فصلنامه علوم محیطی، دوره بیستم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱

۱۵۱-۱۶۶

مقاله پژوهشی

استفاده از سیانوباکترهای خاکزی معدن طلای موته برای زیست پالایی خاک های سد باطله

حمید سودائی زاده[۱*]، فریبا حکم اللهی[۱]، امیر حسین ناطقی[۲] و منوچهر محمدی[۳]

[۱] گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

[۲] گروه زیست شناسی، پردیس علوم، دانشگاه یزد، یزد، ایران

[۳] بخش تحقیق و توسعه، مجتمع طلای موته، میمه، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱۶

سودائی زاده، ح.، ف. حکم‌اللهی، ا.ح. ناطقی و م. محمدی. ۱۴۰۱. استفاده از سیانوباکترهای خاکزی معدن طلای موته برای زیست‌پالایی خاک‌های سد باطله. فصلنامه علوم محیطی. ۲۰(۱): ۱۵۱-۱۶۶.

سابقه و هدف: برخی از فرایندهای صنعتی، معدن‌کاری و استفاده از کودهای شیمیایی و قارچ کش‌ها در کشاورزی امروزی، منجر به رها سازی فلزهای سنگین و همچنین افزایش شوری خاک و آب‌ها می‌شوند به‌گونه‌ای که افزایش سطح جهانی آلودگی به فلزها روند نگران-کننده‌ای بـه خود گرفته است. از طرفی وجود یک بیلیون هکتار زمین‌های شور در سراسر کره زمین که تنها با پالایش فیزیکی، شیمیایی و زیستی قابل استفاده در کشاورزی می‌باشند، تهدیدی برای امنیت غذایی محسوب می‌شوند. وجود معدن‌های بسیار در دنیا وایران و در نتیجه فرسایش خاک و انتشار غبار از سدهای باطله موضوعی نگران‌کننده است. پتانسیل سیانوباکترها در ایجاد پوشش بیولوژیک خاک، جذب فلزهای سنگین و شوری خاک‌ها نسبت به روش‌های فیزیک‌وشیمیایی رایج، از جنبه کاربردی و اقتصادی بودن در حال بررسی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در کارخانه طلای موته در نتیجه عملیات استخراج طلا به‌وسیله سیانوراسیون، روزانه پساب و رسوب خاک باطله به‌صورت گسترده‌ای حاصل می‌شود. در مهرماه ۹۷ جمع‌آوری نمونه‌های خاک باطله از معدن طلا انجام شد. نمونه‌های خاک باطله معدن جهت شناسایی و رشد ریزجلبک‌ها، در محیط کشت اختصاصی جلبک‌ها کشت داده شد. قبل و بعد از قرارگیری ۵ گرم خاک باطله معدن در معرض ۰/۵ گرم زیست توده سیانوباکتری‌ها، عناصر سدیم، پتاسیم و فلزهای سنگین سرب و کادمیوم خاک باطله اندازه‌گیری شد و داده‌ها مورد آنالیز آماری قرار گرفت.

نتایج و بحث: پس از کشت خاک معدن، سیانوباکترهای Oscillatoria tenuis C.Agardh ex Gomont، Phormidium tenue Gomont، Lyngbya aestuarii Liebman ex Gomont و جلبک سبز Scenedesmus obliquus (Turpin) Kützing شناسایی شدند. نتایج کشت

* Corresponding Author: *Email Address*. hsodaie@yazd.ac.ir
http://dx.doi.org/ 10.52547/envs.2021.1018
http://dorl.net/dor/ 20.1001.1.17351324.1401.20.1.9.8

سیانوباکتری¬های رشته¬ای روی خاک¬های باطله معدن طلا نشان می¬دهد که این ریزموجودات فتوسنتز کننده می¬توانند به راحتی روی خاک¬های باطله آلوده معدن رشد کنند و پوشش بیولوژیک سطحی قابل ملاحظه¬ای را ایجاد کنند. همچنین نتایج نشان داد که O. tenuis، عنصر سدیم را به¬طور معنی¬داری کاهش داده است و P. tenue بیشترین میزان جذب سرب را داشته است و احتمالا با خالص کردن این دو گونه و استفاده جهت رشد روی خاک باطله معدن طلای موته می¬توان معدن را از شوری و عنصرهای سنگین به¬مقدار زیادی پاک سازی و همچنین از فرسایش خاک و انتشار غبار از سد¬های باطله جلوگیری نمود.

نتیجه‌گیری: با توجه به وجود تعداد فراوان معدن‌های مختلف طلا در دنیا و ایران، استحصال این فلز گران‌بها به‌طور وسیعی با استفاده از سیانور صورت گرفته که به‌دلیل سمیت بالا دارای اثرهای سوء محیط زیستی زیادی می‌باشد. انتشار غبار سیانور از سد باطله می‌تواند سلامتی موجودات زنده نزدیک به آن از جمله کارگران معدن، گیاهان و حتی ریزجلبک‌های خاک‌زی را تحت تأثیر قرار دهد. با زیست پالایی[1] خاک معدن‌ها می‌توان فرایند احیای زیستی را با سرعت بیشتری انجام داد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که سیانوباکتری‌ها، به ویژه گونه *Phormidium tenue*، سیانوباکتر مقاوم معدن طلای موته پوشش بیولوژیکی سطحی قابل ملاحظه‌ای را روی خاک باطله ایجاد می‌کنند و بدین صورت از فرسایش خاک معدن جلوگیری می‌کند.

واژه‌های کلیدی: *Phormidium*، فلزهای سنگین، زیست‌پالایی، معدن طلای موته.

مقدمه

خاک به‌عنوان یکی از اجزاء مهم محیط‌زیست، همواره به روش‌های مختلف در معرض آلودگی قرار دارد و این آلودگی می‌تواند برای آب‌های سطحی و زیرزمینی، موجودات زنده، رسوبات و اقیانوس‌ها، مسئله‌های بحرانی را ایجاد کند. فعالیت‌های مختلف انسان همچون صنایع محلی، استخراج و اکتشاف معادن، کشاورزی و حمل ونقل احتمال آلوده شدن خاک را افزایش می‌دهند. فعالیت‌های معدن‌کاری گستره وسیعی از متغیرهای محیط زیستی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. معدن‌کاری افزون بر تخریب سطحی زمین و تحت تأثیر قراردادن مورفولوژی زمین، ممکن است موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی و خاک شود (Chehreghani *et al*., 2017). در قرن حاضر به سبب فعالیت‌های گسترده انسانی، غلظت بالای فلزهای سنگین در خاک‌های صنعتی توجه بسیاری از محققان را به خود جلب نموده است. آلودگی فلزهای سنگین توسط فعالیت-های صنعتی و توسعه تکنولوژیکی به‌دلیل سمیت این آلاینده‌ها و تجمع زیستی تهدیدهای جدی برای محیط زیست و بهداشت عمومی ایجاد نموده است. براساس مطالعات صورت گرفته سطح جهانی آلودگی محیطی به فلزها در ۱۵۰ سال گذشته بیش از ۴۰۰۰ برابر شده است (Guo *et al.*, 2010). تماس با فلزهای سنگین می‌تواند سبب اختلالات عصبی، پیری سلولی، نارسایی کبدی و کلیوی و سرطان‌زایی شود (Salajeghe Ansari, 2013). به‌طور کلی عملیات معدن کاری همراه با به هم خوردن شرایط عادی طبیعت است. اما در اقتصاد معدنی نوین، فعالیت‌های اکتشافی و استخراجی، تا جایی توجیه اقتصادی می‌یابند که موجودیت بشر را به خطر نیاندازند (Alizade, 2014). راهبردهای مختلف حذف فلزهای سنگین از محیط‌های آبی آلوده مانند فیلتراسیون، جذب سطحی، ترسیب شیمیایی، تصفیه الکتروشیمیایی، اکسیداسیون/احیا، تبادل یون، تکنولوژی غشائی، اسمز معکوس، استخراج با حلال و بازیافت تبخیری توسعه یافته است (Fu and Wang, 2011). با این حال بیشتر این روش‌ها دارای ایرادهایی مانند نیاز به تجهیزات فنی و سیستم‌های پایشی، مصرف زیاد انرژی، نداشتن توجیه اقتصادی، کارایی پایین، عدم انتخابی عمل کردن فرآیند تصفیه، عدم جداسازی کامل فلزها و برجای گذاشتن باقیمانده‌های آلوده کننده هستند. از طرفی این روش‌ها، هنگامی که غلظت یون‌های فلزی کمتر از صد میلی گرم در لیتر باشد، به اندازه کافی توانایی حذف فلزهای سنگین را ندارند. استفاده از روش‌های زیستی یا زیست‌پالایی در حذف فلزها، می‌تواند برخی از محدودیت‌ها و مشکل‌های

مربوط به روش‌های رایج را برطرف نماید و راه حل اقتصادی‌تری محسوب می‌شود (Faramarzi *et al.*, 2010).

