



## تلقیح سیانوباکترها راهکاری نوین در تثبیت کانون‌های ریزگرد پیرامون دریاچه ارومیه

حسین خیرفام<sup>\*۱</sup>

۱ و \* - نویسنده مسئول، استادیار، دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری - حفاظت آب و خاک، گروه علوم محیط زیست، پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه، دانشگاه ارومیه، (h.kheirfam@urmia.ac.ir)

### چکیده

پیدایش کانون‌های ریزگرد و گسترش ماسه‌های روان از پیامدهای اصلی بحران دریاچه‌ی ارومیه و خشک شدن حاشیه‌های آن بوده که اکوسیستم‌های اطراف دریاچه را تهدید می‌کند. لذا به سبب اهمیت تثبیت این کانون‌ها، در این پژوهش، راهکاری نوین و مبتنی بر تلقیح سیانوباکترهای بومی روی بسترهای این کانون‌ها ارائه و در شرایط آزمایشگاهی ارزیابی شد. برای این منظور، سیانوباکترهای بومی منطقه‌ی جبل‌کندی ارومیه (*Nostoc sp.* و *Oscillatoria sp.*) به عنوان کانون مهم برداشت ریزگرد و ماسه‌های روان استخراج، شناسایی و سپس مؤثرترین آن‌ها تکثیر و در نهایت روی سینی‌های فرسایشی پر شده از خاک آن منطقه تلقیح شد. مدت آزمایش نیز ۱۲۰ روز مدنظر قرار گرفت. به منظور ارزیابی عملکرد سیانوباکترهای تلقیح شده، میزان و نحوه‌ی اتصال ذرات خاک اقدام به تهیه‌ی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح خاک آزمایش شد. بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح خاک قابلیت سیانوباکترها در ایجاد اتصال قوی بین ذرات خاک و تشکیل خاک‌دانه‌های بزرگ و متصل به هم را تأیید کرد. از این رو، تلقیح سیانوباکترها به عنوان راهکاری نوین در افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها و تثبیت‌پذیری بسترهای خشک‌شده پیرامون دریاچه ارومیه در برابر نیروی باد و کاهش تولید ریزگردها و ماسه‌های روان را فراهم آورد. انجام آزمایش‌های تکمیلی با شبیه‌سازی باد پس از تلقیح سیانوباکترها ضروری بوده و پیشنهاد می‌شود.

**واژگان کلیدی:** تثبیت خاک، تولید ریزگرد، پایداری خاک‌دانه‌ها، فرسایش بادی، ماسه‌های روان

### ۱- مقدمه

پهنه‌های بسیار وسیع خشک‌شده از بستر و سواحل پیرامون دریاچه‌ی ارومیه تهدید جدی برای جوامع انسانی، بوم‌سازگان‌های کشاورزی، منابع طبیعی و گونه‌های گیاهی و جانوری مناطق پیرامونی می‌باشد (Mohebbi و Eimanifar، ۲۰۰۷). از طرفی، ذرات خاک با پوشش انواع مختلفی از ذرات بسیار ریز نمکی قادر به انتقال ۳۰۰ تا ۸۰۰ کیلومتر توسط بادهای فصول خشک سال به اراضی پیرامون دریاچه هستند (Hoseinpour و همکاران، ۲۰۱۰). انتقال ذرات نمک و گرد و غبار برداشت شده از سطوح خشک‌شده‌ی دریاچه‌ی ارومیه در یک بازه‌ی زمانی کوتاه که اخیراً نیز اثرات آن محسوس شده است، سلامت زیستی بیش از ۱۴۰ هزار کیلومترمربع از مناطق سرزمینی شمال غرب کشور، بیش از ۲۰ میلیون جمعیت انسانی و بیش از ۶۰۰ گونه‌ی گیاهی و



14<sup>th</sup> National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran  
Watershed Management and Integrated Management of Water and Soil Resources

