

بررسی توانایی سیانوباکتری‌ها در تصفیه خاک آلوده به فلزات

فهیمه زنگنه^{1*}، آوا حیدری¹، عادل سپهر²، [Mette Hedegaard Thomsen](mailto:fa.zanganeh@mail.um.ac.ir)³

1- دپارتمان محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

2- دپارتمان مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

3- دپارتمان تکنولوژی انرژی، دانشکده علوم و مهندسی، دانشگاه آلبورگ اسپیرگ، اسپیرگ، دانمارک

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

چکیده

آلودگی با فلزات سنگین برای سلامت انسان و اکوسیستم خطر دارد و امروزه به مشکلی جهانی تبدیل شده است. فلزات سنگین از اجزای طبیعی پوسته زمین هستند اما انسان با فعالیت‌های خود نظیر معدنکاوی، مقدار زیادی از این فلزات را به خاک اضافه می‌کند. خاک نیز بخش مهمی از محیط‌زیست و یک منبع مهم برای بقای انسان است. روش‌های متعددی برای حذف فلزات سنگین از خاک وجود دارد که یکی از آن‌ها استفاده از میکروارگانیسم‌هایی مانند سیانوباکتری‌ها می‌باشد که یک روش ارزان و سازگار با محیط است. سیانوباکتری‌ها، پروکاریوت‌های فتوسنتزکننده‌ای هستند که توانایی تثبیت نیتروژن را دارند و می‌توانند فلزات موجود در خاک را حذف یا به مواد با سمیت کم‌تر تبدیل کنند.

کلید واژه: سیانوباکتری، فلزات سنگین، آلودگی خاک، میکروارگانیسم

1- مقدمه

آلودگی با فلزات سنگین یک مشکل جدی برای محیط‌زیست است، زیرا فعالیت‌های انسانی مانند معدنکاوی، پردازش و کاربرد این فلزات در طول چند دهه گذشته به شدت افزایش یافته و برای زندگی بر روی زمین به یک چالش بزرگ تبدیل شده است [1]. مقدار زیادی از زباله‌های سمی در سراسر جهان پخش شده است و بر سلامت انسان تأثیر می‌گذارد [2]. خاک همانند محیط‌های آبی، هدف هزاران آلاینده است که در ترکیب و غلظت‌های متفاوتی هستند. این آلاینده‌ها حاصل طیف وسیعی از اقدامات همچون دفع ضایعات، زباله‌ها و استفاده نامناسب وارد سیستم می‌شوند [3]. امروزه نگرانی در مورد آلودگی خاک‌ها و رسوبات ناشی از زباله‌های صنعتی و شهری، معدنکاوی، استفاده نامناسب از کودهای شیمیایی و آفتکش‌ها افزایش یافته است. آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین، دو نوع اصلی آلاینده‌ها در خاک و رسوبات هستند. این آلاینده‌ها مضر بوده و تهدید جدی برای ایمنی موادغذایی، سلامت انسان و محیط‌زیست هستند [4]. فلزات سنگین به طور طبیعی در پوسته زمین وجود دارند و بوسیله فعالیت‌های مختلف انسانی، مانند