زیست‌پالایی به فرایندی گفته می‌شود که به‌طور طبیعی از میکروارگانیسم‌هایی مانند سیانوباکتری‌ها، برای تخریب و تبدیل آلاینده‌ها به مواد غیرسمی استفاده می‌شود. استفاده از این موجودات فتوسنتز کننده، می‌تواند روشی بسیار اقتصادی و دوستدار محیط زیست باشد و به توسعه پایدار برسد (Parwani *et al.*, 2021).

بنابر Bhatnagar and Kumari (2013)، زیست پالایی تکنولوژی زیستی در حال توسعه است و در جستجوی موجودات زنده مختلف که توانایی‌های متفاوتی درحذف انواع آلودگی‌های محیط زیستی دارد، می‌باشد. در حالیکه درابتدای تاریخچه زیست‌پالایی، تنها حذف آلودگی‌های نفتی و فلزهای سنگین کاربردی بود.

Singh *et al.* (2017) در مقاله مروری خود به این نکته اشاره دارند که سیانوباکتری‌ها می‌توانند زیست پالایی فلزهای سنگین، آلودگی نفتی، علف کش‌ها و همچنین ترکیب‌های رادیواکتیو را انجام دهند.

بر این اساس در سال‌های اخیر، استفاده از توده‌های زیستی مختلف برای حذف فلزهای سنگین مورد توجه قرارگرفته است (Chekroun *et al.*, 2013 a, b). در چند دهه اخیر، تحقیق‌های دامنه‌داری روی اتصال فلزها توسط باکتری‌ها، مخمرها، قارچ‌ها و جلبک‌ها انجام شده است. سیانوباکترهایی که در تکنیک زیست پالایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید توانایی قابل ملاحظه‌ای جهت جذب فلزها و تجمع آن و در نتیجه کاهش زمان پاکسازی اکوسیستم را داشته باشند (Varsha *et al.*, 2010). سیانوباکترها فلزهای سنگین را به‌صورت فعال (جذب-زیستی) و یا به‌صورت غیرفعال (جذب سطحی) جذب می‌نمایند (Bates *et al.*, 1982). دیواره سلولی که به‌طور عمده متشکل از پلی‌ساکاریدها، لیپیدها و پروتئین‌ها می‌باشد، گروه‌های عاملی متنوعی شامل گروه‌های کربوکسیلات، هیدروکسیل، آمینو و فسفات، جهت باند شدن با فلزهای سنگین دارا می‌باشد (Dixit *et al.*, 2015). بین جاذب‌های زیستی جلبکی، سیانوباکتری‌ها به‌دلیل گستردگی بیشتر در طبیعت و داشتن توانایی بالا در جذب فلزها از توجه خاصی برخوردارند (Baptista and Vasconcelos, 2006; Zeng and Zhao, 2012). درنتیجه جذب بیولوژیک، بویژه جذب فلزهای سمی به‌وسیله جلبک‌ها می‌تواند یک جایگزین مؤثر در حجم‌های زیاد اما با آلودگی کم فلزهای سمی باشد.

تحقیق‌های Seiderer *et al.* (2017) نشان می‌دهد که رشد سیانوباکتری‌هایی مانند *Microcoleus* و *Nostoc* و نیز جلبک سبز *Chlamydomonas* روی باطله‌های معدن طلا در آفریقای جنوبی، سبب ایجاد پوشش بیولوژیک روی خاک معدن می‌شود. استقرار این پوشش بیولوژیکی روی خاک ممکن است بهترین روش به لحاظ اقتصادی جهت احیای دوباره باطله‌ها باشد. هدف از احیای دوباره باطله‌های معدن‌های کاهش آلودگی غبار، کاهش شستشو توسط باران و رسیدن آلودگی سیانور به دوردست‌ها و در نتیجه کاهش فرسایش توسط باد و آب می‌باشد.

به‌دلیل شوری خاک‌های باطله معدن‌های طلا که می‌تواند سمیت زیستی ایجاد کند، رشدگیاهان و اجتماعات میکروبی محدود می‌شود. روش‌های احیای دوباره چنین اکوسیستم‌هایی جهت کاهش اثرهای محیط زیستی فرسایش باطله‌ها شامل مالچ سنگریزه و نیز استقرار پوشش گیاهی می‌باشد. اجتماعات گیاهی از فرسایش جلوگیری می‌کنند اما به‌دلیل اینکه سمیت فلزهای سنگین زیاد است و مواد ضروری برای رشد گیاه غیر قابل دسترس است، روش کاشت گیاه مقرون به صرفه نیست. بنابراین نیاز گسترده‌ای جهت جایگزینی روشی مقرون به صرفه برای احیای دوباره باطله‌ها احساس می‌شود. جلبک‌های خاک‌زی به‌عنوان موجوداتی که می‌توانند در محیط‌های افراطی مانند سدهای باطله معادن استقرار یابند، با اتصال به ذرات خاک، گزینه مناسبی برای پایداری

خاک باطله در مقابل فرسایش می‌باشند.

مطالعات زیاد نشان می‌دهد که زیست توده سیانوباکتری قابلیت کاهش مقدار فلزهای سنگین را داشته و از این میکروارگانیسم‌ها می‌توان جهت زیست پالایی محیط زیست استفاده نمود (Gupta and Kulkarni, 2016; Kumar and Gaur, 2011; Shanab *et al.*, 2012).

Kumar and Gaur در سال 2011 نشان دادند که سیانوباکتری *Lyngbya putealis* قابلیت جذب فلزهای سنگین مس و کبالت را دارد. نتایج تحقیق Halder (2014) نشان داد که جلبک سبز *Scenedesmus* می‌تواند عنصرهای سنگین Zn، Cd، Ni و Cu را از محیط حذف کند. Shukla *et al.* (2012)، توانایی جذب Cr توسط دو سیانوباکتری *Oscillatoria* و *Phormidium* را اثبات کردند.

Blindauer *et al.* (2002) به وجود متالوتیونین‌ها در سیانوباکتری‌هایی مانند *Oscillatoria*، *Anabeana* و *Synechococcus* پی بردند که این موضوع نشان دهنده توانایی این جلبک‌ها در جذب فلزهای سنگین می‌باشد.

Fashola *et al.* (2016) در مقاله مروری خود به این مطلب اشاره کردند که با توجه به آلودگی معادن طلا به فلزهای سنگین، باید به دنبال بهترین گونه‌های باکتری و سیانوباکتری مقاوم به فلز بود.

اثرهای ناشی از معدن کاوی طلا بر محیط در نواحی کوهستانی یکی از مهمترین جنبه‌های محیط زیستی به‌شمار می‌رود. در میان معدن‌های موجود در ایران، معدن طلا به‌دلیل ارزش اقتصادی و محدود بودن از دیرباز مورد توجه محققان بوده است. در طی فرآیند معدن کاوی و استحصال، عنصرهایی همچون جیوه، آرسنیک و آنتیموان که در سنگ‌های منطقه موجودند آزاد شده و از طریق چرخه ژئوشیمیایی (خاک–آب–هوا) وارد بدن موجودات زنده شده که در دراز مدت خطر آفرین خواهد بود.

