



(Research Paper)
Biological Journal of Microorganism
11th Year, No. 42, Summer 2022
Received: June 30, 2021
Accepted: September 25, 2021

The Role of EPS-producing Cyanobacteria in Desert Soils

Marzieh Hosseini

Department of Microbiology, Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran, m.hosseini.alzahra@gmail.com

Parisa Mohammadi*

Department of Microbiology, Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran- Research Centre for Applied Microbiology and Microbial Biotechnology, Alzahra University, Tehran, Iran, p.mohammadi@alzahra.ac.ir

Parinaz Ghadam

Department of Biotechnology, Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran, pghadam@alzahra.ac.ir

Azra Saboora

Department of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran, saboora@alzahra.ac.ir

Roghaieh Zarei

Department of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran, r.zarei@alzahra.ac.ir

Zahra Hojjati Bonab

Department of Microbiology, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University Bonab, Bonab, Iran, hojjati_zahra90@yahoo.com

Abstract

Introduction: Biological soil crusts including cyanobacteria, fungi, bacteria, actinomycetes, algae, viruses, mosses, lichens, and plants are formed on the soil surface. Cyanobacteria are key microorganisms in the formation of the biological soil crust, especially in arid and desert areas. Cyanobacteria increase carbon and nitrogen content in soil *via* increasing colony formation and Exopolysaccharide (EPS) production and play an important role to strengthen soil structure especially in poor soil and prevent it from eroding.

Materials and Methods: In the present study, three cyanobacteria with the highest secreted carbohydrate production were selected among 19 isolates of different provinces' soil. The

*Corresponding Author



amount of carbohydrate production of the selected strains was determined by using the phenolic sulfuric acid method. Then, three selected strains, with the highest amount of secreted carbohydrate were inoculated to the pot filling with poor soils. After 7 weeks of cyanobacterial inoculation, some physical and chemical alterations of the soil were measured. Furthermore, the rate of formation of the biological soil crust and the adhesiveness of the soil particles were microscopically investigated.

Results: The carbohydrate content was 86.66 µg/ml for *Anabaena sphaerica*, 55.91 µg/ml for *Geitlerinema.sp.*, and 64.19 µg/ml, for *Nostoc pruniforme*. The results of the study also show that these three strains are capable of forming biological soil crust on the soil surface.

Discussion and Conclusion: *Anabaena sphaerica*, due to its high growth rate, more biomass production, and more secreted carbohydrates increased soil nitrogen and carbon content, as well as better formation of biological soil crust was selected for further investigation. This strain improved some soil texture characteristics and probably it can have a positive effect on soil fertility.

Key words: Desert, Desertification, Exopolysaccharide (EPS), Biological Soil Crust, Cyanobacteria, Carbohydrate

فصلنامه علمی زیست‌شناسی میکروارگانیسم‌ها (نوع مقاله پژوهشی)

سال یازدهم، شماره ۴۲، تابستان ۱۴۰۱، صفحه ۶۶ - ۵۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۹ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۳

نقش سیانوباکتری‌های مولد EPS در خاک‌های بیابانی

مرضیه حسینی: کارشناس ارشد گروه میکروبیولوژی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران، m.hosseini.alzahra@gmail.com
پریسا محمدی*: دانشیار گروه میکروبیولوژی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران - مرکز تحقیقات میکروبیولوژی کاربردی و بیوتکنولوژی میکروبی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران، p.mohammadi@alzahra.ac.ir
پریناز قدم: دانشیار گروه بیوتکنولوژی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران، pghadam@alzahra.ac.ir
عدرا صبور: دانشیار گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران، saboor@alzahra.ac.ir
رقیه زارعی: استادیار گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران، r.zarei@alzahra.ac.ir
زهرا جتی بناب: استادیار گروه میکروبیولوژی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد بناب، بناب، ایران، hojjati_zahra90@yahoo.com

چکیده

مقدمه: پوسته‌های زیستی که روی سطح خاک تشکیل می‌شوند، از میکرو و ماکروارگانیسم‌هایی همچون سیانوباکتری‌ها، قارچ‌ها، باکتری‌ها، اکتینومیسیت‌ها، جلبک‌ها، ویروس‌ها، خزها، گل‌سنگ‌ها و گیاهان تشکیل شده‌اند. سیانوباکتری‌ها، میکروارگانیسم‌های کلیدی در تشکیل پوسته‌های زیستی خاک، به‌خصوص در مناطق بیابانی‌اند که با رشد خود و تشکیل کلنی بر سطح خاک و تولید پلی‌ساکارید خارجی (EPS) باعث افزایش مقدار کربن و نیتروژن خاک می‌شوند و نقش مهمی در تقویت انواع خاک‌ها به‌ویژه خاک‌های فقیر از لحاظ مواد غذایی دارند و باعث جلوگیری از فرسایش آنها می‌شوند.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، برترین سویه‌های سیانوباکتریایی مولد کربوهیدرات ترش‌چی، از میان ۱۹ سویه جدا شده از خاک استان‌های مختلف کشور انتخاب شد. میزان تولید کربوهیدرات در این سویه‌ها به روش فنول - اسید سولفوریک تعیین شد. سپس سویه‌های منتخب مولد بیشترین مقدار کربوهیدرات ترش‌چی، در مدل گلدانی به خاک‌های فقیر تلقیح شد. پس از گذشت ۷ هفته از رشد سیانوباکتری‌ها در خاک، تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد. همچنین سرعت تشکیل پوسته زیستی و میزان انسجام ذرات خاک به یکدیگر، به‌صورت میکروسکوپی بررسی شد.

نتایج: میزان تولید کربوهیدرات در این سویه‌ها به‌ترتیب برابر ۸۶/۶۶ میکروگرم بر میلی‌لیتر برای سویه *Anabaena sphaerica*، مقدار ۵۵/۹۱ میکروگرم بر میلی‌لیتر برای جنس *Geitlerinema.sp* و مقدار ۶۴/۱۹ میکروگرم بر میلی‌لیتر برای سویه *Nostoc pruniforme* بود. نتایج نشان می‌دهند هر سه این سویه‌ها قادر به تشکیل پوسته‌های زیستی در خاک هستند.

بحث و نتیجه‌گیری: سویه *Anabaena sphaerica* به‌دلیل سرعت رشد زیاد، تولید بیشتر زیست‌توده و کربوهیدرات ترش‌چی، افزایش بیشتر مقدار نیتروژن و کربن خاک و نیز تشکیل بهتر پوسته زیستی برای آزمون‌های بعدی انتخاب شد. این سویه برخی ویژگی‌های بافت خاک را بهبود بخشید که در حاصلخیزی آن می‌تواند تأثیر مثبتی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: بیابان، بیابان‌زدایی، پلی‌ساکارید خارجی، پوسته زیستی، سیانوباکتری، کربوهیدرات

* نویسنده مسئول مکاتبات



2322-5181/ © 2022 The Authors. Published by University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)



10.22108/BJM.2021.129148.1397



20.1001.1.23225173.1401.11.42.4.3

مقدمه

خاک بستری زنده در محیط زیست و اکوسیستم‌های خشکی محسوب می‌شود که از مواد معدنی و آلی ساخته شده است. کیفیت خاک با ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی سنجیده می‌شود (۱). میکروارگانیسم‌های خاک، تنها ۵ درصد از حجم کل خاک کره زمین را تشکیل می‌دهند؛ اما تأثیرات بسیار شگرفی بر زیستگاه‌های خاکی می‌گذارند (۲). فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک بر بافت خاک، پایداری خاک، کیفیت و باروری خاک بسیار مؤثرند و نیز نقش مهمی در تجزیه ترکیبات مختلف و ماکرومولکول‌ها و در چرخه عناصری مانند نیتروژن، گوگرد و فسفر نقش دارند (۳).