معدنکاوای آزاد شده و منجر به افزایش میزان فلزات سنگین در خاک می شوند [5]. فلزات سنگین در خاکها شامل نیکل (Ni)، سرب (Pb)، کادمیم (Cd)، آرسنیک (As)، کروم (Cr)، مس (Cu)، کبالت (Co)، روی (Zn)، منگنز (Mn)، آلومینیوم (Al) و جیوه (Hg) هستند [6]. مقدار زیادی از خاکهای کشاورزی و شهری با توسعه سریع اقتصادی و صنعتی شدن، آلوده شده است. در میان انواع آلایندهها، آلودگی فلزات سنگین توجه زیادی را به خود جلب کرده است؛ فلزات از طریق فعالیت‌های انسان مانند استخراج از معادن، صنایع کود و استفاده از آفت‌کش‌ها به خاک وارد می‌شوند. برخلاف آلودگی‌های آلی، فلزات به دلیل سمیت برای خاک بسیار خطرناک هستند و همچنین می‌توانند سال‌های زیادی در خاک وجود داشته باشند و از طریق زنجیره غذایی وارد بدن انسان شده و سلامت او را تحت تأثیر قرار دهند [7]. روش‌های متعددی برای اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات توسعه یافته‌اند [8]. برخی از انواع میکروارگانیسم‌ها دارای خواص بالایی برای حذف فلزات سنگین هستند [9]. میکروارگانیسم‌ها از جمله جلبک‌ها، باکتری‌ها، مخمرها، قارچ‌ها، برگ‌های گیاهان و بافت‌های ریشه‌ای می‌توانند به عنوان جاذب برای از بین بردن فلزات سنگین استفاده شوند [10]. سیانوباکتری‌ها گروه متنوعی از پروکاریوت‌ها هستند که در زیستگاه‌های مختلفی زیست می‌کنند [11]. سیانوباکتری‌ها به صورت تک سلولی و گاه چند سلولی می‌باشند. سرعت رشد بالا، رشد در شرایط سخت، تأمین مواد غذایی از فاضلاب‌ها و تولید محصولات جانبی از مزایای سیانوباکتری‌ها می‌باشند [12]. سیانوباکتری‌ها از جمله میکروارگانیسم‌هایی هستند که می‌توانند در تصفیه پساب‌ها مفید باشند. از طرف دیگر این موجودات در حذف فلزات سنگین پساب‌های صنعتی بسیار کارآمد هستند [13].

2- سیانوباکتری‌ها

سیانوباکتری‌ها را به عنوان جلبک‌های سبز-آبی می‌شناسند. سیانوباکتری‌ها خودکفا بوده و فقط با نور، آب و هوا زنده می‌مانند. آن‌ها دارای کلروفیل a هستند و فتوسنتز می‌کنند و اغلب آن‌ها متحرکند. سیانوباکتری‌ها قدیمی‌ترین پروکاریوت‌های فتوسنتزکننده روی زمین می‌باشند [14] و قدمت آن‌ها به 3500 میلیون سال قبل برمی‌گردد [11]. این میکروارگانیسم‌ها در خاک‌های طبیعی، آب‌های شیرین و زیستگاه‌های دریایی توزیع شده‌اند و دارای تنوع مورفولوژیکی قابل ملاحظه‌ای می‌باشند. تاریخچه تکاملی طولانی این میکروارگانیسم‌ها به صورت قابل توجهی گواهی بر موفقیت سیانوباکتری‌ها برای زنده ماندن در زیستگاه‌های متعدد و قدرت تحمل اکولوژیکی بالای آن‌ها می‌باشد [14]. کربن، نیتروژن و فسفر از مواد غذایی اصلی برای رشد سیانوباکتری‌ها می‌باشند و فاکتورهای مهم برای رشد سیانوباکتری‌ها عبارتند از: PH، نور، تراکم سلولی کشت، مواد غذایی و دما [13]. سیانوباکتری‌ها مهم‌ترین گروه از میکروارگانیسم‌های فتواتوتروفیک هستند که از لحاظ تولید توده زیستی و بهره‌وری و حفظ انرژی در یک اکوسیستم مهم‌ترین نقش را ایفا می‌کنند [15].

3- طبقه‌بندی سیانوباکتری‌ها

سیانوباکتری‌ها یکی از گروه‌های بسیار جذاب و جالب توجه باکتری‌ها هستند که قادرند فتوسنتز اکسیژنی انجام دهند و همچنین منشأ اندامک‌های کلروپلاست در گیاهان نیز می‌باشند. سازگاری قابل توجه این دسته از میکروارگانیسم‌ها با شرایط نامساعد محیطی موجب استقرار آن‌ها در بسیاری از زیستگاه‌های سراسر کره زمین گشته است. بعضی از جنس‌های این گروه می‌توانند در شرایط نامساعد زیستی رشد کنند و بعضی گونه‌ها می‌توانند توکسین تولید کنند که موجب برتری آن‌ها در شرایط رقابتی در اکوسیستم‌ها می‌گردد. برای ارزیابی تنوع سیانوباکتری‌ها از معیارهای (1) آنالیز مولکولی با تأکید بر ارتباطات فیلوژنی و تنوع ژنتیکی (2) تنوع مورفولوژیکی (3) محدودیت‌های اکولوژیک، اکوفیزیولوژیک و جغرافیای زیستی گونه‌ها (4) مطالعات فراساختاری (5) ویژگی‌های بیوشیمیایی و آگاهی در مورد

