی

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی دوره فرصت مطالعاتی نویسنده اول مقاله انجام شد و با حمایت مالی سازمان امور دانشجویان انجام شده است.

زیستی در مناطق با شرایط نامساعد محیطی و خاکی که سایر راهکارهای مرسوم قابلیت اجرای پایینی دارند، می‌تواند امکان حفظ، احیاء و ارتقاء شرایط اکولوژیکی را فراهم سازد. هم‌چنین، با توجه به آسیب‌پذیری اراضی شور در برابر تغییرات جهانی و محدودیت‌های بهره‌وری در این مناطق، به نظر می‌رسد استراتژی مبتنی بر تلقیح سیانوباکترها یک رویکرد قابل اطمینان و دوستدار محیط‌زیست برای ثبات خاک‌های شور باشد. درنهایت، انتظار می‌رود با انجام پژوهش‌های تکمیلی، امکان کاربرد فرآیند تلقیح سیانوباکترها در خاک‌های شور، حفاظت از منابع طبیعی و خاک در راستای دستیابی به توسعه پایدار جهانی محقق شود.

تقدیر و تشکر

این پژوهش در قالب یک پروژه پژوهشی دوره فرصت مطالعاتی در دانشگاه ارومیه صورت گرفته است. نویسندگان از سازمان امور دانشجویان به‌خاطر تأمین هزینه‌های پژوهش کمال تشکر را دارند. نویسندگان از دانشگاه ارومیه برای فراهم‌سازی تجهیزات آزمایشگاهی و تسهیل انجام این پژوهش و هم‌چنین، از زحمات خانم مهندس هانیه فرامرزی دانشجوی دکتری علوم خاک دانشگاه ارومیه نیز قدردانی می‌نمایند.

داده‌ها، اطلاعات و دسترسی

داده‌های این پژوهش مربوط به طرح پژوهشی دوره فرصت مطالعاتی بوده که با مکاتبه با نویسنده

منابع

1. Rezvani Moghaddam, P., & Koocheki, A. (2001). Research history on salt affected lands of Iran: Present and future prospects-Halophytic ecosystem. International Symposium on Prospects of Saline Agriculture in the GCC countries, Dubai, UAE. Pp: 83-95.
2. Qadir, M., Quillerou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R. J., Drechsel, P., & Noble, A. D. (2014). Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Natural Resources Forum*, 38 (4), 282-295.
3. Litalien, A., & Zeeb, B. (2020). Curing the earth: A review of anthropogenic soil salinization and plant-based strategies for sustainable mitigation. *Science of the Total Environment*, 698, 134235.
4. Emadi, M., & Baghernejad, M. (2014). Comparison of spatial interpolation techniques for mapping soil pH and salinity in agricultural coastal areas, Northern Iran, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60 (9), 1315-1327.
5. Fathi, M., & Rezaei, M. (2013). Soil salinity in the central arid region of Iran: Esfahan province, Development in soil salinity assessment and reclamation, Innovative thinking and use of marginal soil and water resources in irrigated agriculture, Pp: 141-153.
6. Azhirabi, R., Kamkar, B., & Abdi, O. (2015). Comparison of different indices adopted from Landsat images to map soil salinity the army field of Gorgan. *Soil Management and Sustainable Production*, 5 (1), 173-186. [In Persian]
7. Harmon, J. P., & Daigh, A. L. M. (2017). Attempting to predict the plant-mediated trophic effects of soil salinity: A mechanistic approach to supplementing insufficient information. *Food Webs*, 13, 67-79.
8. Cañedo-Argüelles, M., Kefford, B., & Schäfer, R. (2018). Salt in freshwaters: causes, effects and prospects-introduction to the theme issue. Philosophical transactions of the royal society B, 374 (1764), 20180002.
9. Majeed, A., & Muhammad, Z. (2019). Salinity: a major agricultural problem-causes, impacts on crop productivity and management strategies. Plant abiotic stress tolerance: Agronomic, molecular and biotechnological approaches, 83-99.
10. Butcher, K., Wick, A. F., DeSutter, T., Chatterjee, A., & Harmon, J. (2016). Soil salinity: A threat to global food security. *Agronomy Journal*, 108 (6), 2189-2200.
11. Kheirfam, H., & Roohi, M. (2020). Accelerating the formation of biological soil crusts in the newly dried-up lakebeds using the inoculation-based technique. *Science of the Total Environment*, 706, 136036.
12. Alesheikh, A. A., Ghorbanali, A., & Nouri, N. (2007). Coastline change detection using remote sensing. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 4 (1), 61-66.
13. Aghakouchak, A., Norouzi, H., Madani, K., Mirchi, A., Azarderakhsh, M., Nazemi, A., Nasrollahi, N., Farahmand, A., Mehran, A., & Hasanazadeh, E. (2014). Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: Call for action. *Journal of Great Lakes Research*, 41 (1), 307-311.
14. Kheirfam, H., & Asadzadeh, F. (2020). Stabilizing sand from dried-up lakebeds against wind erosion by accelerating biological soil crust development. *European Journal of Soil Biology*, 98, 103189.
15. Kheirfam, H. (2020). Increasing soil potential for carbon sequestration using microbes from biological soil crusts. *Journal of Arid Environments*, 172, 104022.
16. Farahmand, N., Sadeghi, V., & Farahmand, Sh. (2020). Estimating soil salinity in the dried lake bed of Urmia Lake using optical Sentinel-2B images and multivariate linear regression models. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 11 (4), 101-120. [In Persian]
17. Kheirfam, H. (2022). Spatial prioritization of wind-erosion-prone areas in the dried-up beds of Lake Urmia; using field sampling and in-vitro measurement. *Catena*, 217, 106507.

