

محور مقاله: آلودگی زیست‌بوم، سلامت انسان و زیست‌پالایی

احیای زیستی و سایر کاربردهای سیانوباکتری: مطالعه مروری

فهیمه زنگنه*^۱ - آوا حیدری^۱ - عادل سپهر^۲ - Mette Hedegaard Thomsen^۳

^۱دپارتمان محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
^۲دپارتمان مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
^۳دپارتمان تکنولوژی انرژی، دانشکده علوم و مهندسی، دانشگاه آلبورگ اسپیرگ، اسپیرگ، دانمارک

چکیده

امروزه آلودگی زیستگاه‌ها به دلیل فعالیت‌های انسانی، به یک مشکل جدی و اساسی تبدیل شده است. آلودگی‌ها تهدیدکننده سلامت انسان، منابع طبیعی و اکوسیستم‌ها به شمار می‌روند. احیای زیستی، تکنولوژی نوینی است که از موجودات زنده برای حذف آلاینده‌ها استفاده می‌کند. احیای زیستی یک روش سازگار با محیط، غیرتهاجمی و ارزان است و می‌تواند با تبدیل یا تخریب آلاینده‌ها به اشکال بی‌ضرر یا با سمیت کم‌تر یک راه‌حل دائمی برای پایان دادن به آلودگی‌ها باشد. امروزه احیای زیستی روش مورد استفاده برای بازگرداندن مقادیر طبیعی و مفید مناطق آلوده به وسیله‌ی میکروارگانیسم‌ها است. خاک همانند هر اکوسیستم دیگر، یک زیستگاه مهم برای انواع میکروارگانیسم‌ها است. در خاک انواع مختلفی از قارچ‌ها، جلبک‌ها، پروتوزوآها و باکتری‌ها زیست می‌کنند. سیانوباکتری‌ها، پروکاریوت‌های فتوسنتزکننده‌ای هستند که در زیستگاه‌های مختلفی از جمله خاک زندگی می‌کنند. این میکروارگانیسم‌ها کاربردهای مختلفی از جمله شرکت در احیای زیستی دارند و می‌توانند آلاینده‌های موجود را حذف یا به اشکال با سمیت کم‌تر تبدیل کنند.

کلمات کلیدی: احیای زیستی - سیانوباکتری - آلودگی - میکروارگانیسم

مقدمه

سیانوباکتری‌ها پروکاریوت‌های فتوسنتزکننده اکسیژنی هستند که در طیف وسیعی از زیستگاه‌های طبیعی یافت می‌شوند و برخی توانایی تثبیت نیتروژن را دارند. این امر یکی از ویژگی‌های مهم در بعضی از اکوسیستم‌ها مانند مزارع برنج و اقیانوس‌ها است [۱]. این میکروارگانیسم‌ها به صورت تک سلولی و گاهی چند سلولی ساده می‌باشند. سرعت رشد بسیار بالا، رشد در شرایط سخت محیطی مانند آب‌های شور و مناطق خشک، تأمین مواد غذایی از فاضلاب‌های گوناگون، جذب دی اکسید کربن از گازهای حاصل از نیروگاه‌های با سوخت فسیلی و همچنین تولید محصولات جانبی با ارزش از مزایای استفاده از سیانوباکتری‌ها می‌باشد [۲]. سیانوباکتری‌ها برای رشد به نور، دی اکسید کربن، نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیاز داشته و در مدت زمان کوتاهی انواع لیپیدها، هیدرات‌های کربن و پروتئین‌ها را به عنوان محصولات متابولیکی به مقدار قابل ملاحظه‌ای تولید می‌کنند [۳]. تولید هیدروژن مولکولی، ترکیبات زیستی و ترکیبات دارویی ضد سرطان مانند دولاستین و میکروسیستین از ویژگی‌های مهم و کاربردی آن‌ها در زیست فناوری میکروبی است. همچنین مواد پروتئینی به عنوان غذا از این میکروارگانیسم‌ها خصوصاً اسپیرولینا بَدست آمده است [۱]. سیانوباکتری‌ها برخی مزایا را نسبت به سایر میکروارگانیسم‌ها دارند که شامل حجم لعاب بیشتر آن‌ها به همراه تمایل اتصال بالا، سطح مقطع بزرگ و مواد مغذی مورد نیاز ساده بوده و می‌توان آن‌ها را به آسانی در مقیاس بزرگ در آزمایشگاه کشت داد [۴]. کیفیت زندگی بر روی زمین با کیفیت کلی محیط‌زیست در ارتباط است. در زمان‌های اولیه ما معتقد بودیم که زمین و منابع نامحدود هستند اما امروزه وضعیت منابع موجود نشان می‌دهد که ما با بی‌دقتی و غفلت از آن‌ها استفاده کردیم. در حال حاضر زمین‌های آلوده، تهدید جدی برای سلامت انسان شناخته شده‌اند و تلاش‌های بین‌المللی زیادی برای برطرف کردن آن انجام شده است. برای حذف آلودگی‌ها روش‌های متعددی وجود دارد. یکی از روش‌ها، روش سنتی است که در آن آلاینده را به محل دفن می‌برند. اشکالات این روش این است

