



19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



زیست پالایی ترکیبی: بهبود کارایی گیاه پالایی با استفاده از میکروارگانیزم های بومی در خاک های آلوده

اسماعیل قلی نژاد^{۱*}، وحید سلمان پور^۲، احد گل قاسم قره باغ^۳

- ۱- دانشیار گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، پست الکترونیکی (e_gholinejad@pnu.ac.ir)
- ۲- استادیار گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، پست الکترونیکی (V.salmanpour@pnu.ac.ir)
- ۳- استادیار گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، پست الکترونیکی (Ahad_318@pnu.ac.ir)

چکیده

زیست پالایی ترکیبی به عنوان یک راهکار نوین و مؤثر برای پاکسازی خاک های آلوده به آلاینده های شیمیایی و فلزات سنگین در محیط های صنعتی و کشاورزی معرفی می شود. این روش شامل استفاده همزمان از گیاهان و میکروارگانیزم های بومی است که توانایی بالایی در جذب و تجزیه آلاینده ها دارند. در این مقاله، به بررسی تأثیر میکروارگانیزم های بومی بر بهبود کارایی گیاه پالایی پرداخته می شود. نتایج مطالعات نشان می دهند که ترکیب گیاهان با میکروارگانیزم های بومی می تواند به طور قابل توجهی میزان جذب و تجزیه آلاینده ها را افزایش دهد. به علاوه، این روش به بهبود کیفیت خاک و افزایش تنوع زیستی کمک می کند. در این مقاله، چالش ها و محدودیت های موجود در استفاده از زیست پالایی ترکیبی نیز مورد بحث قرار می گیرد، از جمله نیاز به انتخاب صحیح میکروارگانیزم ها و گیاهان مناسب و ارزیابی اثرات بلندمدت این روش ها. در نهایت، پیشنهادهای برای تحقیقات آینده و بهبود روش های زیست پالایی ترکیبی ارائه می شود تا به عنوان یک استراتژی پایدار و اقتصادی برای مدیریت آلودگی خاک ها مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: آلودگی خاک، زیست پالایی، گیاه پالایی، میکروارگانیزم های بومی

مقدمه

آلودگی خاک یکی از چالش‌های جدی محیط‌زیستی است که ناشی از فعالیت‌های انسانی، مانند صنعتی شدن، کشاورزی و استفاده از مواد شیمیایی است. این آلودگی‌ها می‌توانند تأثیرات منفی بر سلامت انسان و اکوسیستم‌ها داشته باشند. روش‌های سنتی پاکسازی خاک، معمولاً هزینه‌بر و زمان‌بر هستند و به همین دلیل، روش‌های زیست‌پالایی به عنوان جایگزین‌های پایدار و اقتصادی مطرح می‌شوند.

گیاه‌پالایی به عنوان یک روش طبیعی برای کاهش آلاینده‌ها در خاک و آب استفاده می‌شود و به فرآیند استفاده از گیاهان برای جذب، تجزیه یا تثبیت آلاینده‌ها در محیط زیست اشاره دارد. این روش می‌تواند به ویژه برای پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، هیدروکربن‌های نفتی و دیگر آلاینده‌های شیمیایی مؤثر باشد (Ghosh & Singh, 2005). گیاهان با استفاده از ریشه‌های خود می‌توانند آلاینده‌ها را جذب کرده و به ساختارهای غیرسمی تبدیل کنند یا آن‌ها را در بافت‌های خود ذخیره نمایند.

گیاه‌پالایی یا پالایش سبز یکی از فناوری‌های نویدبخش است که در آن از توانایی گیاهان یا همزیستی گیاهان و ریزجانداران در جذب، ترابری و انباشت آلاینده‌های خاک استفاده می‌شود (Nadeem et al., 2014). مزیت‌هایی این روش نسبت به سایر روشها شامل سادگی، ارزان بودن و امکان بهره‌گیری در سطح وسیع و در شرایط طبیعی هستند (Ali et al., 2013). استخراج گیاهی یکی از روش‌های گیاه‌پالایی فلزات سنگین است که در آن جذب و جمع‌آوری آلاینده‌ها در بافت‌های قابل برداشت گیاهی مدنظر می‌باشد و با برداشت گیاهان، آلاینده‌ها از خاک زوده می‌شوند (Nadeem et al., 2014). زیست‌پالایی ترکیبی به معنای ترکیب روش‌های مختلف زیست‌پالایی، به ویژه گیاه‌پالایی و میکروبی، برای بهبود کارایی پاکسازی خاک‌های آلوده است. این رویکرد می‌تواند شامل استفاده از میکروارگانیسم‌ها و باکتری‌های بومی باشد که به طور طبیعی در خاک وجود دارند و می‌توانند به تجزیه و کاهش آلاینده‌ها کمک کنند (Kumar & Saha, 2018). این میکروارگانیسم‌ها به دلیل تطابق با شرایط محیطی و توانایی در تجزیه مواد آلاینده، نقش مهمی در فرآیند پاکسازی ایفا می‌کنند (Mosa & Zayed, 2019).