سیانوباکتری‌ها، شاخه‌ای از باکتری‌های موجود در خاک‌اند (۴) که جزء پروکاریوت‌های گرم منفی، فتوتروف و مولد اکسیژن هستند. برخی از سیانوباکتری‌ها قادر به تثبیت ازت اتمسفر هستند (۵). سیانوباکتری‌ها از سال‌ها پیش به عنوان تولیدکننده‌های پلی‌ساکاریدی خارجی^۲ (EPS) شناخته شده‌اند؛ این ترکیب به صورت یک غلاف نازک یا ضخیم یا به صورت لایه موسیلاژی در اطراف سلول‌ها قرار دارد (۶). این پوشش سبب نگه‌داشتن آب در اطراف سلول می‌شود و به این طریق سیانوباکتری‌ها، مقاومت زیادی در برابر خشکی پیدا می‌کنند. سیانوباکتری‌ها، به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد ساختار سلولی خود، در بسیاری از اکوسیستم‌های خشکی و آبی یافت می‌شوند و نقش مهمی در این زیستگاه‌ها دارند (۶، ۷، ۸).

سیانوباکتری‌ها از میکروارگانیسم‌های پیش‌قراول و مؤثر در تشکیل پوسته‌های زیستی به خصوص در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک هستند (۹، ۱۰).

پوسته‌های زیستی خاک^۳ از گروه‌های ماکروسکوپی موجودات زنده مانند خزها، گل‌سنگ‌ها، گیاهان ساده و پست و نیز گروه‌های میکروسکوپی همچون سیانوباکتری‌ها، ریزجلبک‌ها، قارچ‌ها، باکتری‌ها و آرکی‌ها تشکیل شده‌اند (۶، ۱۱، ۱۲). سیانوباکتری‌ها با ترشح مواد کربوهیدراتی که عمده آن را EPS تشکیل می‌دهد، نقش مهمی در اتصال ذرات خاک به یکدیگر دارند و موجب بهبود پایداری بافت خاک می‌شوند. از دیگر اثرات مفید حضور سیانوباکتری‌ها بر خاک، علاوه بر افزایش مقدار نیتروژن، افزایش مواد آلی خاک و به دنبال آن غنی‌سازی خاک و افزایش مواد غذایی ناشی از تجزیه پیکره مرده باکتری‌هاست (۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۴). تنفس خاک (۱۵)، افزایش سطح رطوبت خاک (۱۶)، کاهش فرسایش آبی و بادی خاک و پایداری خاک توسط این موجودات در بسیاری از منابع علمی گزارش شده‌اند (۱۳). همچنین پوسته‌های زیستی با تثبیت خاک می‌توانند به عنوان روشی برای بیابان‌زدایی مطرح شوند.

با توجه به اینکه کشور ایران سطوح بیابانی متعددی دارد (۱۷)، می‌توان از روش‌های گوناگونی مانند روش‌های زیستی برای بیابان‌زدایی استفاده کرد که امروزه شایان توجه بسیاری از دانشمندان در حوزه محیط زیست است؛ از جمله روش‌های زیستی مهم در بیابان‌زدایی، تقویت پوسته‌های زیستی است.

مواد و روش‌ها

سویه‌های استفاده‌شده در این تحقیق: در این مطالعه از ۱۹ سویه سیانوباکتریایی استفاده شد که به ترتیب ۹ سویه (از شماره ۱ تا ۹ در جدول ۱) متعلق به بانک میکروبی دانشگاه الزهرا^(س) و ۱۰ سویه (از شماره ۱۰ تا

۱۹ در جدول ۱) متعلق به بانک میکروبی دانشگاه شهید بهشتی بود. تمامی سویه‌های سیانوباکتریایی، از خاک استان‌های مختلف کشور جدا شده‌اند که اطلاعات آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

غربالگری برترین سویه سیانوباکتریایی مولد کربوهیدرات ترش‌چی: کشت سیانوباکتری‌ها: به منظور غربالگری سیانوباکتری‌های مولد بیشترین مقدار کربوهیدرات ترش‌چی، تعداد حدود ۵ کلنی از کشت تازه هر ۱۹ سویه سیانوباکتری رشد یافته از محیط کشت جامد BG-11 (۱۸) برداشته شد. سپس به ارلن‌هایی با حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر و حاوی ۵۰ میلی‌لیتر محیط کشت مایع BG-11 تلقیح و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با

نور فلورسنت سفید و با شدت ۳۰۰۰ لوکس و طول نوردهی ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی به مدت ۳ هفته در شیکر انکوباتور با دور ۹۰ rpm گرماگذاری شد تا مقدار مناسبی زیست‌توده برای سنجش مقدار کربوهیدرات به دست آمد. تجربه نشان داد در این شرایط سویه‌های سیانوباکتری رشد خوبی دارند.

سنجش مقدار کربوهیدرات ترش‌چی سیانوباکتری: زیست‌توده سیانوباکتری‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دور ۱۲۶۰g سانتریفیوژ شد (۱۹). سپس مایع رویی جدا و برای سنجش میزان کربوهیدرات ترش‌چی به روش فنول - اسید سولفوریک استفاده شد (۲۰).

جدول ۱- سویه‌های استفاده شده در پژوهش

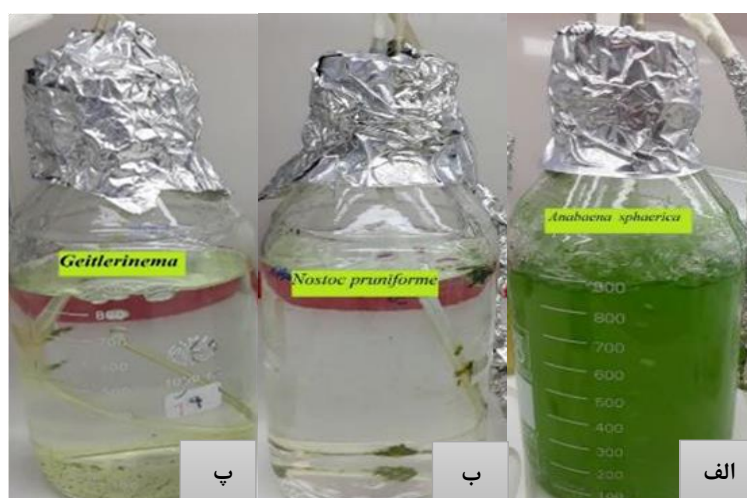
ردیف	اسامی سویه‌های سیانوباکتریایی	محل نمونه‌برداری	طول و عرض جغرافیایی	منبع	pH
۱	<i>Geitlerinema.sp</i>	ایران، فارس	۲۹°۵۸'N ۵۲°۵۵' E	خاک	۸/۸
۲	<i>Pseudanabaena.sp</i>	ایران، فارس	۲۹°۵۸'N ۵۲°۵۵' E	خاک	۸/۸
۳	<i>Pseudanabaena.sp</i>	ایران، مازندران	۵۲°۷۳'N ۳۶°۴۵' E	خاک	۸/۶
۴	<i>Chroococcus.sp</i>	ایران، مازندران	۵۲°۷۳'N ۳۶°۴۵' E	خاک	۸/۶
۵	<i>Nostoc.sp</i>	ایران، مازندران	۵۲°۷۳'N ۳۶°۴۵' E	خاک	۸/۶
۶	<i>Chlorogloea.sp</i>	ایران، کردستان	۳۵°۴۹'N ۴۷°۹۷' E	خاک	۸/۳
۷	<i>Chlorogloea.sp</i>	ایران، کردستان	۳۵°۴۹'N ۴۷°۹۷' E	خاک	۸/۳۶
۸	<i>Nostoc pruniforme</i>	ایران، فارس	۳۰°۱۲'N ۵۳°۱۱' W	سنگ	۸/۳
۹	<i>Chlorella minutissima</i>	ایران، گیلان	۳۷°۰۷'N ۴۹°۲۱' E	خاک	۸/۱
۱۰	<i>Wolleea vaginicola</i>	ایران، لرستان، ویسان	۳۳°۴۹'N ۴۸°۰۷' E	خاک	۸/۴
۱۱	<i>Anabaena oscillarioides</i>	ایران، فارس، ابراهیم‌آباد	۲۸°۵۵'N ۵۳°۰۸' E	خاک	۸/۳
۱۲	<i>Wolleea vaginicola</i>	ایران، گیلان، رستم‌آباد	۳۶°۵۳'N ۴۹°۰۲' E	خاک	۸/۱
۱۳	<i>Trichormus variabilis</i>	ایران، گیلان، رحیم‌آباد	۳۶°۵۱'N ۵۰°۰۱۳' E	خاک	۸
۱۴	<i>Anabaena sphaerica</i>	ایران، اصفهان، فلاورجان	۳۲°۳۲'N ۵۱°۰۳۰' E	خاک	۸/۴
۱۵	<i>Hapalosiphon welwitschii</i>	ایران، مازندران، سوادکوه	۳۶°۰۸'N ۵۳°۰۲' E	خاک	۷/۸
۱۶	<i>Nostoc calcicola</i>	ایران، مازندران، تنکابن	۳۶°۴۸'N ۵۰°۵۲' E	خاک	۸/۱
۱۷	<i>Cylindrospermum musicola</i>	ایران، قزوین، الموت	۳۶°۲۳'N ۵۰°۰۳۳' E	خاک	۸/۱
۱۸	<i>Nostoc sp1.</i>	ایران، خراسان رضوی، کلات	۳۶°۵۹'N ۵۹°۰۴۷' E	خاک	۸/۱
۱۹	<i>Nostoc sp2.</i>	ایران، اصفهان، لنجان	۳۲°۲۲'N ۵۱°۰۲۲' E	خاک	۸/۳