فرآیندهای متابولیکی اختصاصی (تولید متابولیت‌های ثانویه، فرآیندهای سازش و غیره) (6) نام‌گذاری صحیح بر اساس قوانین نام‌گذاری باکتریایی یا گیاهی استفاده می‌کنند. در نظر گرفتن این معیارها موجب افزایش دقت در طبقه‌بندی سیانوباکتری‌ها می‌گردد. از نظر اکولوژیک، سه گروه اصلی سیانوباکتری‌های محیط‌های آبی عبارتند از: (1) گونه‌های تشکیل‌دهنده مت (2) گونه‌های تشکیل‌دهنده بلوم (3) پیکوسیانوباکتری‌ها [13].

1-3- گونه‌های تشکیل‌دهنده مت

این سیانوباکتری‌ها جز مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های پرفیتون (تجمع و اتصال میکروارگانیسم‌ها بر روی سطوح غوطه‌ور در آب) هستند که باعث تشکیل پوسته بر روی صخره‌ها، گیاهان، دانه‌های ماسه، رسوبات و ... می‌شوند. سیانوباکتری‌های تشکیل‌دهنده مت، دارای قدمت حیات بسیار طولانی هستند. از این سیانوباکتری‌ها می‌توان به *Lyngbya*, *Leptolyngbya*, *Anabaena* و ... اشاره کرد [13].

2-3- گونه‌های تشکیل‌دهنده بلوم

گونه‌های تشکیل‌دهنده بلوم به طور معمول در آب‌های گرم و نواحی غنی از مواد غذایی دیده می‌شوند و در مناطق قطبی و دیگر مناطق سرد غایب‌اند. مناطق غنی از مواد غذایی و فسفر بالا موجب ایجاد شرایط یوتروفیک می‌گردد که با تجمع فیتوپلانکتون‌ها و غالبیت سیانوباکتری‌ها همراه است و موجب تشکیل بلوم می‌گردد. از این گونه می‌توان به *Oscillatoria*, *Anabaena* و *Microcystis* و ... اشاره کرد [13].

3-3- پیکوسیانوباکتری‌ها

پیکوسیانوباکتری‌ها، کوچک‌ترین سیانوباکتری‌ها از لحاظ اندازه می‌باشند اما معمولاً در مقادیر بالا یافت می‌شوند. دو جنس اصلی این گروه یعنی *Synechococcus* و *Prochlorococcus* به طور گسترده در آب‌های شیرین و نواحی اقیانوسی یافت می‌شوند [13].

4- حذف فلزات به وسیله سیانوباکتری‌ها

آلودگی خاک با فلزات سنگین تهدید جدی برای اکوسیستم و سلامت انسان است و نیاز به اجرای اقدامات مناسب دارد [16]. اخیراً روش‌های سازگار با محیط‌زیست از جمله استفاده از میکرورگانیسم‌ها برای حذف فلزات سنگین مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است که این روش زیست‌پالایی شناخته می‌شود [17]. زیست‌پالایی یعنی استفاده از میکروارگانیسم‌ها برای پاکسازی محیط‌های آلوده [18]. زیست‌پالایی روشی پایدار است و با تجزیه آلاینده‌ها مانع از انتشار آن‌ها در محیط‌زیست می‌شود [17]. محققان به دلیل سازگار بودن با محیط و هزینه‌های کم روش زیست‌پالایی، روش‌های مختلف زیست‌پالایی را توسعه داده و مدل‌سازی کردند. با این حال به دلیل تنوع آلاینده‌های محیطی، هیچ روش زیست‌پالایی وجود ندارد که به تنهایی به عنوان یک روش واحد برای احیا محیط‌های آلوده به کار رود لذا میکروارگانیسم‌های بومی موجود در محیط‌های آلوده، بهترین راه برای تجزیه آلاینده‌ها هستند [19]. مطالعه‌ای تحت عنوان احیای زیستی معادن اسیدی با استفاده از جلبک‌ها توسط BWAPWA و همکاران در سال 2017 انجام گرفت