برخی از موجودات زنده خاک قادر به افزایش رشد و نمو گیاه و همچنین بهبود ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی خاک بوده و جذب عناصر غذایی توسط گیاه را با تشدید فعالیت انواع آنزیم‌ها و عوامل رشد در خاک بهبود می‌بخشند. قارچ میکوریزا، باکتری‌های ریزوسفری و کرم‌های خاکی از جمله این موجودات هستند که نه تنها در رشد بلکه به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در تغییر و تحولات شیمیایی فلزات سنگین در محیط‌های آلوده نیز مؤثر هستند (Mahohi et al., 2018). میکروارگانیسم‌های بومی به میکروارگانیسم‌هایی اطلاق می‌شود که به طور طبیعی در یک منطقه خاص وجود دارند و معمولاً با شرایط محیطی آن منطقه سازگار شده‌اند. این میکروارگانیسم‌ها می‌توانند شامل باکتری‌ها، قارچ‌ها و دیگر میکروارگانیسم‌های موجود در خاک باشند که توانایی تجزیه آلاینده‌ها و بهبود کیفیت خاک را دارند. استفاده از این میکروارگانیسم‌ها در کنار گیاهان می‌تواند به بهبود کارایی گیاه‌پالایی و افزایش اثرگذاری آن در پاکسازی خاک‌های آلوده کمک کند (Ahn & Kim, 2021).

مواد و روش‌ها

این مقاله مروری بر اساس منابع علمی معتبر از جمله مقالات پژوهشی، پایان‌نامه‌ها و گزارش‌های علمی مرتبط با زیست‌پالایی ترکیبی تهیه شده است. جستجوی منابع در پایگاه‌های داده‌ای مانند Google Scholar، Scopus و Web of Science انجام شده است. همچنین، مطالعات میدانی در مناطق مختلف با تمرکز بر خاک‌های آلوده و استفاده از میکروارگانیسم‌های بومی مورد بررسی قرار گرفته است.

نقش میکروارگانیسم‌های بومی

میکروارگانیسم‌های بومی می‌توانند به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم در گیاه‌پالایی کمک کنند. در حالت مستقیم، این میکروارگانیسم‌ها به تجزیه و جذب آلاینده‌ها کمک می‌کنند. در حالت غیرمستقیم، آن‌ها می‌توانند به بهبود شرایط خاک (مانند افزایش مواد آلی و فعالیت‌های بیولوژیکی) و تقویت رشد گیاهان کمک کنند. قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار از مهمترین ریزجانداران خاک بوده که در همزیستی با گیاهان، رشد و سلامتی آنها را به‌وسیله بهبود تغذیه معدنی و یا افزایش بردباری به

تنش‌های محیطی بهبود می‌بخشند (Gholinezhad & Darvishzadeh, 2021; Gholinezhad et al., 2020; Gholinezhad & Darvishzadeh, 2019). گزارش شده است که بر اثر استفاده از زادمایه قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، زیست توده گیاه اکالیپتوس در خاک‌های آلوده به سرب افزایش می‌یابد (Bafeel, 2008). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده که نوع قارچ‌های میکوریزا می‌تواند تأثیرات متفاوتی در جذب و پالایش فلزات سنگین داشته باشد. اگرچه نتایج آزمایش‌های انجام یافته در زمینه اثر قارچ‌های میکوریزا و فلزات سنگین بر گیاه پالایی، متنوع و وابسته به شرایط آزمایش از جمله ویژگی‌های بستر رشد، نوع گیاه و گونه قارچ همزیست می‌باشد، ولی به‌طور کلی به‌نظر می‌رسد که قارچ‌های میکوریز آربوسکولار قادر به تعدیل سمیت ایجاد شده توسط فلز سنگین برای گیاه و افزایش مقاومت آن می‌باشند (Li et al., 2009). مطالعات نشان می‌دهند که ترکیب باکتری‌های بومی با گیاهان می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر بهبود کارایی گیاه‌پالایی داشته باشد. به عنوان مثال، در تحقیقی که بر روی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین انجام شد، باکتری‌های بومی توانستند میزان تجزیه فلزات را تا ۵۰ درصد افزایش دهند (Sharma et al., 2020). این یافته‌ها نشان می‌دهند که میکروارگانیسم‌های بومی نه تنها توانایی در تجزیه آلاینده‌ها دارند بلکه می‌توانند با بهبود شرایط خاک، به افزایش جذب آلاینده‌ها توسط گیاهان کمک کنند.

