Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

*Journal of Water and Soil Conservation*

Print ISSN: 2322-2069
Online ISSN: 2322-2794

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

**Azam Mumzaei[1], Hossein Kheirfam[*2], Seyed Hamidreza Sadeghi[3]**

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**

**Article type:**
Research Full Paper

**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

**ABSTRACT**

**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.

**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 (*Nostoc* sp. and *Oscillatoria* 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
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۶۹
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۹٤

# امکان استقرار زیست‌پوسته‌های سیانوباکتریایی در خاک شور بستر دریاچه ارومیه

اعظم مومزایی[۱]، حسین خیرفام*[۲]، سید حمیدرضا صادقی[۳]

۱. دانش‌آموخته 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**

**نوع مقاله:**
مقاله کامل علمی- پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۰۲/۱۰/۰۷
**تاریخ ویرایش:** ۰۲/۱۱/۱۲
**تاریخ پذیرش:** ۰۲/۱۲/۱۹

**واژه‌های کلیدی:**
پلی‌ساکارید خاک،
پوسته زیستی خاک،
حفاظت خاک،
ریزموجودات خاک‌زی،
کلروفیل خاک

**چکیده**

**سابقه و هدف:** شوری خاک یکی از مهم‌ترین دلایل تخریب خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده که کاهش پایداری خاکدانه‌ها، حاصلخیزی خاک و تولیدات گیاهی، انتشار گردوغبار و افزایش فرسایش خاک را در پی دارد. دراین‌بین، تلقیح ریزموجودات خاک‌زی به‌ویژه سیانوباکترها با هدف بهبود ویژگی‌های کمّی و کیفی خاک و نیز ویژگی‌های مؤثر بر مهار فرآیند فرسایش خاک در مدیریت و حفاظت خاک مورد تأیید قرار گرفته است. درصورتی‌که، تلقیح سیانوباکترها در ایجاد پوسته زیستی در خاک‌های با شوری زیاد موردتوجه قرار نگرفته است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی امکان استقرار پوسته‌های زیستی در خاک شور بستر دریاچه از طریق تلقیح سیانوباکترها در شرایط آزمایشگاهی برنامه‌ریزی شد.

**مواد و روش‌ها:** نمونه‌برداری خاک به‌صورت تصادفی و از ۱۰ سانتی‌متری بالای سطح زمین در محدوده سپرغان در غرب حاشیه دریاچه ارومیه در آبان ۱٤۰۱ برداشت و به آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه منتقل و تا قبل از انجام آزمایش‌ها در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شد. سپس سینی‌های آزمایشی با ابعاد ۵×۱۰×۱۵ سانتی‌متر با خاک شور (با هدایت الکتریکی ۲۷ دسی‌زیمنس بر متر) برداشت‌شده از بسترهای خشک‌شده غرب دریاچه ارومیه پر شد. سیانوباکترهای بومی غالب از خاک بستر دریاچه جداسازی، خالص‌سازی، شناسایی (*Nostoc* sp. و *Oscillatoria* sp.) و سپس تکثیر شدند. سیانوباکترها با وزن خشک ۲۲۵ میلی‌گرم به‌صورت محلول‌پاشی روی سطح خاک هر سینی (یا هر واحد آزمایشی با مساحت ۰/۱۵ مترمربع) به‌صورت یکنواخت و در سه تکرار تلقیح شد. از طرفی، در تیمار شاهد نیز اقدام به اسپری آب مقطر (بدون زیست‌توده سیانوباکترها) با سه تکرار روی سطح سینی‌ها شد. پس از ۱۲۰ روز، به‌منظور ارزیابی میزان زیست‌پوسته‌سازی سیانوباکترها، شاخص‌های مهم توسعه پوسته‌های‌زیستی خاک مانند غلظت کلروفیل-آ، پلی‌ساکارید و هم‌چنین روشنایی رنگ

(L) و طیف رنگی سبز (a) سطح خاک اندازه‌گیری شد. تجزیه‌وتحلیل‌های 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؛ به‌گونه‌ای که تلقیح سیانوباکترها منجر به افزایش ۵۳/۹۲ درصدی کلروفیل-آ و ۲٤/۰۹ درصدی میزان پلی‌ساکارید در خاک نسبت به تیمار شاهد شد. هم‌چنین شاخص‌های L و a در تیمار تلقیح‌شده نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۲۱/۸۰ درصد کاهش (تیره شدن رنگ سطح خاک) و ۷۳/۳۵ درصد افزایش (سبز شدن سطح خاک به‌دلیل 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 به‌عنوان راهکاری زیستی و هم‌راستا با اهداف حفاظت خاک در زیست‌پوسته‌سازی خاک‌های شور به‌منظور جلوگیری از گسترش فرسایش پیشنهاد نمود.