1* fa.zanganeh@mail.um.ac.ir

2. microcystin

3. spirulina

که با راحتی آلاینده را منتقل می‌کند و پیدا کردن محل مناسب برای دفع آن هزینه‌بر است. رویکرد بهتر نسبت به روش سنتی، حذف کامل آلودگی یا تبدیل کردن آن به مواد کم خطرتر است. فرآیندهایی که در این روش انجام می‌شوند مانند سوزاندن با درجه حرارت بالا و انواع مختلف تجزیه شیمیایی است. این روش‌ها نیز دارای معایبی از جمله هزینه‌بر بودن، پیچیدگی تکنولوژی و در معرض قرار گرفتن کارکنان و ساکنین نزدیک به محل سوزاندن است. احیای زیستی روش مورد استفاده برای بازگرداندن مقادیر طبیعی و مفید مناطق آلوده به وسیله میکروارگانیسم‌ها [۵] و با فعالیت‌های زیستی طبیعی است. این روش کم هزینه است و می‌تواند در محل انجام شود. با این وجود، این روش همیشه مناسب نیست زیرا نیاز به زمان نسبتاً طولانی، تجربه زیاد و تخصص برای طراحی و پیاده سازی یک برنامه موفق دارد [۶].

سیانوباکتری‌ها

قدمت سیانوباکتری‌ها به ۳۵۰۰ میلیون سال قبل برمی‌گردد [۷]. سیانو باکتری‌ها گروه بزرگ، متنوع و گسترده‌ای از پروکاریوت‌ها هستند و در زیستگاه‌های متنوع زیست می‌کنند [۸]. سیانوباکتری‌ها موجودات زنده و فتوسنتزکننده‌ای هستند [۹] و همه آن‌ها کلروفیل a را تولید می‌کنند [۷] و با گیاهان، گل‌سنگ‌ها و باکتری‌های موجود در خاک همزیستی دارند [۸]. اغلب سیانوباکتری‌ها رنگدانه فیکوسیاینین تولید می‌کنند که موجب می‌شود مجموعه متراکم آن‌ها به صورت متمایل به آبی رنگ دیده شوند و دلیل نام‌گذاری آن‌ها (باکتری سبز- آبی) نیز همین موضوع می‌باشد [۱]. سیانوباکتری‌ها می‌توانند فتوسنتز کرده و نیتروژن را تثبیت کنند. این توانایی‌ها، همراه با سازگاری بسیار خوب با انواع مختلف خاک، باعث می‌شود آنها همه جا گیر شوند [۱۰]. اندازه‌ی سلول آنها کوچک است و در زمان شکوفایی با چشم قابل دیدن هستند [۹]. بسیاری از سیانوباکتری‌ها در داروسازی و کشاورزی و زمینه‌های دیگر کاربرد دارند. بعضی از آن‌ها مواد سمی و بسیار خطرناکی از جمله نوروتوکسین^۱، هپاتوتوکسین^۲، سیتوتوکسین^۳ و اندوتوکسین^۴ تولید می‌کنند. سمیت سیانوباکتری‌ها به یک موضوع با اهمیت جهانی تبدیل شده است [۸]. درجه حرارت مطلوب برای بسیاری از سیانوباکتری‌ها با حداقل چند درجه بیشتر از اکثر جلبک‌های یوکاریوتی است. بعضی از سیانوباکتری‌ها تحمل سطح بالایی از اشعه ماورای بنفش را دارند و یکی از موفق‌ترین موجودات در محیط‌زیست‌های شور هستند [۱۱]. رشد سیانوباکتری‌ها توسط در دسترس بودن فسفر محدود می‌شود. اکثر سیانوباکتری‌ها در pH بالا وجود دارند. تعاملات با سنگ آهک یکی از ویژگی‌های برخی از سیانو باکتری‌ها است [۷].