Ghanbarzade *et al.* (2013) به بررسی اثرهای تخریبی ناشی از فعالیت‌های معدن کاوی، معدن طلای سه بند ون شهرستان برد سکندر استان خراسان رضوی بر محیط بیولوژیک منطقه پرداختند. نتایج حاصله نشان داد که محیط زیست جانوری و سپس محیط زیست گیاهی در معرض بیشترین آسیب قرار دارند. به‌طوریکه آرسنیک و پساب‌های آلوده، به شدت این دو محیط همچنین منابع آب سطحی منطقه را آلوده کرده است.

Khamar *et al.* (2015) به بررسی زیست پالایی سد باطله معدن طلا در خراسان رضوی با باکتری‌ها پرداختند. این محققان با کشت همراه بهترین سویه‌های باکتری که توانایی تجزیه زیستی سیانید سدیم را دارند، ۷۵ درصد کل سیانور را از حوضچه سد باطله معدن طلا پاکسازی نمودند.

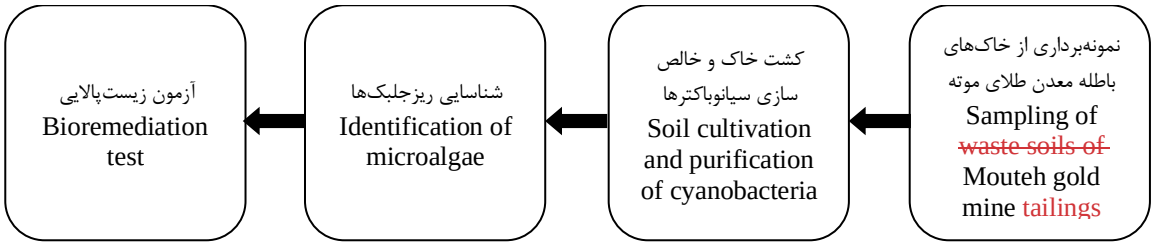
نتایج تحقیق Chamizo *et al.* (2018) نشان می‌دهد که تلقیح زیست‌توده سیانوباکتری‌ها به خاک‌های مختلف سبب پایداری، حاصلخیزی و احیای خاک می‌شود. اگرچه پتانسیل بالای چندین نوع زیست توده تاکنون گزارش شده است ولی هنوز توانایی تعداد بسیار زیادی از انواع جلبک‌ها در برداشت فلزهای سنگین مورد سنجش قرار نگرفته است. از این رو در این مطالعه توانایی جنس‌های *Oscillatoria* و *Phormidium* جدا شده از خاک‌های باطله معدن طلای موته، به‌عنوان سویه‌های بومی کشور در برداشت فلزهای سنگین سرب و کادمیوم مورد ارزیابی قرار گرفت.

درمورد شوری خاک‌ها، شورزدائی خاک‌های شور به‌وسیله سیانوباکتری‌ها در اوایل سال 1950 میلادی توسط Singh گزارش شده است. با روش‌های گوناگون مانند افزودن ژیپسوم یا سولفور به خاک و آبیاری بیشتر می‌توان پاکسازی خاک از نمک را تا حدودی انجام داد، اما این روش‌ها نمی‌توانند به‌طور کامل سبب حذف نمک‌های محلول و سدیم قابل تبادل شوند (Fogg *et al.*,1973). سیانوباکتری‌ها می‌توانند در شرایط افراطی شوری زنده بمانند و از این ریز موجودات می‌توان برای شورزدایی خاک‌های قلیایی استفاده کرد. گونه‌های

مختلف سیانوباکتری‌ها پتانسیل تخریب سمیت یون‌های سدیمی را از خاک دارند و موجب افزایش عنصرهای تغذیه‌ای کربن و نیتروژن و در نتیجه حاصلخیزی خاک می‌شوند (Kaushik and Subhashini, 1985). به‌دلیل اهمیت کاهش شوری خاک‌ها، در این تحقیق همچنین توانایی سیانوباکتری‌های معدن موته در برداشت عناصر سدیم و پتاسیم مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

فلوچارت ساده زیر مرحله‌های مختلف تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۱- فلوچارت مرحله‌های اجرایی تحقیق

Fig. 1- Flowchart of research implementation steps

نمونه برداری از خاک‌های باطله معدن طلای موته

کارخانه طلای موته در شمال استان اصفهان، در نزدیکی شهر میمه با مختصات جغرافیایی زیر (جدول ۱) واقع شده و از سال ۱۳۷۲ شروع به کار نموده است. خاک باطله معدن طلای موته جهت مطالعه موردی انتخاب شد عیار متوسط طلای این معدن ۲ گرم در تن می‌باشد. در حال حاضر سالانه نزدیک به ۲۰۰ کیلو طلا از معدن طلای موته استخراج می‌شود. در کارخانه طلای موته در نتیجه عملیات استخراج طلا به‌وسیله سیانوراسیون، روزانه پساب و رسوب خاک باطله به‌صورت گسترده‌ای حاصل می‌شود. جهت انجام این تحقیق، در مهرماه سال ۱۳۹۷ نمونه‌های خاک باطله به‌صورت کاملا تصادفی از معدن جمع‌آوری و به آزمایشگاه بیولوژی خاک دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد جهت کشت و خالص‌سازی میکروارگانیسم‌ها منتقل شد (جدول ۱).

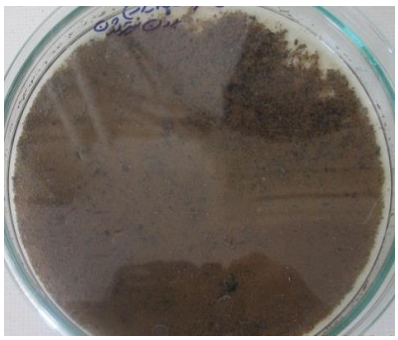
.جدول ۱- طول و عرض جغرافیایی معدن طلای موته

Table 1. Gold mine geographical data

موقعیت جغرافیایی Geographical location	طول و عرض جغرافیایی Latitude and longitude
معدن چاه خاتون، مجتمع طلای موته Chah-Khatun mine, Mouteh gold complex	50° 45´ N, 33° 34´ E

کشت خاک و خالص سازی سیانوباکترها

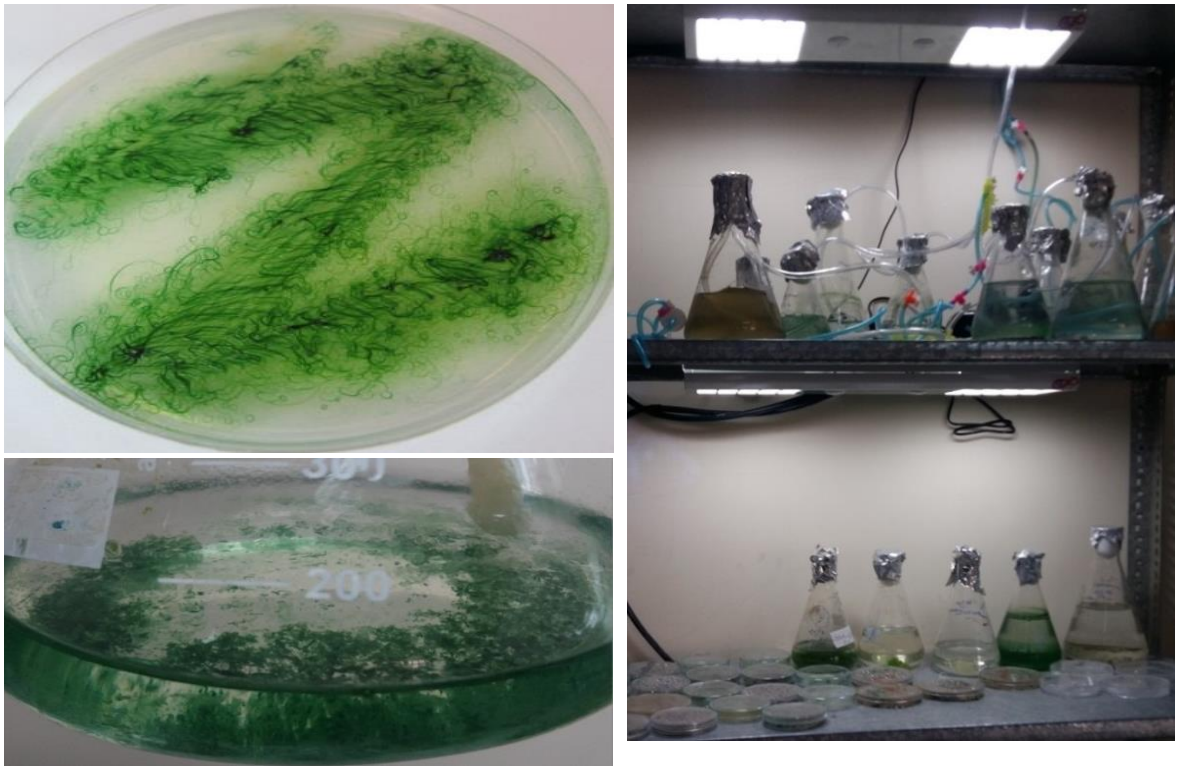
نمونه خاک باطله منتقل شده به آزمایشگاه، جهت رشد سیانوباکترها درمحیط کشت اختصاصی کشت داده شد. به‌همین منظور، ۱۰ گرم ازخاک‌های باطله معدن درون پتری‌های استریل منتقل شد و سی میلی‌لیتر محیط کشت مایع BG11 نیتروژن‌دار استریل حاوی ($0.1Na_2Mg$ EDTA، 0.6 Ferric ammonium citrate. $1H_2O$، 0.6 Citric acid، 1.5 ،3.6 $CaCl_2$. $2H_2O$، Na_2CO_3، 7.49 $MgSO_4$ ·7 $H2O$، $NaNO_3$ 4 ،0.02 H_3BO_3، K_2HPO_4. $3H_2O$ 1.81 ،2.86 $ZnSO_4$. $7H_2O$، $MnCl_2$.$4H_2O$ ،0.22 $COCl_2$. $6H_2O$، $CuSO_4$. $5H_2O$ 0.39 ،0.05 $NaMoO_4$. $2H_2O$ گرم بر لیتر) به هر نمونه خاک افزوده شد (Stanier *et al.*, 1971).