**استناد**: مومزایی، اعظم، خیرفام، 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

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

## مقدمه

خاک به‌عنوان 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[1] قرار گرفته است. هم‌چنین گسترش عرصه‌های شور به‌دلیل تغییرات اقلیمی ناشی از گرم شدن کره زمین به‌واسطه تغییر در میزان بارندگی و افزایش دما به همراه دخالت عوامل انسان ساختی، امری مشهود می‌باشد. براساس برآوردها، حدود ۵۰ درصد از اراضی قابل‌کشت دنیا تا سال ۲۰۵۰ تحت‌تأثیر شوری قرار خواهند گرفت (۱، ۲ و ۳). دراین‌بین، ۱٤/۲ درصد از کل مساحت کشور ایران تحت‌تأثیر شوری خاک قرار دارد که این مقدار معادل ۵۰ درصد از اراضی آبی ایران است (٤ 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 (٦، 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 تا۱۷۰ 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 ازجمله نمایان شدن بسترهای حاشیه‌ای متشکل از رسوبات ریز و ماسه‌ای ته‌نشین‌شده رودخانه‌ای و نمک‌های چسبیده به آن‌ها است (١٤). از طرفی وجود بادهای فرساینده شمال‌غرب کشور در فصل‌های خشک‌سال، 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 ٦۰ دسی‌زیمنس بر متر تخمین زده (١٦) و خیرفام (۲۰۲۲) شوری تمام حاشیه‌ها و بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه را بین ۱۵ تا ٥٦ 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. ازاین‌رو، تخریب خاکدانه‌ها و پراکنش آن‌ها در برابر بارندگی و باد آسان‌تر شده و منجر به انسداد سطحی و درنتیجه کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود (۱۸، ۱۹ و ۲۰). هم‌چنین شوری خاک باعث افزایش اسیدیته خاک و درصد سدیم قابل‌تبادل، 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 ازجمله روش‌های حفاظت از سطح خاک و تثبیت ذرات خاک می‌باشد (۲۱، ۲۲، ۲۳، ٢٤ 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 (٢٤، ٢٦ و ۲۷).

1- Soil Erosion

اخیراً ایجاد پوسته‌های زیستی[1] به‌ویژه سیانوباکترها[2] 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[3] گسترده سطحی ریزموجودات خاک‌زی[4] به‌ویژه سیانوباکترها صورت گرفته است. ایجاد سریع پوسته‌های زیستی بیش‌تر با هدف تعدیل رفتار هیدرولوژیکی خاک (۳۱، ۳۲ و ۳۳)، تثبیت تپه‌های ماسه‌ای (۳٤، ۳۵ و ۳٦)، 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 ٤۰). 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 (٤۱ و ٤۲). هم‌چنین سیانوباکترها با تثبیت نیتروژن و به‌دلیل توانایی فتوسنتز، قادر به تولید پلی‌ساکاریدهایی[5] بوده که آن‌ها را در شرایط سخت مانند شوری خاک مقاوم می‌سازد (٤۰ و ٤۳). 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[6]، سیانوباکترها و قارچ‌ها[7] به‌عنوان مهندسین و حلقه اول زنجیره زیستی بوم‌سازگان در پوسته‌های زیستی گزارش شده است (٤٤ و ٤۵). 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[8] و هدررفت خاک می‌شوند (۱٦، ۲٤، ٤٦ و ٤۷).