تشکیل پوسته زیستی در خاک توسط ۳ سویه منتخب سیانوباکتری

تهیه زیست‌توده سیانوباکتریایی: سه سویه *Anabaena sphaerica*، *Geitlerinema* و *Nostoc pruniforme* که بیشترین مقدار کربوهیدرات ترش‌گی را مطابق روش فنول - اسید سولفوریک تولید کرده بودند، برای مراحل بعدی آزمون‌ها انتخاب شدند. در این مرحله به منظور تهیه زیست‌توده سیانوباکتریایی، ابتدا ۹۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت مایع BG-11 در بطری‌های ۱ لیتری (شکل ۱) استریل شد. پس از آن، به مقدار مساوی از ۳ سویه سیانوباکتریایی به درون بطری‌ها تلقیح شد. هوادهی به میزان ۳ لیتر در دقیقه توسط پمپ انجام شد. در مسیر شیلنگ‌های هوادهی، فیلتر استریل ۰/۲ میکرومتری قرار داده شد تا از

ورود آلودگی‌های محیطی و میکروبی جلوگیری شود. سپس بطری‌های کشت در شرایط مشابه قبلی گرماگذاری شد. پس از گذشت ۴ هفته، از زیست‌توده به دست آمده سیانوباکتری‌ها به منظور تلقیح به خاک استفاده شد.

تهیه و آماده‌سازی خاک: خاک استفاده شده در این تحقیق خاک ضعیف با مقدار کم نیتروژن و ماده آلی و نیز بدون پوشش گیاهی و کشت بود که از عمق ۱۵-۰ سانتی متری سطح خاک موجود در مؤسسه تحقیقات خاک و آب برداشته شد. این خاک طی دو مرحله الک شد تا بافت آن همگن شود. در جدول ۲ ویژگی‌های این خاک ارائه شده‌اند.



شکل ۱- الف) *Anabaena sphaerica*، ب) *Nostoc pruniforme*، پ) *Geitlerinema* زیست‌توده به دست آمده را در ۳ سویه برتر سیانوباکتری نشان می‌دهد.

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک استفاده شده در این پژوهش

مس mg.kg ⁻¹	منگنز mg.kg ⁻¹	آهن mg.kg ⁻¹	روی mg.kg ⁻¹	فسفر mg.kg ⁻¹	نیتروژن کل mg.kg ⁻¹	پتاسیم mg.kg ⁻¹	ماده آلی mg.kg ⁻¹	سیلت %	شن %	رس %	بافت خاک	EC ds.m ⁻¹	pH
۱/۲	۱۱/۹	۵/۳	۰/۵	۲/۸	۰/۰۴	۳۸۰/۳۰	۰/۲۹	۲۱/۵	۶۵	۱۳/۵	لومی	۹	۷/۷۵

											شنی		
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--

11 فاقد نیتروژن رقیق شده به نسبت ۱:۱ با آب انجام شد (۹).

بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک: پس از گذشت ۴۵ روز از رشد سیانوباکتری‌ها، به منظور سنجش پارامترهای مختلف فیزیکی و شیمیایی، خاک از عمق ۱-۰ سانتی متری سطح خاک گلدان‌ها برداشته شد. سپس این نمونه‌های خاک، در هوای آزمایشگاه خشک شدند. به منظور سنجش مقدار pH خاک، ۲۰ گرم از خاک الک شده، توزین و ۵۰ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه شد و به مدت ۲ ساعت روی شیکر قرار گرفت و در نهایت pH خاک اندازه گیری شد (۲۱). هدایت الکتریکی، وزن مخصوص ظاهری خاک (۲۱)، درصد پایداری خاکدانه در آب (WSA)^۴ (۲۲)، میانگین وزنی قطر ذرات خاک (MWD)^۵ (۲۳)، نیتروژن کل خاک به روش کجلدال (۲۴) و کربن آلی کل (۲۵) در آزمایشگاه خاک‌شناسی مؤسسه جنگل‌ها و مراتع کشور انجام شدند.

بررسی استرئومیکروسکوپی و میکروسکوپ الکترونی روبشی^۶ پوسته‌های زیستی: پس از گذشت ۴۵ روز از رشد سیانوباکتری‌ها روی خاک‌های مدنظر، برای مشاهده و بررسی تغییرات سطحی، از هر تیمار خاک، قالب ۱ سانتی متری جدا شد و پس از خشک شدن در هوای آزمایشگاه، سطح خاک توسط استرئومیکروسکوپ مشاهده و عکسبرداری شد. همچنین تشکیل پوسته‌های زیستی سطح تیمارهای ذکر شده خاک توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل TESCAN VEGA3 بررسی و تصویربرداری شد.

نتایج

آزمایش‌های گلدانی: تعداد ۱۴ گلدان به ابعاد ارتفاع ۱۰ سانتی متر، طول آن ۲۵ سانتی متر و عرض ۲۱/۵ سانتی متر تهیه شدند و در هر گلدان ۲ کیلو گرم خاک غیرسترون ریخته و میزان رطوبت نسبی خاک برابر با ۸۰ درصد تنظیم شد (۹).

تلقیح ۳ سویه منتخب سیانوباکتری به خاک: مجموعه آزمایش‌های گلدانی با ۵ نوع تیمار انتخاب و برای هر تیمار ۳ تکرار و برای کنترل ۲ تکرار در نظر گرفته شد. الف) تیمار ۱: خاک بدون تلقیح سیانوباکتری و آبیاری شده با ۲۰۰ میلی لیتر محیط کشت BG-11 (کنترل)، ب) تیمار ۲: خاک با تلقیح ۲۰۰ میلی لیتر زیست توده *Geitlerinema.sp* (پ) تیمار ۳: خاک با تلقیح ۲۰۰ میلی لیتر زیست توده *Nostoc pruniforme*، ت) تیمار ۴: خاک با تلقیح ۲۰۰ میلی لیتر زیست توده *Anabaena sphaerica* (ج) تیمار ۵: خاک با تلقیح ۲۰۰ میلی لیتر از مخلوط ۳ زیست توده سویه‌های سیانوباکتریایی منتخب که برای تهیه تیمار ۵ از هر سویه سیانوباکتریایی ۲۰۰ میلی لیتر برداشته و با یکدیگر مخلوط شد. سپس به هر گلدان مقدار ۲۰۰ میلی لیتر از این مخلوط سیانوباکتریایی تلقیح شد. گفتنی است حجم مشخص و مشابهی از بیومس سیانوباکتری‌ها برای این منظور تلقیح شد.