18. Khalili Moghadam, B., Ghorbani, Z., & Shahbazi, E. (2014). Experimental study of soil salinity and alkalinity, slope and rainfall intensity effect on splash erosion rate in selected soils from Khuzestan province. (*Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*), *Water and Soil Science*, 18 (69), 117-129. [In Persian]
19. Khoshshima, M., & Noori, H. (2020). Effect of drip tape irrigation with saline water on some chemical properties of soil. *Water Research in Agriculture*, 33 (4), 565-582. [In Persian]
20. Zhang, W. W., Chong, W. A. N. G., Rui, X. U. E., & Wang, L. J. (2019). Effects of salinity on the soil microbial community and soil fertility. *Integrative Agriculture*, 18 (6), 1360-1368.
21. Jourgholami, M., & Etehad 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.
22. Sadeghi, S. H. R., Ghavimi Panaha, M. H., Younesib, H., & Kheirfam, H. (2018). Ameliorating some quality properties of an erosion-prone soil using biochar produced from dairy wastewater sludge. *Catena*, 171, 193-198.
23. Glab, T., Zabinski, A., Sadowska, U., Gondek, K., Kopec, M., Mierzwa-Herszteck, 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.
24. Kheirfam, H., Sadeghi, S. H. R., & Zarei Darki, B. (2020). Soil conservation in an abandoned agricultural rain-fed land through inoculation of cyanobacteria. *Catena*, 187.
25. Taghavi Parsa, M. H., & Ahmadi, S. (2022). Investigation of the effect of natural windbreaks on flowing sandy soils and determining the type of optimal windbreak using the method (DBA) (Case study of Sistan and Baluchestan province), *Journal of Civil Engineering*, 54 (9), 3603-3616. [In Persian]
26. Rossi, F., Olguin, 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.
27. Aller, D., Rathke, S., Laird, D., Cruse, R., & Hatfield, J. (2017). Impacts of fresh and aged biochars on plant available water and water use efficiency. *Geoderma*, 307, 114-121.
28. Chamizo, S., Adessi, A., Certini, G., & De Philippis, R. (2020). Cyanobacteria inoculation as a potential tool for stabilization of burned soils. *Restoration Ecology*, 28, 106-114.
29. Qi, L., & Yang, J. (2017). Microbial community composition regulates SOC decomposition response to forest conversion in a Chinese temperate forest. *Ecological Research*, 32, 163-172.
30. Bowker, M. A., Reed, S. C., Maestre, F. T., & Eldridge, D. J. (2018). Biocrusts: The living skin of the earth. *Plant Soil*, 429, 1-7.
31. Colica, G., Li, H., Rossi, F., Li, D., Liu, Y., & De Philippis, R. (2014). Microbial secreted exopolysaccharides affect the hydrological behavior of induced biological soil crusts in desert sandy soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 68, 62-70.
32. Asghari, S., Zeinalzadeh, K., Kheirfam, H., & Azar, B. H. (2022). The impact of cyanobacteria inoculation on soil hydraulic properties at the lab-scale experiment. *Agricultural Water Management*, 272, 107865.
33. Jafarpoor, A., Sadeghi, S. H. R., Zarei Darki, B., & Homaei, M. (2022). Changes in hydrologic components from a mid-sized plots induced by rill erosion due to cyanobacterization, *Soil and Water Conservation Research*, 10 (1), 143-148.
34. Kheirfam, H., & Asadzadeh, F. (2020). Creation and restoration of biocrusts in the degraded ecosystems by cyanobacterization technology. *Degradation and Rehabilitation of Natural Land*, 1 (1), 132-138. [In Persian]