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 (٤۸). 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

ازجمله محتوای کلروفیل-آ، ضخامت پوسته و اتصال بین‌ذره‌ای، به‌صورت قابل‌توجهی کارایی تلقیح سیانوباکترها در تثبیت ماسه‌های روان در بوم‌سازگان‌های نوپدید را افزایش دادند (۳٤). جان و همکاران (۲۰۲۳) پژوهشی برای بهبود ویژگی‌های مرتبط با شوری مصنوعی و کم در خاک با استفاده از سویه‌های مختلف سیانوباکترها انجام دادند. نتایج ایشان کاهش قابل‌توجهی در اسیدیته، هدایت الکتریکی خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک و افزایش سطح غلظت کلسیم، منیزیم و تخلخل خاک را نشان داد (٤۹). بنابراین استفاده از ریزموجودات خاک‌زی ازجمله روش‌های زیستی بوده که به دلیل بهبود شاخص‌های مؤثر در پایداری کمّی و کیفی خاک، می‌تواند موردتوجه قرار گیرد. با توجه به اهمیت ریزموجودات در حفاظت خاک، پژوهش‌هایی در زمینه پاسخ‌های زیست‌شیمیایی و فیزیولوژیک سیانوباکترها در تنش با شوری کم خاک انجام شده است (٤۳ و ۵۰)؛ درحالی‌که پاسخ زیستی سیانوباکترها در ایجاد پوسته زیستی در خاک‌ها با شوری‌های زیاد موردتوجه 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 به‌منظور جلوگیری از گسترش فرسایش در مناطق با خاک‌های شور پیشنهاد شود.

## مواد و روش‌ها

برای انجام پژوهش حاضر و به‌منظور ارزیابی قابلیت زیست‌پوسته‌سازی سیانوباکترها در خاک‌ها با شوری زیاد، بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه در بخش غربی دریاچه و نزدیک به مناطق کشاورزی، صنعتی و کشاورزی به‌عنوان منطقه موردمطالعه برای برداشت خاک مدنظر قرار گرفت. محل نمونه‌برداری در محدوده سپرغان در غرب دریاچه ارومیه با ارتفاع ۱۲۷٤ متر از سطح دریا و طول جغرافیایی "٤۰ ′۱۲ °٤۵ شرقی و عرض جغرافیایی "۵۲ ′٤۵ °۳۷ شمالی در استان آذربایجان‌غربی واقع شده است (شکل ۱). بافت خاک منطقه لومی، چگالی ظاهری خاک ۱/٦٤ گرم بر سانتی‌مترمکعب است..

نمونه‌برداری خاک در آبان ۱٤۰۱ به‌صورت 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). به‌منظور کشت، جداسازی، خالص‌سازی و شناسایی سیانوباکتری‌ها اقدام به تهیه محیط کشت عمومی CHU10 با ترکیب ۰/۲۳۲ گرم کلسیم نیترات تتراهیدرات، ۰/۰٤٤ گرم سدیم متاسیلیکات پنتاهیدرات، ۰/۰۲۵ گرم منیزیم سولفات هپتاهیدرات، ۰/۰۲ گرم سدیم کربنات، ۰/۰۱ گرم دی‌پتاسیم فسفات، ۰/۰۰۳۵ گرم سیترات آهن و ۰/۰۰۳۵ 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[1] با سه تکرار ریخته و ۱۰ میلی‌لیتر از محیط کشت به آن‌ها اضافه شد. تیغک‌های شیشه‌ای[2] ۲۰ در ۲۰ میلی‌متر نیز در داخل ظرف‌های پتری تعبیه گردید (۱۱). براساس روش‌های استاندارد ارائه‌شده در کلیدهای شناسایی معتبر، شناسایی سیانوباکترها بر مبنای ویژگی‌های ریخت‌شناسی و با استفاده از میکروسکوپ نوری انجام شد (٥٤ و ۵۵). سپس برای خالص‌سازی جنس‌های انتخاب‌شده *Nostoc* sp. و *Oscillatoria* sp. به روش سری رقت[3] و بشقاب آگار[4] در محیط کشت CHU10

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

انجام شد (۵۸، ۵۹ و ٦٠). از نمونه‌های خالص آن‌ها و به‌صورت جداگانه به محیط کشت CHU10 منتقل و در شرایط هوادهی و با تنظیم نور ١٤ 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 (۱۱۲/۵ میلی‌گرم از هر کدام از جنس‌های *Nostoc* sp. و *Oscillatoria* 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 موردمطالعه 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 موردمطالعه پر شده و کوبیدگی لازم توسط یک تخته چوبی تا رسیدن به جرم ویژه ظاهری منطقه انجام شد (۵۷). تیمارهای موردمطالعه 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 موردمطالعه 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 (٥٦ و ٦١). سپس، سینی‌ها به‌مدت ١٢٠ روز به‌منظور استقرار سیانوباکترهای تلقیح‌شده در شرایط محیطی (اقلیمی) مشابه با منطقه قرار گرفتند (١٦). در بازه‌های زمانی ١٠ روز یک‌بار اقدام به رطوبت‌دهی سطحی و به‌صورت محدود و مه‌پاش شد (١٠ میلی‌لیتر به‌ازای هر سینی).