جانوری را به شدت تهدید می کند. ضرورت مدیریت و مهار چالش انتقال ذرات نمک و گرد و غبار از سطوح خشک شده دریاچه ارومیه و حفاظت از بومسازگان های تحت تنش های ناشی از ذرات نمک، ارائه، بررسی و اجرای راه کاری متناسب و با حداکثر کارایی اجتناب ناپذیر است. اخیراً در پژوهش های مشابه و با رویکرد حفاظت خاک و تثبیت ذرات ریز خاک امکان بهره گیری از قابلیت ریزموجودات خاکزی به ویژه سیانوباکترها به عنوان مهندسان بومسازگان (Bowker و همکاران، ۲۰۰۵) به ویژه به صورت تلقیح گسترده ی سطحی مورد توجه قرار گرفته و نقش مثبت آن ها در این خصوص تأیید شده است. در این راستا نقش تلقیح سیانوباکترها به خاک توسط Wang و همکاران (۲۰۰۹)، Prithiviraj و Sears (۲۰۱۲) و Rossi و همکاران (۲۰۱۷) در تثبیت تپه های ماسه ای و مهار فرسایش بادی و هم چنین Kheirfam و همکاران (۲۰۱۷ الف و ب) و Sadeghi و همکاران (۲۰۱۷) در مهار فرسایش آبی، بهبود ویژگی های خاک و پایداری خاکدانه ها تأیید شده است. ریزموجودات پوسته ی زیستی خاک افزون بر ترشح مواد چسبنده ی پلی ساکاریدی و چسبیدگی ذرات ریز خاک و تشکیل ریزساختار (محیط)، باعث ارتباط و پیوستگی مجموعه ای از ریزموجودات خاکزی با هم دیگر به صورت ریز شبکه ای و تشکیل یک ساختار بزرگ خواهد شد (Dorioz و همکاران، ۱۹۹۳). شرایط به وجود آمده منجر به اصلاح ویژگی های ناهمواری سطحی خاک (Bu و همکاران، ۲۰۱۵)، ظرفیت نگه داشت آب (Sadeghi و همکاران، ۲۰۱۷)، افزایش تجمع مواد مغذی (Rodríguez-Caballero و همکاران، ۲۰۱۲؛ Kheirfam و همکاران، ۲۰۱۷ الف) و در نهایت بهبود کیفی و کمی و پایداری و تثبیت خاک (Strauss و همکاران، ۲۰۱۲؛ Kheirfam و همکاران، ۲۰۱۷ الف و ب) می شود. بر اساس مطالعات صورت گرفته، ریزموجودات خاکزی به ویژه سیانوباکترها توانایی فعالیت در pH بین ۴ تا ۱۱ و دمای ۱۰ تا ۵۵ درجه ی سانتی گراد و هم چنین تحمل شرایط خشکی تا چند میلیون سال را دارند (Huixia و همکاران، ۲۰۰۷). هر چند شوری بالای ناشی از نمک های مختلف در خاک به عنوان چالشی جدی در میزان زنده ماندن، استقرار و فعالیت ریزموجودات تلقیحی مطرح شده است، با این حال یافته های پژوهشگران متعددی از قبیل Soleimani و همکاران (۲۰۱۷) بیانگر قابلیت زیستی و فعالیت بالای برخی از ریزموجودات خاکزی در برابر تنش های ناشی از شوری زیاد خاک هستند. در همین راستا Vahed و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی ژنوتیپی باکتری های موجود در خاک کف دریاچه ی ارومیه ضمن تأیید وجود تنوع بالای جمعیتی باکتریایی آن، اقدام به شناسایی باکتری های با قدرت بالای تحمل شوری کردند. به سبب اهمیت موضوع و ضرورت تثبیت و افزایش آستانه ی برداشت ذرات خاک و نمک مناطق خشک شده ی دریاچه ارومیه توسط باد، افزایش مصنوعی و غنی سازی جمعیت میکروبی پوسته های زیستی کف دریاچه از طریق تلقیح سیانوباکترها به عنوان راه کاری نوین، زیستی، اجراپذیر، با صرفه ی اقتصادی و در عین حال اثربخشی زیاد در کوتاه مدت می تواند راه کاری مناسب در تثبیت ذرات نمک و گرد و غبار سطوح خشک شده ی دریاچه ی ارومیه باشد؛ راه کاری که قبل از اجرا در مقیاس کلان باید در مقیاس خرد و در شرایط آزمایشگاهی امکان سنجی و ارزیابی شود. هدف از این پژوهش، بررسی افزایش چسبندگی و پایداری ذرات ریز خاک سطحی سطوح خشک شده ی دریاچه ی ارومیه در راستای تثبیت ذرات نمک و خاک از طریق تلقیح سیانوباکترهای بومی و بردبار به شوری و سایر تنش های محیطی موجود در خاک کف دریاچه در مقیاس سینی های فرسایشی کوچک آزمایشگاهی است.