فاکتورهای مؤثر بر کشت سیانوباکتری‌ها

برای یک کشت موفق، به فاکتورهای محیطی و عملکردی مختلفی که بر روی زیست‌شناسی و عادات ارگانیسم اثر می‌گذارد باید توجه شود. مهم‌ترین فاکتورها عبارتند از: مواد غذایی، pH، نور، تراکم سلولی کشت، دما و آلودگی به وسیله میکروارگانیسم‌های دیگر. کربن، نیتروژن و فسفر از مواد غذایی اصلی برای رشد سیانوباکتری‌ها می‌باشند. دما یک فاکتور فیزیکی مهم است که بر تولید اکسیژن حاصل از فتوسنتز، بر روی غشا سیانوباکتریایی و بر در دسترس بودن مواد غذایی و جذب آن اثر می‌گذارد. سیانوباکتری‌ها به طور معمول ساکن محیط‌های آبی گرم از قبیل چشمه‌های آب گرم، دریاچه‌ها در فصل تابستان و مناطق دریایی و اقیانوسی نواحی گرمسیری و استوایی هستند اما بعضی از آن‌ها سرمادوست بوده و در محیط‌های سرد زیست می‌کنند. به طور کلی سیانوباکتری‌ها pH قلیایی را ترجیح می‌دهند. نور منبع انرژی اولیه برای رشد سیانوباکتری‌ها می‌باشد و آن‌ها را قادر می‌سازد تا همه فرآیندهای متابولیک لازم را انجام دهند. در مقابل در تراکم سلولی بالا، شدت نور در اثر افزایش کدری کشت، کاهش می‌یابد. آلودگی و رقابت نیز از موارد دیگری هستند که بر میزان و کیفیت رشد سیانوباکتری‌ها اثر می‌گذارند [۱].

کاربردهای سیانوباکتری‌ها

سیانوباکتری‌ها در زمینه‌های مختلفی کاربرد دارند. هیدروژن مولکولی یکی از منابع انرژی جایگزین سوخت‌های فسیلی امروزی است. هیدروژن مولکولی به عنوان سوخت دارای فوایدی است از جمله اینکه یک سوخت پاک و تجدیدپذیر بوده و طی تولید و مصرف آن دی‌اکسیدکربنی تولید نمی‌شود. بعضی از گونه‌های سیانوباکتری‌ها قادر به تولید هیدروژن هستند. فیکوسیاینین ماده‌ای است که توسط بعضی از سیانوباکتری‌ها تولید می‌شود. فیکوسیاینین^۵ و