35. Visser, S., Keesstra, S., Maas, G., & De Cleen., M. (2019). Soil as a basis to create enabling conditions for transitions towards sustainable land management as a key to achieve the SDGs by 2030. *Sustainability*, 11 (23), 6792.
36. Kheirfam, H., & Roohi, M. (2022). Reduction of the wind erosion potential in dried-up lakebeds using artificial biocrusts. *Frontiers of Earth Science*, 16 (4), 865-875.
37. Munoz-Rojas, M., Romand, J. R., Roncero-Ramos, B., Erickson, T. E., Merritt, D. J., Aguila-Carricondo, P., & Cantond, Y. (2018). Cyanobacteria inoculation enhances carbon sequestration in soil substrates used in dryland restoration. *Science of the Total Environment*, 636, 1149-1154.
38. Perera, I., Subashchandrabose, S. R., Venkateswarlu, K., Naidu, R., & Megharaj, M. (2018). Consortia of cyanobacteria/microalgae and bacteria in desert soils: an underexplored microbiota. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102, 7351-7363.
39. Oren, A. (2015). Cyanobacteria in hypersaline environments: biodiversity and physiological properties. *Biodiversity and Conservation*. 24, 781-798.
40. Li, H., Zhao, Q., & Huang, H. (2019). Current states and challenges of salt-affected soil remediation by cyanobacteria. *Science of the Total Environment*, 669, 258-272.
41. Singh, S. (2014). A review on possible elicitor molecules of cyanobacteria: their role in improving plant growth and providing tolerance against biotic or abiotic stress. *Journal of applied microbiology*, 117 (5), 1221-1244.
42. Roman, J. R., Roncero-Ramos, B., Chamizo, S., Rodriguez-Caballero, E., & Canton, Y. (2018). Restoring soil functions by means of cyanobacteria inoculation: importance of soil conditions and species selection. *Land Degradation and Development*, 29 (9), 3184-3193.
43. Asadi, M., Dehghani, G., Zarrini, G., & Soltani, N. (2011). Taxonomic survey of cyanobacteria of Urmia Lake (NW Iran) and their adjacent ecosystems based on morphological and molecular methods. *Rostaniha*, 12 (2), 153-163. [In Persian]
44. 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.
45. Becerra-Absalón, I., Munoz-Martín, M. A., Montejano, G., & Mateo, P. (2019). Dierences in the cyanobacterial community composition of biocrusts from the drylands of central Mexico. Are there endemic species? *Frontiers in Microbiology*, 10, 937.
46. 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), 1-24.
47. Sadeghi, S. H. R., Jafarpour, A., Homaei, M., & Zarei Darki, B. (2023). Changeability of rill erosion properties due to microorganism inoculation. *Catena*, 223, 106956.
48. Kakeh, J., Gorji, M., Sohrabi, M., Tavili, A., & Pourbabaee, A. A. (2018). Effects of biological soil crusts on some physicochemical characteristics of rangeland soils of Alagol, Turkmen Sahra, NE Iran. *Soil and Tillage Research*, 181, 152-159.
49. Jan, Z., Ali, S., Rahim, H. U., Akbar, W. A., Sehrish, A. K., Taj, A., Rahim, T., & Iqbal, M. (2023). Cyanobacterial strains reclaimed induced-salinity stress attributes and improved the physicochemical properties of induced-saline soil. *Acta Ecologica Sinica*, 43 (6), 1074-1079. 50.
50. Rocha, F., Esteban Lucas-Borja, M., Pereira, P., & Muñoz-Rojas, M. (2020). Cyanobacteria as a nature-based biotechnological tool for restoring salt-affected soils. *Agronomy*, 10 (9), 1321.
51. Chamizo, S., Canton, Y., Miralles, I., & Domingo, F. (2012). Biological soil crust development affects physicochemical