14<sup>th</sup> National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran  
Watershed Management and Integrated Management of Water and Soil Resources

## ۲- مواد و روش کار

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه و تولید سیانوباکترهای تلقیحی

حاشیه‌های خشک‌شده‌ی دریاچه‌ی ارومیه در منطقه‌ی جبل‌کندی ارومیه و واقع در غرب دریاچه، به‌عنوان منطقه برداشت خاک مادری برای آزمایش انتخاب شد. به‌منظور کشت، استخراج، شناسایی، خالص‌سازی و تکثیر سیانوباکترهای بومی خاک، از عمق صفر تا دو سانتی‌متری اقدام به نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی شد. سیانوباکترهای موجود در خاک منطقه مورد مطالعه با استفاده از محیط کشت‌های عمومی Bold Basal، BG11 و Chu10 (Andersen، ۲۰۰۵) استخراج شده و سپس بر اساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی ذکر شده در راهنماهای باکتری‌شناسی Bergey شناسایی شدند (Garrity و همکاران، ۲۰۰۱). در ریزموجود بانک خاک منطقه جنس‌های *Nostoc sp.* و *Oscillatoria sp.* بیش‌ترین غالبیت بین سیانوباکترهای شناسایی شده را داشته که قابلیت آن‌ها در حفاظت منابع آب و خاک و در شرایط زیست‌نامساعد تأیید شده است (Kheirfam و همکاران، ۲۰۱۷الف و ب). از این رو، پس از خالص‌سازی این دو جنس از سیانوباکترها اقدام به تکثیر آن‌ها تا حجم و زی‌توده مورد نظر شد.

### ۲-۲- فرآیند تلقیح و آزمایش

در پژوهش حاضر، از سینی‌های کوچک و استاندارد فرسایشی (با ابعاد طول، عرض و عمق ۵۰ در ۳۰ در ۱۰ سانتی‌متر) مستقر در آزمایشگاه گروه علوم محیط زیست پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه و به‌تعداد شش عدد استفاده شد. به‌همین منظور، ابتدا سینی‌ها از نمونه‌های خاک هواخشک پر شده و سپس کوبیدگی لازم توسط غلطک تا رسیدن به جرم ویژه‌ی ظاهری نمونه‌ی خاک دست‌نخورده‌ی منطقه مورد مطالعه انجام گرفت. در نهایت پس از آماده‌سازی سینی‌ها، سیانوباکترهای تکثیر شده با حجم و تعداد حدود ۱۰<sup>۱۴</sup> سلول در یک لیتر (چهار گرم در لیتر سیانوباکتر) برای هر مترمربع تهیه (Kheirfam و همکاران، ۲۰۱۷الف و ب). و سیانوباکترها با استفاده از آب‌فشان‌های استاندارد و تنظیم شده، به مقدار ۰/۵ لیتر به ازای هر سینی روی سطح سینی‌های آماده‌سازی شده اسپری (Wang و همکاران، ۲۰۰۹) شد. یک تیمار شاهد نیز به‌منظور مقایسه یافته‌ها مد نظر قرار گرفت. پس از ۱۲۰ روز، نمونه‌هایی از سطح خاک برداشت و به‌منظور بررسی میزان اتصال و چسبندگی بین ذرات خاک در تیمارهای مطالعاتی، اقدام به تهیه تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۱</sup> (SEM) شد.