¹ neurotoxin
² hepatotoxin
³ cyetotoxin
⁴ endotoxin
⁵ phycocyanin

دیگر فیکوبیلی پروتئین‌ها^۱ دارای کاربردهای زیادی از جمله در صنایع غذایی، آرایشی بهداشتی و صنایع دارویی هستند. علاوه بر این، فیکوسیانین‌ها پروتئین‌های فلورسنت غیرسمی و محلول در آب هستند که دارای خواص آنتی‌اکسیدان، ضد التهابی و ضد سرطانی هستند. متابولیسم ثانویه در گیاهان و همچنین میکروارگانیسم‌هایی مثل باکتری‌ها و قارچ‌ها بصورت گسترده در طی چند دهه مطالعه شده است و بسیاری از ترکیبات دارویی ضروری که بر اساس ترکیبات خالص سازی شده از این میکروارگانیسم‌ها به دست آمده‌اند، تایید شده‌اند. سیانووپیرین یک پپتید لکتین با ۱۰۱ ریشه اسیدآمین‌های است که توسط *Nostoc ellipsosporum* تولید می‌شود. این ترکیب از عفونت با تمام ویروس‌های نوع HIV جلوگیری می‌کند و همچنین علیه آنفولانزا A و B، ویروس‌های روده‌ای و ویروس تنفسی به صورت قوی فعال می‌باشد. نوستوکاربولین بوسیله‌ی گونه‌های *Nostoc* تولید می‌شود و از فعالیت آنزیم بوتیریل کولین استراز ممانعت می‌کند و در درمان آلزایمر مناسب است. همچنین این ترکیب علیه بیماری‌های سل و مالاریا نیز فعال است. در میان تمام گونه‌های سیانوباکتریایی، دو گونه *Aphanizomenon flos-aquae* و *Arthrospira (Spirulina) plantnsis* دارای ارزش غذایی بالا هستند. *Spirulina* به عنوان یک منبع غذایی کامل به بازار عرضه می‌شود. مطالعات سم‌شناسی در مورد تأثیر مصرف *Spirulina* بر انسان و حیوانات نشان داده است که مصرف این میکروارگانیسم فاقد هرگونه اثر سمی و زیان‌آور است. همچنین اثبات شده است که *Spirulina* آسیب‌های ایجاد شده بوسیله‌ی توکسین‌های باکتریایی بر روی قلب، کبد، کلیه، سیستم عصبی، چشم و DNA جلوگیری می‌کند [۱].

سیانوباکتری‌ها و احیای زیستی

با توجه به اینکه سیانوباکتری‌ها نیتروژن خاک را تثبیت می‌کنند، استفاده از آن‌ها در کشاورزی برای افزایش تولید دور از انتظار نیست [۱۰]. مطالعات اخیر نشان داده است که استفاده از سیانوباکتری‌ها به عنوان کود، باعث افزایش قابل توجه مقدار کربن، فسفر، نیتروژن، ویتامین‌ها و اسیدآمین‌ها در خاک شده و از آن‌ها به عنوان عاملی برای رشد گیاه به خصوص در مزارع برنج استفاده می‌شود [۱۲]. استفاده از سیانوباکتری‌ها به عنوان کود، هزینه تولید را کاهش می‌دهد و پتانسیل بالایی برای کشاورزان دارد [۱۳]. سیانوباکتری‌ها از جمله میکروارگانیسم‌هایی هستند که می‌توانند در تصفیه پساب‌ها مفید باشند که با استفاده از آن‌ها می‌توان مواد بدبو و آلوده‌کننده پساب‌ها را با استفاده از نور خورشید به توده زیستی سلولی تبدیل کرد. از طرف دیگر سیانوباکتری‌ها می‌توانند در حذف فلزات سنگین پساب‌های صنعتی بسیار کارآمد باشند. سیانوباکتری‌ها یکی از میکروارگانیسم‌های مؤثر در تولید مواد نانو از جمله نانو ذرات طلا هستند [۱].