پس از گذشت ١٢٠ 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 ١٠ میلی‌لیتر، پنج میلی‌لیتر آب مقطر افزوده شد و به‌مدت ١٠ دقیقه تحت دور ٨٠٠٠ در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس نمونه‌ها در آون و تحت دمای ٨٠ درجه سانتی‌گراد به‌مدت پنج دقیقه نگهداری شد و درنهایت به‌مدت ٢٤ ساعت در یخچال با دمای چهار درجه سانتی‌گراد منتقل و نگهداری شدند. سپس توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ٦٦٥ نانومتر میزان غلظت محلول قرائت شد. درنهایت با استفاده از رابطه ١ محتوای کلروفیل-آ نمونه‌ها تخمین زده شد (٦٢). در این رابطه V و L به‌ترتیب حجم حلّال (ml) و طول سِل (cm) است.

$$\text{Chlorophyll} - \text{a} = (11.9035 \times A6650 \times \text{V})/(\text{g soil} - 1) \times \text{L} \qquad (١)$$

در فرآیند اندازه‌گیری غلظت پلی‌ساکاریدها، ابتدا برای تهیه نمونه استاندارد، اقدام به افزودن ٥٠ میلی‌لیتر آب مقطر به فالکون‌های حاوی پنج گرم خاک (نمونه‌های شاهد) شد. هم‌چنین، برای تهیه نمونه‌های اصلی، ٥٠ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک به فالکون‌های حاوی پنج گرم خاک شد. نمونه‌های یادشده به‌مدت ٢٤ ساعت در دمای ٨٠ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری و سپس به‌مدت ده دقیقه با سرعت ٨٠٠٠ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. محلول حاصل پس از عبور از صافی به حجم ١٠٠ میلی‌لیتر رسانده و سپس دو میلی‌لیتر از محلول حاصل با ترکیب یک میلی‌لیتر محلول فنل پنج درصد به‌مدت ٣٠ ثانیه هم‌زده شد و ٢٠ دقیقه تا زمان تغییر رنگ محلول در دمای اتاق و داخل حمام آب نگهداری شدند. درنهایت غلظت محلول نهایی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ٤٩٠ نانومتر قرائت شد (٦٣ و ٦٤). رنگ سطح خاک با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج دیجیتال[1] (مدل CR-400) اندازه‌گیری شد (٦٥، ٦٦ و ٦٧). نتایج آزمایش رنگ شامل دو شاخص L[2] نماد روشنایی رنگ (از صفر برای سیاه و تا ١٠٠ برای سفید) و a[3] 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=١٠٠) کالیبره شد (٦٨). پس از اندازه‌گیری‌ها و ثبت داده‌ها، از آزمون شاپیرو- ویلک برای بررسی نرمال بودن داده‌ها (٦٩ و ٧٠) و برای همگنی واریانس[4] داده‌ها از آزمون لِوِن استفاده شد (٧١). برای مقایسه میانگین شاخص‌های موردبررسی بین تیمار شاهد و تلقیح‌شده با سیانوباکترها، از آزمون t جفتی استفاده شد. تمام تجزیه‌وتحلیل‌های آماری داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 23 انجام شد.

1- Chroma Meter
2- Lightness
3- Redness
4- Homogeneity of Variance

## نتایج و بحث

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی نرخ توسعه پوسته‌های 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 پوسته‌های 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.

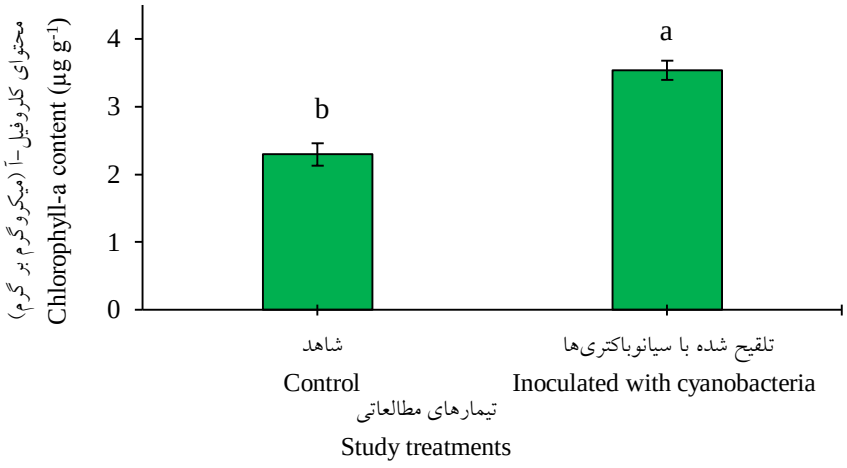
**جدول ۱- نتایج اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های زیستی خاک در تیمار شاهد و تلقیح‌شده با سیانوباکترها.**