نحوه نگهداری گلدان‌ها: به هر گلدان، در ۲ نوبت روز اول و روز بیستم مقدار ۲۰۰ میلی لیتر زیست توده سیانوباکتری اضافه شد. تمامی گلدان‌ها، به مدت ۴۵ روز در شرایط مشابه قبلی گرماگذاری شدند که برای رشد سیانوباکتری‌ها گفته شده بود. آبیاری گلدان‌ها به روش وزنی و به صورت ۳ بار در هفته با محیط کشت مایع BG-

۸/۸۱	<i>Cylindrospermum musicola</i>	۱۷
۲۵/۵۹	<i>Nostoc.sp₁</i>	۱۸
۵/۸۰	<i>Nostoc.sp₂</i>	۱۹

جدول ۴- انواع تیمارهای خاک

شماره	تیمارهای خاک
۱	خاک کنترل
۲	خاک تلقیح شده با <i>Geitlerinema.sp</i>
۳	خاک تلقیح شده با <i>Nostoc pruniforme</i>
۴	خاک تلقیح شده با <i>Anabaena sphaerica</i>
۵	خاک تلقیح شده با مخلوطی از ۳ زیست‌توده سیانوباکتریایی

نتایج تلقیح سویه‌های برتر سیانوباکتریایی بر

ویژگی‌های فیزیکی خاک

الف- سنجش وزن مخصوص ظاهری خاک: وزن

مخصوص ظاهری خاک در تیمار ۵ برابر با ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب، در تیمارهای شماره ۲ و ۳ برابر با ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب و در تیمارهای ۱ و ۴ برابر با ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود (شکل ۲- الف).

ب- سنجش میانگین وزنی قطر ذرات خاک:

بیشترین میانگین وزنی قطر ذرات خاک در تیمار ۲ برابر با ۰/۷۳ میلی‌متر، در خاک کنترل برابر با ۰/۶۱ میلی‌متر و در تیمارهای ۳، ۴ و ۵ به ترتیب برابر با ۰/۵۲، ۰/۴۷ و ۰/۵۹ میلی‌متر بود (شکل ۲- ب).

پ- درصد پایداری خاکدانه: بیشترین مقدار

پایداری خاکدانه در تیمار ۲ مشاهده شد که برابر با ۰/۵۲ بود. این پارامتر در تیمار ۱ و ۵ برابر با ۰/۴۹ و در تیمارهای ۳ و ۴ به ترتیب برابر با ۰/۴۷ و ۰/۴۶ بود (شکل ۲- ت).

نتایج غربالگری سویه‌های منتخب سیانوباکتریایی

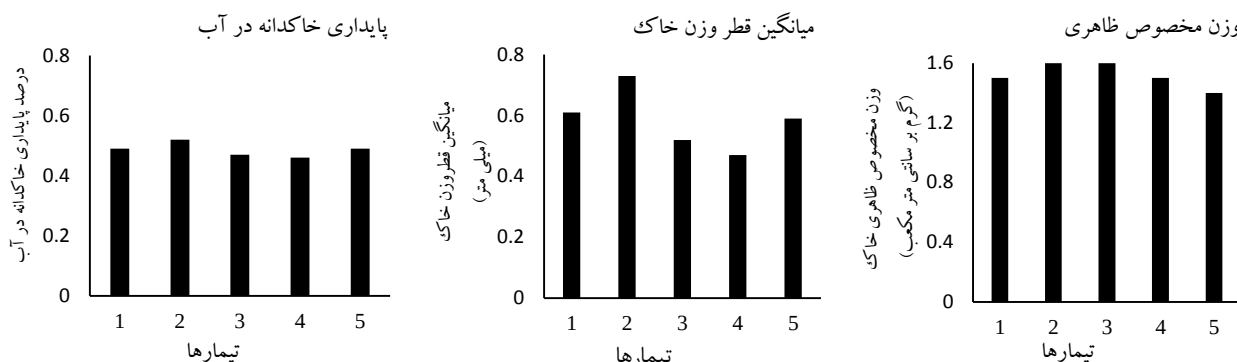
مولد بیشترین مقدار کربوهیدرات ترش‌چی: از میان ۱۹ سویه ذکر شده، با در نظر گرفتن بیشترین مقدار زیست‌توده و کربوهیدرات تولیدشده (جدول ۳) *Nostoc* و *Geitlerinema.sp*، *Anabaena sphaerica* و *pruniforme* از میان سایر سویه‌ها به عنوان سویه‌های برتر انتخاب شدند. به منظور تشکیل پوسته‌های زیستی، زیست‌توده این سه سویه به خاک تلقیح شد.

نتایج تلقیح سویه‌های برتر سیانوباکتریایی بر برخی

ویژگی‌های خاک و تشکیل پوسته‌های زیستی: انواع تیمارهای اعمال شده بر خاک در جدول ۴ ارائه شده‌اند.

جدول ۳- مقدار کربوهیدرات ترش‌چی در سویه‌های سیانوباکتریایی

ردیف	سیانوباکتری‌ها	مقدار کربوهیدرات تولیدشده (μg/ml)
۱	<i>Geitlerinema.sp</i>	۵۵/۹۱
۲	<i>Pseudanabaena.sp</i>	۳۴/۹۴
۳	<i>Pseudanabaena.sp</i>	۰
۴	<i>Chroococcus.sp</i>	۱۲/۶۸
۵	<i>Nostoc.sp</i>	۲۹/۵۶
۶	<i>Chlorogloea.sp</i>	۰
۷	<i>Chlorogloea.sp</i>	۰
۸	<i>Nostoc pruniforme</i>	۶۴/۱۹
۹	<i>Chlorella minutissima</i>	۱۱/۲۹
۱۰	<i>Wolleea vaginicola</i>	۸/۲۷
۱۱	<i>Anabaena oscillarioides</i>	۱۲/۲۵
۱۲	<i>Wolleea vaginicola</i>	۱۴/۱۹
۱۳	<i>Trichormus variabilis</i>	۱۴/۵۱
۱۴	<i>Anabaena sphaerica</i>	۸۶/۶۶
۱۵	<i>Hapalosiphon welwitschii</i>	۱۱/۵۰
۱۶	<i>Nostoc calcicola</i>	۶/۷۷



شکل ۲- تغییر ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل الف) وزن مخصوص ظاهری خاک، ب) میانگین وزن قطر ذرات خاک، ت) پایداری خاکدانه در آب، در خاک کنترل و خاک تیمار شده با سویه‌های سیانوباکتری‌ها نشان داده شده است. تیمار ۱ خاک کنترل، تیمار ۲ خاک تلقیح شده با *Geitlerinema.sp*، تیمار ۳ خاک تلقیح شده با *Nostoc pruniforme*، تیمار ۴ خاک تلقیح شده با *Anabaena sphaerica*، تیمار ۵ خاک تلقیح شده با زیست توده مخلوط هر ۳ سویه سیانوباکتریایی است.

افزایش یافته است (شکل ۳-ب).

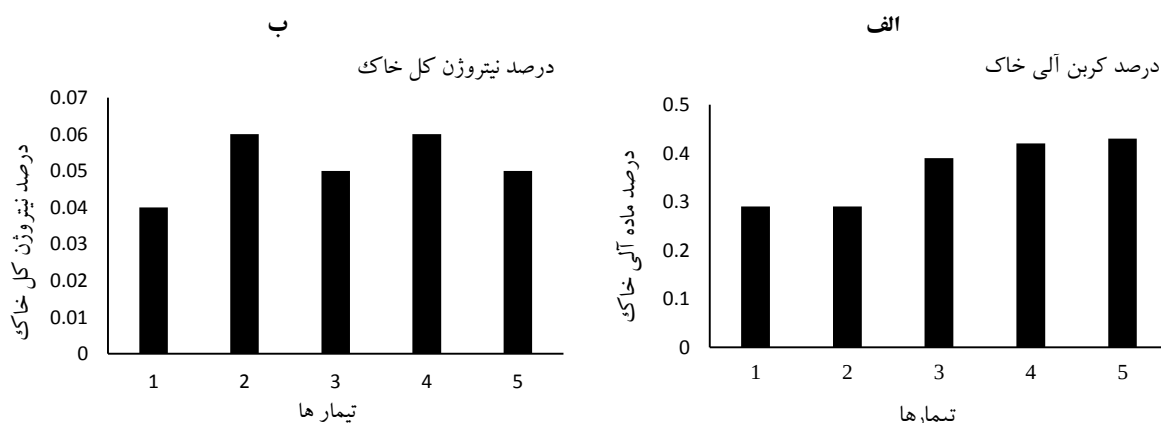
ت- سنجش pH خاک: نتایج نشان می‌دهند مقدار اسیدیته خاک تیمار ۲، برابر با ۷/۸۹ است و در مقایسه با خاک کنترل و تیمارهای ۳، ۴ و ۵ که به ترتیب برابر با ۷/۷۵، ۷/۷۴، ۷/۷۹ و ۷/۸۰ هستند، افزایش یافته است (شکل ۳-ت).