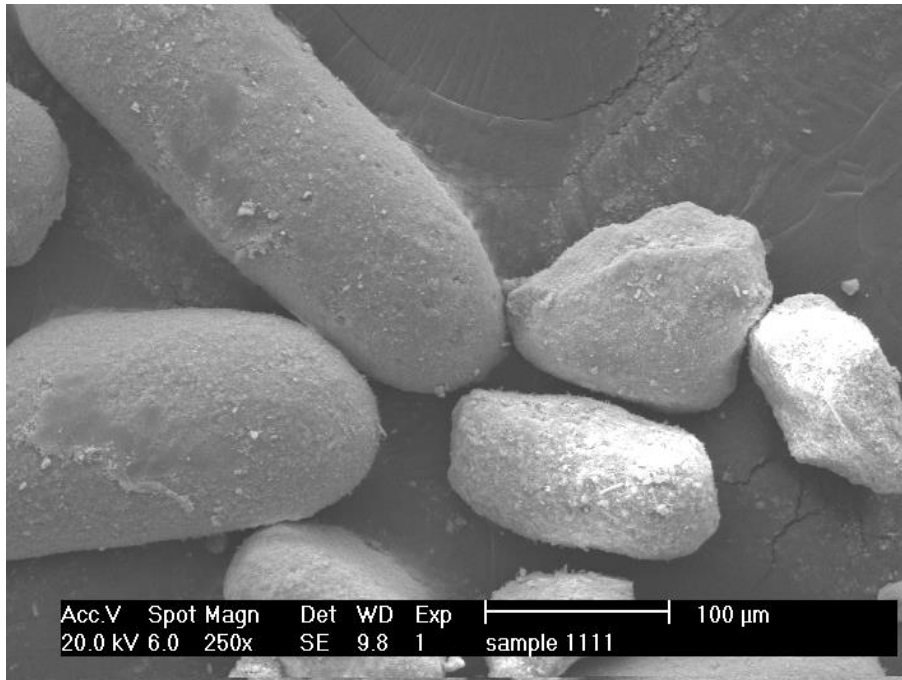
## ۳- نتایج و بحث

ارتباط بین ذره‌های خاک در تیمارهای مطالعاتی با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی شد (شکل‌های ۱ و ۲). تصویر SEM حاصل از سطح خاک تیمار شاهد (شکل ۱) نشان داد که ذرات خاک هیچ‌گونه ارتباط و پیوستگی با یک‌دیگر نداشته که در این صورت انتقال این ذرات توسط نیروی باد با حداقل نیروی ممکن انجام شده و لذا بسیار حساس به فرسایش و برداشت توسط نیروی باد خواهند بود. در تصاویر SEM تهیه شده از خاک تیمارهای تلقیح سیانوباکتر (شکل ۲) ارتباط بسیار قوی و پیچیده‌ی ذرات متعدد خاک به‌یک‌دیگر توسط سیانوباکترها به‌صورت شفاف قابل مشاهده است.