انتخاب گیاهان مناسب

گیاهان می‌توانند از طریق فعالیت‌های متابولیکی خود، مانند استفاده از آنزیم‌هایی نظیر نیتروژن‌کناز، دهیدروژناز و پراکسیداز، نقش مهمی در تجزیه آلاینده‌ها داشته باشند. سیدروفورها، اسیدهای آلی و فنولیک‌ها نیز می‌توانند در افزایش دسترسی گیاهان به کاتیون‌های فلزی محلول در خاک نقش داشته باشند. شناسایی ژن‌های اختصاصی در گیاه‌پالایی و انتقال آنها به گیاهانی با رشد سریع، منجر به تولید گیاهان تراریخته با ویژگی‌های گیاه‌پالایی بهبود یافته می‌شود (Khoshkholghsima et al., 2024). انتخاب گیاهان مناسب برای گیاه‌پالایی یکی از عوامل کلیدی در موفقیت این روش است. گیاهانی که قادر به جذب و تجمع آلاینده‌ها هستند، باید انتخاب شوند. گیاهانی مانند خردل (*Brassica juncea*)، آفتابگردان (*Helianthus annuus*) و لوبی (*Typha latifolia*) به دلیل توانایی بالای خود در جذب فلزات سنگین و دیگر آلاینده‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند (Huang & Cunningham, 1996).

تحقیقات نشان داده‌اند که این گیاهان می‌توانند در شرایط مختلف خاک و آب به خوبی رشد کنند و مقادیر زیادی از آلاینده‌ها را جذب کنند. به عنوان مثال، خردل به ویژه در جذب فلزات سنگین مانند کادمیوم و سرب مؤثر است و می‌تواند به عنوان یک گزینه مناسب در برنامه‌های گیاه‌پالایی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، آفتابگردان به دلیل توانایی در جذب هیدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین، به طور گسترده‌ای برای پاکسازی خاک‌های آلوده استفاده می‌شود.

چالش‌ها و فرصت‌ها

با وجود مزایای زیست‌پالایی ترکیبی، چالش‌هایی نیز وجود دارد. یکی از چالش‌ها، تأثیرات منفی ممکن بر روی تنوع زیستی و پایداری اکوسیستم‌های محلی است. همچنین، انتخاب میکروارگانیسم‌ها و گیاهان مناسب نیاز به ارزیابی دقیق دارد. به عنوان مثال، برخی از میکروارگانیسم‌ها ممکن است به دلیل تولید متابولیت‌های سمی، بر روی گیاهان تأثیر منفی بگذارند. از سوی دیگر، فرصت‌های زیادی برای تحقیقات آینده وجود دارد. بهبود روش‌های شناسایی و جداسازی میکروارگانیسم‌های بومی مؤثر و استفاده از فناوری‌های نوین مانند نانوذرات می‌تواند به پیشرفت این حوزه کمک کند (Reddy & DeLaune, 2008). استفاده از فناوری‌های نوین در ترکیب با روش‌های زیست‌پالایی می‌تواند به بهبود کارایی این روش‌ها و افزایش سرعت پاکسازی خاک‌های آلوده کمک کند.

همچنین، استفاده از رویکردهای چندرشته‌ای، از جمله علوم محیط‌زیست، میکروبیولوژی، و مهندسی، می‌تواند به توسعه تکنیک‌های جدید و بهبود کارایی زیست‌پالایی ترکیبی کمک کند. این رویکردها می‌توانند به شناسایی میکروارگانیسم‌های بومی مؤثر و بررسی تعاملات آن‌ها با گیاهان کمک کنند.

نتیجه‌گیری

زیست‌پالایی ترکیبی با استفاده از میکروارگانیسم‌های بومی به عنوان یک راهکار نوین و مؤثر برای بهبود کارایی گیاه‌پالایی در پاکسازی خاک‌های آلوده شناخته می‌شود. این روش می‌تواند به عنوان یک استراتژی پایدار و اقتصادی برای مقابله با آلودگی خاک‌ها مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به یافته‌های این مقاله، استفاده از میکروارگانیسم‌های بومی در کنار گیاهان، نه تنها به بهبود فرآیند پاکسازی کمک می‌کند بلکه می‌تواند موجب افزایش تنوع زیستی و پایداری اکوسیستم‌های محلی گردد. به‌کارگیری این روش، به ویژه در مناطق آلوده به فلزات سنگین و مواد شیمیایی، می‌تواند به کاهش اثرات منفی این آلاینده‌ها بر محیط زیست و سلامت انسان کمک کند. با این حال، برای دستیابی به بهترین نتایج، نیاز به مطالعات و آزمایش‌های بیشتری وجود دارد تا بهترین ترکیبات گیاهی و میکروبی شناسایی شوند. همچنین، ارزیابی اثرات بلندمدت این روش‌ها بر روی خاک و آب و همچنین تنوع زیستی اکوسیستم‌های محلی بسیار حائز اهمیت است. توسعه فناوری‌های نوین و استفاده از رویکردهای چندرشته‌ای می‌تواند به بهبود کارایی این روش‌ها و افزایش سرعت و اثربخشی آن‌ها در پاکسازی خاک‌های آلوده کمک کند. در نهایت، انتظار می‌رود که این روش‌ها بتوانند به عنوان یک استراتژی کلیدی در مدیریت آلودگی خاک‌ها و حفاظت از محیط زیست مورد استفاده قرار گیرند.