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

| a | L | پلی‌ساکارید Polysaccharide ($\mu g\ g^{-1}$) | کلروفیل-آ Chlorophyll-a ($\mu g\ g^{-1}$) | تکرار Replication | تیمار Treatment |
|---|---|---|---|---|---|
| -1.890 | 55.980 | 0.295 | 2.113 | 1 | شاهد Control |
| -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 | |
| 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 | تلقیح‌شده با سیانوباکترها Inoculated with cyanobacteria |
| -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 | |
| 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 | |

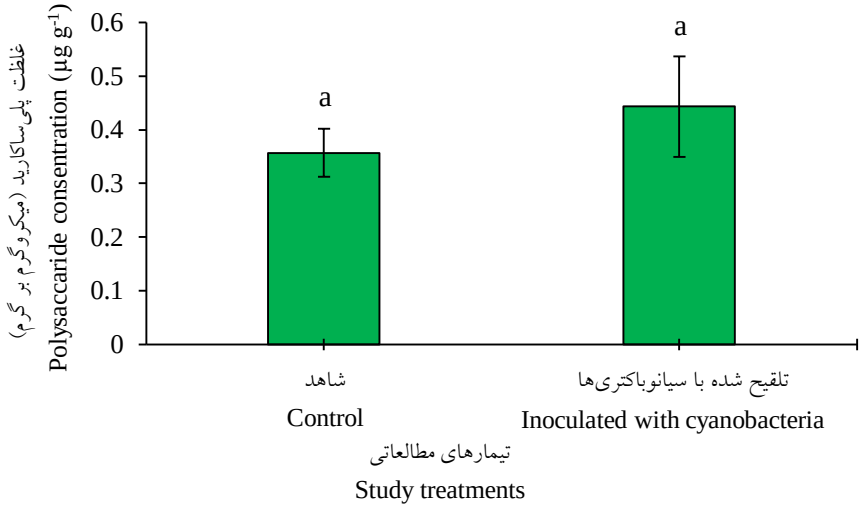
پژوهش حاضر به‌منظور بررسی نرخ توسعه پوسته‌های زیستی از طریق تلقیح سیانوباکترها در بخشی از بسترهای حاشیه‌ای خشک‌شده دریاچه ارومیه با شوری زیاد (۲۷ دسی‌زیمنس بر متر) در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. برای بررسی اثر سیانوباکترها در توسعه پوسته‌های زیستی در مقیاس سینی، مقادیر غلظت کلروفیل-آ، غلظت پلی‌ساکاریدها 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.

تحلیل یافته‌ها نشان داد که غلظت پلی‌ساکارید در خاک تیمار شاهد و تیمار تلقیح‌شده با سیانوباکترها به‌ترتیب ۰/۳۵۷ و ۰/٤٤۳ میکروگرم بر گرم بوده که ازنظر آماری اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت (P>۰/۰۵؛ شکل ۳). بخش قابل‌توجهی از محتوای پلی‌ساکاریدهای خاک توسط سیانوباکترهای خاک‌زی ترشح و تولید می‌شود (٦٤). از طرفی، ترشحات پلی‌ساکاریدی سیانوباکترها به دو صورت برون‌سلولی و درون‌سلولی بوده (٤٤) که ترشحات برون‌سلولی نقش اساسی در ایجاد پیوندهای چسبناک ذرات- ذرات داشته (١٤) و ترشحات برون‌سلولی 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 پلی‌ساکاریدی برون‌سلولی (تا ٦۰ درصد حجم زیست‌توده) به سطح سلول‌ها ترشح شده تا با ایجاد یک لایه محافظ (٤۳)، مقاومت سلول‌ها در برابر فشار اسمزی حاصل از محیط‌های شور را افزایش دهند.