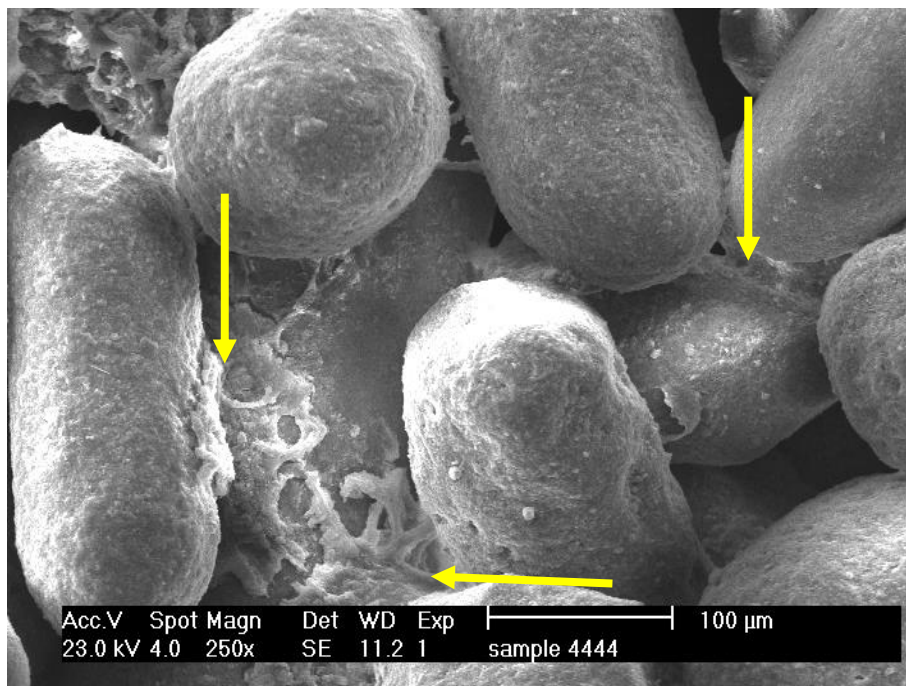
<sup>۱</sup>Scanning electron microscope (SEM)

14<sup>th</sup> National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran  
Watershed Management and Integrated Management of Water and Soil Resources

بر اساس تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ارائه شده در شکل ۲، توسعه‌ی سیانوباکترها در بین ذرات خاک به صورت پیچیده و در هم تنیده اتفاق افتاده که یافته‌های حاصل از پژوهش‌های Chamizo و همکاران (۲۰۱۸) نیز چنین فرآیندی را تأیید کرده‌اند. تحلیل‌ها نشان می‌دهد سیانوباکترهای خاک‌زی بر خلاف جنس‌های آب‌زی آن‌ها، تمایل زیادی به چسبیدن به اطراف خاک‌دانه‌ها از طریق ترشحات پلی‌ساکارییدی و هم‌چنین رشته‌های تار عنکبوتی خود دارند (De Philippis و Rossi، ۲۰۱۵؛ Ranan و همکاران، ۲۰۱۵). از این رو، سیانوباکترها بخشی از سطوح و اطراف خاک‌دانه‌ها را پوشانده و از طریق ترشحات پلی‌ساکارییدی چسبناک خود ضمن چسبیدن به اطراف ذرات ریز خاک، از طریق رشد شبکه‌ای مجموعه‌ای از ذرات ریز خاک را به صورت زنجیره‌ای به هم متصل می‌کنند (Issa و همکاران، ۲۰۰۷؛ Kheirfam و همکاران، ۲۰۱۷ الف و ب). اتصال ریزذرات خاک توسط سیانوباکترها به یکدیگر و تشکیل بزرگ ذرات منجر به خاک‌دانه‌سازی شده که در این شرایط خاک‌دانه‌های بسیار بزرگ‌تر و ساختارهای خاک در مقیاس ماکرو و بسیار مقاوم در برابر نیروی باد ایجاد شده است.



شکل (۱) تصویر SEM از عدم وجود ارتباط و نحوه‌ی قرارگیری ذرات خاک در تیمار شاهد (مقیاس ۱۰۰ میکرومتر)



شکل (۲) تصویر SEM از نحوه‌ی ارتباط و چسبندگی ذرات خاک به یکدیگر در تیمار با تلقیح سیانوباکترها (مقیاس ۱۰۰ میکرومتر)