شکل ۲-کشت خاک باطله معدن طلای موته

Fig. 2- The soil cultivation of Mouteh Goldmine

پس از مشاهده زیست توده جلبک‌ها، با واکشت‌های متعدد روی محیط جامد، سیانوباکترها خالص سازی شدند و جهت تولید زیست توده فراوان، به ارلن‌های حاوی محیط کشت مایع BG11 منتقل و به مدت ۳ هفته در قفسه کشت، در دمای ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد، با تناوب نوری ۱۲ ساعت نور، ۱۲ ساعت تاریکی و شدت نور ۲۵۰۰ لوکس قرار گرفتند. هوادهی نیز با پمپ آکواریوم صورت گرفت (شکل ۲ و ۳).



شکل ۳- کشت سیانوباکترها، جهت شناسایی گونه‌ها و تولید زیست توده

Fig. 3- Cyanobacterial cultures for identification of species and biomass production

شناسایی ریزجلبک‌ها

در مرحله مقدماتی شناسایی ریز جلبک‌ها، از ویژگی‌های مورفولوژی آن‌ها استفاده شد. منابع معتبر و کلیدهای شناسایی زیادی جهت شناسایی جلبک‌ها استفاده شد که از میان آن‌ها می‌توان به Prescott (1962)، Desikachary (1959) و Komarek and Anagnostidis (1998, 2005) اشاره کرد.

آزمون زیست‌پالایی خاک باطله معدن به‌وسیله سیانوباکترها

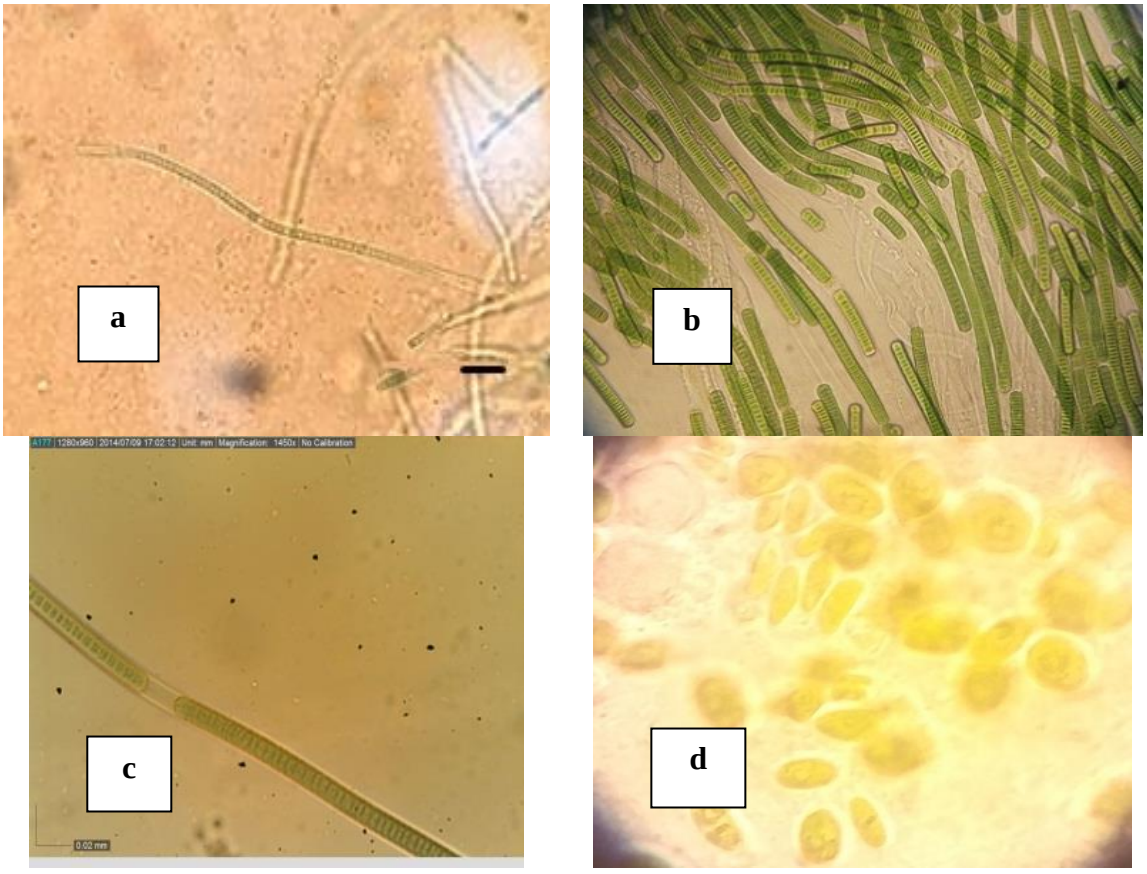
با توجه به اینکه از بین سیانوباکترهای شناسایی شده *Phormidium* و *Oscillatoria* دارای رشد قابل ملاحظه‌ای روی خاک باطله معدن بودند، به‌عنوان تیمار انتخاب شدند. تیمارهای مورد بررسی در این تحقیق شامل دو گونه سیانوباکتری مذکور می‌باشد که به همراه خاک شاهد با ۳ تکرار مورد مقایسه قرار گرفتند. جهت انجام آزمایش ۵ گرم خاک باطله معدن در معرض ۰.۱ گرم زیست توده سیانوباکتری‌ها قرار گرفت و پس از گذشت مدت زمان دو هفته و ایجاد پوشش بیولوژیک قابل ملاحظه به مقدار ۰.۵ گرم، مقدار عناصر سدیم، پتاسیم و فلزهای سنگین سرب و کادمیوم خاک باطله قبل و بعد از قرارگیری در معرض سیانوباکترها با دستگاه فلم فوتومتر و اسپکترومتری جذب اتمی اندازه‌گیری شد (شکل ۴) (Chamizo *et al.*, 2018). تیمار شاهد باطله‌ها بدون سیانوباکتر و تنها با مرطوب نمودن مورد بررسی قرار گرفت و عنصرهای بالا اندازه گیری شد. جهت تجزیه تحلیل داده‌ها از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد.