احیای زیستی

احیای زیستی، استفاده از موجودات زنده به ویژه میکروارگانیسم‌ها برای تخریب آلاینده‌های محیطی به اشکال با سمیت کم‌تر است. میکروارگانیسم‌ها ممکن است بومی منطقه آلوده باشند یا از مناطق دیگر به محل آلوده منتقل شوند. عوامل مؤثر در فرآیند احیای زیستی عبارتند از وجود میکروارگانیسم‌های قادر به تخریب آلاینده‌ها، در دسترس بودن آلاینده‌ها برای میکروارگانیسم‌ها و عوامل محیطی (نوع خاک، دما، pH، مواد مغذی و حضور اکسیژن یا دیگر گیرنده‌های الکترون). میکروارگانیسم‌ها می‌توانند در هر شرایط محیطی مانند مناطق بیابانی، اکوسیستم‌های آبی و در حضور یا عدم حضور اکسیژن رشد کنند و سازگار شوند [۶]. میکروارگانیسم‌ها می‌توانند آلاینده‌های آلی را به عنوان منبع کربن و انرژی تجزیه کنند. احیای زیستی یک روش سازگار با محیط، غیرتهاجمی و ارزان است و می‌تواند با تبدیل یا تخریب آلاینده‌ها به اشکال بی‌ضرر یا با سمیت کم‌تر یک راه‌حل دائمی برای پایان‌دادن به آلودگی‌ها باشد. سه روش احیا در محل عبارتند از: تضعیف طبیعی، تحریک‌کردن زیستی و غنی‌سازی زیستی. تضعیف طبیعی با کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌های بومی مرتبط است. این روش از آسیب زدن به زیستگاه اجتناب کرده و اجازه می‌دهد اکوسیستم به شرایط اولیه خود بازگردد. این روش بسیار طول می‌کشد. افزایش بازده احیای زیستی در محل شاید با روش غنی‌سازی زیستی تحقق یابد. این روش زمانی انجام می‌شود که میکروارگانیسم‌های بومی نتوانند آلاینده‌ها را از بین ببرند یا زمانی که جمعیت میکروارگانیسم‌های قادر به تخریب آلاینده‌ها به اندازه کافی زیاد نیستند. در روش غنی‌سازی زیستی، میکروارگانیسم‌هایی که به محیط آلوده وارد شده اند باید بی‌حرکت شده و قادر به تخریب آلودگی‌های خاص و زنده ماندن در یک زیستگاه خارجی باشند و از نظر ژنتیکی پایدار بوده و از طریق منافذ در خاک حرکت کنند. روش تحریک‌کردن زیستی به منظور تسریع فرآیند احیا انجام می‌شود و در این روش ترکیباتی مانند کود و کمپوست به خاک اضافه می‌شود. روش‌های خارج از محل، با کنترل پارامترهای فیزیکی

¹ phycobiliproteins

و شیمیایی، باعث کاهش بیشتر آلودگی‌ها شده و منجر به کوتاه شدن کل زمان احیاء می‌شود. این مزایا بیشتر از معایب روش‌های خارج از محل مانند هزینه اضافی و خطر مربوط به احتمال پراکندگی در طول حمل و نقل است [۵].

مزایا و معایب احیای زیستی

از مزایای احیای زیستی می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد. (۱) احیای زیستی به دلیل طبیعی بودن، توسط عموم به عنوان روشی برای تصفیه آلاینده‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. میکروارگانیسم‌ها قادر به کاهش آلاینده‌ها در حضور آلاینده‌ها هستند. هنگامی که آلاینده‌ها تخریب می‌شوند، جمعیت زیست تخریب‌پذیر کاهش می‌یابد. (۲) احیای زیستی برای تخریب کامل انواع وسیعی از آلاینده‌ها مفید است. بسیاری از ترکیبات که مواد خطرناک در نظر گرفته می‌شوند، می‌توانند به محصولات بی‌ضرر تبدیل شوند. (۳) احیای زیستی بدون انتقال آلاینده‌ها از محیطی به محیط دیگر، امکان‌پذیر است. (۴) احیای زیستی از سایر فناوری‌های مورد استفاده در تصفیه آلاینده‌ها، ارزان‌تر است. معایب احیای زیستی شامل، (۱) احیای زیستی مربوط به آن دسته از ترکیبات است که قابل تخریب هستند. همه ترکیبات، حساس به تخریب سریع و کامل نیستند. (۲) نگرانی‌هایی وجود دارد که محصولات حاصل از احیای زیستی، ممکن است پایدارتر یا سمی‌تر از ترکیب اصلی باشند. (۳) مناطقی که مخلوط پیچیده‌ای از آلاینده‌ها دارند که در محیط به طور مساوی پراکنده نیستند، نیازمند توسعه اطلاعات درباره‌ی احیای زیستی هستند. (۴) احیای زیستی اغلب طولانی است [۶].

نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش جمعیت و فعالیت‌های انسانی مانند معدنکاو، حضور آلاینده‌ها در محیط رو به افزایش است. برای از بین بردن آلاینده‌ها از روش‌های فیزیکی و شیمیایی استفاده می‌شود که بسیار پرهزینه هستند. می‌توان از روش‌های زیستی مانند احیای زیستی یعنی استفاده از میکروارگانیسم‌ها که جزئی از طبیعت هستند، برای از بین بردن یا کاهش آلاینده‌ها استفاده کرد. احیای زیستی، هم اقتصادی بوده و هم سازگار با محیط‌زیست است. برخی از انواع میکروارگانیسم‌ها دارای خواص بالایی برای حذف آلاینده‌ها از محیط هستند. یکی از این میکروارگانیسم‌ها، سیانوباکتری‌ها هستند که کاربردهای فراوانی دارند. یکی از کاربردهای آن‌ها انجام فرآیند احیای زیستی است. سیانوباکتری‌ها برای فرآیند حذف، سریع و مناسب هستند و می‌توانند عمل احیا را بدون انتقال آلاینده‌ها از محیطی به محیط دیگر انجام دهند.