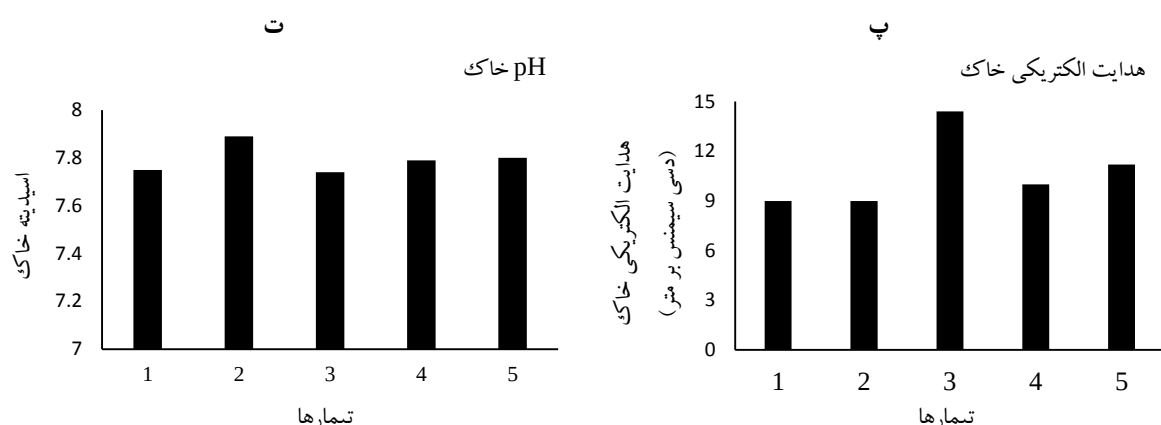
ث- سنجش هدایت الکتریکی خاک: میزان هدایت الکتریکی خاک تحت تیمار ۳، برابر با ۱۴/۴ دسی‌سیمنس بر متر است که در مقایسه با خاک کنترل و تیمارهای ۲، ۴ و ۵، به ترتیب برابر با ۹، ۹، ۱۰ و ۱۱/۲ دسی‌سیمنس بر متر، بیشتر است (شکل ۳-ث).

نتایج تلقیح سویه‌های برتر سیانوباکتریایی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

الف- سنجش درصد نیتروژن کل خاک: نتایج سنجش‌ها نشان می‌دهند مقدار درصد نیتروژن کل خاک پس از ۴۵ روز، در خاک کنترل به مقدار ۰/۰۴، در تیمارهای ۲ و ۴ برابر با ۰/۰۶ و تیمارهای ۳ و ۵ به مقدار ۰/۰۵ افزایش یافته است (شکل ۳-الف).

ب- سنجش درصد کربن آلی کل خاک: نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهند مقدار کل کربن آلی خاک تیمارهای ۴ و ۵ به ترتیب برابر با ۰/۴۲ و ۰/۴۳ است و در مقایسه با کنترل و تیمارهای ۲ و ۳ که به ترتیب برابر با ۰/۲۹، ۰/۲۹ و ۰/۳۹ هستند، به‌طور چشمگیری





شکل ۳- تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل الف) درصد نیتروژن کل خاک، ب) درصد کربن آلی خاک، ت) pH خاک و ث) هدایت الکتریکی خاک در خاک کنترل و تیمار شده با سیانوباکتری‌ها. تیمار ۱ خاک کنترل، تیمار ۲ خاک تلقیح شده با *Geitlerinema.sp*، تیمار ۳ خاک تلقیح شده با *Nostoc pruniforme*، تیمار ۴ خاک تلقیح شده با *Anabaena sphaerica* و تیمار ۵ خاک تلقیح شده با زیست توده مخلوط ۳ سویه سیانوباکتریایی است.

شکل ۵ مربوط به تصاویر به دست آمده با *Geitlerinema.sp*: در بین عکاسی و استرئومیکروسکوپ از سطح خاک تیمار ۲ در روزهای مختلف است که نشان دهنده رشد سیانوباکتری‌ها و استقرار آنها بر سطح خاک طی زمان گرماگذاری است. همچنین حضور پوسته زیستی با ضخامت کم نیز در سطح خاک، به خوبی با چشم غیر مسلح دیده می‌شود. تصاویر استرئومیکروسکوپی، لایه‌ای از سیانوباکتری مورد اشاره را بر سطح خاک به خوبی نشان می‌دهد. شکل ۶ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح خاک تیمار ۲ است که لایه‌ای از رشته‌های سیانوباکتریایی و EPS تولید شده توسط آنها را نشان می‌دهند که ذرات خاک را به خوبی پوشش داده‌اند.

نتایج بررسی ظاهری پوسته‌های زیستی

خاک‌های تیمار شده با سیانوباکتری

نتایج ظاهری و میکروسکوپی خاک کنترل: شکل ۴

تصاویر به دست آمده با دوربین عکاسی، استرئومیکروسکوپ و میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح خاک کنترل است که فقط با محیط کشت مایع رقیق شده BG-11 فاقد نیتروژن آبیاری شده است که تغییرات چشمگیری در سطح خاک کنترل، طی دوره گرماگذاری مشاهده نمی‌شود. همان‌طور که در شکل میکروسکوپ الکترونی روبشی (۴-ث) مشاهده می‌شود، ذرات خاک کاملاً پراکنده‌اند و اتصال محکمی بین ذرات دیده نمی‌شود.

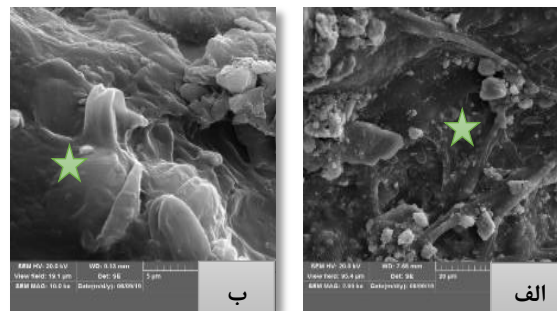
نتایج ظاهری و میکروسکوپی خاک تلقیح شده با



شکل ۴- الف) تصویر روز هفتم سطح خاک کنترل، ب) تصویر روز چهل و پنجم سطح خاک کنترل، ت) تصویر استرئومیکروسکوپی سطح خاک کنترل در روز چهل و پنجم، ث) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سطح خاک کنترل با بزرگنمایی $20\mu\text{m}$ در روز چهل و پنجم



شکل ۵- الف) تصویر روز هفتم سطح خاک تیمار ۲، ب) تصویر روز چهل و پنجم سطح خاک تیمار ۲، ت) تصویر استرئومیکروسکوپی سطح خاک تیمار ۲ در روز چهل و پنجم

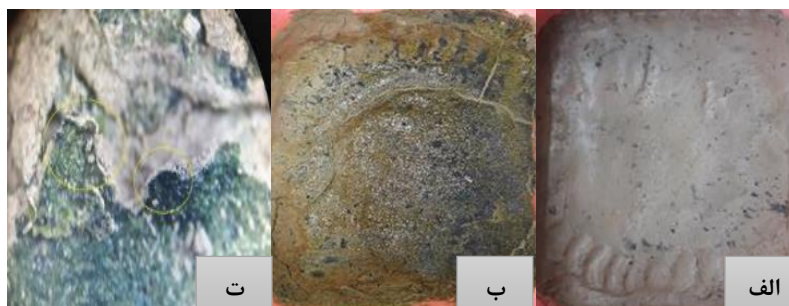


شکل ۶- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح خاک تیمار ۲، الف) سطح خاک با بزرگنمایی $20\mu\text{m}$ ، ب) همان زمینه با بزرگنمایی بیشتر، علامت ستاره حضور لایه EPS ضخیم را نشان می‌دهد که روی سلول‌ها و ذرات خاک را پوشانده است.