شکل ۴- *Phormidium* رشدیافته روی باطله‌ها
Fig. 4- *Phormidium* growth on tailing dam soil

نتایج و بحث

شناسایی ریزجلبک های خاک باطله معدن طلای موته

در این مطالعه در مجموع سه سیانوباکتر رشته‌ای و یک جلبک سبز شناسایی شد. پس از کشت خاک معدن، سیانوباکترهای *Oscillatoria tenuis* C.Agardh ex Gomont، *Phormidium tenue* Gomont، *Lyngbya aestuarii* Liebman ex Gomont و جلبک سبز *Scenedesmus obliquus* (Turpin) Kützing رشد یافته در خاک‌های باطله معدن با کلیدهای شناسایی معتبر شناسایی شدند (شکل ۵).



شکل ۵- سیانوباکتری‌های شناسایی شده معدن طلای موته a: *Phormidium tenue* Gomont; b: *Lyngbya aestuarii* Liebman ex Gomont; c: *Osillatoria tenuis* C.Agardh ex Gomont; d: *Scenedesmus obliquus* (Turpin) Kützing (Bar = 0.02 mm)
Fig. 5- Identified cyanobacteria from Mouteh goldmine soil, a: *Phormidium tenue* Gomont; b: *Lyngbya aestuarii* Liebman ex Gomont, c: *Osillatoria tenuis* C.Agardh ex Gomont; d: *Scenedesmus obliquus* (Turpin) Kützing (Bar = 0.02 mm)

آنالیز عنصرهای مختلف خاک باطله معدن و خاک باطله قرارگرفته درمعرض سیانوباکتری‌ها

براساس نتایج به‌دست آمده اثر تیمار سیانوباکتر بر میزان سدیم، پتاسیم و سرب خاک باطله معدن موته در سطح یک درصد معنی‌دار بود و بر میزان کادمیوم و pH اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

جدول ۲- آنالیز واریانس اثر تیمارهای مختلف سیانوباکتری‌های مورد بررسی بر میزان عنصرهای سدیم، پتاسیم و سرب خاک‌های باطله معدن

Table 2. Analysis of variance, the effect of different cyanobacteria treatment on tailing damp soil sodium, potassium and lead levels

	منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS	F
Sodium	Cyanobacterial treatment	2	13300000	6648344.44	**728.808
	Error	6	54733.33	9122.22	
	Total	8	13350000		
Potassium	Cyanobacterial treatment	2	3100555.55	1550277.77	**620.111
	Error	6	15000	2500	
	Total	8	3115555.55		
Lead	Cyanobacterial treatment	2	2.115	1.05	**345.512
	Error	6	0.018	0.003	
	Total	8	2.133		
Cadmium	Cyanobacterial treatment	2	0.001	0.001	1.531ns
	Error	6	0.002	0.000	
	Total	8	0.003		
pH	Cyanobacterial treatment	2	0.005	0.002	0.196ns
	Error	6	0.076	0.013	
	Total	8	0.081		

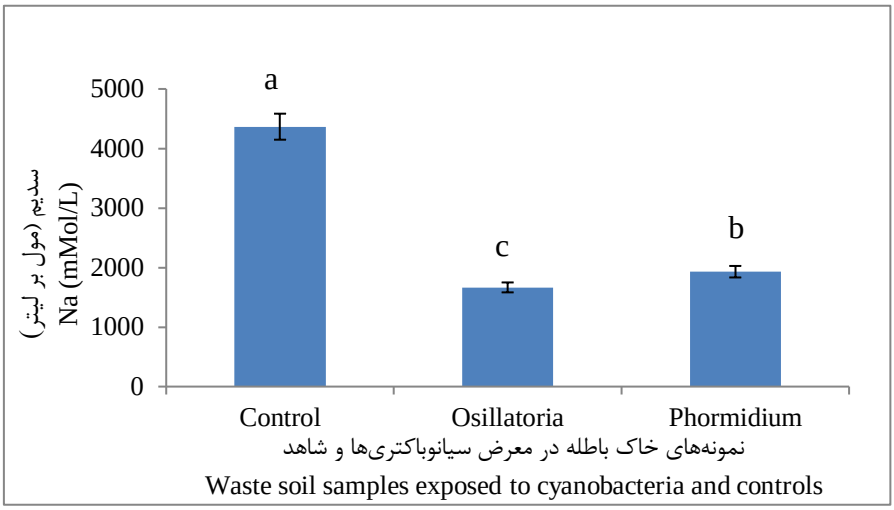
(**:Significance at the level of one percent)، (ns :Non-Significant)

براساس نتایج به‌دست آمده با استفاده از سیانوباکترهای *Oscillatoria* و *Phormidium* به‌ترتیب میزان سدیم خاک باطله معدن در مقایسه با عدم استفاده از سیانوباکتر به میزان ۶۲ و ۵۷ درصد کاهش یافت. درمورد پتاسیم نیز روند کاهشی در استفاده از سیانوباکترها مشاهده شد. کمترین مقدار پتاسیم در خاک حاوی سیانوباکتر *Oscillatoria* مشاهده شد که نسبت به خاک بدون سیانویاکتر مقدار این عنصر به میزان ۷۴ درصد کاهش نشان داد. میزان کاهش مشاهده شده در خاک حاوی سیانوباکتر *Phormidium* معادل ۵۳ درصد به‌دست آمد. هر دو سیانوباکتر غلظت سرب را در خاک معدن نسبت به خاک بدون سیانوباکتر به‌طور معنی‌داری کاهش دادند. بیشترین کاهش در سیانوباکتر *Phormidium* معادل ۸۷ درصد مشاهده گردید. کادمیوم خاک با استفاده از سیانوباکتر *Oscillatoria* به میزان ۶۳ درصد کاهش یافت. مقدارکادمیوم هم با استفاده از *Oscillatoria* و *Phormidium* به‌میزان ۲۰ و ۲۶ درصد کاهش یافت ولی این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲ و ۳).

جدول ۳- میزان عنصرهای مختلف خاک باطله معدن درمعرض تیمارهای مختلف سیانوباکتر

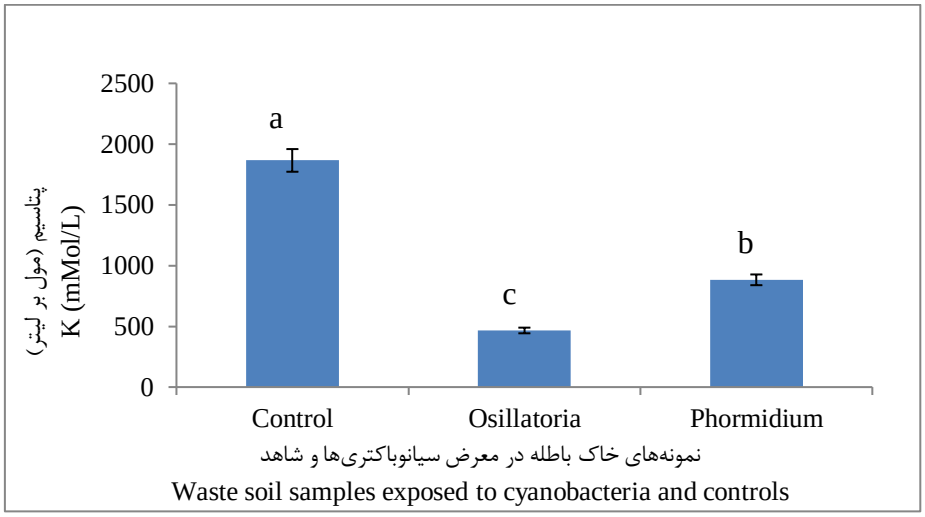
Table 3. The amount of different elements in different cyanobacterium treatments

	pH	Na (mMol/L)	K (mMol/L)	Pb (ppm)	Cd (ppm)
Mine tailing without cyanobacteria	8.28a	4500a	1900a	1.386a	0.15a
Mine tailing exposed to cyanobacterium *Oscillatoria*	8.30a	1700c	500c	0.506b	0.12a
Mine tailing exposed to cyanobacterium *Phormidium*	8.22a	1950b	900b	0.1863c	0.11a