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

**Figure 2. Comparison of the average concentration of chlorophyll-a (µg $g^{-1}$) in the control and inoculated with cyanobacteria treatments.**

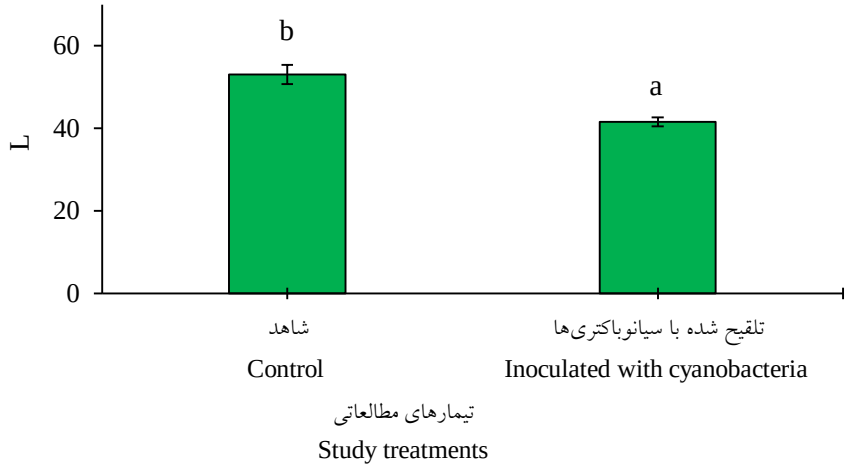



**شکل ۳- مقایسه میانگین غلظت پلی‌ساکارید (میلی‌گرم بر گرم) در تیمار شاهد و تلقیح‌شده با سیانوباکترها.**

**Figure 3. Comparison of the average concentration of polysaccharide (µg $g^{-1}$) in the control and inoculated with cyanobacteria treatments.**

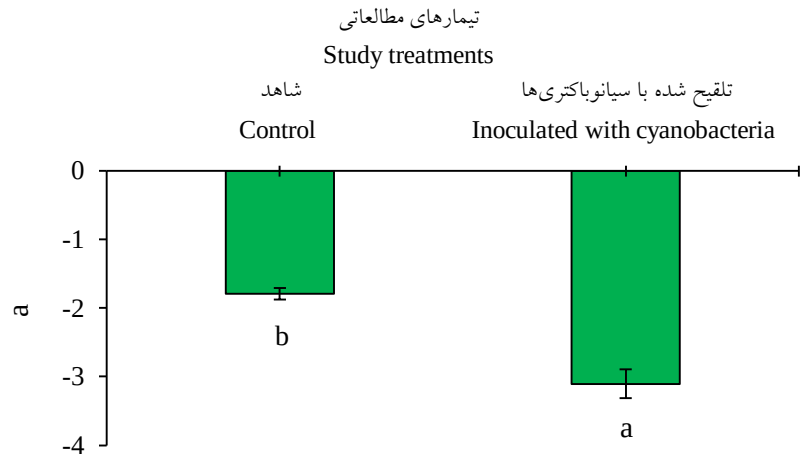
بنابراین در شوری بالای خاک، با توجه به افزایش قابل‌توجه توسعه کمّی سیانوباکترها در لایه سطحی خاک با تلقیح سیانوباکترها، غلظت پلی‌ساکاریدهای خاک در تیمار تلقیحی برخلاف انتظار به‌صورت معنی‌دار افزایش پیدا نکرد (٤٠)؛ که تجزیه پلی‌ساکاریدهای ترشحی به‌صورت یک غلاف نازک یا ضخیم یا به‌صورت لایه موسیلاژی سطح سلول‌های سیانوباکترها در برابر تنش‌های شوری خاک (٧٣) و ایجاد شرایط مطلوب برای رشد سیانوباکترها از دلایل آن می‌باشد. از طرفی، اگزوپلی‌ساکاریدهای ترشح‌شده برون و درون‌سلولی علاوه بر برخورداری از خاصیت چسبندگی، دارای مقدار قابل‌توجهی از مواد آلی در حدود ۲۲ درصد وزنی ترشحات خود بوده که امکان تثبیت و پایدارسازی خاک را فراهم می‌کنند (٧٤). استرائوس و همکاران (۲۰۱۲) نیز معتقدند که پلی‌ساکاریدهای تجمع یافته در اطراف سیانوباکترها، شرایط اتصال آن‌ها را به ذرات خاک فراهم می‌کند و از طرفی به محافظت سیانوباکترها در برابر تنش‌های محیطی مانند شوری، خشکی و دمایی منجر می‌شود (٧٥).