فهرست منابع

- Ahn, J. H., Kim, H. S. (2021). The role of microbial consortia in enhancing phytoremediation efficiency: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(8), 10023-10034.
- Ali, H., Khan, E., Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals—concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869-881.
- Bafeel, S. O. (2008). Contribution of mycorrhizae in phytoremediation of lead contaminated soils by *Eucalyptus rostrata* plants. *World Applied Sciences Journal*, 5(4), 490-498.
- Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R. (2019). Effect of mycorrhizal fungi on sesame productivity under water stress in low-input agriculture system. *Turkish Journal of Field Crops*, 24(1), 46-53.
- Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R. (2021). Influence of arbuscular mycorrhiza fungi and drought stress on fatty acids profile of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Field Crops Research*, 262, 108035.
- Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R., Moghaddam, S. S., Popović-Djordjević, J. (2020). Effect of mycorrhizal inoculation in reducing water stress in sesame (*Sesamum indicum* L.): The assessment of agrobiological traits and enzymatic antioxidant activity. *Agricultural Water Management*, 238, 106234.
- Ghosh, M., Singh, S. P. (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and its prospects. *Journal of Environmental Science and Health*, 40(3), 445-462.
- Huang, J. W., Cunningham, S. D. (1996). Lead phytoextraction: Species variation in lead uptake and translocation. *New Phytologist*, 134(1), 75-84.
- Khoshkholghsima, N. A., Loni, F., Ghaffari, M. R. (2024). Novel Bioremediation Strategies: Enhancing Polluted Soil and Protecting the Environment through Omics Technologies and Microbial Approaches. *Journal of Water and Soil Conservation*, 31(2), 33-55.
- Kumar, A., Saha, A. (2018). Role of native microorganisms in bioremediation of contaminated soil. *Biotechnology Reports*, 19, e00263.
- Li, Y., Peng, J., Shi, P., Zhao, B. (2009). The effect of Cd on mycorrhizal development and enzyme activity of *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices* in *Astragalus sinicus* L. *Chemosphere*, 75(7), 894-899.
- Mahohi, A., Raiesi, F., Hosseinpour, A. (2018). Phytoremediation of Lead in the presence of individual and combined inoculation of earthworms, arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobacteria by maize. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(2), 91-110.
- Mosa, A. M., Zayed, A. A. (2019). Phytoremediation of heavy metals: A review on the role of plant-associated microorganisms. *Environmental Pollution*, 244, 448-457.
- Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, Z. A., Javaid, A., Ashraf, M. (2014). The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances*, 32(2), 429-448.
- Reddy, K. R., DeLaune, R. D. (2008). Bioremediation of contaminated soils. *Environmental Pollution*, 156(3), 615-622.
- Sharma, S., Singh, D., Kumar, V. (2020). Enhancing phytoremediation through microbial biotechnology: A review. *Journal of Environmental Management*, 260, 110157.

Combined Bioremediation: Enhancing Phytoremediation Efficiency Using Native Microorganisms in Contaminated Soils

Esmail Gholinezhad^{1*}, Vahid Salmanpour², Ahad Gholghasem Gharebagh³

- 1- Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran
(Corresponding Author)
(Email: e_gholinejad@pnu.ac.ir)
- 2- Assistant Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran
(Email: V.salmanpour@pnu.ac.ir)
- 3- Assistant Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran
(Email: Ahad_318@pnu.ac.ir)

Abstract

Combined bioremediation is introduced as a novel and effective solution for the cleanup of soils contaminated with chemical pollutants and heavy metals in industrial and agricultural environments. This method involves the simultaneous use of plants and native microorganisms that have a high capacity for absorbing and degrading pollutants. This article examines the impact of native microorganisms on improving the efficiency of phytoremediation. The results of studies indicate that the combination of plants with native microorganisms can significantly increase the absorption and degradation of pollutants. Additionally, this method contributes to the improvement of soil quality and the enhancement of biodiversity. The article also discusses the challenges and limitations associated with the use of combined bioremediation, including the need for proper selection of microorganisms and suitable plants, as well as the evaluation of the long-term effects of these methods. Finally, suggestions for future research and the improvement of combined bioremediation techniques are presented to be utilized as a sustainable and economical strategy for managing soil pollution.

Keywords: Bioremediation, Indigenous microorganisms, Phytoremediation, Soil contamination