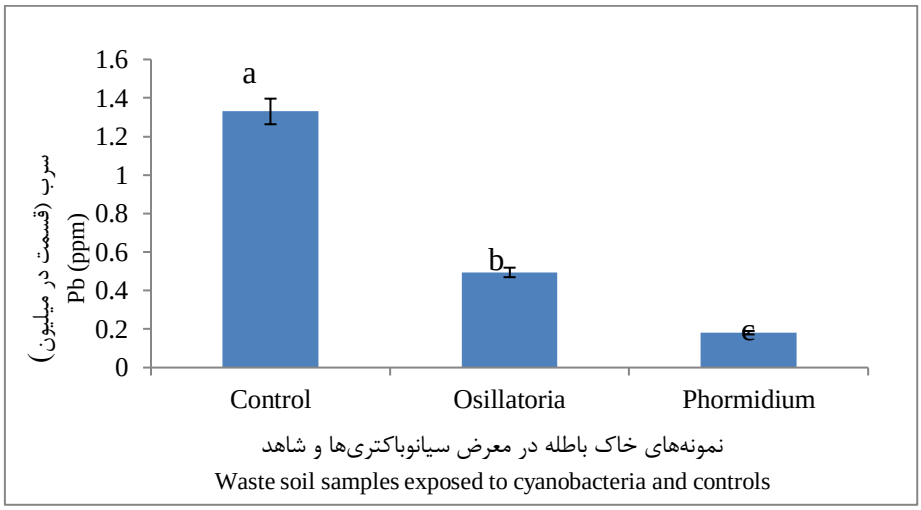
شکل ۶- نمونه‌های خاک باطله در معرض سیانوباکتری‌ها و شاهد (مقدار سدیم)

Fig. 6- Tailing dam soil samples with cyanobacteria and control (the amount of sodium)



شکل ۷- نمونه‌های خاک باطله در معرض سیانوباکترها و شاهد (مقدار پتاسیم)

Fig. 7- Tailing dam soil samples with cyanobacteria and control (the amount of potassium)



شکل ۸- نمونه‌های خاک باطله در معرض سیانوباکتری‌ها و شاهد (مقدار سرب)

Fig. 8- Tailing dam soil samples with cyanobacteria and control (the amount of lead)

نتیجه‌گیری

زیست‌پالایی توجه محققان را جهت بهسازی محیط از آلاینده‌ها جلب کرده است. ارگانیسم‌ها در مواجه با خطر بالای غلظت فلزهای سنگین می‌توانند سبب تبدیل بیولوژیکی فلزها به شکل‌هایی با سمیت کمتر شوند. این توانایی میکروارگانیسم‌ها همچنین سبب می‌شود فلزها در محیط، کمتر قابلیت دسترسی بیولوژیکی داشته باشند. میکروارگانیسم‌ها با دارا بودن این ویژگی می‌توانند جهت زیست‌پالایی مورد بهره برداری قرارگیرد (Lefebvre and Edwards, 2010).

با توجه به وجود تعداد فراوان معدن‌های مختلف طلا در دنیا و ایران، استحصال این فلز گران‌بها به‌طور وسیعی با استفاده از سیانور صورت گرفته که به‌دلیل سمیت بالا دارای اثرهای سوء محیط زیستی زیادی می‌باشد. انتشار غبار از سد باطله می‌تواند سلامتی موجودات زنده نزدیک به آن از جمله کارگران معدن، گیاهان و حتی ریز جلبک‌های خاک‌زی را تحت تأثیر قرار دهد. یکی ازهدف‌های احیای دوباره خاک‌های باطله، کاهش قرارگیری حیوانات و انسان‌ها درتماس با آلودگی‌های معدن می‌باشد.

با زیست‌پالایی خاک معادن می‌توان فرایند احیای دوباره را با سرعت بیشتری انجام داد. Seiderer *et al.* (2017) با اضافه کردن تیمارهای متفاوت از جلبک‌ها به خاک باطله معدن طلا و پس از گذشت مدت زمان ۶ هفته، میزان رشد و استقرار این میکروجلبک‌ها مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که سیانوباکتر رشته‌ای *Nostoc* پوشش بیولوژیکی سطحی قابل ملاحظه‌ای را روی خاک باطله ایجاد می‌کند و جلبک دیگری که در همه تیمارهای خاک باطله حضور دارد و می‌تواند جهت زیست پالایی انتخاب شود، سیانوباکتر *Phormidium* است که با نتایج حاصل از این تحقیق مبنی بر رشد سیانوباکتر مقاوم معدن طلای موته، *Phormidium* روی باطله‌ها و ایجاد پوشش بیولوژیک گسترده روی خاک مطابقت دارد.

با داشتن اطلاعات خاک باطله و در معرض قراردادن سیانوباکترها به خاک معدن می‌توان میزان کاهش شوری و فلزهای سنگین خاک باطله و بستر معدن را محاسبه نمود تا نقش ریز جلبک‌ها در زیست پالایی خاک معدن را بررسی و مهمترین گونه‌هایی که می‌توانند آلودگی را کاهش دهند را مورد شناسایی قرار داد و با همین موجودات سازگار شده به محیط معدن، معدن را از آلودگی‌های محیط زیستی پاک نمود. نتایج این تحقیق نشان داد که سیانوباکتر *Oscillatoria*، عنصر سدیم را به‌طور معنی‌داری کاهش داده و در مورد جذب و حذف عنصرهای سنگین، سیانوباکتر *Phormidium* بیشترین میزان جذب سرب را داشته است و با خالص کردن این دوگونه سیانوباکتر می‌توان خاک‌های باطله معدن را از شوری و عنصرهای سنگین پاکسازی نمود. به‌طور کلی استفاده از فرایندهای زیست‌پالایی برای تصفیه محیط‌های حاوی فلزهای سنگین می‌تواند برخی محدودیت‌های سایر روش‌های فیزیکی و شیمیایی را برطرف و روشی مقرون به صرفه‌تر باشد (Islami and Nemati, 2015). تیمار الکتروشیمیایی، تبادل یونی و اسمز معکوس، از روش‌های رایج فیزیکی و شیمیایی بسیارگران قیمت می‌باشند و بنابراین دستاوردهای بیولوژیک می‌تواند جایگزین مناسبی جهت رفع آلودگی فلزهای سنگین باشد (Shanab *et al.*, 2012).

سیانوباکترها موجوداتی فتوسنتزکننده هستند که توانایی تحمل شرایط سخت محیطی از جمله محیط‌های خیلی شور را دارند. که با توجه به وجود خاک‌های شور در منطقه‌های ساحلی و اطراف نمکزارها تحقیق‌های زیادی برای بکارگیری سیانوباکترهای مقاوم به شوری برای بهبود خاک و ایجاد امکان کشت و زرع صورت گرفته است. Salajeghe Ansari (2013) نشان دادند سیانوباکترهایی که تشکیل‌دهنده پوشش بیولوژی خاک هستند می‌توانند شوری خاک را کاهش دهند و با افزایش تشکیل خاک دانه در خاک به افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک و در نتیجه حاصلخیزی خاک کمک کنند.

بنابراین این موجودات توانمندی تحمل به تغییرات شوری را دارند. آزمایش‌ها نشان داده است که فراوانی سیانوباکترها سبب کاهش EC خاک می‌شود. بدین ترتیب سیانوباکترها سدیم را از خاک جذب می‌کنند و در نتیجه سبب کاهش غلظت سدیم در خاک‌ها می‌شود. نتایج تحقیق‌های حاضر با پژوهش صورت گرفته مبنی بر اینکه سیانوباکترها می‌توانند سدیم خاک را کاهش دهند مطابقت دارد و در این تحقیق *Osillatoria* به شکل معنی‌داری نسبت به سویه دیگر مقدار سدیم خاک را کاهش داد.