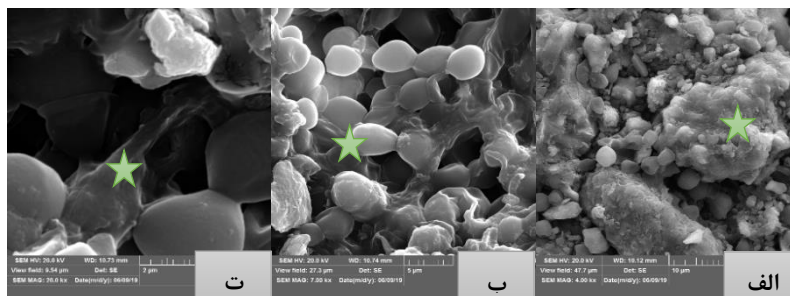
نیز به خوبی با چشم غیرمسلح دیده می‌شود. شکل ۸ تصاویر به دست آمده با میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح خاک تیمار ۳ است که به خوبی حضور سیانوباکتری و لایه EPS را روی سطح خاک نشان می‌دهد.

نتایج ظاهری و میکروسکوپی خاک تلقیح شده با

Nostoc prunifurme: شکل ۷ تصاویر به دست آمده با دوربین عکاسی و استرئومیکروسکوپ از سطح گلدان تیمار ۳ در روزهای مختلف است که نشان‌دهنده حضور و رشد *Nostoc prunifurme* بر سطح خاک طی زمان گرماگذاری است. تشکیل پوسته زیستی با ضخامت کم



شکل ۷- الف) تصویر روز هفتم سطح خاک تیمار ۳، ب) تصویر روز چهل و پنجم خاک تیمار ۳، ت) تصویر استرئومیکروسکوپی سطح خاک تیمار ۳ که با علامت دایره به ضخامت پوسته زیستی تشکیل شده روی آن اشاره شده است.

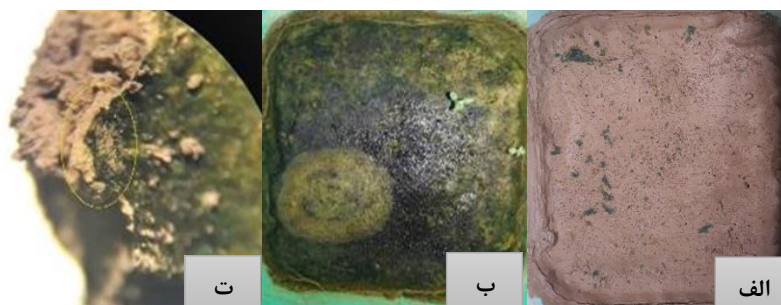


شکل ۸- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح خاک تیمار ۳، الف) حضور سلول‌های سیانوباکتری و لایه EPS که روی ذرات خاک را پوشانده است، به خوبی دیده می‌شود و با علامت ستاره به آن اشاره شده است، ب) تصویر الف با بزرگنمایی بیشتر، ت) حضور رشته‌های EPS بین ذرات خاک که باعث اتصال آنها شده است و با علامت ستاره نشان‌دار شده است، به وضوح دیده می‌شود.

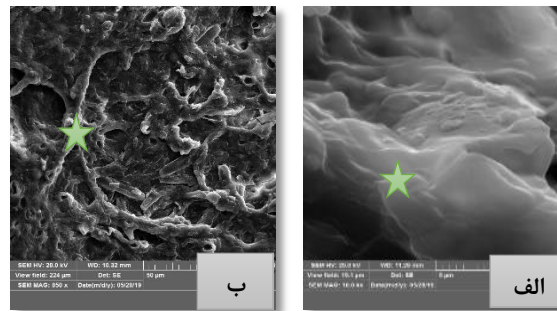
الکترونی روبشی از سطح خاک تیمار ۴ در شکل ۱۰، تغییرات سطح خاک را نسبت به کنترل و دیگر تیمارها به خوبی نشان می‌دهد. همچنین حضور سیانوباکتری‌ها و EPS آنها بر سطح خاک مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که ذرات خاک را کاملاً پوشانده و مانند یک سیمان زیستی روی سطح خاک را فراگرفته است.

نتایج تیمار خاک با *Anabaena sphaerica*: شکل ۹

تصاویر تهیه‌شده با دوربین عکاسی و استرئومیکروسکوپ از سطح گلدان تیمار ۴ در روزهای مختلف است که نشان‌دهنده حضور و رشد *Anabaena sphaerica* بر سطح خاک است. تشکیل پوسته زیستی روی خاک به خوبی با چشم غیرمسلح دیده می‌شود. بررسی عکس‌های



شکل ۹- الف) تصویر روز اول سطح خاک تیمار ۴، ب) تصویر روز چهل و پنجم سطح خاک تیمار ۴، ت) تصویر استرئومیکروسکوپی روز چهل و پنجم سطح خاک تیمار ۴ و علامت دایره به ضخامت پوسته زیستی تشکیل شده روی آن اشاره دارد.

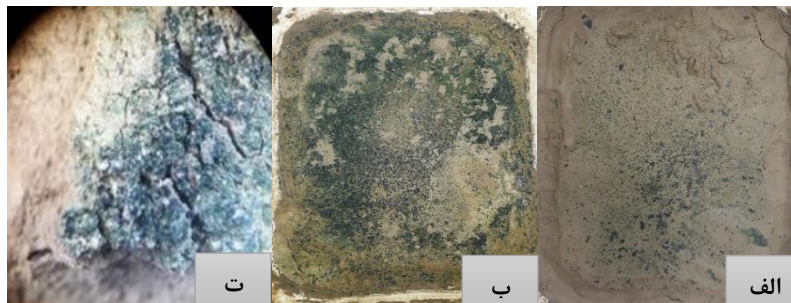


شکل ۱۰- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح خاک تیمار ۴، الف) حضور سلول‌ها همراه با EPS به خوبی دیده می‌شود که با علامت ستاره مشخص شده است، ب) لایه‌های EPS مترشحه توسط سلول‌ها روی سطح خاک به خوبی مشاهده می‌شود و با علامت ستاره نشان‌دار شده است.

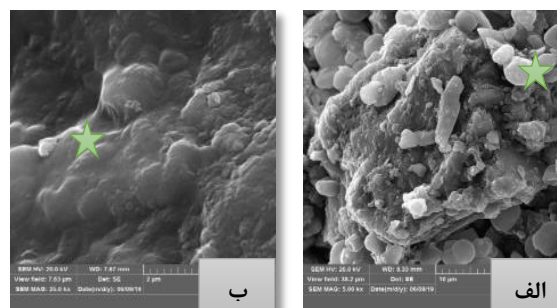
غیر مسلح دیده می‌شود. مقایسه چشمی تصاویر نشان می‌دهد میزان رشد در این تیمار کمتر از سایر تیمارها است. شکل ۱۲ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح خاک تیمار ۵، به خوبی حضور سلول‌های سیانوباکتریایی و لایه ضخیمی از EPS بر سطح خاک را نشان می‌دهد.

نتایج خاک تلقیح‌شده با مخلوط *Anabaena*

Geitlerinema.sp و *Nostoc prunifurme sphaerica*: شکل ۱۱ تصاویر تهیه‌شده با دوربین عکاسی و استرئومیکروسکوپ از سطح گلدان تیمار ۵ است که حضور و رشد سیانوباکتری‌ها بر سطح خاک را نشان می‌دهد؛ تشکیل پوسته زیستی به خوبی در آن با چشم



شکل ۱۱- الف) تصویر روز هفتم سطح خاک با تیمار ۵، ب) تصویر روز چهارم و پنجم سطح خاک با تیمار ۵، ت) تصویر استرئومیکروسکوپی روز چهارم و پنجم سطح خاک با تیمار ۵.



شکل ۱۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح خاک تیمار ۵، الف) در این تصویر حضور سلول‌های سیانوباکتریایی در سطح خاک با علامت ستاره مشخص شده است، ب) حضور لایه ضخیمی از EPS بر سطح خاک، باعث چسبندگی ذرات خاک شده و به صورت کامل

سطح آن را پوشانده است و با علامت ستاره نشان‌دار شده‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری

پلی ساکارید خارج سلولی (EPS) در سیانوباکتری‌ها به اشکال مختلفی دیده می‌شود که شامل پلی ساکارید خارج سلولی به صورت غلاف، کپسول لعابی و پلی ساکارید خارج سلولی آزاد شده در محیط است (۲۳)، (۲۴). در این پژوهش مقدار کربوهیدرات ترشحي موجود در مایع رویی کشت سیانوباکتری که شامل مونوساکارید، دی ساکارید و پلی ساکاریدهای خارج سلولی سیانوباکتریایی است، به روش پتل^۷ و همکاران سنجیده شد (۱۹). برای انتخاب سیانوباکتری برتر با بیشترین مقدار کربوهیدرات ترشحي، از روش فنول - اسید سولفوریک استفاده شد.