مقدار متوسط L در خاک تیمار شاهد و تیمار تلقیح‌شده با سیانوباکترها به‌ترتیب ۵۳/۰۸ و ٤١/٥١ بوده که دارای اختلاف معنی‌داری ($P<۰/۰۱$) بوده (شکل ٤) و مقدار متوسط a نیز به‌ترتیب ۱/۷۹- و ۳/۱۰- بوده که در این متغیر نیز بین تیمارهای مطالعاتی اختلاف معنی‌داری ($P<۰/۰۱$) مشاهده شد (شکل ٥). شاخص L و a در تیمار تلقیحی نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۲۱/۸۰ درصد کاهش و ۷۳/۳۵ درصد افزایش یافت. یافته‌های پژوهش نشان داد که با توجه به این‌که مقادیر L در خاک‌های تیره کاهش می‌یابد (٦٨)، بنابراین، تلقیح سیانوباکترها به خاک به‌دلیل برخورداری از ساختار سلولی رشته‌ای و سلول‌های رنگ‌دانه‌ای (١١)، 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 درون‌سلولی و افزایش ماده آلی در سطح سلول‌های سیانوباکتریایی نیز می‌تواند یکی از دلایل افزایش تیرگی سطح خاک (کاهش مقادیر شاخص L) در تیمار تلقیحی باشد. مقادیر منفی شاخص a به‌عنوان نشانگر غلظت رنگ سبز سطح خاک بوده، در تیمار تلقیح سیانوباکترها بیش از ۷۳ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد (بدون تلقیح سیانوباکترها) بوده که نشان‌دهنده افزایش غلظت رنگ سبز (٦٨) در تیمار تلقیحی و به‌عبارتی افزایش تعداد و تراکم سلول‌های کلروفیل‌دار (رنگ سبز) سیانوباکتریایی در سطح خاک بود (١٤). 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 درنتیجه مقاومت آن‌ها در برابر عوامل نامساعد محیطی (شوری) بود. ازاین‌رو، امکان رشد و توان زنده‌مانی سیانوباکترهای بومی موجود در خاک‌های شور بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه و هم‌چنین سیانوباکترهای تلقیح‌شده به خاک در شوری زیاد خاک تأیید شد. دراین‌بین، کلمن و استریت (۲۰۲۲) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که سیانوباکترها قادر به زنده ماندن در خاک‌های شور بوده، حتی اگر زیست‌توده کم‌تر از خاک شاهد باشد (٧٦). درواقع، بسیاری از سیانوباکترها مکانیسم‌های پاسخی متنوعی در برابر غلظت بالای نمک خاک توسعه داده‌اند. بااین‌حال، این ممکن است به گونه سیانوباکتر و غلظت نمک بستگی داشته باشد. سینگ و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که گونه *Nostoc Calcicola* رشد و متابولیسم مهار بیش‌تری در خاک‌های شور نسبت به غلظت‌های کم‌نمک طعام نشان داد (٧٧) و کومار و همکاران (۲۰۱۵) نیز همین موضوع را در مورد گونه *Nostoc Muscorum* یافتند (٧٨).




**شکل ٤- 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 ٥- 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

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 موفقیت‌آمیز و توسعه کمّی و کیفی سیانوباکترهای تلقیح‌شده به خاک با شوری زیاد و درنتیجه قابلیت بالای آن در زیست‌پوسته‌سازی در خاک‌های شور بود. دراین‌بین، 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. ازاین‌رو، کاربرد رویکرد تلقیح سیانوباکترها در توسعه پوسته‌های

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

## تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی 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.

## 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., & Hasanzadeh, 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, slop 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. Khoshsima, 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., & 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.
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-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.
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., Olguın, E. J., Diels, L., & De Philippis, R. (2015). Microbial fixation of $CO_2$ 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. A*gricultural Water Management*, 272, 107865.
33. Jafarpoor, A., Sadeghi, S. H. R., Zarei Darki, B., & Homaee, 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., Jafarpoor, A., Homaee, 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., Homaee, 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., & Homaee, 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 khormaee*). *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 Calcicola*. *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.