Shokravi *et al.* (2002) بیان کردند که در محیط‌های خاکی سیانوباکتری‌ها تحت تأثیر مجموعه‌ای از تنش‌ها قرار دارند که شوری از عمده‌ترین آن‌ها است. Safaei Katoli *et al.* (2007) بیان کردند که کاربرد سیانوباکتری خاک‌زی *Nostoc* sp. برای کاهش شوری در دمای بالا است. Hokmollahi (2017) بیان کرد سیانوباکتری‌های مختلفی درخاک‌های شور وجود دارند از جمله در مناطق شور سیانوباکتری‌های *Symplocastrom*، *Oxynema* و *Aphanocapsa* و در مناطق نیمه شورگونه *Lyngbya austerii* گزارش شده است که در مطالعه حاضر حضور سیانوباکتر *Lyngbya austerii* نشان دهنده نیمه شور بودن خاک معدن طلای موته می‌باشد. جلبک‌های خاک در پاک کردن خاک از نمک‌ها و فلزهای سنگین نقش دارند و بنابراین به بهبود کیفیت خاک کمک می‌کنند (Rai *et al.*,1998; Whitton and Potts, 2000).

Kumar *et al.* (2011) جذب زیستی فلزهای سنگین سرب، کادمیوم و مس را به‌صورت مقایسه‌ای توسط دو سیانوباکتر *Phormidium* و *Oscillatoria* مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان می‌دهد که سیانوباکتر *Phormidium*، می‌تواند به‌میزان بیشتری فلز سنگین سرب را نسبت به سیانوباکتری دیگر جذب کند، که نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از پژوهش صورت پذیرفته به‌طور کامل مطابقت دارد. مطالعه مقایسه‌ای روی زیست توده سیانوباکتری‌های *Phormidium* و *Oscillatoria* در جذب فلز سنگین سرب، توسط Hokmollahi *et al.* (2015) انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که سیانوباکتر *Oscillatoria* که از ایستگاه آلوده به بیشترین مقدار سرب جدا شده به‌دلیل سازگاری به سرب، نسبت به *Phormidium* از ایستگاهی با مقدار سرب بسیار کمتر، قابلیت بیشتری در جذب فلز سنگین سرب در آزمایشگاه دارد. که با نتایج حاصل از این تحقیق، یعنی برتری سیانوباکتر *Phormidium* نسبت به *Oscillatoria* درجذب فلز سنگین سرب مطابقت ندارد که دلیل آن این است که سیانوباکتری‌های تحقیق حاضر هر دو از معدن طلای موته جدا شدند و با شرایط خاک باطله به میزان سرب یکسان سازگاری داشتند. مقایسه نتایج این دو تحقیق نشان می‌دهد که با توجه به محیط‌های متفاوت، تیپ‌های اکولوژیکی مختلفی از یک گونه سیانوباکتری وجود دارد که با محیط اکولوژیک خود سازگاری ویژه‌ای دارد.

قابلیت حذف زیستی سه فلز سنگین جیوه، سرب و کادمیوم با غلظت‌های مختلف به‌وسیله یک گونه از سیانوباکتری‌ها *Phormidium ambiguum* و دو گونه از جلبک‌های سبز *Pseudochlorococcum typicum* و *Scenedesmus quadricauda* مورد مطالعه قرارگرفت (Shanab *et al.*, 2012). نتایج نشان داد که سیانوباکتر *Phormidium* نسبت به دو جلبک سبز حساس‌تر بوده است و میزان جذب کمتری داشت، پیشنهاد می‌شود باوجود تحقیق‌های گسترده روی این ریزجلبک‌ها و اینکه سیانوباکترهای معدن موته می‌توانند هم به شکل فعال و هم غیرفعال فلزهای سنگینی مانند سرب و نیز عنصر سدیم را به‌عنوان عامل اصلی شوری، جذب و سم‌زدایی کنند، مطالعه مقایسه‌ای بین سیانوباکترهای معدن موته و جلبک‌های سبز خالص شده از معدن نیز در جهت جذب فلزهای سنگین صورت پذیرد.

پی‌نوشت

[1] bioremediation

منابع

Alizade, A.M., 2014. Sustainable development is a key pillar of environmental protection. In Proceedings 1st National Conference on Sustainable Management of Soil and Environmental Resources, 10th September, Kerman, Iran. Pages 15-19.

Baptista, M.S. and Vasconcelos, M., 2006. Cyanobacteria metal interactions: Requirements, toxicity and ecological implications. Critical Reviews in Microbiology. 32(3), 127-137.

Bates, S.S., Tessier, A., Campbell, P.G.C.and Buffle, J., 1982. Zinc adsorption and transport by *Chlamydomonas variabilis* and *Scenedesmus subspicatus* (Chlorophyceae) grown in semicontinuous culture. Journal of Phycology. 18(4), 521-529.

Bhatnagar, S. and Kumari, R., 2013. Bioremediation: A sustainable tool for environmental management: A review. Annual Research and Review in Biology. 3(4), 974-993.

Blindauer, C.A., Harrison, M.D., Robinson, A.K., Parkinson, J.A., Bowness, P.W., Sadler, P.J.and Robinson, N.J., 2002. Multiple bacteria encode metallothioneins and SmtA-like zinc fingers. Molecular Microbiology. 45(5), 1421-1432.

Chamizo, S., Mugnai G., Rossi, F., Certini, G. and 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.

Chehreghani, S., Karimi Aghsghali, J. and Hosseinzade, H., 2017. The effect of goldmining on environment, Agh-dare goldmine, Takab. In Proceedings 4th International Conference on Environmental Planning and Management. Pages 32-41.

Chekroun, K.B., Moumen, A., Rezzoum, N., Sánchez, E. and Baghour, M., 2013a. Role of macroalgae in biomonitoring of pollution in «Marchica», the Nador lagoon. Phyton, International Journal of Experimental Botany. 82, 31-34.

Chekroun, K.B. and Baghour, M., 2013b. The role of algae in phytoremediation of heavy metals: A review. Journal of Materials and Environmental Science. 4(6), 873-880.

Desikachary, T.V., 1959. Cyanophyta. Indian Council of Agricultural Research. New Delhi. 684 pp.

Dixit, R., Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U.B., Sahu, A., Shukla, R., Singh, B.P., Rai, J.P., Sharma, P.K. and Lade, H., 2015. Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental processes. Sustainability.7(2), 2189-2212.

Faramarzi, M.A., Forootanfar, H. and Shakibaei, M., 2010. Biotechnology of Microalgae. University of Medical Sciences and Health Services, Tehran. 398 pp.

Fashola, M.O., Ngole-Jeme, V.M. and Babalola, O.O., 2016. Heavy metal pollution from gold mines: Environmental effects and bacterial strategies for resistance. International Journal of Environmental Research and Public Health.13(11), 1047.

Fogg, G.E., Stewart, W., Fay, P. and Walsby, A., 1973. The blue-green algae. Academic Press, London and New York. 460 pp.

Fu, F. and Wang, Q., 2011. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. Journal of Environmental Management. 92(3), 407-418.

Ghanbarzade, H., Behniafar, A. and Farhadi, M., 2013. The effects of gold mining on the biological environment (Case study: Sebandoon, Bardaskan city). The First National Conference on Environment, Energy and Biodefense, 31th December, Tehran, Iran. Pages 36-43.

Guo, H., Luo, S., Chen, L., Xiao, X., Xi, Q., Wei, W., Zeng, G., Liu, C., Wan, Y. and Chen, J., 2010. Bioremediation of heavy metals by growing hyper accumulaor endophytic bacterium Bacillus sp. L14. Bioresource Technology.101(22), 8599-8605.

Gupta, C. and Kulkarni, P., 2016. A comparative study on *Nostoc* and *Oscillatoria* spp. for heavy metal tolerance and biomass production. National Journal of Life Science. 13(2), 147-150.

Halder, S., 2014. Bioremediation of heavy metals through fresh water microalgae: a review. Scholars Academic Journal of Biosciences. 2(11), 825–830.

Hokmollahi, F., Riahi, H., Soltani, N., Shariatmadari, Z., and Hakimi, M.H., 2015. A taxonomic study of blue-green algae based on morphological, physiological and molecular characterization in Yazd province terrestrial ecosystems (Iran). Rostaniha 16(2): 152-163.

Hokmollahi, F., 2017. The flora study of soil blue-green algae in Yazd province, Iran. Ph.D. Thesis. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. 101pp.