#### ۴- نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش نشان داد که تلقیح سیانوباکترها در مقیاس آزمایشگاهی با هدف افزایش تثبیت‌پذیری کانون‌های ریزگرد پیرامون خشک‌شده‌ی دریاچه‌ی ارومیه موفقیت‌آمیز بود. به‌عبارتی سیانوباکترهای تلقیح شده دارای رشد و تکثیر رشته‌ای و شبکه‌ای بوده و از طرفی دیواره‌های سلولی آن‌ها به‌سبب ترشحات پلی‌ساکاریدی دارای خاصیت چسبناکی هستند. از این‌رو، پس از تلقیح سیانوباکترها به محیط خاک، در اطراف ذرات خاک توسعه پیدا کرده به‌عنوان یک پل ارتباطی قوی بین ذرات، آن‌ها را به‌صورت زنجیره و شبکه‌ای بزرگ‌تر بهم متصل می‌کند. این فرآیند باعث افزایش آستانه برداشت ذرات خاک کانون‌ها ریزگرد توسط باد شده که در نهایت منجر به کاهش برداشت ریزگردها و مهار حرکت ماسه‌های روان خواهد شد. در نهایت، انجام پژوهش تکمیلی در مقیاس آزمایشگاهی و پایلوت‌های صحرائی و با اندازه‌گیری رسوبات بادی انتقالی امکان افزایش آگاهی‌ها در این زمینه و اجراپذیری آن در مقیاس بزرگ را فراهم خواهد آورد.

#### منابع مورد استفاده

1. Andersen, R.A. 2005. Algal culturing techniques, Elsevier Academic Press, London, 578 p.
2. Bowker, M.A., Belnap, J., Davidson, D.W., Phillips, S.L., 2005. Evidence for micronutrient limitation of biological soil crusts: importance to arid-lands restoration. Ecological Applications, 15: 1941-1951.



14<sup>th</sup> National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran  
Watershed Management and Integrated Management of Water and Soil Resources