خاک استفاده شده در این تحقیق از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شد. با توجه به ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی ارائه شده در جدول ۲، این خاک از لحاظ مواد مغذی جزء خاک‌های ضعیف و فقیر محسوب می‌شود و درصد کمی نیتروژن و ماده آلی دارد. ویژگی‌های خاک استفاده شده در این تحقیق با ویژگی‌های خاک نواحی بیابانی نیمه خشک که نیشا^۸ و عیسی^۹ و همکاران گزارش داده بود (۲۷، ۲۸) مشابه بود.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد در این پژوهش، از خاک غیرسترون برای بررسی تشکیل پوسته زیستی استفاده شد؛ زیرا در شکل‌گیری و توسعه پوسته‌های زیستی، علاوه بر سیانوباکتری‌ها، دیگر میکروارگانیسم‌ها مانند ریز جلبک‌ها، قارچ‌ها، باکتری‌ها و آرکی‌ها نیز نقش بسیار مهمی دارند (۱۲)؛ هرچند به نظر می‌رسد سیانوباکتری‌ها در این حوزه پیش‌قراول هستند. به منظور کوتاه کردن مدت زمان رشد سیانوباکتری‌ها و تشکیل پوسته‌های

زیستی که حدود ۶ هفته به طول انجامید، میزان رطوبت خاک تا ۸۰ درصد افزایش یافت (۲۹). در تحقیقات دیگری که نیشا و همکاران انجام دادند، مدت زمان رشد سیانوباکتری در خاک، با تأمین رطوبت حدود ۱۲ درصد و ۶ درصد، حدود ۲۴۰ روز بوده است (۲۷). نوع گلدان استفاده شده در پژوهش به صورت مستطیل و پهن انتخاب شد تا سطح بیشتری از خاک در مقابل نور قرار گیرد و شرایط برای نوردهی و رشد سیانوباکتری‌ها و به دنبال آن امکان تشکیل پوسته‌های زیستی بهتر فراهم شود. با توجه به اینکه هدف، تشکیل پوسته‌های زیستی در مدت زمان کوتاه بود، تلقیح سیانوباکتری در دو نوبت انجام شد و به منظور بررسی امکان تثبیت نیتروژن توسط سویه‌ها و به دنبال آن افزایش مقدار نیتروژن خاک، از محیط کشت BG-11 فاقد نیتروژن برای آبیاری گلدان‌ها استفاده شد. وزن مخصوص ظاهری جزء و ویژگی‌های فیزیکی مهم خاک محسوب می‌شود. دو عامل MWD و WSA جزء شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک به شمار می‌روند. بیرونایس^{۱۰} در گزارش خود MWD خاک‌های مختلف را به ۵ دسته تقسیم کرد: $MWD > 0.4$ میلی‌متر نشان‌دهنده خاک بسیار ناپایدار، مقدار MWD در بازه $0.08 - 0.4$ میلی‌متر خاک ناپایدار، مقدار MWD در بازه $0.03 - 0.08$ میلی‌متر خاک تا حدی پایدار، مقدار MWD در بازه $0.02 - 0.03$ میلی‌متر خاک پایدار و مقدار $MWD < 0.02$ میلی‌متر خاک بسیار پایدار است (۲۳). نتایج آنالیز این خاک‌ها نشان می‌دهند خاک‌های تحت تیمار در این پژوهش، در بازه ناپایدار قرار دارند؛ اگرچه مقدار MWD و WSA خاک تیمار ۲ به طور مشهودی افزایش یافت. این موضوع می‌تواند به حضور رشته‌های سیانوباکتری تلقیح شده در

خاک و تأثیر چسبندگی غلاف پلی‌ساکاریدی تولیدشده آنها نسبت داده شود که مشابه نتایج سایر محققان بوده است (۲۸).

چنین به نظر می‌رسد که استفاده از سیانوباکتری‌ها در تشکیل پوسته زیستی، در خاک‌های خشک و ضعیف می‌تواند در افزایش مقدار نیتروژن، کربن و سایر مواد مغذی خاک مؤثر باشد (۲۷). سیانوباکتری‌های تلقیح‌شده در تیمار ۴ جزء سیانوباکتری‌های دارای هتروسیست هستند و به خوبی توانایی تثبیت نیتروژن را دارند. هنگامی که پیکره سیانوباکتری وارد خاک می‌شود، می‌تواند مواد آلی را به خاک اضافه کند و این نتایج مشابه با گزارش‌های محققان دیگر است (۲۸). گفتنی است آنزیم‌های نیتروژناز در pH اسیدی فعالیت بهتری دارند و در pH قلیایی، تثبیت نیتروژن کمتر انجام می‌شود. در این مطالعه میزان pH خاک‌های تیمار شده نسبت به خاک کنترل افزایش یافته است. نتایج این پژوهش با نتایج همکاران تفاوت دارد. آنها گزارش کردند تلقیح سیانوباکتری به خاک باعث کاهش چشمگیر pH خاک شد که می‌تواند به حضور اسیدهای اورونیک موجود در پلی‌ساکارید غلاف نسبت داده شود (۲۷). هدایت الکتریکی یک محلول، جزء خواص الکتروشیمیایی محلول و شاخصی از مقدار املاح موجود در آن است. هر چقدر غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های حامل بار الکتریکی یک محلول افزایش یابد، هدایت الکتریکی آن نیز بیشتر می‌شود (۲۱). نتایج تلقیح مخلوط سویه‌ها به خاک در تیمار ۵ نشان می‌دهند میزان رشد سویه‌ها در این تیمار، کمتر از سایر تیمارها است که این کاهش می‌تواند به رقابت سویه‌ها یا اثرات آنتاگونیستی آنها نسبت داده شود. در این بررسی سویه *Anabaena sphaerica* دارای

بیشترین مقدار کربوهیدرات ترش‌چی، بیشترین میزان رشد و بیشترین مقدار زیست‌توده در مقایسه با دیگر سویه‌های مطالعه‌شده بود. به عبارت دیگر، با حضور این سیانوباکتری در خاک و با گذشت ۴۵ روز، پوسته‌های زیستی به خوبی تشکیل شدند. نتایج تصاویر کشت گلدان‌ها، استرئومیکروسکوپ و میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح خاک تیمارها نشان‌دهنده تفاوت‌های چشمگیری بین خاک تلقیح‌یافته و بدون تلقیح است که مشابه با گزارش مکوبلا و همکاران است. آنها دریافتند با تلقیح سیانوباکتری نوستوک^{۱۱} به خاک، اتصال ذرات و همچنین میزان کربن و نیتروژن خاک مطالعه‌شده افزایش یافته است (۲۸). همچنین روگز و برنز^{۱۲} بیان کردند تلقیح سیانوباکتری *Nostoc muscorum* به خاک ضعیف، تأثیرات مهمی بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌گذارد (۳۰). مطالعات مشابه برای سویه *Anabaena sphaerica* درباره جداسازی آن از خاک‌های خشک و شور است و چون این سویه توانایی تولید پلی‌ساکارید خارج سلولی را دارد، گزینه مناسبی برای تشکیل پوسته زیستی در خاک‌های بیابانی است (۳۱). همچنین به دلیل تحمل شوری می‌تواند برای اصلاح خاک‌های شور و رشد و جوانه‌زنی بذرها کاندیدای مناسبی باشد (۳۲).