Islami, A. and Nemati, R., 2015. Investigation of heavy metalsremoval from aqueous media using bioremediation technology: A review. Journal of Health in the Field. 2(3), 43-51.

Kaushik, B.D. and Subhashini, D., 1985. Amelioration of salt affected soils with blue-green algae. II. Improvement in soil properties. Proceedings of Indian National Science Academy. 51, 380-389.

Khamar, Z., Makhdoumi-Kakhki, A. and Mahmudy Gharaie, M.H., 2015. Remediation of cyanide from the gold mine tailing pond by a novel bacterial co-culture. International Biodeterioration and Biodegradation. 99, 123-128.

Komarek, J. and Anagnostidis, K., 1998. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales. In: Ettl H. In: Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag. 548 pp.

Komarek, J. and Anagnostidis, K., 2005. Cyanoprokaryota 2. Teil/2nd Part: *Oscillatoriales*: Elsevier, München. p. 759.

Kumar, D. and Gaur, J.P., 2011. Metal biosorption by two cyanobacterial mats in relation to pH, biomassconcentration, pretreatment and reuse. Bioresource Technology. 102(3), 2529-2535.

Lefebvre, D.D. and Edwards, C.D., 2010. Decontaminating heavy metals using photosynthetic microbes. In: Shah V, editor. Emerging Environmental Technologies. New York: Springer. Volume II, pp. 57-73.

Parwani, L., Bhatt, M., and Singh, J., 2021. Potential Biotechnological Applications of Cyanobacterial Exopolysaccharides. Brazilian Archives of Biology and Technology. Vol.64: e21200401.

Prescott, G.W., 1962. Algae of the Westerrn Great Lakes Area.Wm. C. In: Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa. 560 pp.

Rai, L.C., Tyagi, B., Rai, P.K. and Mallick, N., 1998. Interactive effects of UV-B and heavy metal (Cu and Pb) on nitrogen and phosphorus metabolism of a N2 fixing cyanobacterium *Anabaena doliolum*. Environmental and Experimental Botany. 39(3), 221–223.

Safaei Katoli, M., Amir Latifi, F., Hosseini, Z. and

Shokravi, S., 2007. Ecophysiological effects of soil cyanobacteria *Nostoc* sp. As an indicator of saline soil remediation and evaluation of growth and survival and ammonium emission potential and pigment content in high temperature conditions. 6th National Conference on Science, 14th November, Ray, Iran. Pages 132-145.

Salajeghe Ansari, M.M., 2013. Ecological-systematic study of cyanobacteria in some aquatic and terrestrial ecosystems of Kerman city with emphasis on Shast Fitch river and Sirch spa. Masters Thesis. Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. 186 pp.

Seiderer, T., Venter, A., Van Wyk, F., Levanets, A. and Jordaan, A., 2017. Growth of soil algae and cyanobacteria on gold mine tailings material. South African Journal of Science. 113(11-12), 1-6.

Shanab, S., Essa, A. and Shalaby, E., 2012. Bioremoval capacity of three heavy metals by some microalgae species (Egyptian Isolates). Plant Signaling and Behavior. 7(3), 392-399.

Shokravi, S., Soltani, N. and Baftechi, L., 2002. Development of technology for using cyanobacteria as biological fertilizers in paddy fields. Supreme Research Council of the Presidential Institution (National Plan). Research Institute of Applied Basic Sciences, Academic Center for Education, Culture and Research, Shahid Beheshti University. 132 pp.

Shukla, D., Vankar, P.S. and Srivastava, S.K., 2012. Bioremediation of hexavalent chromium by a cyanobacterial mat. Applied Water Science. 2(54), 245–251.

Singh, P., Jain, R., Srivastava, N., Borthakur, A., Pal, D.B., Singh, R., Madhav, S., Srivastava P., Tiwary, D. and Mishra, P.K., 2017. Current and emerging trends in bioremediation of petrochemical waste: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 47(3), 155-201.

Singh, R.N., 1950. Reclamation of "usar" lands in India through blue-green algae. Nature. 165(4191), 325-326.

Stanier, R.Y., Kunisawa, R., Mandel, M. and Cohen-Bazire, G., 1971. Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chroococcales). Bacteriological reviews. 35(2), 171- 205.

Varsha, M., Nidhi, M. and Anurag, M., 2010. Heavy metals in plants: phytoremediation: Plants used to remediate heavy metal pollution. Agriculture and Biology Journal of North America. 1(1), 40-46.

Whitton, B.A. and Potts, M., 2000. In The Ecology of Cyanophyta. Kluwer Academic Publishers, Springer, Dordrecht, pp. 233–255.

Zeng, J., Zhao, D., Ji, Y. and Wu, Q., 2012. Comparison of heavy metal accumulation by a bloom-forming cyanobacterium, Microcystis aeruginosa. Chinese Science Bulletin.57(28-29), 3790-3797.

Environmental Sciences Vol.20 / No.1 / Spring 2022

151-166
Original Article

Using Mouteh Goldmine soil's cyanobacteria for bioremediation of tailing dam soil

Hamid Sodaeizade,[1*] Fariba Hokmollahi,[1] Amir Hossein Nateghi[2] and Manoochehr Mohammadi[3]

[1] Department of Arid Land and Desert Management, Faculty of Natural Resourses, Yazd University, Yazd, Iran
[2] Department of Biology, Faculty of Sciences, Yazd University, Yazd, Iran
[3] Research and Development Division, Mouteh Gold Complex, Meymeh, Isfehan, Iran

Received: 2021.03.03 Accepted: 2021.09.07

Sodaeizade, H., Hokmollahi, F., Nateghi, A.H. and Mohammadi, M., 2022. Using Mouteh Goldmine soil's cyanobacteria for bioremediation of tailing dam soil. Environmental sciences. 151-166.

Introduction: Natural and human activities lead to soil degradation and soil salinization. In the last two centuries, world metal pollution level has increased extremely. The presence of some heavy metals in aquatic ecosystems is a constant threat to the health of human societies. The decrease of farmlands threatens food security. There are approximately one billion ha salt-affected soils all over of world, which can be utilizable after chemical, physical and biological remediation. Many mines in the world and also in Iran exist and as a result, soil erosion and dust release from waste dams is a matter of concern. Bioremediation using biological agents to detoxify and degradation of environmental pollutants provides a suitable alternative method for substitution of current heavy metals removal strategies.

Material and methods: As a result of extraction operations by cyanidation in Mouteh gold mining complex, wastewater and waste soil sediment are widely achieved. In this study soil samples were collected from Mouteh Goldmine tailing dam soil in September 2018. The collected soil samples were cultured in BG11 medium and incubated for microalgae identification and biomass production. Also, 5 g soil was inoculated with 0.5 g biomass of cyanobacteria and the physicochemical characteristics of the soil including pH, Na, K, Pb, and Cd, before and after the inoculation of soil with cyanobacteria were determined.

Results and discussion: In this study, cyanobacteria *Phormidium tenue* Gomont, *Osillatoria tenuis* C.Agardh ex Gomont, *Lyngbya aestuarii* Liebman ex Gomont and the green alga, *Scenedesmus obliquus* (Turpin) Kützing were identified. Culture results of filamentous cyanobacteria on goldmine tailing dam soil showed that

[*] Corresponding Author: *Email Address*. hsodaie@yazd.ac.ir

cyanobacteria grew easily and produced a significant surface crust. The results of the physical analysis of the soil samples showed that *O. tenui*s decreased Na as a salinity element, and *P. tenu*e absorbed high amounts of Pb as a heavy metal pollution element. Mouteh Goldmine soil cyanobacteria, *Osillatoria tenuis* and *Phormidium tenue,* could play a role in mine recovery from salinity and heavy metals and in mine tailing dam soil bioremediation. They can also prevent soil erosion and dust release from waste dams.

Conclusion: Dust release from waste dams can affect the health of living organisms like mining workers, plants, and even soil microalgae that are close to the mine. Cyanobacteria create biological soil crust and the results of this research showed that cyanobacteria, especially *Phormidium tenue* species produced a bio-crust that prevent soil erosion.

Keywords: *Phormidium*, Heavy metal, Bioremediation, Mouteh Gold complex, Cyanobacteria.