3. Bu, C., Zhao, Y., Hill, R.L., Zhao, C., Yang, Y., Zhang P., Wu, S., 2015. Wind erosion prevention characteristics and key influencing factors of bryophytic soil crusts. *Plant and Soil*, 397(1-2): 163-174.
4. 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.
5. Dorioz, J.M., Robert, M., Chenu, C., 1993. The role of roots, fungi and bacteria on clay particle organization: An experimental approach. *Geoderma*, 56: 179-194.
6. Eimanifar, A., Mohebbi, F., 2007. Urmia Lake (northwest Iran): A brief review. *Saline Systems*. 3(5): 1-8.
7. Garrity, G.M., Boone, D.R., Castenholz, R.W., 2001. *Bergey's manual of systematic bacteriology*. (2nd ed.). New York, USA. 1: 173 p. Harvey, R. A. 2007. *Microbiology*. Lippincott Williams & Wilkins, 395 p.
8. Hoseinpour, M., Fakheri Fard, A., Naghili, R., 2010. Death of Urmia Lake, a silent disaster investigating causes, results and solutions of Urmia Lake drying. 1st International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University, Islamic Azad University-Mashad Branch, Iran; 2010.
9. Huixia, P., Zhengming, Ch., Xuemei, Zh., Shuyong, M., Xiaoling, Q., Fang W., 2007. A study on an oligotrophic bacteria and its ecological characteristics in an arid desert area. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 50: 128-134.
10. Issa, O.M., Défarge, C., Le Bissonnais, Y., Marin, B., Duval, O., Bruand, A., Luigi D'Acqui, P., Nordenberg, S., Annerman, M., 2007. Effects of the inoculation of cyanobacteria on the microstructure and the structural stability of a tropical soil. *Plant and Soil*, 290(1-2): 209-219.
11. Kheirfam, H., Sadeghi, S.H.R., Homae, M., Zarei Darki, B., 2017a. Quality improvement of an erosion-prone soil through microbial enrichment. *Soil and Tillage Research*, 165: 230-238.
12. Kheirfam, H., Sadeghi, S.H.R., Zarei Darki, B., Homae, M., 2017b. Controlling rainfall-induced soil loss from small experimental containers through inoculation of bacteria and cyanobacteria. *Catena*, 152: 40-46.
13. Raanan, H., Felde, V.J., Peth, S., Drahorad, S., Ionescu, D., Eshkol, G., Treves, H., Felix-Hennings, P., Berkowicz, S.M., Keren, N., Horn, R., Hagemann, M., Kaplan, A., 2015. Three-dimensional structure and cyanobacterial activity within a desert biological soil crust. *Environmental Microbiology*, 18(2): 372-383.
14. Rodríguez-Caballero, E., Cantón, Y., Chamizo, S., Afana, A., Solé-Benet, A., 2012. Effects of biological soil crusts on surface roughness and implications for runoff and erosion. *Geomorphology*, 145-146: 81-89.
15. Rossi, F., De Philippis, R., 2015. Role of cyanobacterial exopolysaccharides in phototrophic biofilms and in complex microbial mats. *Life*, 5: 1218-1238.
16. Rossi, F., Olgun, E.J., Diels, L., De Philippis, R., 2015. Microbial fixation of CO<sub>2</sub> in water bodies and in drylands to combat climate change, soil loss and desertification. *New Biotechnology*, 32(1): 109-120.
17. Sears, J.T., Prithviraj, B., 2012. Seeding of large areas with biological soil crust starter culture formulations: using an aircraft dispersible granulate to increase stability, fertility and CO<sub>2</sub> sequestration on a landscape scale. *IEEE Green Technologies Conference*, 19-20 April 2012, Tulsa, OK, 1-3.
18. Sadeghi, S.H.R., Kheirfam, H., Homae, M., Zarei Darki, B., Vafakhah, M., 2017. Improving runoff behavior resulting from direct inoculation of soil micro-organisms. *Soil and Tillage Research*, 171: 35-41.
19. Soleimani, R., Alikhani, H.A., Towfighi, H., Khavazi, K., Pourbabaee, A.A., 2017. Isolated bacteria from saline-sodic soils alter the response of wheat under high adsorbed sodium and salt stress. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(1): 143-150.
20. 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.
21. Vahed, S.Z., Forouhandeh, H., Hassanzadeh, S., Klenk, H.P., Hejazi, M.A., Hejazi, M.S., 2011. Isolation and characterization of halophilic bacteria from Urmia Lake in Iran. *Microbiology*, 80(6): 834-841.
22. Wang, W.B., Liu, Y.D., Li, D.H., Hua, C.X., Rao, B.Q., 2009. Feasibility of cyanobacterial inoculation for biological soil crusts formation in desert area. *Soil Biology and Biochemistry*, 41: 926-929.



## Cyanobacteria inoculation a novel strategy in the stabilization of dust hotspots from dried-out around of Urmia Lake

### Abstract

The emergence of moving sand dunes and dust hotspots are the main effects of Urmia Lake crisis and drying its margins, which that have a greatly threatens the ecosystems around the Lake. Therefore, due to the importance of this hotspots stabilization, in this research, a novel approach is presented and evaluated based on inoculation of native cyanobacteria on this area at laboratory conditions. To this end, the most effective existing cyanobacteria for soil stabilization (*Nostoc sp. and Oscillatoria sp.*) were selected, purified and proliferated from Jabal-Kandi region, Urmia, as an important dust hotspot, and inoculated on the trays filled by study soil. The experiment also was considered for 120 days. To evaluate the performance of inoculated cyanobacteria, the binding of soil particles were performed by scanning electron microscopy (SEM) images from the surface of the soil. Assessing SEM images confirmed the ability of cyanobacteria in creating strong bindings between soil particles forming large soil aggregates. By and large, the inoculation of cyanobacteria will allow the stabilization of dried-out regions around the Urmia Lake against wind force. These processes lead to a reduction in sand dunes movement and dust production. It is essential and recommended to plan additional studies after cyanobacteria inoculation by using wind tunnel tests.

**Keywords:** Dust yield; Moving sand dunes; Soil aggregate stability; Soil stabilization; Wind erosion.