که در آن از چند گونه سانوباکتری استفاده شد و نتایج نشان داد که سیانوباکتری‌ها تجمع‌کننده و جذب‌کننده قوی فلزات هستند و دارای انتخابی بالا برای عناصر می‌باشند [20]. علاوه بر این Al-Sherif و همکاران در سال 2015 طی مطالعه‌ای با عنوان احیای زیستی خاک به‌وسیله سیانوباکتری‌ها و مخلوطی از کودهای آلی، دریافتند که استفاده از سیانوباکتری‌ها و کودهای آلی باعث کاهش مقدار سرب، نیکل و کادمیوم در جوانه‌ها و بذرها شد و مقدار PH خاک، هدایت‌الکتریکی، سرب، کادمیوم و نیکل با اضافه کردن سیانوباکتری‌ها به میزان قابل توجهی کاهش یافت [21]. همچنین احیای زیستی کروم به وسیله سیانوباکتری‌ها، عنوان مطالعه‌ای است که Shukla و همکاران در سال 2012 انجام دادند و دریافتند که احیا به‌وسیله سیانوباکتری‌ها، (1) به دلیل عمل فتوسنتز سیانوباکتری‌ها یک منبع دائم الکترون برای فرآیند کاهش کروم VI به کروم III وجود دارد (2) سیانوباکتری‌ها قادر به جذب کروم بوده و تا حدودی کروم VI را به کروم III تبدیل می‌کنند و (3) سیانوباکتری‌ها در غلظت بسیار بالای کروم مؤثر واقع شدند [22].

5- نتیجه‌گیری

آلودگی با فلزات سنگین یک خطر جدی برای محیط‌زیست است. معدن‌ها مهم‌ترین منبع آلودگی انسانی خاک‌ها به فلزات سنگین هستند. وجود فلزات در خاک تأثیرات تعیین‌کننده‌ای بر کیفیت خاک و استفاده از آن در تولید مواد-غذایی دارد. آلوده شدن خاک به فلزات سنگین ممکن است خطراتی را به طور مستقیم (تماس با خاک آلوده) و غیرمستقیم (زنجیره‌غذایی جانداران، کاهش کیفیت موادغذایی، ناامنی غذایی و...) برای انسان و اکوسیستم ایجاد کند. بنابراین حفاظت از خاک، احیای خاک و یا تبدیل آلاینده‌ها به آلاینده‌هایی با سمیت کم‌تر ضروری است. از این رو استفاده از روش‌هایی برای حذف یا کم خطر کردن فلزات سنگین وجود دارد که بهترین آن‌ها، استفاده از میکروارگانیسم‌ها مانند سیانوباکتری‌ها می‌باشد که هم ارزان، پایدار و سازگار با محیط هستند و هم آلاینده‌ها را از محیطی به محیط دیگر انتقال نمی‌دهند و می‌توان این روش را در محل انجام داد تا خطرات برای افراد کاهش پیدا کند.

6- منابع

1. Dhal, B., et al., *Chemical and microbial remediation of hexavalent chromium from contaminated soil and mining/metallurgical solid waste: A review*. Journal of Hazardous Materials, 2013. 250-251: p. 272-291.
2. Karn, S.K., X. Pan, and I.R. Jenkinson, *Bio-transformation and stabilization of arsenic (As) in contaminated soil using arsenic oxidizing bacteria and FeCl3 amendment*. 3 Biotech, 2017. 7(1): p. 50.
3. Kavamura, V.N. and E. Esposito, *Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals*. Biotechnology Advances, 2010. 28(1): p. 61-69.
4. Song, B., et al., *Evaluation methods for assessing effectiveness of in situ remediation of soil and sediment contaminated with organic pollutants and heavy metals*. Environment International, 2017. 105: p. 43-55.
5. Yuan, Z., et al., *Application of phosphate solubilizing bacteria in immobilization of Pb and Cd in soil*. Environmental Science and Pollution Research, 2017. 24(27): p. 21877-21884.