- characteristics of soil surface in semiarid ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 49 (1), 96-105.
52. Barger, N. N., Castle, S. C., & Dean, G. N. (2013). Denitrification from nitrogenfixing biologically crusted soils in a cool desert environment, southeast Utah, USA. *Ecological Processes*, 2 (1), 1-9.
53. Anderson, R. A. (2005). *Algal Culturing Techniques*. Elsevier Academic Press, London, 496p.
54. Bergey, D. H., Buchanan, R. E., & Gibbons, N. E. (1974). *Bergeys manual of determinative bacteriology*. Williams and Wilkins Company, Baltimor, Maryland, 1246 p.
55. Komarek, J., & Anagnostidis, K. (1999). Süßwasserflora von mitteleuropa Bd. 19/1: cyanoprokaryota: Teil/Part 1: *Chroococcales*. Spektrum Akademischer Verlag, In German, 548p.
56. Kheirfam, H., Sadeghi, S. H. R., Homaei, M., & Zarei-Darki, B. (2017b). Quality improvement of an erosion-prone soil through microbial enrichment. *Soil and Tillage Research*, 165, 230-238.
57. Kheirfam, H., Sadeghi, S. H. R., Zarei Darki, B., & Homaei, M. (2017a). Controlling rainfall-induced soil loss from small experimental plots through inoculation of bacteria and cyanobacteria. *Catena*, 152, 40-46.
58. Sadeghi, S. H. R., Najafinejad, A., Gharemahmudli, S., Zarei Darki, B., Behbahani, A. M., & Kheirfam, H. (2021). Reduction in soil loss caused by a freeze-thaw cycle through inoculation of endemic soil microorganisms. *Applied Soil Ecology*, 157, 103770.
59. Kumar, D., Kviderova, J., Kastanek, P., & Lukavsky, J. (2017). The green alga *Dictyosphaerium chlorelloides* biomass and polysaccharides production determined using cultivation in crossed gradients of temperature and light. *Engineering in Life Sciences*, 17 (9), 1030-1038.
60. Zarei Darki, B., Seyfabadi, J., & Fayazi, S. (2017). Effect of nutrients on total lipid content and fatty acids profile of *Scenedesmus obliquus*. *Agriculture, Agribusiness and Biotechnology*, 60, e17160304.
61. Tiwari, O. N., Bhunia, B., Mondal, A., Gopikrishna, K., & Indrama, T. (2019). System metabolic engineering of exopolysaccharide-producing cyanobacteria in soil rehabilitation by inducing the formation of biological soil crusts: A review. *Cleaner Production*, 211, 70-82.
62. Ronen, R., & Galun, M. (1984). Pigment extraction from lichens with dimethyl sulfoxide (DMSO) and estimation of chlorophyll degradation. *Environmental and experimental botany*, 24 (3), 239-245.
63. Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28 (3), 350-356.
64. Mugnai, G., Rossi, F., Felde, V. J. M. N. L., Colesie, C., Büdel, B., Peth, S., Kaplan, A., & De Philippis, R. (2018). Development of the polysaccharidic matrix in biocrusts induced by a cyanobacterium inoculated in sand microcosms. *Biology and Fertility of Soils*, 54 (1), 27-40.
65. Shanbepour Bandari, F., Rastegar, S., & Ghasemi, M. (2018). The effect of preharvest application of calcium chloride, putrescine and salicylic acid on some quality and quantity characters of Hindi ber (*Ziziphus mauritiana khormae*). *Journal of Horticultural Science*, 32 (2), 227-237. [In Persian]
66. Moritsuka, N., Kawamura, K., Tsujimoto, Y., Rabenarivo, M., Andriamananjara, A., Rakotoson, T., & Razafimbelo, T. (2019). Comparison of visual and instrumental measurements of soil color with different low-cost colorimeters. *Soil Science and Plant Nutrition*, 65 (6), 605-615.
67. Turk, J. K., & Young, R. A. (2020). Field conditions and the accuracy of visually determined munsell soil color. *Soil Science Society of America Journal*, 84 (1), 163-169.
68. Hassanzadeh, Z., & Hassanpour, H. (2019). Evaluation of fruit physical and color characterizations of some Oleaster

- (*Elaeagnus angustifolia* L.) genotypes in Northwest of Iran. *Horticultural Science*, 33 (2), 273-285. [In Persian]
69. Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52 (3/4), 591-611.
 70. Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. *Journal of statistical modeling and analytics*, 2 (1), 21-33.
 71. Gupta, A., Mishra, P., Pandey, C., Singh, U., Sahu, C., & Keshri, A. (2019). Descriptive statistics and normality tests for statistical data. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 22 (1), 67-72.
 72. Verma, E., Chakraborty, S., Tiwari, B., Singh, S., & Mishra, A. K. (2018). Alleviation of NaCl toxicity in the cyanobacterium *Synechococcus* sp. PCC 7942 by exogenous calcium supplementation. *Journal of Applied Phycology*, 30, 1465-1482.
 73. Chug, R., & Mathur, S. (2013). Extracellular polymeric substances from cyanobacteria: characteristics, isolation and biotechnological applications-a review. *International Journal of Advance Engineering Sciences and Technologies*, 3, 49-53.
 74. Chamizo, S., Mugnai, G., Rossi, F. R., Certini, G., & De Philippis, R. (2018). Cyanobacteria inoculation improves soil stability and fertility on different textured soils: Gaining insights for applicability in soil restoration. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 49.
 75. 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.
 76. Kollmen, J., & Strieth, D. (2022). The beneficial effects of cyanobacterial co-culture on plant growth. *Life*, 12 (2), 223.
 77. Singh, V., Pandey, K. D., Mesapogu, S., & Singh, D. V. (2015). Influence of NaCl on photosynthesis and nitrogen metabolism of cyanobacterium *Nostoc Caldicola*. *Applied biochemistry and microbiology*, 51, 720-725.
 78. Kumar, J., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2015). NaCl-induced physiological and biochemical changes in two cyanobacteria *Nostoc Muscorum* and *Phormidium Foveolarum* acclimatized to different photosynthetically active radiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 151, 221-232.