منابع

- اعتمادی فر، ز. دریک وند، پ. زیست شناسی سیانوباکتری‌ها. ۱۳۹۳. دانشگاه اصفهان
- Hu, Q., et al., *Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances*. The Plant Journal, 2008. 54(4): p. 621-639.
- Mata, T.M., A.A. Martins, and N.S. Caetano, *Microalgae for biodiesel production and other applications: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010. 14(1): p. 217-232.
- Abdel -Aty, A.M., et al., *Biosorption of cadmium and lead from aqueous solution by fresh water alga Anabaena sphaerica biomass*. Journal of Advanced Research, 2013. 4(4): p. 367-374.
- Anna Dzionek, D.W., Urszula Guzik, *Natural carriers in bioremediation: A review*. Electronic Journal of Biotechnology, 2016. 28: p. 40-032.
- Vidali, M., *Bioremediation. An overview*. Pure Appl. Chem, 2001. 73: p. 1163-1172.
- Whitton, B.A. and M. Potts, *Introduction to the Cyanobacteria*, in *Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space and Time*, B.A. Whitton, Editor. 2012, Springer Netherlands: Dordrecht. p. 1-13.
- Smith, G.D. and N. Thanh Doan, *Cyanobacterial metabolites with bioactivity against photosynthesis in cyanobacteria, algae and higher plants*. Journal of Applied Phycology, 1999. 11(4): p. 337-344.
- Pagels, F., et al., *Phycobiliproteins from cyanobacteria: Chemistry and biotechnological applications*. Biotechnology Advances, 2019.
- Mishra, U. and S. Pabbi, *Cyanobacteria: A potential biofertilizer for rice*. Resonance, 2004. 9(6): p. 6-10.
- Whitton, B.A., *Diversity, Ecology, and Taxonomy of the Cyanobacteria*, in *Photosynthetic Prokaryotes*, N.H. Mann and N.G. Carr, Editors. 1992, Springer US: Boston, MA. p. 1-51.
- Rossi, F., et al., *Cyanobacterial inoculation (cyanobacterisation): Perspectives for the development of a standardized multifunctional technology for soil fertilization and desertification reversal*. Earth-Science Reviews, 2017. 171: p. 28-43.
- Vaishampayan, A., et al., *Cyanobacterial biofertilizers in rice agriculture*. The Botanical Review, 2001. 67(4): p. 453-516.



16th Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019



Topic for submission: Ecosystem Pollution, Human Health and Bioremediation

Bioremediation and other uses of cyanobacteria: review study

Fahimeh Zanganeh*¹- Ava Heidari¹- Adel Sepehr²- Mette Hedegaard Thomsen³

¹Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

²Department of arid and desert areas, Faculty of Natural Resources, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

³Department of Energy Technology, Faculty of Engineering and Science, Aalborg University of Esbjerg, Esbjerg, Denmark

Abstract

Today, pollution of environment has become a serious problem due to human activities. Pollution threatens human health, natural resources and ecosystems. Bioremediation is a new technology that uses living organisms to remove contaminants. Bioremediation is a non-invasive and inexpensive environmentally compatible method and can be a permanent way to end contamination by converting or destroying contaminants to less harmful or less toxic forms. Today, bioremediation is the method used to restore the natural and beneficial amounts of contaminated areas by microorganisms. Like other ecosystems, soil is an important habitat for a variety of microorganisms. In soil, different types of fungi, algae, protozoa and bacteria live. Cyanobacteria are photosynthetic prokaryotes that live in different habitats, including the soil. These microorganisms have different uses, including the participation in bioremediation and can remove existing pollutants or reduce them to less toxic forms.

Keywords: Bioremediation – Cyanobacteria - Pollution- Microorganism