6. Khalid, S., et al., *A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils*. Journal of Geochemical Exploration, 2017. 182: p. 247-268.
7. Tao, X., A. Li, and H. Yang, *Immobilization of metals in contaminated soils using natural polymer-based stabilizers*. Environmental Pollution, 2017. 222: p. 348-355.
8. Moore, F., et al., *Copper immobilization by biochar and microbial community abundance in metal-contaminated soils*. Science of The Total Environment, 2018. 616-617: p. 960-969.
9. Jiang, C., et al., *Immobilization of cadmium in soils by UV-mutated Bacillus subtilis 38 bioaugmentation and NovoGro amendment*. Journal of Hazardous Materials, 2009. 167(1): p. 1170-1177.
10. Katircioğlu, H., et al., *Removal of cadmium(II) ion from aqueous system by dry biomass, immobilized live and heat-inactivated Oscillatoria sp. H1 isolated from freshwater (Mogan Lake)*. Bioresource Technology, 2008. 99(10): p. 4185-4191.
11. 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.
12. Hu, Q., et al., *Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances*. The Plant Journal, 2008. 54(4): p. 621-639.
13. اعتمادی فر، ز. دریک وند، پ. 1393. زیست شناسی سیانوباکترها. دانشگاه اصفهان
14. استکی، م. مشرف، ل. ملک، س. 1396. اسپیرولینا جلبک شگفت‌انگیز (کاشت، ارزش و کاربرد). تحقیقات آموزش کشاورزی
15. Stock, C.A., J.P. Dunne, and J.G. John, *Global-scale carbon and energy flows through the marine planktonic food web: An analysis with a coupled physical–biological model*. Progress in Oceanography, 2014. 120: p. 1-28.
16. Vaxevanidou, K., N. Papassiopi, and I. Paspaliaris, *Removal of heavy metals and arsenic from contaminated soils using bioremediation and chelant extraction techniques*. Chemosphere, 2008. 70(8): p. 1329-1337.
17. Alvarez, A., et al., *Actinobacteria: Current research and perspectives for bioremediation of pesticides and heavy metals*. Chemosphere, 2017. 166: p. 41-62.
18. Yadav, K.K., et al., *Bioremediation of Heavy Metals From Contaminated Sites Using Potential Species: A Review*. Indian Journal of Environmental Protection, 2017. 37: p. 65-84.
19. Verma, J.P. and D.K. Jaiswal, *Book Review: Advances in Biodegradation and Bioremediation of Industrial Waste*. Frontiers in Microbiology, 2016. 6(1555).
20. Bwapwa, J.K., A.T. Jaiyeola, and R. Chetty, *Bioremediation of acid mine drainage using algae strains: A review*. South African Journal of Chemical Engineering, 2017. 24: p. 62-70.
21. Sherif, E., et al., *Use of Cyanobacteria and Organic Fertilizer Mixture as Soil Bioremediation*. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 2015. 15: p. 794-799.
22. Shukla, D., P.S. Vankar, and S.K. Srivastava, *Bioremediation of hexavalent chromium by a cyanobacterial mat*. Applied Water Science, 2012. 2(4): p. 245-251.

Evaluation of cyanobacteria ability in remediation of metal contaminated soil

Zanganeh, Fahimeh *¹- Heidari, Ava ¹- Sepehr, Adel ²- Mette Hedegaard Thomsen³

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

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

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

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

Abstract

Heavy metal pollution is a threat to human health and ecosystem and has become a global problem today. Heavy metals are natural components of the earth's crust, but humans with their activities such as mining, add a large amount of these metals to the soil. Soil is also an important part of the environment and an important source for human survival. There are several methods for removing heavy metals from the soil, one of them is using of microorganisms such as cyanobacteria that is an inexpensive and environmentally compatible method. Cyanobacteria are photosynthetic prokaryotes that Able to fixing nitrogen and they can remove metals in the soil or convert them to less toxic substances.

Key Words: Cyanobacteria, Heavy metals, Contaminated soil, Microorganism