در پژوهش حاضر براساس تولید بیشترین مقدار کربوهیدرات ترش‌چی، غربالگری اولیه از میان ۱۹ سویه سیانوباکتری انجام شد؛ در نهایت، سه سویه سیانوباکتریایی برای تلقیح به خاک و بررسی اثرات آنها بر ویژگی‌های خاک انتخاب شدند. نتایج مشاهدات میکروسکوپی به‌دست آمده نشان دادند هر سه سویه سیانوباکتریایی قادر به تشکیل پوسته‌های زیستی بر خاک بودند. سیانوباکتری

Cyanobacterial inoculation (cyanobacterisation): Perspectives for the development of a standardized multifunctional technology for soil fertilization and desertification reversal. *Earth-Science Reviews*. 2017; 171: 28-43.

- (3) Bastida F, Hernandez T, Garcia C. Soil degradation and rehabilitation: Microorganisms and functionality. In: *Microbes at Work: From Wastes to Resources*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2010; 253-70.
- (4) Janssen PH. Identifying the dominant soil bacterial taxa in libraries of 16S rRNA and 16S rRNA genes. *Applied and Environmental Microbiology*. 2006; 72 (3): 1719-28.
- (5) Castenholz RW, Wilmotte A, Herdman M, Rippka R, Waterbury JB, Itman I, et al. Phylum BX. Cyanobacteria. In: *Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology*. Springer, New York. 2001; 473-599.
- (6) Chug R, Mathur S. Extracellular Polymeric Substances from Cyanobacteria: Characteristics, Isolation and Biotechnological Applications-A Review. *Int. J. Adv. Eng. Sci. Technol*. 2013; 3: 49-53.
- (7) Alessandra Adessia, b Ricardo Cruz de Carvalhoc, Roberto De Philippisa, d Cristina Branquinhoc JM da S. Microbial extracellular polymeric substances improve water retention in dryland biological soil crusts. *Soil Biology and Biochemistry journal*. 2018; 67-9.
- (8) Moreno J, Vargas M, Olivares H, ... JR-J of, 1998 U. Exopolysaccharide production by the cyanobacterium *Anabaena* sp. ATCC 33047 in batch and continuous culture. *Elsevier*. 1998 [cited 2019 Dec 29].
- (9) Malam Issa O, Défarge C, Le Bissonnais Y, Marin B, Duval O, Bruand A, et al. Effects of the inoculation of cyanobacteria on the microstructure and the structural stability of a tropical soil. *Plant Soil*. 2007; 290 (1-2):

Anabaena sphaerica به دلیل تولید حداکثر زیست‌توده و تولید EPS بیشتر، برای آزمون‌های بعدی پیشنهاد می‌شود. با توجه به اینکه سیانوباکتری‌ها موجوداتی فتوتروف‌اند و برای رشد به محیط‌های کشت غنی و پیچیده نیاز ندارند، استفاده از این سویه‌ها برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک مناطق خشک و بیابانی و تقویت پوسته‌های زیستی پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

این پروژه در مجموعه آزمایشگاهی دکتر شایسته سپهر دانشگاه الزهراء^(س) و با حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه انجام شد که بدین ترتیب تقدیر می‌شود. از سرکار خانم دکتر شریعتمداری، استادیار محترم دانشکده علوم و فناوری زیستی دانشگاه شهید بهشتی، به دلیل در اختیار قرار دادن تعدادی از سویه‌های سیانوباکتری تشکر می‌شود.

References

- (1) Doran JW, Parkin TB. Defining and assessing soil quality. *Defin soil Qual a Sustain Environ Proc Symp Minneapolis, MN*. 1992. 1994; 35: 3-21.
- (2) Rossi F, Li H, Liu Y, De Philippis R. 209-19.
- (10) Gaysina L, Saraf A, P Singh. Cyanobacteria in Diverse Habitats. *Elsevier*. 2019 [cited 2019 Dec 9].
- (11) Evans RD, Johansen JR. Microbiotic Crusts and Ecosystem Processes. *CRC Crit Rev Plant Sci*. 1999; 18 (2): 183-225.
- (12) Belnap J, Gillette DA. Vulnerability of desert biological soil crusts to wind erosion: The influences of crust development, soil

- texture, and disturbance. In: *Journal of Arid Environments*. Academic Press; 1998; 133–42.
- (13) Taylor Chocka, Anita J. Antoninkab, Akasha M. Faistc, Matthew A. Bowkerb, Jayne Belnapd NNB. Responses of biological soil crusts to rehabilitation strategies Taylor. *Journal of Arid Environments journal*; 2019; 77–85.
- (14) Belnap J. Factors Influencing Nitrogen Fixation and Nitrogen Release in Biological Soil Crusts. In: *Biological soil crusts: structure, function, and management*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2001; 241–61.
- (15) Elbert W, Weber B, Andreae MO, Oschl UP. Microbiotic crusts on soil, rock and plants Microbiotic crusts on soil, rock and plants: neglected major players in the global cycles of carbon and nitrogen? Microbiotic crusts on soil, rock and plants. *Biogeosciences Discuss*. 2009; 6 (4): 6983–7015.
- (16) Belnap J. The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. *Hydrol Process*. 2006; 20 (15): 3159–78.
- (17) Khosroshahi M, Abtahi M, Kashki MT. Determining the territory of deserts in Iran from the aspect of natural environment factors. *Iran J Range Desert Res*. 2017; 24 (2).
- (18) Stanier RY, Kunisawa R, Mandel MC C-BG. Purification and Properties of Unicellular Blue-Green Algae (Order Chroococcales). *Bacteriological reviews*. 35 (2): 171–205.
- (19) Patel V, Berthold D, Puranik P, Gantar M. Screening of cyanobacteria and microalgae for their ability to synthesize silver nanoparticles with antibacterial activity. *Biotechnol Reports*. 2015; 5: 112–115.
- (20) Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry*. 1956; 28 (3): 350–356.
- (21) Mvondo, Verloo, Van Ranst, Pauwels. Translator javed ghazi ghazanshahi. *soil and plant analysis*. Tehran: AIJ; 2006.
- (22) Kemper WD, Rosenau RC. *Aggregate Stability and Size Distribution*; 1986.
- (23) Bissonnaia Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *Eur J Soil Sci*. 1996; 47 (4): 425–37.
- (24) Greenberg A, Clesceri L, Eaton A. Standard methods for the examination of water and wastewater; 1992.
- (25) Allen S, Grimshaw H, Parkinson J, Quarmby C. Chemical Analysis. Methods in Plant Ecology. *Black well Scientific Publications*; 1986.
- (26) Li P, Harding SE, Liu Z. Cyanobacterial exopolysaccharides: Their nature and potential biotechnological applications. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*. 2001; 18 (1): 375–404.
- (27) Nisha, Kaushik CPK. Effect of indigenous cyanobacterial application on structural stability and productivity of an organically poor semi-arid soil. *Geoderma*. 2006; 138 (1–2): 49–56.
- (28) Maqubela, P. N. S. Mnkeni, O. Malam Issa, M. T. Pardo LPD. *Nostoc* cyanobacterial inoculation in South African agricultural soils enhances soil structure, fertility, and maize growth. *Plant and Soil*. 2009; 315 (1): 79–92.
- (29) Issa, O. M., C. Défarge Y a. al. Effects of the inoculation of cyanobacteria on the microstructure and the structural stability of a tropical soil. *Plant and soil*. 2007; 290 (1): 209–219.
- (30) Rogers SL, Burns RG. Changes in aggregate stability, nutrient status, indigenous microbial populations, and seedling emergence, following inoculation of soil with *Nostoc muscorum*. *Biol Fertil Soils*. 1994; 18 (3): 209–15.
- (31) Tiwari ON, Singh B V, Mishra U, Singh AK, Dhar DW, Singh PK. Distribution and

physiological characterization of cyanobacteria isolated from arid zones of Rajasthan. *Trop Ecol.* 2005; 46 (2): 165–71.

- (32) Manchanda H. Influence of Cyanobacterial Filtrate on Growth of Rice Seedlings Under Saline Conditions. *IJRAR-International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR)*. 2018; 5(4): 19–22.

¹- Cyanobacteria

²- Exopolysaccharide

³- Biological soil crusts

⁴- Water Stable Aggregate

⁵- Mean Weight Diameter

⁶- Scanning Electron Microscope (SEM)

⁷- Patel

⁸- Nisha

⁹- Issa

¹⁰- Bissonnais

¹¹- *Nostoc*

¹²- Rogers & Burns